

Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO



DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM COMPOSTÁVEL para produtos eletrónicos Bosch



Mestranda

Mónica Sofia Rodrigues Oliveira

Orientador

Professora Bárbara Rangel Carvalho

Coorientador

Professor Fernando Jorge Lino Alves

Orientador da empresa Bosch

Eng^a. Raquel Pinheiro Torres



Figura 1: Dieter Rams.

“

Princípios do bom design

–

Princípio 9: O bom design preocupa-se com o meio ambiente

“O design deve conservar os recursos ambientais e minimizar a poluição física e visual, durante todo o ciclo de vida do produto.”

Dieter Rams

”



Figura 2: Trevos.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos que aqui escrevo, apesar de curtos em palavras, excedem em intenção esta página. Estes sustentam o sincero agradecimento a todos, que de forma direta ou indireta, tornaram esta etapa mais fácil e concebível.

Começo por agradecer aos meus pais, que além de financiadores de toda esta etapa, me deram constante apoio e acreditaram que era capaz de a concluir com sucesso. Obrigada sobretudo à minha mãe pelo apoio, pelo incentivo, pelos conselhos, por ouvir todos os desabafos e por não me deixar desistir nos momentos mais difíceis.

Um sincero agradecimento aos orientadores deste projeto, Bárbara Rangel e Jorge Lino, pela boa orientação, pela paciência, pelos conselhos e por terem feito parte de todas as etapas deste projeto.

Obrigada à Bosch Security Systems de Ovar pela excelente oportunidade que me proporcionou, por ter aberto as suas portas a este projeto e por ter auxiliado e acompanhado de perto todas as suas etapas. Obrigada à minha orientadora na Bosch, Raquel Pinheiro Torres, pela orientação, pela paciência, pela ajuda, pela preocupação e pelo incentivo que me ofereceu ao longo destes 12 meses de estágio. Obrigada ao André Vieira pelo auxílio na realização e interpretação de todos os testes mecânicos realizados internamente na empresa. Obrigada ao Luís Ferreira e a toda a sua equipa MK e MKM1 por me terem recebido tão bem, por me terem integrado na equipa e feito sentir parte dela, obrigada a todos pela colaboração e pelo incentivo, pelas gargalhadas e pelas oportunidades que me proporcionaram dentro da empresa e respetivos eventos.

Obrigada ao Eduardo Marques e colegas pelo auxílio e acompanhamento dos testes de impacto realizados na FEUP.

Um profundo agradecimento, ao meu namorado, melhor amigo, colega de turma e colega de estágio, Gonçalo Silva, por ter sido, de todos, o que mais sofreu comigo todas as etapas, o que acompanhou de perto todo o processo, o que “levou por tabela” mais vezes quando as coisas pareciam não dar certo. Obrigada por aturares o meu mau humor, os meus desabafos, as minhas dúvidas e por nunca me teres deixado desistir. Obrigada pelas noites de trabalho, pela partilha de conhecimento, pelas lágrimas e gargalhadas, pelo abraço sincero e pela inúmera repetição da frase “vai correr bem, tu consegues”.

Por fim quero agradecer aos amigos que viveram esta etapa comigo ao longo destes dois anos, por terem sido o segundo melhor antidepressivo e conselheiro que poderia ter tido neste processo.

A todos vocês um sincero obrigada!

RESUMO

Síntese do Tema

O crescimento excessivo do comércio online, culminou num aumento drástico do consumo e descarte de embalagens, levando este a ser considerado, um dos setores mais problemáticos para a poluição ambiental. A necessidade de efetuar o transporte destas embalagens entre vários pontos e cada vez mais distantes, levou à implementação de várias camadas protetoras e da utilização de materiais mais resistentes, de base fóssil, como o EPS (Poliestireno Expandido) e o EPE (Polietileno Expandido), tornando este um problema cada vez mais insustentável para as empresas.

Perante esta problemática, empresas como a Bosch, onde o embalamento e transporte de produtos é frequente, sentiram a necessidade de colmatar a dimensão da sua pegada ecológica, apostando na investigação para aplicação de materiais compostáveis capazes de embalar os seus produtos eletrónicos. Esta necessidade levou ao desafio lançado pela empresa Bosch que culminou num estágio curricular e na presente investigação de mestrado.

A investigação teve início com a procura e análise de vários materiais compostáveis existentes no mercado. Seguidamente, com a realização de uma análise detalhada dos materiais encontrados, comparando-os com base em diversos parâmetros, incluindo o seu desempenho nos testes de validação (teste climático e teste de impacto). Posteriormente foi desenvolvido um inserto com o material selecionado – Bioespuma Kehl – e testado segundo os requisitos de validação de uma embalagem Bosch (teste de compressão, de vibração e teste de queda livre).

O principal objetivo desta dissertação foi, assim, a procura e implementação de um material compostável capaz de cumprir todos os requisitos de embalamento de produtos eletrónicos Bosch e que, em simultâneo, colmatou a problemática do fim de vida dos materiais convencionais – EPS e EPE.

Palavras-Chave

Biomateriais; materiais compostáveis; design de embalagens; insertos para produtos eletrónicos; validação de materiais e embalagens.

ABSTRACT

The excessive growth of online commerce, culminated in a drastic increase in consumption and disposal of packaging, leading this to be considered one of the most problematic sectors for environmental pollution. The need to transport these packages between various points and increasingly distant, led to the implementation of several protective layers and the use of more resistant, fossil-based materials, such as EPS and EPE, making this an increasingly unsustainable problem for companies.

Faced with this problem, companies like Bosch, where product packaging and transport is frequent, felt the need to fill the dimension of their ecological footprint, investing in the research application of compostable materials capable of packaging their electronic products. This need led to the challenge launched by the Bosch company that culminated in a curricular internship and in the present master's research.

The investigation began with the search and analysis of various compostable materials on the market. Then, with a detailed analysis of the materials found, comparing them based on several parameters, including their performance in the validation tests (climate test and impact test). Subsequently, an insert was developed with the selected material - Biohlam Kehl - and tested according to the validation requirements of a Bosch package (compression, vibration and free-fall tests).

The main objective of this dissertation was, therefore, the search and implementation of a compostable material capable of fulfilling all the packaging requirements of Bosch electronic products and, at the same time, addressing the problem of the end of life of conventional materials - EPS and EPE.

Keywords

Biomaterials; compostable materials; packaging design; inserts for electronic products; validation of materials and packaging.

ÍNDICE

Sumário

VII

AGRADECIMENTOS

IX

ABSTRACT

XII

ÍNDICE DE FIGURAS

XXVIII

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

002

1. INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento 003
- 1.2 Fundamentação do Tema 006
 - 1.3 Objetivos 008
- 1.4 Metodologias utilizadas 010
- 1.5 Constrangimentos 012

VIII

RESUMO

X

ÍNDICE

XXV

ÍNDICE DE TABELAS

XXXI

NOTA PRÉVIA

015

2. ESTADO DE ARTE

- 016 2.1 Biomateriais
- 018 2.1.1 Divisão dos Biomateriais Biodegradáveis
- 024 2.1.2 Fim de Vida dos Biomateriais
- 027 2.1.3 Normas e Certificações
- 031 2.1.4 Life Cycle Assessment nos Biomateriais
- 033 2.2 Sustentabilidade no setor de embalagens
- 037 2.3 O impacto das embalagens sustentáveis no consumidor
 - 037 2.3.1 A importância das embalagens sustentáveis
 - 040 2.3.2 Embalagens sustentáveis na perceção de qualidade de um produto
 - 042 2.3.3 O consumidor e a reciclagem
- 044 2.4 Normas e Requisitos das embalagens
 - 044 2.4.1 Seleção do Material
 - 047 2.4.2 Validação da Embalagem

054

3. ESTUDO DE MERCADO

- 3.1 EPS e EPE 055
 - 3.1.1 Material EPS 055
 - 3.1.2 Material EPE 059
- 3.2 Materiais Sustentáveis 063
 - 3.2.1 Espumas compostáveis industrialmente 064
 - 3.2.2 Espumas e Filmes compostáveis domesticamente 071
 - 3.2.3 Tabela síntese e comparativa 092
- 3.3 Embalagens Sustentáveis 095

157

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 5.1 Perspetivas futuras 161

172

ANEXOS

- Anexo 1 _ Desenho técnico do patente 173
- Anexo 2 _ Desenho técnico do inserto em EPS 174
- Anexo 3 _ Desenho técnico molde final 175
- Anexo 4 _ Soluções Bosch 19`` desenvolvidas no 1º ano de Mestrado 176

102

4. CASO DE ESTUDO

- 103 4.1 A Empresa Bosch Ovar
- 105 4.2 Proposta - Problemática
- 107 4.3 Fase experimental
 - 109 4.3.1 Teste climático
 - 112 4.3.2 Teste de impacto
 - 122 4.3.3 Teste de impacto – Tabela síntese e comparativa
 - 124 4.3.4 Discussão dos resultados e seleção do material
- 126 4.4 Fase de Desenvolvimento
 - 127 4.4.1 Análise da embalagem atual
 - 130 4.4.2 Primeiro Desenvolvimento
 - 132 4.4.3 Teste de compressão
 - 136 4.4.4 Teste de Vibração
 - 138 4.4.5 Teste de queda
 - 148 4.4.6 Discussão dos resultados
 - 151 4.4.7 Segundo Desenvolvimento

163

REFERÊNCIAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Referências

- Figura 01: “Dieter Rams”** _____ **IV**
 Imagem acedida a 15 de Julho de 2019, de:
<https://media.architecturaldigest.com/photos/5bf4395354719d268fefce85/master/pass/image1-dieteramsatvitsoeligbyannebrassierid445copyvitsoe.jpg>
- Figura 02: “Trevos”** _____ **VI**
 Imagem acedida a 15 de Julho de 2019, de: <https://images.pexels.com/photos/1420008/pexels-photo-1420008.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&w=500>
- Figura 03: “Plantas”** _____ **001**
 Imagem acedida em Julho de 2019, de: <https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260>
- Figura 04: “Poluição causada por produtos de plástico e poliestireno expandido”** _____ **007**
 (Fotografia de Catherine Sheila) Imagem acedida em Julho de 2019, de:
<https://images.pexels.com/photos/2409022/pexels-photo-2409022.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&w=500>
- Figura 05: “Poluição Ambiental”** _____ **009**
 (Fotografia de Stijin Dijkstra) Imagem acedida em Julho de 2019, de:
<https://images.pexels.com/photos/2583836/pexels-photo-2583836.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&w=500>
- Figura 06: “Muda”** _____ **013**
 (Fotografia de David Carmona Coto) Imagem acedida em Julho de 2019, de:
<https://images.pexels.com/photos/1151418/pexels-photo-1151418.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&w=500>
- Figura 07: “Plantas”** _____ **014**
 Imagem acedida em Julho de 2019, de: <https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260>
- Figura 08: “Síntese da divisão dos Biomateriais”** _____ **017**
 Realizada pelo autor | informação adaptada de (Godavitarne et al. 2017)
- Figura 09: “Esquema síntese das tipologias que compõe os biomateriais”** _____ **018**
 Esquema realizado pelo autor | imagens acedidas de, respetivamente: http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/09/governo-destina-r-250-mi-para-leiloes-de-algodao-em-pluma/governo-destina-r-250-mi-para-leiloes-de-algodao-em-pluma.jpg/image_view_fullscreen ; https://www.alibaba.com/product-detail/Polycaprolactone-raw-material-granules-PCL-granules_60551449407.html ; <https://imagens.tabelaperiodica.org/pedaco-de-titanio/> ; <https://pt.depositphotos.com/129501488/stock-photo-polished-and-pure-zinc-granules.html> ; <http://guiahomeopatico.com/alumina/> ; <https://megaarquivo.wordpress.com/2014/11/10/10-781-minerais-perigosas-hidroxiapatita-ca5po43oh/> ; <http://www.eco-u.org/bird-houses-of-mushroom-material/>
- Figura 10: “Esquema síntese dos bio polímeros”** _____ **019**
 Esquema do autor
- Figura 11: “Esquema síntese dos bio metais”** _____ **020**
 Esquema do autor

Figura 12: “Esquema síntese das bio cerâmicas” _____ 022

Esquema do autor

Figura 13: “Esquema síntese dos materiais compósitos” _____ 024

Esquema do autor | Imagens acedidas em Julho de 2019, de:

- a) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcTwOvCREkluWmo8q600jmwEMd8i5hu4wUqtRg&usqp=CAU>
 b) <https://a-static.mlcdn.com.br/1500x1500/papel-de-parede-tijolo-a-vista-qcola/qcola/13067/1ee4f57a9200761eb1a1308b181b29f1.jpg>
 c) <https://p0.pikist.com/photos/937/813/fiber-glass-glass-fibres-reinforced-plastic-fibers-composite-structure-wavy-texture.jpg>
 d) <https://weburbanist.com/wp-content/uploads/2019/01/Evocative-Mycelium.jpg>
 e) https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5c22d2008f5130d0f2e7d943/1548729039738-DLK2XNUHF8I1OVALXXY3/ke17ZwdGBToddI8pDm48kPo5jzUTgKS57bYt_CsYdZx7gQa3H78H3Y0txjaiv_OfDoOvxcdMmMKkDsyUqMSsMWxHk725yiiHCCLfrh8O1z5QPOohDlaeIjMHgDF5CVIOqpeNLCj80NK65_fv7S1UdUiawyPtwNlmueoAedfBhnW6mxrrD9SArahsrbw23XR_3LoMqabDmbPUm0RyC00g/Ecovative_TCF3020.jpg?format=2500w

Figura 14: “Fim de vida dos biomateriais” _____ 025

Esquema do autor | informação adaptada de (Hermann et al. 2011)

Figura 15: “Critérios para produtos sustentáveis” _____ 031

Adaptado de (Correa, Montalvo-Navarrete, e Hidalgo-Salazar 2019)

Figura 16: “Ilustração das várias tipologias de embalagem” _____ 033

Imagens acedidas a 16 de dezembro de 2018, de, respetivamente: a) <http://site.suinco.com.br> ;
 b) <https://www.shorr.com> ; c) <http://www.ivarcos.com> ; d) <https://www.tr-logistics.com>

Figura 17: “Rótulos How2Recycle e How2Compost” _____ 036

Imagens da “Sustainable Packaging Coalition”, acedidas de (Coalition 2016)

Figura 18: “Fatores decisivos na seleção de produtos/ embalagens sustentáveis” _____ 038

Adaptado de: “Journal of consumer marketing, Vol. 18 NO. 6 2001” p. 504, (Barbaro-Forleo, Laroche, e Bergeron 2001)

Figura 19: “Fatores, presentes na embalagem, que influenciam a compra” _____ 039

Adaptado de (Hao et al. 2019)

Figura 20: “Teorias que sustentam a análise da relação do consumidor com a reciclagem” _____ 042

Adaptado de (Martinho et al. 2015)

Figura 21: “Câmara Climática Bosch” _____ 044

Imagens do autor

Figura 22: “Composição de uma máquina de testes de impacto/amortecimento” _____ 046

Imagem acedida de documentos Bosch

Figura 23: “Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização dos testes de compressão” _____ **048**

Imagens do autor

Figura 24: “Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização dos testes de vibração” _____ **050**

Imagens do autor

Figura 25: “Ilustração da ordem das faces, arestas e canto que compõe uma embalagem a testar” _____ **051**

Ilustração do autor

Figura 26: “Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização dos testes de queda” _____ **052**

Adaptado de (Correa, Montalvo-Navarrete, e Hidalgo-Salazar 2019)

Figura 27: “Plantas” _____ **053**

Imagem acedida em Julho de 2019, de: <https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260>

Figura 28: “Exemplos de insertos em EPS utilizados pela empresa Bosch” _____ **059**

Imagens do autor

Figura 29: “Exemplos de insertos em EPE utilizados em produtos Bosch” _____ **062**

Imagens do autor

Figura 30: “Ecovio® EA, da empresa BASF” _____ **065**

Imagens acedidas de, respetivamente: a) <https://cdn.noticias.ambientebrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/02/eco.jpg>

b) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQQJRJPmFgfxR5YL-YwbViUqQfsrybCtCFqw&usqp=CAU>

c) https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQKFmG1H6H0jPC4OyWbifRxEzxPdbxX-_18tg&usqp=CAU

d) imagem do autor

e) Imagem do autor

Figura 31: “Fibi Buffer, Holanda” _____ **067**

Imagens acedidas de, respetivamente: a) <https://www.canadianpackaging.com/wp-content/uploads/2018/10/fibi.jpg>

b) https://www.storopackshop.be/wcsstore/StoropackBECAS/Alle%20afbeeldingen/Omsnoeren%20en%20omwikkelen/Beschermprofielen%20en%20toebehoren/Fibi%20hoek_670.jpg

c) https://fibibuffer.com/wp-content/uploads/2020/05/IMG_20190825_123654-585x295.jpg

d) Imagem do autor

e) <https://syba.cz/Media/Default/Users/555/2018/biod/fibi800w.jpg>

Figura 32: “Biofoam®, SYNBRA” _____ **069**

Imagens acedidas de, respetivamente: a) <https://cdn.materialdistrict.com/wp-content/uploads/2017/11/synprodo-biofoam-ona683-1-1-960x640.jpg>

b) https://www.neue-verpackung.de/file/format/13446/ogImage/10f97d/Syprodo_Award-2016.jpg

c) <https://cdn.materialdistrict.com/wp-content/uploads/2017/11/synprodo-biofoam-ona683-2-1-600x400.jpg>

d) Imagem do autor

e) Imagem do autor

Figura 33: "Myco Composite™, Ecovative" _____ 072

Imagens cedidas de, respetivamente: a) https://consciouscompanymedia.com/wp-content/uploads/2016/11/1641-1-eng-GB_concomus151201_article_066_01_022-759x500.jpg
 b) <https://images.squarespace-cdn.com/content/>
 c) <https://inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/04/mycobond-ed03.jpg>
 d) <https://nirvanacph.com/welcome/wp-content/uploads/2016/11/Ma-tt-er-Materials-Monday-Myco-Foam-12.jpg>
 e) https://cdn.consumidormoderno.com.br/wp-content/uploads/2018/10/MycoFoam-Square-Planter-Pot_1024x1024.png

Figura 34: "Myco Flex™, Ecovative" _____ 074

Imagens cedidas de: <https://ecovatedesign.com/mycoflex>

Figura 35: "Green Cell Foam™" _____ 076

Imagens cedidas de, respetivamente: a) <https://images.squarespace-cdn.com/>
 b) <https://hellosubscription.com/wp-content/uploads/2018/12/20091933/karv-meat-delivery-box-4.jpg>
 c) <https://25bln5436diz1bot4k160hip-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/06/insulated-shipping-Box.jpg>
 d) https://prod-hml.s3.amazonaws.com/images/products/green-cell-foam/_thumb/IMAGE_green-cell-foam.png?mtime=20190604145224&focal=none&mtime=20200203202427
 e) <https://ucarecdn.com/64a844d1-99eb-488d-967b-65df49864c3a/>

Figura 36: "Bioespuma®, KEHL" _____ 078

Imagens cedidas de, respetivamente: a) Imagem do autor
 b) Imagem do autor
 c) http://www.kehl.ind.br/images/fotos/normal/DSC_0161.jpg
 d) http://www.kehl.ind.br/images/fotos/normal/DSC_0163.jpg
 e) <http://www.kehl.ind.br/images/fotos/normal/fungos1.jpg>
 f) Imagem do autor

Figura 37: "Quitina e Celulose, Georgia Institute of Technology" _____ 080

Imagens cedidas de, respetivamente: a) https://media-manager.noticiasao minuto.com/1920/naom_5b58653c3a9ee.jpg
 b) <https://mega.ibxk.com.br/2014/07/11/11173129376798.jpg>
 c) <https://super.abril.com.br/wp-content/uploads/2018/07/caranguejo-1.png>
 d) <https://www.greenfm.com.br/wp-content/uploads/2018/07/plastico-caranguejo-660x330.jpg>

Figura 38: "Bio Cassava Bag, AVANI" _____ 082

Imagens cedidas de, respetivamente:
 a) https://d3q0fpse3wbo5h.cloudfront.net/production/uploads/innovations/_1200x630_crop_center-center_82_none/9926_c64a.jpg?mtime=1515180376
 b) <https://earthbuddies.net/wp-content/uploads/2018/05/If08OCT-online-avani.jpg>
 c) https://brightcove04pmdo-a.akamaihd.net/5367332862001/5367332862001_5601843023001_5601834937001-vs.jpg?publd=5367332862001&videoid=5601834937001
 d) <https://i.pinimg.com/originals/c5/c2/d8/c5c2d8bb2371ea6c260cb3b8a1764b6f.png>

Figura 39: "Sacos de Celulose, REPAQ" _____ 084

Imagens cedidas de, respetivamente: a) Imagem do autor
 b) <https://www.verycompostable.com/wp-content/uploads/2018/11/nordheld-732x489.jpg>
 c) <https://www.repaq.de/en/>
 d) <https://www.verycompostable.com/wp-content/uploads/2018/11/6boxes-full-732x488.jpg>
 e) <https://www.repaq.de/wp-content/uploads/2017/12/foilseed-768x545.jpg>

Figura 40: "Nature Flex™ Bio, Innovia" _____ 086

Imagens cedidas de, respetivamente:

- a) <https://www.natureflex.com/wp-content/uploads/2019/10/pkg-solutions-005.jpg>
- b) <https://p.calameoassets.com/150312153445-1cde9ff29729aaff23e797ca301c6dbe/p1.jpg>
- c) <https://www.michaels-wholefoods.com/wp-content/uploads/2019/09/Untitled-design-25.jpg>

Figura 41: "ecovio®, BASF" _____ 088

Imagens cedidas de, respetivamente: a) https://evollesa.net/_files/200000014-d4961d4964/ecovio2-5.jpg

- b) https://image.isu.pub/140506172848-6c3def6627e0bc8182cc8c08a46efbfe/jpg/page_82.jpg
- c) <https://img.interempresas.net/fotos/513389.jpeg>
- d) <https://lh3.googleusercontent.com/proxy/SQTaXHnMyAkQ6MA07LZVvvdPv1zjGWR8LE6jmNsS4qpJErA7ZHK2unC5xGo-LQeNY6Xqa6FnZzeTtSW7NwZJzX6VVANRbBvePq2rNHKRBKS7vVSfNZ660xUdhsc7GJoiYSQCXgJxzbeFkzckrQ>

Figura 42: "Bio Flex®, FKUR" _____ 090

Imagens cedidas de, respetivamente: a) <https://www.k-online.de/vis-content/event-k2019/exh-k2019.2574846/K-2019-FKuR-Kunststoff-GmbH-Image-k2019.2574846-eq1euyOvTau0sWLyQAhmFQ-image.png>

- b) https://fkur.com/wp-content/uploads/2018/10/FKR-15-0001-Brosch-Bio-Flex-Mulchfilm_192px_WEB.jpg
- c) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcT5fZ6E1z1z1oQKzvCSTLpK5liiUKEasg1Z9nw&usqp=CAU>
- d) <https://news.bio-based.eu/media/2017/03/Bildschirmfoto-2017-02-27-um-13.01.27-200x300.png>
- e) <https://packagingeurope.com/downloads/300/download/fkur270417neu.jpg?cb=b76e953f64c058025bbc171aa5215043>

Figura 43: "Botiá, Manuela Yamada" _____ 096

Imagem cedida de: <https://cdn4.ecycle.com.br/cache/images/2018-03/50-650-embalagens-de-alimentos-sustentavel.jpg>

Figura 44: "Mandioca e Fibras, OKA" _____ 096

Imagem cedida de: <https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRJZ4YUmPsItNPsl2hfmE1cl7ew2hD3rkOUig&usqp=CAU>

Figura 45: "Naturally Clicquot, Maison Clicquot" _____ 097

Imagem cedida de: <https://www.2luxury2.com/wp-content/uploads/Veuve-Clicquot-Naturally-Clicquot-eco-packaging-from-grapes-2015-edition.jpg>

Figura 46: "360 water bottle, Jim Warner" _____ 097

Imagem cedida de: <https://i.pinimg.com/originals/34/ee/8c/34ee8ca59f5499aaf11819b71698bced.jpg>

Figura 47: "Biopack, George Bosnas" _____ 098

Imagem cedida de: <https://static.ohga.it/wp-content/uploads/sites/24/2019/06/5-1200x1200.jpg>

Figura 48: "Polpa de Bagaço, amostra Bosch" _____ 098

Imagem do autor

Figura 49: "Paper Foam®, amostra Bosch" _____ 099

Imagem do autor

Figura 50: “Polpa de papel™”	099
<small>Imagem do autor</small>	
Figura 51: “Korrvu®, amostra Bosch”	100
<small>Imagem do autor</small>	
Figura 52: “Plantas”	101
<small>Imagem acedida em Julho de 2019, de: https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260</small>	
Figura 53: “Instalações Bosch Security Systems, Ovar”	104
<small>Imagem acedida de: https://www.dinheirovivo.pt/wp-content/uploads/2018/11/Bosch-Ovar-8_dv.jpg</small>	
Figura 54: “Idesk, embalagem completa, e os insertos em EPS”	106
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 55: “Colocação dos materiais na câmara climática e ajuste dos níveis de temperatura e humidade”	109
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 56: “Green Cell Foam – antes e depois da primeira fase do teste climático”	110
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 57: “Amostras dos materiais após as 3 fases do teste climático”	110
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 58: “Desenho cotado do batente modelado a solidworks”	112
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 59: “Batente final, impresso em 3D na máquina de impressão da FEUP”	112
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 60: “Batente final aplicado no equipamento de testes de impacto”	113
<small>Imagens do autor</small>	
Figura 61: “Curvas de amortecimento do EPS”	114
<small>Gráfico acedido de documentos Bosch</small>	
Figura 62: “Amostra de EPS 1”	116
<small>Imagem do autor</small>	
Figura 63: “Gráfico – curva de amortecimento EPS 1”	116
<small>Gráfico do autor</small>	

Figura 64: "Amostra de EPS 2" _____	116
Imagem do autor	
Figura 65: "Gráfico – curva de amortecimento EPS 2" _____	116
Gráfico do autor	
Figura 66: "Amostra de EPE 1" _____	116
Imagem do autor	
Figura 67: "Gráfico – curva de amortecimento EPE 1" _____	116
Gráfico do autor	
Figura 68: "Amostra de EPE 2" _____	117
Imagem do autor	
Figura 69: "Gráfico – curva de amortecimento EPE 2" _____	117
Gráfico do autor	
Figura 70: "Amostra GCF 1" _____	117
Imagem do autor	
Figura 71: "Gráfico – curva de amortecimento GCF 1" _____	117
Gráfico do autor	
Figura 72: "Amostra GCF 2" _____	117
Imagem do autor	
Figura 73: "Gráfico – curva de amortecimento GCF 2" _____	117
Gráfico do autor	
Figura 74: "Amostras de GCF 3 após teste climático" _____	118
Imagem do autor	
Figura 75: "Gráfico – curva de amortecimento GCF 3" _____	118
Gráfico do autor	
Figura 76: "Amostra de GCF 4 após teste climático" _____	118
Imagem do autor	
Figura 77: "Gráfico – curva de amortecimento GCF 4" _____	118
Gráfico do autor	
Figura 78: "Amostra de Bioespuma 1" _____	118
Imagem do autor	

Figura 79: "Gráfico – curva de amortecimento Bioespuma 1" _____	118
Gráfico do autor	
Figura 80: "Amostra de Bioespuma 2" _____	119
Imagem do autor	
Figura 81: "Gráfico – curva de amortecimento Bioespuma 2" _____	119
Gráfico do autor	
Figura 82: "Amostra de Myco composite 1" _____	119
Imagem do autor	
Figura 83: "Gráfico – curva de amortecimento Myco composite 1" _____	119
Gráfico do autor	
Figura 84: "Amostra Myco composite 2" _____	119
Imagem do autor	
Figura 85: "Gráfico – curva de amortecimento Myco composite 2" _____	119
Gráfico do autor	
Figura 86: "Amostra de EPS 3" _____	120
Imagem do autor	
Figura 87: "Gráfico – curva de amortecimento EPS 3" _____	120
Imagem do autor	
Figura 88: "Amostra de EPS 4" _____	120
Gráfico do autor	
Figura 89: "Gráfico – curva de amortecimento EPS 4" _____	120
Gráfico do autor	
Figura 90: "Amostra de Fibi Buffer 1" _____	120
Imagem do autor	
Figura 91: "Gráfico – curva de amortecimento Fibi Buffer 1" _____	120
Gráfico do autor	
Figura 92: "Amostra de Fibi Buffer 2" _____	121
Imagem do autor	
Figura 93: "Gráfico – curva de amortecimento Fibi Buffer 2" _____	121
Gráfico do autor	

Figura 94: "Amostra de Ecovio 1" _____	121
Imagem do autor	
Figura 95: "Gráfico – curva de amortecimento Ecovio 1" _____	121
Gráfico do autor	
Figura 96: "Amostra de Ecovio 2" _____	121
Imagem do autor	
Figura 97: "Gráfico – curva de amortecimento Ecovio 2" _____	121
Gráfico do autor	
Figura 98: "Inserito Kehl expandido em molde de madeira" _____	125
Imagem do autor	
Figura 99: "Espuma moldada pelo produto" _____	125
Imagem acedida de: https://empaquesysestos.net/wp-content/uploads/2019/04/foam-instack.png	
Figura 100: "Sacos expansivos de foam in place" _____	125
Imagem acedida de: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/413FpRANjPL.jpg	
Figura 101: "Embalagem completa - Idesk" _____	127
Imagem do autor	
Figura 102: "Idesk" _____	127
Imagem do autor	
Figura 103: "Embalagem Idesk" _____	127
Imagem do autor	
Figura 104: "Insertos em EPS" _____	127
Imagem do autor	
Figura 105: "Insertos em cartão - Bosch" _____	128
Imagem acedida de documentos Bosch	
Figura 106: "Insertos em EPE - Bosch" _____	128
Imagem acedida de documentos Bosch	
Figura 107: "Insertos em EPS - Bosch" _____	128
Imagem acedida de documentos Bosch	
Figura 108: "Evolução de forma dos insertos em EPS para o produto Idesk" _____	128
Imagens acedidas de documentos Bosch	

Figura 109: "Pontos positivos e negativos dos insertos atuais - EPS" _____	129
Imagens virtuais do autor	
Figura 110: "Moldes de madeira produzidos pelo fornecedor Kehl para o desenvolvimento do primeiro protótipo" _____	130
Imagens fornecidas pelo fornecedor Kehl	
Figura 111: "Primeiros protótipos desenvolvidos em Bioespuma e comparação com os insertos em EPS" _____	131
Imagens do autor	
Figura 112: "Gráfico do teste de compressão à embalagem em Bioespuma Kehl" _____	133
Gráfico do autor	
Figura 113: "Embalagem durante e após o teste de compressão, onde apenas se verificou uma dobra ligeira numa única lateral" _____	133
Imagens do autor	
Figura 114: "Insertos e produto Idesk sem qualquer alteração após o teste de compressão" _____	134
Imagens do autor	
Figura 115: "Embalagem em Bioespuma Kehl fixa na mesa vibratória" _____	136
Imagens do autor	
Figura 116: "Embalagem em Bioespuma Kehl após o teste de vibração" _____	136
Imagens do autor	
Figura 117: "Preparação da embalagem em Bioespuma para o teste de queda livre" _____	138
Imagens do autor	
Figura 118: "Preparação da embalagem em EPS para o teste de queda livre" _____	139
Imagens do autor	
Figura 119: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 2_ Bioespuma" _____	139
Gráfico do autor	
Figura 120: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 2_ EPS" _____	139
Gráfico do autor	
Figura 121: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 4_ Bioespuma" _____	140
Gráfico do autor	
Figura 122: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 4_ EPS" _____	140
Gráfico do autor	

Figura 123: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 6_ Bioespuma" _____	140
Gráfico do autor	
Figura 124: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 6_ EPS" _____	140
Gráfico do autor	
Figura 125: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 5_ Bioespuma" _____	141
Gráfico do autor	
Figura 126: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 5_ EPS" _____	141
Gráfico do autor	
Figura 127: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 3_ Bioespuma" _____	141
Gráfico do autor	
Figura 128: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 3_ EPS" _____	141
Gráfico do autor	
Figura 129: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 1_ Bioespuma" _____	142
Imagens do autor	
Figura 130: "Gráfico de G's obtidos na queda da face 1_ EPS" _____	142
Gráfico do autor	
Figura 131: "Gráfico de G's obtidos na queda da aresta 3-5_ Bioespuma" _____	142
Gráfico do autor	
Figura 132: "Gráfico de G's obtidos na queda da aresta 3-5_ EPS" _____	142
Gráfico do autor	
Figura 133: "Gráfico de G's obtidos na queda da aresta 2-3_ Bioespuma" _____	143
Gráfico do autor	
Figura 134: "Gráfico de G's obtidos na queda da aresta 2-3_ EPS" _____	143
Gráfico do autor	
Figura 135: "Gráfico de G's obtidos na queda da junta do fabrico 2-5_ Bioespuma" _____	143
Gráfico do autor	
Figura 136: "Gráfico de G's obtidos na queda da junta do fabrico 2-5_ EPS" _____	143
Gráfico do autor	
Figura 137: "Gráfico de G's obtidos na queda do canto 2-3-5_ Bioespuma" _____	144
Gráfico do autor	

Figura 138: “Gráfico de G`s obtidos na queda do canto 2-3-5_ EPS” _____	144
Gráfico do autor	
Figura 139: “Queda das arestas 2-3, 3-5 e do canto 2-3-5, respetivamente” _____	144
Imagens do autor	
Figura 140: “Embalagem, insertos e produto após teste de queda concluído – Bioespuma Kehl” _____	146
Imagens do autor	
Figura 141: “Embalagem, insertos e produto após teste de queda concluído - EPS” _____	147
Imagens do autor	
Figura 142: “Pontos positivos e negativos dos insertos atuais - EPS” _____	151
Imagens virtuais do autor	
Figura 143: “Esboço das alterações estudadas para os insertos do produto Idesk” _____	151
Desenhos do autor	
Figura 144: “Modelação do molde em solidworks” _____	152
Imagens virtuais do autor	
Figura 145: “Imagens virtuais em Keyshot – molde para impressão 3D” _____	152
Imagens virtuais do autor	
Figura 146: “Processo de preparação do molde obtido por impressão 3D” _____	153
Imagens do autor	
Figura 147: “Processo de desenvolvimento do protótipo em Bioespuma” _____	154
Imagens do autor	
Figura 148: “Insero do primeiro desenvolvimento vs. Insero do segundo desenvolvimento” _____	155
Imagens do autor	
Figura 149: “Plantas” _____	156
Imagem acedida em Julho de 2019, de: https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260	
Figura 150: “Evento “Packaging Summit Bosch” 2019” _____	160
Imagens do autor	
Figura 151: “Apresentação e publicação do artigo na conferência “Wastes III 2019”” _____	160
Imagens do autor	

Figura 152: “Apresentação no evento “Empack 2019”” _____ **160**

Imagens do autor

Figura 153: “Plantas” _____ **162**

Imagem acedida em Julho de 2019, de:

<https://images.pexels.com/photos/1420004/pexelsphoto1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260>

Figura 154: “Plantas” _____ **171**

Imagem acedida em Julho de 2019, de: <https://images.pexels.com/photos/1420004/pexels-photo-1420004.jpeg?auto=compress&cs=tinysrgb&dpr=2&h=750&w=1260>

ÍNDICE DE TABELAS

Referências

Tabela 01: “Síntese das normas e certificações ambientais que atestam a compostagem industrial” _____ 029

Tabela do autor | Imagens acedidas de, respetivamente:

a) https://www.dincertco.de/media/dincertco/zertifikatszeichen/din-geprueft-industriell-kompostierbar_en-2_core_1_x.jpg

b) https://www.dincertco.de/media/dincertco/zertifikatszeichen/din-geprueft-industriell-kompostierbar_en-2_core_1_x.jpg

c) <https://www.tuviberia.com/wp-content/uploads/2018/08/OK-ind.jpg>

d) https://www.researchgate.net/profile/Hussam_Jouhara/publication/318782741/figure/fig1/AS:718885015789568@1548406952446/Logos-for-compostable-materials-a-BPI-b-DIN-CERTCO-c-OK-compost-15.png

Tabela 02: “Síntese das normas e certificações ambientais que atestam a compostagem doméstica” _____ 030

Tabela do autor | Imagens acedidas de, respetivamente: a) https://www.dincertco.de/media/dincertco/zertifikatszeichen/din-geprueft-gartenkompostierbar_en_core_1_x.jpg ; b) https://www.tuv-at.be/fileadmin/_processed_/c/6/csm_Ok_Compost_Startseite_neu_c6facd5422.png

at.be/fileadmin/_processed_/c/6/csm_Ok_Compost_Startseite_neu_c6facd5422.png

Tabela 03: “Parâmetros teste climático” _____ 045

Tabela do autor | Informação retirada de documentos Bosch

Tabela 04: “Parâmetros/ Fórmula para testes de compressão” _____ 047

Tabela do autor | Informação retirada de documentos Bosch

Tabela 05: “Tabela de exemplos de vibração por deslocamento fixo” _____ 049

Tabela do autor | Informação retirada de documentos Bosch

Tabela 06: “Sequência e orientação para a realização de testes de queda” _____ 051

Tabela do autor | Informação retirada de documentos Bosch

Tabela 07: “Propriedades do EPS” _____ 057

Adaptado de (Acepe 2019).

Tabela 08: “Bio materiais: Espumas e o seu fim de vida” _____ 063

Tabela do autor | Imagens acedidas de, respetivamente: a) <https://cdn.noticias.ambientebrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/02/eco.jpg> ;

b) <https://www.canadianpackaging.com/wp-content/uploads/2018/10/fibi.jpg>

c) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcRpYeZsHKCr51k8gWkr0HGc34SgyjvD0BZTiA&usqp=CAU>

d) <https://nirvanacph.com/welcome/wp-content/uploads/2016/11/Ma-tt-er-Materials-Monday-Myco-Foam-3.jpg>

e) https://www.thehindubusinessline.com/scaling-up/p59wlu/article25598275.ece/alternates/LANDSCAPE_435/Ecovative1

f) <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcQpG738-mnsER3lI73SsEia7lneCbEtFIO75g&usqp=CAU>

g) Imagem do autor

Tabela 09: “Bio materiais: Filmes poliméricos e o seu fim de vida” _____ 063

Tabela do autor | Imagens acedidas de, respetivamente: a) <https://cdn.noticias.ambientebrasil.com.br/>

b) https://s3files.core77.com/blog/images/689442_81_68988_Zoa9gVTRm.jpg ; c) Imagem do autor

d) <https://p.calameoassets.com/150312153445-1cde9ff29729aaff23e797ca301c6dbe/p1.jpg>

e) <https://informacionguadalajara.com/wp-content/uploads/2020/02/basf-y-fabri-group-desarrollan-un-film-estirable-compostable-y-certificado-para-el-ensado-de-alimentos-frescos.jpg>

f) <https://packagingeurope.com/downloads/300/download/fkur270417neu.jpg?cb=b76e953f64c058025bbc171aa5215043>

Tabela 10: "Tabela síntese e comparativa das espumas compostáveis" _____	093
Tabela do autor	
Tabela 11: "Tabela síntese e comparativa dos filmes compostáveis" _____	094
Tabela do autor	
Tabela 12: "Especificações do produto Idesk e da sua embalagem" _____	105
Tabela do autor Informação retirada de documentos Bosch	
Tabela 13: "Espumas compostáveis e respectivas amostras recolhidas" _____	107
Tabela do autor Imagens do autor	
Tabela 14: "Validação dos materiais segundo as três fases do teste climático" _____	111
Tabela do autor	
Tabela 15: "Parâmetros reais do teste de impacto" _____	114
Tabela do autor Informação retirada de documentos Bosch	
Tabela 16: "Parâmetros modificados para serem aplicados na máquina de impacto" _____	115
Tabela do autor	
Tabela 17: "Resultados obtidos nas duas fases do teste de impacto" _____	123
Tabela do autor	
Tabela 18: "Tabela síntese e comparativa dos materiais – seleção do material" _____	124
Tabela do autor	
Tabela 19: "Especificações do produto e embalagem - Idesk" _____	127
Tabela do autor	
Tabela 20: "Comparação dos três materiais/insertos finais" _____	128
Tabela do autor Adaptada de tabela realizada pelo departamento de embalagens Bosch	
Tabela 21: "Parâmetros para a resolução da equação" _____	132
Tabela do autor	
Tabela 22: "Resumo do teste de compressão e dos resultados obtidos (Kehl)" _____	134
Tabela do autor	

Tabela 23: “Resumo do teste de compressão e dos resultados obtidos (EPS)” _____ **135**

Tabela do autor

Tabela 24: “Resumo do teste de vibração e dos resultados obtidos (Kehl)” _____ **137**

Tabela do autor

Tabela 25: “Resumo do teste de vibração e dos resultados obtidos (EPS)” _____ **137**

Tabela do autor

Tabela 26: “Resumo dos resultados obtidos no teste de queda livre Bioespuma vs. EPS” _____ **145**

Tabela do autor

Tabela 27: “Síntese dos parâmetros e resultados obtidos no teste de queda livre Bioespuma vs. EPS” _____ **147**

Tabela do autor

Tabela 28: “Parâmetros comparativos da embalagem em Bioespuma vs. Embalagem em EPS” _____ **150**

Tabela do autor

Tabela 29: “Resumo do segundo desenvolvimento” _____ **154**

Tabela do autor

ABREVIATURAS

ASTM	American Standard for Testing and Materials
CCT	Coeficiente de Condutividade Térmica
CE	Comissão Europeia
CFC`s	Clorofluorocarbonetos
CH₄	Gás Metano
CO₂	Dióxido de Carbono
EC	Energia Cinética
EN	Norma Europeia
EPE	Polietileno Expandido
EPS	Poliestireno Expandido
EU	União Europeia
EUA	Estados Unidos da América
FBAUP	Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto
FC	Força de Compressão
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
h	Altura
HC	Humidade Controlada
HCFC`s	Hidrofluorocarbonetos
HDPE	Polietileno de alta densidade
HDT	Temperatura de Deflexão Térmica
HNC	Humidade Não Controlada
ISO	International Organization for Standardization
LDPE	Polietileno de baixa densidade

m	massa
NE	Número de Embalagens Empilháveis
N₂O	Óxido Nitroso
NO₂	Dióxido de Azoto
PBS	Sucianato de Polibutileno
PCL	Policaprolactona
PE	Polietileno
PET	Tereftalato de Polietileno
PGA	Ácido Poliglicólico
PHA	Polihidroxiacanoatos
PHB	Polihidroxi butirato
PLA	Ácido Polilático
PRFV	Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
PS	Poliestireno
PVOH	Álcool Polivinílico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SO₂	Dióxido de Enxofre
TAR	Teoria da Ação Racional
TCP	Teoria do Comportamento Planeado
UK	Reino Unido
UX	User Experience
v	Velocidade

SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
vs.	Versus
ex.	Exemplo
g	Gramas
€	Euro
%	Porcentagem
®	Marca Registrada
™	Marca Comercial
√	Raiz Quadrada

NOTA PRÉVIA

Algumas das expressões citadas e referenciadas nesta investigação, foram previamente traduzidas para português para facilitar a sua compreensão.

As unidades representadas nesta dissertação nem sempre estão de acordo com o sistema internacional, uma vez que os dados recolhidos e fornecidos pelos fornecedores continham unidades distintas.

Os testes mecânicos não seguem rigorosamente as normas referenciadas, devido às alterações e restrições desenvolvidas no setor de testes de embalagens da Bosch Ovar.

Toda a dissertação é referenciada segundo o estilo Chicago 16th Autor-Data FEUP.



Figura 3: Plantas

1

INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo introdutório visa clarificar o tema base de toda esta investigação, e, ainda, estruturar todos os subtemas abordados relacionados com este. Desta forma, este capítulo é composto pelo “Enquadramento” teórico, “Fundamentação do tema”, “Objetivos”, “Metodologias utilizadas” e pelos “Constrangimentos”. No “Enquadramento” teórico situa-se a problemática do excesso de poluição no setor das embalagens, abordada ao longo de todo o documento juntamente com os subtemas que a complementam. Na “Fundamentação do tema” encontra-se a clarificação do tema desta investigação, como um projeto colaborativo com a empresa Bosch-Security Systems de Ovar, expondo-se a sua importância e pertinência para a empresa. Nos “Objetivos” são expostas as metas estabelecidas para esta investigação, e nas “Metodologias” são definidas e estruturadas todas as etapas necessárias para que este seja um projeto claro e exequível. Por fim, nos “Constrangimentos”, são enumerados todos os obstáculos encontrados na sua realização, e que de alguma forma interferiram e dificultaram o que tinha sido planeado e definido anteriormente. Em suma, este primeiro capítulo assenta na clarificação da problemática e no planeamento de todas as etapas e metas a atingir.

1.1

Enquadramento

A sustentabilidade é um conceito que se rege por um desenvolvimento, onde a satisfação das necessidades das gerações atuais não comprometam a capacidade das gerações futuras conseguirem satisfazer, também, as suas próprias necessidades tanto a nível económico, social, como ambiental (Martinho et al. 2015).

O aumento da poluição e dos impactos ambientais fizeram com que a sustentabilidade e a proteção ambiental fossem o grande foco na atualidade, principalmente na área da embalagem. O crescimento excessivo do número de empresas e da produção neste setor, causado pela extensão do comércio online e das importações e exportações, culminou no aumento drástico do consumo e descarte das várias tipologias de embalagem. Esta necessidade de efetuar o seu transporte entre vários pontos, e cada vez mais distantes, levaram ao desenvolvimento de mais camadas protetoras – embalagem primária, embalagem secundária, inserto, e embalagem terciária (Hao et al. 2019; Coalition 2016). Desta forma, o aumento da quantidade de materiais utilizados numa embalagem, levaram a que as embalagens convencionais começassem a ser, na sua maioria, consideradas lixo ambiental, o que levou a que os materiais sustentáveis ou com base bio começassem a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento sustentável do setor de embalagem (Tumwesigye, Oliveira, e Gallagher 2016).

Atualmente estima-se que um terço do lixo doméstico é composto por embalagens, e que cerca de 80% das embalagens são descartadas após utilizadas uma única vez. Como nem todos os cidadãos optam por fazer reciclagem, este volume de lixo causado pelas embalagens acaba por se destinar, inapropriadamente, a aterros ou mesmo ao meio ambiente e oceanos, ficando a ocupar espaço desnecessário no ecossistema durante décadas bem como a causar a morte de diversas espécies.

A maior parte do lixo descartado no setor das embalagens pertence ao grupo dos plásticos, sendo a substituição deste o maior foco na atualidade. Estudos indicam que até 2015 o ser humano produziu cerca de 6.3 mil milhões de toneladas métricas de lixo plástico. Deste, apenas 9% foi reciclado, 12% encerado e os restantes 79% foram parar a aterros e ao meio ambiente. Desta forma, a percentagem de lixo descartado de forma incorreta e não reciclado tem vindo a aumentar, levando a estimar-se que até 2050 haja cerca de 12 mil milhões de toneladas métricas de lixo plástico distribuído por aterros, florestas e mares (Ministério do Meio Ambiente 2018).

Toda esta problemática levou a várias entidades a tomar medidas, entre elas, o Parlamento Europeu, que em 2019, aprovou a proibição da venda de produtos de plástico de utilização única em toda a União Europeia (UE) a partir de 2021 (Parlamento 2019).

Neste seguimento, a substituição das várias camadas de materiais tóxicos, que compõe uma embalagem, por biomateriais é um dos principais passos a dar no setor de embalagens para que este caminhe para um desenvolvimento sustentável, porém, não é o único. Desta forma, é essencial clarificar de que forma a sustentabilidade atua no setor de embalagens e colmata as suas falhas através de diversas diretrizes e métodos para se conseguir atingir uma embalagem ecologicamente correta, ou seja, com o menor impacto possível em meios biológicos e fisiológicos.

A sustentabilidade das embalagens passa por um esforço colaborativo de vários intervenientes, como governo, fábricas, empresas e consumidores e do estímulo por eles realizado para reduzir a pegada ambiental de um produto/ embalagem (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

A partir da revisão bibliográfica pode-se constatar que a sustentabilidade neste setor tenta atuar sobre todas as etapas do processo, e que só com o cumprimento de todas elas de forma não nociva para o meio ambiente e saúde humana é que uma embalagem pode ser caracterizada como “100%” sustentável (Martinho et al. 2015).

O crescente interesse da população pelas embalagens sustentáveis em comparação com as convencionais levou à análise deste comportamento, onde se tentou encontrar respostas para questões como: Qual a sua importância e de que forma estas interferem na escolha dos seus produtos? Que influência tem este tipo de embalagens na percepção de qualidade de um produto? E qual o comportamento do consumidor no pós-uso de uma embalagem?

Através da revisão bibliográfica conseguiu-se obter as respostas que comprovam que a preferência por embalagens sustentáveis na hora de compra é influenciada por vários fatores intrínsecos e extrínsecos a esta, onde a consciência e o conhecimento ambiental estão, quase sempre, na base dessas respostas (Barbaro-Forleo, Laroche, e Bergeron 2001) (Hao et al. 2019).

As embalagens sustentáveis também têm influência na percepção de qualidade de um produto, sendo que o aumento da preocupação da população pela sua saúde e bem estar, culminou também numa procura e exigência maior na seleção dos seus produtos, levando-os a avaliar os produtos embalados nestas embalagens sustentáveis como mais saudáveis, menos prejudiciais tanto para o ser humano como para o meio ambiente e, também, de melhor qualidade do que os embalados nas convencionais (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

As embalagens vão ser sempre uma preocupação, principalmente no pós-uso, pois uma embalagem para fechar o ciclo corretamente necessita que o consumidor cumpra a sua função na reciclagem. A forma como o consumidor se liga à reciclagem pode ser avaliada segundo duas teorias principais: teoria da ação racional (TAR); e teoria do comportamento planejado (TCP). Estas análises da reciclagem mostram que vários fatores podem influenciar as ações de reciclagem de um indivíduo, como a sua consciência ambiental, a sua educação, ou até mesmo a pressão social de quem os rodeia (vizinhos, amigos, família). Infelizmente nem todos são ativos nesta etapa do processo, e desta forma vários atores referenciados propõem uma maior e melhor divulgação e consciencialização acerca deste tema, de forma a apelar à intervenção de todos e conseqüentemente a corrigir estas lacunas no encerramento do ciclo de uma embalagem (Martinho et al. 2015; Meneses e Palacio 2005).

Aliado a um material bio, há quase sempre, o redesenho do design da embalagem e a reestruturação do processo produtivo. Materiais de base 100% orgânica não apresentam as mesmas propriedades de resistência mecânica que um material convencional, ou mesmo, como um material de compostagem industrial, em que a sua composição é parcialmente biológica sendo reforçada com produtos não naturais. Desta forma, o design da embalagem aliado ao material bio, é fundamental para se conseguir atingir uma maior resistência do mesmo.

No processo produtivo é fundamental avaliar todas as etapas de produção quer do material quer do inserto, de modo a manter a sustentabilidade em todo o processo. A redução do número de insertos distintos a utilizar no interior de uma embalagem, ou mesmo o desenvolvimento de um único inserto que se adapte aos dois lados do produto ou a todos os cantos do mesmo, levam a uma maior facilidade na produção e a uma redução significa-

tiva dos custos da mesma. Sempre que apenas se necessita de um molde para a produção dos diversos insertos de uma embalagem, o custo de produção reduz substancialmente quando comparado a outras, uma vez que só será necessário a produção de um único molde para uma única peça, se utilizará menos matéria-prima, haverá redução da área ocupada por estas peças em armazém, e cada camião levará mais peças em cada carga. Desta forma, pode-se afirmar que o desenvolvimento sustentável atua nas diversas etapas do setor de embalagens, com base nas suas três ramificações - económico, social, e ambiental (Hauschild, Jeswiet, e Alting 2004).

1.2

Fundamentação Do Tema

O tema “Desenvolvimento de embalagem compostável para produtos eletrônicos Bosch” surge no primeiro ano de “Mestrado em design industrial e de produto”, onde foi proposto pela empresa “BOSCH-Security Systems”, sediada em Ovar, uma investigação de materiais sustentáveis capazes de substituir o atual e poluente EPS (poliestireno expandido) utilizado pela empresa. Neste projeto, realizado por vários grupos, houve diversas propostas de materiais e formas aplicáveis aos produtos eletrônicos Bosch de 19 polegadas (482.6000 mm), mas, que acabaram por convergir em soluções em cartão, por preferência da empresa, devido a serem de fácil aplicação, de fácil transformação, recicláveis, e por já apresentarem um fornecedor Bosch capaz de produzir estes insertos num curto espaço de tempo. Este projeto, com duração de um ano letivo, apesar de eficiente na investigação de materiais e soluções para os produtos de 19 polegadas Bosch, deixou em aberto muitos outros produtos que ainda persistem no uso de EPS devido à falta de materiais sustentáveis capazes de o substituírem mecanicamente nestes produtos, que, devido ao seu elevado peso trazem uma dificuldade acrescida para o processo de investigação.

Desta forma, o tema estendeu-se para este segundo ano, sendo assim a base de investigação da presente tese de Mestrado. O briefing proposto pela empresa “Bosch-Security Systems” foi bastante restrito numa fase inicial, onde nos foi proposto a investigação de materiais que se enquadrassem, de preferência, no grupo dos biodegradáveis e compostáveis em casa, que não interferissem na cadeia alimentar, que fossem de baixo custo, que não emitissem toxidades para o meio ambiente ou as menores possíveis, que não soltassem partículas durante o processo de transporte, e que apresentassem propriedades mecânicas que lhes permitisse substituir o EPS nos produtos eletrônicos que ainda o utilizam como inserto no interior da embalagem.

Para a fase de design era crucial o desenvolvimento de uma embalagem que conseguisse adaptar-se ao produto e proteger este ao longo do transporte. Um dos principais objetivos era garantir uma maior sustentabilidade em todo o processo de fabrico e montagem do enchimento, sendo que um enchimento que necessite de um único molde ou que apresente um material que se adapte ao formato do produto irá assegurar uma redução do tempo de produção, uma redução da quantidade de matéria prima, redução das toxicidades lançadas ao longo do processo de produção, redução do tempo de montagem do enchimento no interior da embalagem, e, conseqüentemente, uma redução dos custos envolvidos.

A importância deste projeto, encontra-se na necessidade de encontrar soluções ambientalmente corretas, quer a nível de composição, produção, uso e pós uso, que possam vir a substituir materiais poluentes, como o EPS e o EPE (polietileno expandido), no setor de embalagem. O crescimento das vendas online e da necessidade do aumento deste setor e das tipologias por eles desenvolvidas, culminou num excessivo descarte de embalagens e conseqüente poluição e preocupação ambiental. Desta forma, este fator, levou a empresas, como a BOSCH, a tomar medidas drásticas para prevenir problemas ambientais, até ao momento, e inconscientemente, instigados por eles e pelos demais promotores deste setor – fabricantes, fornecedores, transportadores, empresas e utilizadores.

Para a sustentabilidade ser atingida, é necessário um esforço colaborativo de várias entidades que vão desde a extração e desenvolvimento do material até ao fim de vida do mesmo, sendo este essencial para o ciclo ser fechado corretamente e para o material não ser dirigido para locais incorretos onde possam causar danos irreversíveis no meio ambiente.

Um dos princípios a ser seguido na realização desta investigação, é a procura de materiais, que deve favorecer os materiais compostáveis em casa, para, desta forma, prevenir os comportamentos inconscientes dos utilizadores quanto ao descarte dos materiais que compõe uma embalagem. Uma embalagem de compostagem doméstica apresenta uma grande variedade de possibilidades de descarte – como compostor doméstico, compostor municipal, compostor industrial, lixo residual – e mesmo que seja descartada de forma incorreta no meio ambiente, como florestas e oceanos, não causa danos no meio ambiente nem em seres vivos e consegue degradar-se quase da mesma forma, não ocupando espaço desnecessário no ecossistema.

Esta investigação apresenta uma grande importância não só para a empresa Bosch, mas, também, para todas as empresas e setores de embalagem com consciência ambiental, que procuram soluções sustentáveis e capazes de substituir mecanicamente os materiais convencionais por eles utilizados.

A aprovação pelo Parlamento Europeu, relativamente à proibição de produtos e embalagens plásticas e em poliestireno expandido (Figura 4) de única utilização ou de utilização por um curto período de tempo, a partir de 2021 (Lusa 2018), tornam esta investigação um grande avanço para a empresa Bosch, que pode iniciar o seu percurso na eliminação total de embalagens e seus enchimentos plásticos e em EPS e conduzir outras empresas a aumentar a sua consciencialização ambiental e a caminharem no mesmo sentido, promovendo assim um planeta mais saudável.



Figura 4: Poluição causada por produtos de plástico e poliestireno expandido.

1.3

Objetivos

Metas pré-definidas

A presente investigação, centra-se no estudo de materiais sustentáveis, essencialmente biodegradáveis, compostáveis e com bases orgânicas, que apresentam propriedades mecânicas capazes de substituir o atual e poluente EPS no embalamento de produtos eletrônicos Bosch. Para o embalamento de produtos eletrônicos é necessário que o material envolvente apresente capacidades mecânicas que impeçam que este se danifique ao longo do processo de transporte. A resistência à queda e o alto teor de amortecimento são fundamentais para que este cumpra a sua função, de seguida, a ausência de largada de partículas que possam danificar o produto, a resistência à compressão e a alta resistência à humidade e a temperaturas variáveis são outros fatores fundamentais para que o material possa substituir o EPS no embalamento destes produtos.

O principal objetivo é tentar responder à problemática da falta de sustentabilidade no setor de embalagens atuando sobre um dos materiais mais problemáticos – EPS – material concebido à base de petróleo, de difícil descarte, e grande causador da poluição devido às toneladas que são descartadas diariamente, na maioria de forma indevida, indo parar ao meio ambiente e oceanos onde permanecem sem se degradarem e causando a morte de inúmeras espécies de animais aquáticos e de aves.

Para esta investigação, objetiva-se, assim, encontrar vários materiais que respondam ao principal requisito de biodegradável/ compostável, e realizar um contato direto com fornecedores de forma a conseguir amostras de grande parte dos materiais, fichas técnicas, bem como conhecer as várias etapas do seu processo de produção. Numa fase posterior, espera-se analisar todos os materiais recolhidos, realizando testes mecânicos que ajudem na sua comparação direta com o EPS.

Após se chegar a um material que responda às restrições impostas para o desenvolvimento deste projeto – biodegradável/compostável, base orgânica, fácil produção, baixo custo, com fornecedor, fácil descarte, e com propriedades mecânicas capazes de proteger o equipamento durante o transporte e numa possível queda – objetiva-se também, na fase de design, a projeção de um inserto que permita economizar na embalagem total, e aumentar a sustentabilidade nas várias fases do processo produtivo e de descarte.



Figura 5: Poluição ambiental.

1.4

Metodologias

Procedimentos utilizados

O desenvolvimento desta investigação seguiu uma metodologia sequencial composta por várias etapas imprescindíveis para se conseguir alcançar a resposta ao briefing proposto.

Numa primeira fase houve uma organização e esquematização de todas as etapas e temas a abordar no desenvolvimento desta investigação de mestrado. Aqui foram ordenadas todas as etapas por uma ordem previamente planeada, para que tanto a investigação como a fase de desenvolvimento fossem realizadas por uma ordem lógica, e, desta forma, a primeira divisão foi feita por capítulos principais- Introdução, estado de arte, estudo de mercado, caso de estudo e considerações finais.

No primeiro capítulo, realiza-se um enquadramento geral do tema, onde é realçada a importância da problemática e a necessidade de responder a esta na atualidade. Este capítulo também é composto pela fundamentação do tema, objetivos, e as metodologias adotadas.

No segundo capítulo seguiu-se a etapa de investigação, cuja metodologia assenta numa pesquisa bibliográfica intensa dos temas selecionados, através de referências bibliográficas retiradas de plataformas legítimas como Science Direct. A fase de investigação foi essencialmente baseada em artigos científicos e outras teses de investigação similares. Os temas abordados neste capítulo passam pelo estudo dos biomateriais e de todos os subtemas relacionados com o fim de vida e certificações ambientais deste tipo de materiais. São, também, abordados temas ligados à perspetiva do consumidor em relação às embalagens sustentáveis e que influência estas têm no seu processo de escolha de produtos e na sua perspetiva de qualidade de um produto.

Após ter-se adquirido conhecimento suficiente para selecionar qual o caminho mais correto a seguir na seleção de materiais, elaborou-se o terceiro capítulo, a pesquisa de mercado, onde foi realizada uma investigação de empresas e respetivos materiais sustentáveis que se inseriam no grupo dos compostáveis industrialmente e dos compostáveis domesticamente. Nesta investigação houve o cuidado de se explorar materiais que além de sustentáveis, apresentassem características viáveis para o embalamento de produtos eletrónicos Bosch. Esta investigação, além de consistir na pesquisa de espumas compostáveis e respetivos fornecedores, também consistiu numa procura de filmes compostáveis domesticamente para fazerem parte da embalagem final, de forma a substituírem os sacos de acessórios recicláveis. Exemplos de outros insertos e embalagens sustentáveis presentes no mercado, também fazem parte deste capítulo, de forma a instigar que esta investigação já tem vindo a ser feita por várias empresas que foram procurando soluções que auxiliassem na diminuição da sua pegada ambiental.

A etapa seguinte, caso de estudo, foi composta essencialmente pelo contacto com as empresas e fornecedores dos materiais considerados mais viáveis, de forma a se conseguir amostras, fichas técnicas, dados mais concisos sobre o material, e detalhes do processo de produção. Não foi possível obter amostras de todos os materiais para testes posteriores, porém, foi possível realizar visitas guiadas e reuniões com algumas empresas nas quais se conseguiu obter informações mais aprofundadas, acompanhar o processo de produção e ainda conhecer outros materiais que ainda não estão disponíveis no mercado.

De seguida realizou-se a organização e síntese da informação obtida num documento separado. Este documento apresenta toda a informação obtida de cada material com as respetivas fontes, as imagens de cada material já respetivamente referenciadas, e o contacto e toda a informação trocada com o fornecedor.

Posteriormente foram realizados testes mecânicos a todos os materiais considerados viáveis e que foi possível obter-se amostras do fornecedor. Nestes testes objetivava-se atingir um material com resistência à humidade e temperaturas variáveis e com elevada resistência ao impacto/amortecimento. Depois de modelado o inserto neste material e inserido numa embalagem Bosch, espera-se do material uma elevada resistência à compressão – suportar o peso de outras embalagens sobre si numa palete; resistência à vibração – sem soltar partículas; e, sobretudo, resistência à queda – suportar um conjunto de quedas em várias faces, arestas e esquina sem o produto sofrer quaisquer danos.

Estas propriedades serão comparadas em testes distintos onde será possível analisar o comportamento de cada material e, posteriormente, comparar todos os dados com os do EPS.

O capítulo do caso de estudo consistiu, assim, essencialmente na execução e análise dos testes mecânicos. Neste capítulo, os materiais considerados mais viáveis passaram por uma série de testes de forma a medir as suas propriedades mecânicas e de que forma estas respondiam ao briefing proposto. Após a realização desta sequência de testes foram realizadas tabelas comparativas dos materiais com os respetivos resultados, de forma a comprovar a seleção do material e a sua viabilidade.

Após a seleção e justificação do material, seguiu-se, ainda no caso de estudo, a fase de desenvolvimento do inserto, onde, numa primeira fase, foi realizado por parte do fornecedor, um protótipo do inserto com as mesmas características e o mesmo design do inserto em EPS já utilizado pela Bosch. Esta fase foi crucial para uma comparação direta dos insertos no novo material com o antigo EPS. Aqui foi possível realizar um conjunto de três testes mecânicos – teste de compressão, teste de vibração e teste de queda livre – às embalagens com os dois materiais e realizar tabelas comparativas de forma a validar o material selecionado.

Posteriormente, dá-se um segundo desenvolvimento, onde são analisados os pontos positivos e negativos do inserto desenvolvido pela Bosch, e são rematadas as falhas com o desenvolvimento de um inserto adaptado à resolução dessas mesmas falhas.

Por fim, o capítulo das considerações finais, é composto pelas conclusões retiradas do desenvolvimento de toda a investigação, desde a fase de procura do material à fase de implementação do novo inserto de embalagem, e pelas perspetivas futuras relacionadas com o resultado final deste estudo.

1.5

Constrangimentos

Limitações no processo

Ao longo de todo o desenvolvimento deste projeto de investigação foram surgindo obstáculos que dificultaram o cumprimento dos tempos definidos para cada etapa.

Na fase de investigação dos materiais encontrou-se dificuldade em obter resposta de todos os fornecedores bem como amostras e fichas técnicas. Existiu também falhas na comunicação de alguns fornecedores que apresentavam o material de forma distinta da que aparecia descrita na ficha técnica, o que levou a um trabalho extra de análise de alguns materiais.

No decorrer dos testes mecânicos houve dificuldade em criar amostras com dimensões similares e conseguir testar no mínimo duas amostras por material, devido à reduzida quantidade e tamanho das amostras que nos foram enviadas pelos fornecedores.

Com a proximidade da fase final, foi difícil cumprir o tempo estipulado para a prototipagem e consequentes testes mecânicos, devido à longa demora, por parte dos fornecedores, na realização dos moldes e protótipos, que levou ao atraso das fases seguintes.



Figura 6: Muda.



Figura 7: Plantas

2

ESTADO DE ARTE

Este segundo capítulo – Estado de Arte – relativo à parte de desenvolvimento e revisão bibliográfica desta investigação de mestrado, é composto por quatro subcapítulos principais que auxiliam na justificação e complementação do tema principal. Desta forma, os subcapítulos abordados são, respetivamente: os biomateriais; a sustentabilidade no setor das embalagens; o impacto das embalagens sustentáveis no consumidor; e as normas e requisitos de uma embalagem.

O primeiro subcapítulo – os biomateriais – descreve o que são os biomateriais, em que grupos se dividem, e exemplos de materiais que se inserem em cada um dos grupos, de forma a sustentar a seleção do grupo mais indicado para dar resposta ao briefing proposto pela empresa Bosch. Este subcapítulo também aborda outros temas relacionados com os biomateriais e imprescindíveis para a sua total compreensão, como: o seu fim de vida; as normas e certificações ambientais; e o seu Lyfe cycle assessment.

O subcapítulo relativo à – sustentabilidade no setor das embalagens – visa clarificar o porquê deste setor ser tão problemático na poluição ambiental e que medidas estão a ser tomadas para reverter esta situação. O terceiro subcapítulo que aborda o tema do – impacto das embalagens sustentáveis no consumidor – pretende salientar e justificar a importância destas embalagens através da perspetiva do consumidor, de explorar qual a perceção de qualidade por parte deste em relação a uma embalagem sustentável e de que forma os consumidores se relacionam com o ato de reciclar.

O quarto, e último, subcapítulo – normas e requisitos de uma embalagem – tenciona analisar todas as etapas e testes mecânicos a que um material e uma embalagem estão sujeitos durante o seu processo de validação. Este tema é um dos mais importantes pois, são aqui, estabelecidas, todas as diretrizes para a parte prática do projeto. Todos os requisitos e parâmetros explorados neste subcapítulo seguem a orientação da empresa em questão – Bosch.

2.1

Os Biomateriais

Divisão dos biomateriais

Desde que as embalagens convencionais começaram a ser, na maioria, consideradas lixo ambiental, os materiais sustentáveis ou com base bio começaram a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento sustentável das embalagens (Tumwesigye, Oliveira, e Gallagher 2016).

Para os materiais poderem ser classificados como biomateriais têm que cumprir alguns requisitos, sendo que o principal é a biocompatibilidade, ou seja, a capacidade do material ser colocado em contato com tecidos biológicos sem causar respostas indesejáveis tanto por parte do material como do meio biológico.

Os biomateriais, como se pode observar na Figura 8, podem ser divididos em dois grupos distintos: os bioinertes e os biodegradáveis. Esta divisão tem elevada relevância para o desenvolvimento desta investigação, pois é o ponto de partida para a definição e classificação do grupo de materiais com maior viabilidade para o setor de embalagens.

Segundo a revisão bibliográfica realizada, pode-se afirmar que os bioinertes contêm os materiais, que, quando colocados em contato com um tecido biológico, não criam um “hospedeiro” como resposta, ou seja, os tecidos do material não permitem que os tecidos do meio biológico ou fisiológico se unam ou se fundam com estes, decompondo-os. Esta tipologia de materiais é a mais utilizada na área das próteses / cirurgia ortopédica na atualidade, pois além de não permitir que os seus tecidos sejam ocupados pelos tecidos biológicos também não os danifica, nem liberta toxicidades para estes.

Dentro dos bioinertes pode-se encontrar materiais como Titânio (Ti), Aço inoxidável (liga de ferro + cromo) e ligas de cobalto-cromo (Co-Cr). O grupo de materiais classificados como inertes, apresentam elevadas propriedades mecânicas mas, tal como todos os outros, também apresentam desvantagens, sendo uma das principais o efeito de “stress shielding”, e certas falhas existentes no material que podem levar à necessidade de cirurgias subsequentes, ou seja, pode obrigar à realização de outra/as cirurgias posteriores para corrigir estas falhas ou para troca da “peça”.

As desvantagens deste grupo de materiais levaram à criação e classificação de um novo grupo – biodegradáveis alternativas. Este grupo, e os materiais que o compõe, não só conseguem corrigir as desvantagens do anterior como têm a capacidade de se degradar, ou seja, quando colocados em contato com um tecido biológico conseguem desenvolver um “hospedeiro”, sendo assim fundidos com o tecido natural num determinado espaço de tempo.

Desta forma, entende-se por materiais biodegradáveis “(...) materiais ou compósitos que se desintegram num determinado período após a sua implantação num ambiente biológico” (Godavitarne et al. 2017).

Esta tipologia de materiais já foi descrita de distintas formas ao longo dos tempos, incluindo “absorvíveis, reabsorvíveis e degradáveis”, sendo este último o mais apresentado na atualidade (Tumwesigye, Oliveira, e Gallagher 2016).

Segundo (Godavitarne et al. 2017) um material para poder ser classificado como biodegradável, tem de cumprir vários parâmetros, entre eles:

- Não podem danificar nem poluir meios biológicos (o seu contato com o meio biológico ou fisiológico não pode causar uma resposta inflamatória ou tóxica sobre este);
- Tem que apresentar um tempo de degradação (o material pode ser considerado biodegradável e ter um tempo de degradação extenso, como 5 anos por exemplo, mas para obter certificação ambiental tem de apresentar um tempo de

degradação de 6 meses em compostagem industrial, ou de 12 meses em compostagem doméstica);

- Apresentar propriedades mecânicas que satisfaçam a sua finalidade (no caso das embalagens, deverá apresentar resistência ao impacto, à humidade, a temperaturas variáveis, à compressão e vibração);
- Na sua composição tem que conter produtos/elementos degradáveis ou naturais e não componentes tóxicos;
- Tem que conter um prazo de validade considerável (não se decompor de imediato, ou sobre qualquer ambiente, pois apesar de não existir uma validade aceitável pré-definida, cada biomaterial tem de ser analisado sobre condições de humidade e temperatura visando definir se é viável ou não para o setor em que está a ser estudado);
- Apresentar características de permeabilidade que corroborem com a finalidade pretendida.

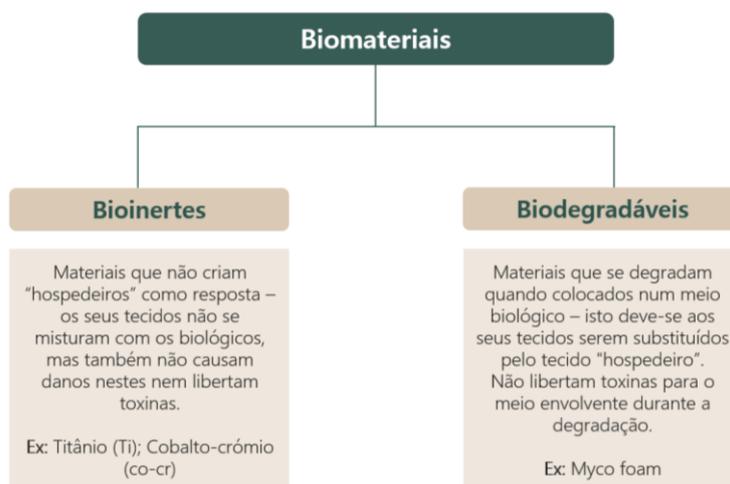


Figura 8: Síntese da divisão dos Biomateriais.

2.1.1 Divisão dos Biomateriais Biodegradáveis

Os materiais biodegradáveis são compostos essencialmente por quatro grupos: os polímeros, os metais, as cerâmicas e os compósitos, tal como podemos observar na figura 9.

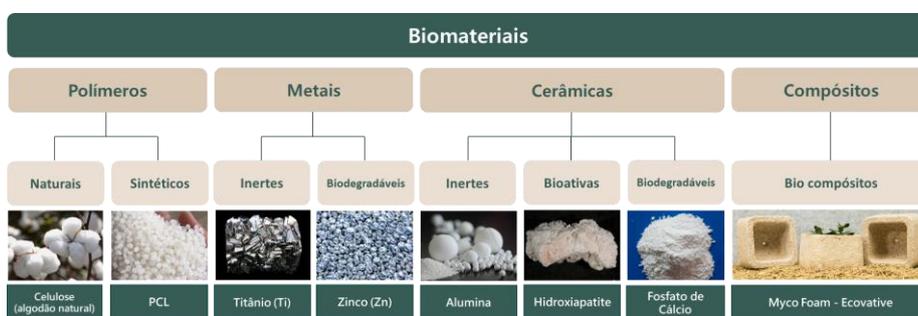


Figura 9: Esquema síntese das tipologias que compõe os biomateriais.

Bio Polímeros

Segundo a bibliografia consultada, os polímeros biodegradáveis são materiais que se degradam em dióxido de carbono, água e biomassa, através da ação de organismos vivos ou enzimas. Esta tipologia de polímeros é classificada em dois grupos com base na sua origem, ou seja, natural ou sintética.

Os polímeros biodegradáveis naturais são essencialmente utilizados em produtos farmacêuticos devido à sua abundância na natureza, biodegradabilidade, biocompatibilidade com tecidos e células, fácil modificação da sua superfície e menor toxicidade. Atualmente existem diversas aplicações deste tipo de polímeros em embalagens alimentares (George, Shah, e Shrivastav 2019). Deste grupo de polímeros naturais fazem parte os polissacarídeos – Amido, celulose, dextrano, pectina, quitina e quitosana, lignina, gelano, xantano e pululano –, as proteínas – colagénio e gelatina, caseína, glúten de trigo e milho, soja e polipeptídeos de ácido aspártico e lisina –, os lípidos, e por fim, os poliésteres – no grupo de origem microbiana temos o PHA, PHB, PHB/PHV, e o PCL, e no grupo de origem biotecnológica o PLA (Fechine 2013).

Os polímeros biodegradáveis sintéticos, tal como o nome indica, e em oposição aos naturais, são produzidos em laboratório, podendo ser compostos de monómeros derivados tanto da indústria petroquímica como de materiais renováveis, sendo que para se degradarem necessitam, maioritariamente, de ambientes controlados (compostagem industrial). Esta classe de polímeros tem sido muito aplicada no setor da biomédica, mais concretamente em fixadores nas cirurgias (estruturas, clips, pinos para ossos, entre outros) (Marconato 2006). Desta tipologia de polímeros fazem parte o grupo de poliésteres alifáticos (PLA, PGA, PBS e PCL), de poliésteres aromáticos como PBT e o grupo de poliacoolvinílico como PVOH (Fechine 2013; Miagusuku 2018).

A substituição dos polímeros convencionais pelos polímeros biodegradáveis naturais e sintéticos no mercado ainda não é significativa, mas deverá ser mais intensificada num futuro próximo uma vez que esta tipologia de polímeros gera resíduos de curta duração e com uma

menor ou, muitas das vezes inexistente, quantidade de toxicidades. E, devido a estes fatores, a pesquisa neste ramo tem vindo a ser massificada, havendo atualmente uma variedade de polímeros biodegradáveis com propriedades mecânicas semelhantes aos convencionais, o que os torna capazes de realizar esta substituição assim que necessária (Marconato 2006).



Figura 10: Esquema síntese dos bio polímeros.

Bio Metais

Os metais, ou os bio metais, encontram-se divididos em dois grupos – biodegradáveis e inertes.

Os metais biodegradáveis surgem como uma alternativa aos implantes metálicos utilizados na biomédica. Estes implantes durante muitos anos foram realizados com metais inertes com o objetivo de não degradarem nem misturarem com o tecido biológico do ser humano, porém, esta alternativa, mesmo que não prejudicial para o ser humano, necessitava, muitas

vezes, de cirurgias subsequentes, de forma a retirar o implante após já ter cumprido a sua função, ou até mesmo para a troca do mesmo. Desta forma investigadores desenvolveram novas alternativas visando oferecer implantes com maior desempenho clínico e que pudessem ser utilizados em problemas clínicos específicos (fraturas ósseas e bloqueio de vasos) onde apenas é necessário o suporte temporário de um implante no processo de cicatrização dos tecidos (Li, Zheng, e Qin 2014). Este implante só pode assim ser desenvolvido com base em biomateriais degradáveis que permitem que o implante se degrade progressivamente após cumprida a sua função de cicatrização, sendo que estes suportam até no mínimo 12 semanas sem se degradarem. A seleção destes materiais passa por metais e ligas metálicas que podem ser metabolizados pelo corpo humano, como metais com base em magnésio (Mg), zinco (Zn) e ferro (Fe) (Zheng, Gu, e Witte 2014; Fernanda 2019).

Os metais inertes ou bioinertes são os mais utilizados em implantes nas cirurgias ortopédicas, pois tem a vantagem de não criarem hospedeiro, ou seja, não se misturam com o tecido biológico, não se degradam nem se desintegram, porém, em contrapartida, os implantes realizados com estes materiais, e como já foi mencionado anteriormente, necessitam de cirurgias subsequentes para remoção ou troca. Deste grupo fazem parte metais como o Titânio (Ti) (Godavitarne et al. 2017).

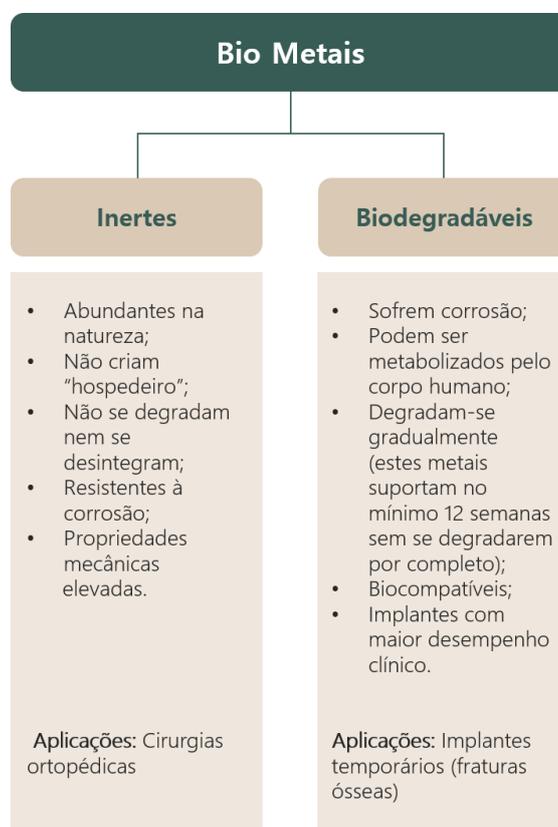


Figura 11: Esquema síntese dos bio metais.

Bio Cerâmicas

A necessidade do avanço da medicina e odontologia – próteses e implantes – aliados ao aumento da expectativa de vida têm levado a estudos e implementação de materiais que possibilitem uma substancial melhoria na qualidade de vida de grande parte da população.

Estes estudos levaram às cerâmicas biodegradáveis como um material viável e de qualidade para substituição total ou parcial de ossos fraturados por implantes, sendo que este material permite a produção de próteses/implantes odontológicos, ao contrário das próteses removíveis. As cerâmicas biodegradáveis têm vindo a substituir os implantes metálicos pois apresentam a vantagem de se assemelharem mais ao tecido do osso e da dentição.

As bio cerâmicas que podem ser incorporadas no corpo humano estão divididas em três grupos segundo três classificações dos biomateriais – inertes, biodegradáveis e bioativas.

As cerâmicas inertes não causam nenhuma resposta por parte dos tecidos biológicos, sendo assim aplicadas em situações onde há a necessidade de não haver degradação e de existir uma maior longevidade da peça. Um exemplo de um material cerâmico inerte é a alumina, um material altamente resistente à maioria dos ambientes corrosivos, incluindo o corpo humano. Este material sob condições fisiológicas é praticamente inerte, causando pouca ou nenhuma resposta dos tecidos em volta e mantendo-se praticamente inalterado.

As cerâmicas bioativas estimulam a ligação com o tecido vizinho, visando estimular de novo o crescimento ósseo – osseointegração. Este tipo de cerâmicas são também biocompatíveis com os tecidos do ser humano. Um dos exemplos deste grupo de cerâmicas é a hidroxiapatite, que apesar das suas propriedades mecânicas não serem indicadas para aplicações ortopédicas onde são necessárias a resistência à carga, as suas qualidades descritas anteriormente permitem que seja utilizada como cobertura de materiais metálicos, como o titânio e suas ligas, onde as suas propriedades bioativas contribuem para que haja uma maior osseointegração entre o metal e o osso.

As cerâmicas biodegradáveis, ou reabsorvíveis, misturam-se com o tecido biológico, e podem ser completamente dissolvidos após um determinado período de tempo. Este tipo de cerâmicas são comumente utilizadas em próteses temporárias, onde são apenas necessárias no corpo humano num curto espaço de tempo para cumprirem a sua função. A maior vantagem deste tipo de próteses é o facto de dispensar de cirurgias subsequentes para ser retirada. Um exemplo desta tipologia de cerâmicas é o fosfato de cálcio. As cerâmicas de fosfato de cálcio têm-se destacado no grupo das biocerâmicas por apresentarem ausência de toxicidade local ou sistêmica, ausência de respostas a corpo estranho ou inflamações, e elevada compatibilidade ligando-se ao tecido hospedeiro. As qualidades deste material são explicadas pela natureza dos componentes que o constituem – íons de cálcio e fosfato – que participam ativamente no equilíbrio iónico entre o fluido biológico e a cerâmica (V. V. C. Azevedo 2008; Elizabete Y. Kawachi 2000; Misch 2015).

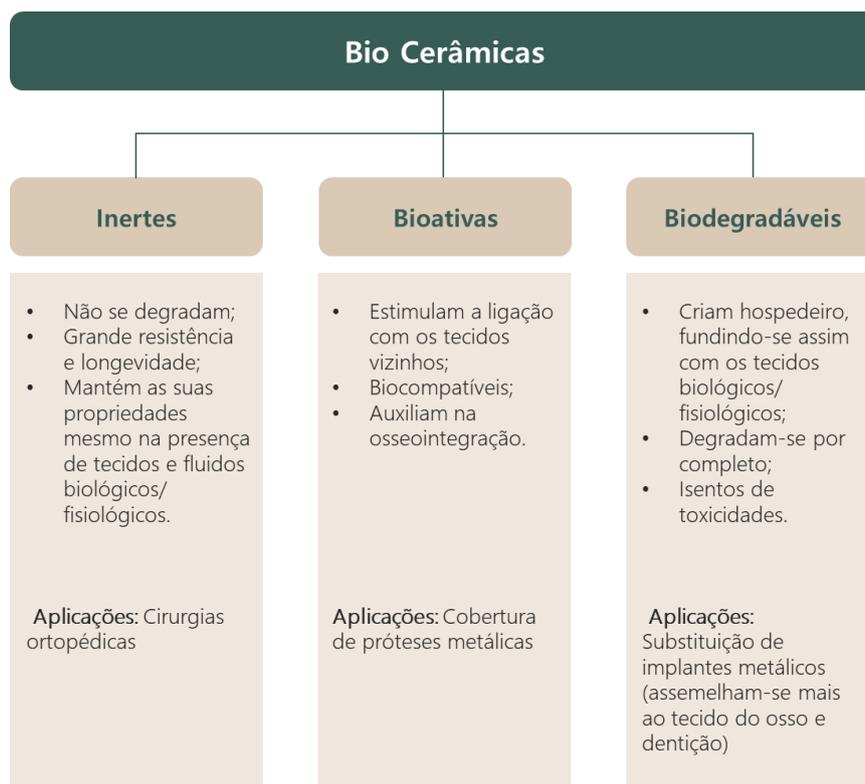


Figura 12: Esquema síntese das bio cerâmicas.

Compósitos

Os materiais compósitos e bio compósitos apresentam como vantagem poderem aproveitar as diferentes forças e capacidades dos materiais que os compõe, visto que apresentam sempre mais de um componente na sua composição. Estes materiais podem ser reforçados através da junção de elementos que podem incluir fibras sintéticas; fibras vegetais – como algodão, lignina, cânhamo, fibra de sisal, fibra de coco, juta, cana de açúcar, soja, casca de arroz, milho; fibras de madeira reciclada, resíduos de papel, ou até subprodutos da produção de alimentos. As matrizes, além de metálicas ou cerâmicas, também podem ser poliméricas, idealmente derivadas de fontes renováveis, como óleos vegetais ou amidos. A principal característica destes materiais é a disponibilidade dos componentes, o preço razoável, e a biodegradabilidade e biocompatibilidade com o meio ambiente, o que levou a que muitas empresas começassem a investir neste setor de materiais e na investigação de novas soluções (Srebrnikoska et al. 2014).

Os materiais compósitos apresentam distintas aplicações industriais, ligadas à área da construção, engenharia, e tendo uma grande parte emergido na indústria automóvel. Na aplicação destes materiais nos setores industriais, como na construção, tendem a combinar dois ou mais materiais em que os elementos permanecem distinguíveis, e não totalmente ho-

mogeneizados. Um exemplo destes materiais compósitos é o betão, que utiliza o cimento como material base em combinação com o cascalho como reforço. Outro exemplo de um material compósito utilizado na construção e que visa aproveitar as propriedades de todos os elementos que o compõe é o tijolo de barro e palha, onde a lama é um excelente material de ligação, porém não apresenta resistência à compressão, e a palha é utilizada como um tipo de fibra, que além de ser 100% biológica, também apresenta resistência à compressão, sendo que não se desfaz nem quebra, e, por isso, serve para reforçar a ação aderente da lama. Desta forma os estudos realizados nos últimos anos no campo dos compósitos incidem na procura e desenvolvimento destes materiais compósitos que ajudam na projeção de objetos mais resistentes, mas, contudo, mais leves (Suprimento 2018).

Devido à sua capacidade de renovação, a pesquisa e o desenvolvimento destes materiais tem vindo a aumentar bem como as suas possíveis aplicações, estando a direcionar-se para outros setores industriais como o setor de embalagem – espumas e filmes (Correa, Montalvo-Navarrete, e Hidalgo-Salazar 2019).

Um bom exemplo de um bio compósito é o material Myco Foam, um material desenvolvido pela empresa Ecovative à base de micélio e resíduos agrícolas. Este material com ambas as bases 100% orgânicas entrou no mercado para combater o poluente EPS apresentando soluções para a sua substituição no setor de embalagens. Este material usa o poder dos organismos vivos para criar uma alternativa às embalagens convencionais, sendo que é desenvolvido a partir de um processo de fabrico também ele sustentável, onde os componentes crescem num molde, e num ambiente isento de luz, durante cinco dias, evitando, assim, emissões tóxicas praticamente em todo o seu ciclo de vida. Este material é biodegradável e compostável no fim de vida, dissolvendo-se no meio ambiente sem criar danos e agindo como um componente nutritivo para o solo (Abhijith, Ashok, e Rejeesh 2018).

Os materiais bio compósitos apresentam uma vantagem sobre os compósitos e as demais tipologias devido à disponibilidade ilimitada dos componentes, devido a serem provenientes de fontes renováveis; conterem componentes menos abrasivos; serem menos agressivos para o meio ambiente; e em alguns dos casos, os bio compósitos podem apresentar aumento do módulo de elasticidade/rigidez; aumento da resistência mecânica (tração, flexão, compressão); aumento na temperatura de deflexão térmica (HDT), entre outras (Miagusuku 2016).

Os materiais biocompósitos apresentam, assim, diversas vantagens para o meio ambiente, porém, a nível de propriedades mecânicas necessitam de alguns cuidados para que estas não sejam reduzidas antes de cumprida a sua função. O processamento dos bio compósitos é, assim, complexo pois devido à sua composição através de fibras naturais vegetais, a absorção de água poderá causar vapores durante o processamento, promovendo porosidades na peça, levando à diminuição das suas propriedades mecânicas, e à possível antecipação e aceleração da degradação (Miagusuku 2016).

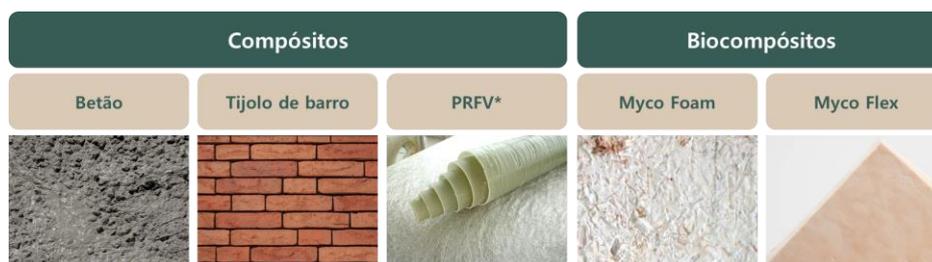


Figura 13: Esquema síntese dos materiais compósitos.

2.1.2 Fim de vida dos Biomateriais

Existem vários processos que visam a eliminação dos vários tipos de materiais no seu fim de vida – compostagem industrial, compostagem doméstica, digestão anaeróbica, incineração, reciclagem química e reciclagem mecânica. Os processos de eliminação foram gerados para combater as quantidades de desperdícios que eram gerados diariamente de forma insustentável, porém nem todos são regidos de forma ambientalmente correta durante o processo de eliminação, emitindo gases tóxicos para o meio ambiente, tais como dióxido de carbono (CO_2), dióxido de enxofre (SO_2), dióxido de azoto (NO_2), dioxinas, entre outros.

O fim de vida dos biomateriais é um tema controverso, pois, sendo os biomateriais os substitutos dos materiais poluentes convencionais, não podem ter um processo de fim de vida que gere a mesma poluição que estes. Desta forma, os processos de eliminação dos biomateriais têm se concentrado no desempenho ambiental das opções biológicas de tratamento de resíduos como a compostagem e a digestão anaeróbica.

Atualmente houve uma crescente preocupação pela criação de biomateriais ou de materiais de base biológica – como o PLA – que pudessem substituir os materiais convencionais, melhorando substancialmente a sua sustentabilidade em todas as etapas do ciclo de vida. As opções de tratamento destes biomateriais fornecem diferentes condições – temperatura, oxigênio e microorganismos – encarregues pela decomposição destes, sendo que a composição de cada material irá delinear quais as condições ideais para a sua rápida e eficaz degradação.

Os biomateriais, para completarem um ciclo de vida sustentável, devem ter um fim de vida que passe pela compostagem (industrial ou doméstica) ou pela digestão anaeróbica. Estas duas tipologias de tratamento de resíduos são exemplos de processos de biodegradação aeróbica e anaeróbica, respectivamente, que resultam na formação de gases (CO_2 , CH_4 e N_2O), água e composto (Hermann et al. 2011). Dentro da tipologia dos biomateriais, os biodegradáveis são os únicos que conseguem apresentar um fim de vida que passe por estes meios de tratamento de resíduos – compostagem industrial e doméstica e digestão anaeróbica – sendo estes, portanto, o foco deste estudo.

PRFV* – Plástico reforçado com fibra de vidro.

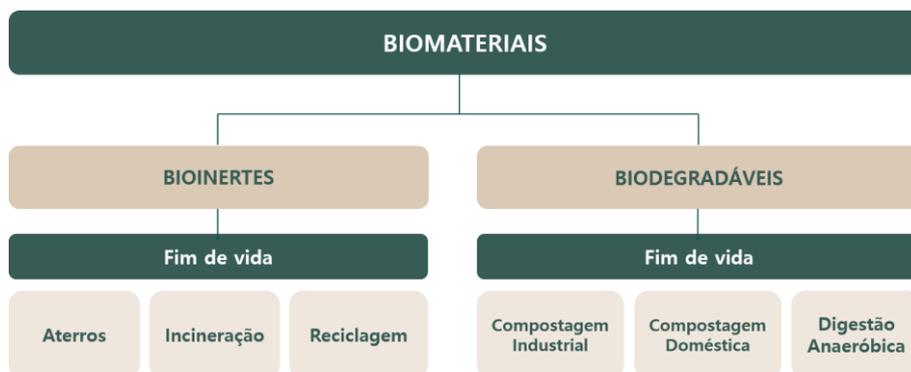


Figura 14: Fim de vida dos biomateriais.

Compostagem Industrial

Na compostagem industrial as bactérias e os fungos degradam a matéria sob condições aeróbicas (na presença de oxigénio) e num ambiente com temperaturas elevadas. Em comparação com a compostagem doméstica, a compostagem industrial não só atinge temperaturas mais elevadas, como a matéria é envolvida com mais frequência, com o objetivo de garantir uma maior homogeneidade, e, conseqüentemente, uma degradação mais rápida desta (Hermann et al. 2011). A compostagem industrial é utilizada na transformação eficaz dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em adubos através do controlo otimizado das condições do processo – humidade, oxigénio, temperatura, etc. – e da presença de possíveis agentes contaminantes na matéria-prima – resíduos de metais pesados ou de substâncias inertes – ou de microrganismos patogénicos para a agricultura. Ao longo deste processo dominam as emissões de dióxido de carbono (CO_2), de H_2O e de óxido nitroso (N_2O) (PRS 2013). Desta forma, afirma-se que o processo de compostagem industrial apresenta inúmeras vantagens para o meio ambiente, sendo elas:

- Ao longo do processo de decomposição da matéria, ocorre, essencialmente, a formação de CO_2 , H_2O e biomassa* (húmus), pois, devido a ser um processo de fermentação aeróbico, permite que não ocorra a formação de gás metano (CH_4), altamente nocivo para o meio ambiente, e 23 vezes mais prejudicial para o aquecimento global que o dióxido de carbono (CO_2);
- Redução da quantidade de lixo destinada aos aterros;
- Revalorização e aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes essenciais para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de patógenos devido às temperaturas elevadas atingidas no processo de compostagem (Verde 2014).

Biomassa* – "(...) É a fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da floresta e das indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos." A combustão da biomassa é utilizada para produção de energia (ex: pellets) (energia.pt 2001).

Compostagem Doméstica

Na compostagem doméstica as bactérias e os fungos degradam a matéria sob condições aeróbicas e sob temperatura ambiente (5° a 30°C). Em comparação com a compostagem industrial, aqui a biomassa permanece a temperaturas baixas e a sua mistura é menos frequente, o que leva a que a sua degradação se dê mais lentamente (Smith e Jasim 2009; Hermann et al. 2011). A compostagem doméstica é um procedimento utilizado pela população de forma a conseguir gerir por conta própria os resíduos orgânicos produzidos em ambiente doméstico (de origem essencialmente alimentar). Este tipo de procedimento é realizado nas habitações com jardim, horta ou terraço e ainda pode ser realizada no interior através de um compostor doméstico apropriado – recipiente que favorece a oxigenação e ajuda a reter calor durante o inverno – sendo que o local selecionado para realizar a compostagem doméstica influencia diretamente o tempo de degradação da matéria. O composto ou biomassa gerado neste processo é sobretudo utilizado como adubo para hortas e jardins. A compostagem doméstica acarreta uma grande consciência e responsabilidade ambiental e auxilia na redução significativa do peso e volume dos resíduos sólidos urbanos que nem sempre são transportados e eliminados corretamente (PRS 2013). Desta forma, a compostagem doméstica tem um papel fundamental no correto tratamento dos resíduos orgânicos, uma vez que, 40% do lixo que os Portugueses descartam diariamente, no ecoponto residual, corresponde a bioresíduos que podiam ser valorizados para produção de energia (biogás) e para produção de composto útil para a agricultura, porém, infelizmente isso não acontece a mais de 70% dessa fração orgânica que é descartada. Outro fator que leva a esta percentagem é a falta, e quase inexistência, de postos coletivos onde se deveriam descartar estes resíduos, bem como postos para os produtos de compostagem industrial para serem direcionados para centros de compostagem mecânica onde seriam valorizados e transformados em composto e energia (ZERO 2017).

Digestão Anaeróbica

Na digestão anaeróbica (conhecida também por biogasificação ou biometanização) apenas as bactérias são responsáveis pela degradação da biomassa e sob condições ambientais anaeróbicas (ausência de oxigénio). Este processo divide-se em duas tipologias – digestão termofílica (degradação a temperaturas entre 50°C a 60°C), e digestão mesofílica (degradação a uma temperatura de 35°C aproximadamente). A diferença de temperatura, entre estas duas tipologias de digestão, influencia principalmente a velocidade da degradação da biomassa (Hermann et al. 2011). Em ambiente anaeróbico existem diversos parâmetros que afetam a velocidade das reações das diferentes etapas. Entre estes salientam-se a temperatura, o pH, os nutrientes, a agitação, o teor de sólidos e a toxicidade e inibição de algumas espécies químicas. Os produtos finais da digestão anaeróbia são o biogás, constituído essencialmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e o composto, utilizado como fertilizante orgânico para solos. A digestão anaeróbica tem vindo a ser uma tendência devido à probabilidade dos países adotarem leis que proíbem o envio de resíduos orgânicos para aterros sanitários e este ser um processo, que além de ajudar a solucionar esta problemática, também contribui como fonte de energia renovável (Alves 2015).

De todas estas opções de tratamento de resíduos, a compostagem doméstica e industrial e digestão anaeróbica, são, assim, as mais favoráveis para a eliminação de um biomaterial bi-

odegradável, pois na digestão anaeróbica existe a combinação da recuperação de energia com a produção do composto que pode ser utilizado como condicionador do solo, e na compostagem doméstica e industrial a quantidade de emissões de metano e de óxido nitroso são menores que nas demais, e, em alguns casos, até inexistentes. Em ambas as tipologias de compostagem os resíduos verdes também são valorizados e transformados em biomassa, um composto nutritivo para o solo (Hermann et al. 2011; Oliveira et al. 2017).

Das três opções de tratamento apresentadas anteriormente, o processo de compostagem doméstica é a que apresenta um maior número de vantagens, como a redução da quantidade de resíduos enviados para centros de compostagem e aterros sanitários, a redução dos custos da recolha e transporte de resíduos, redução dos impactos ambientais causados pelo transporte de resíduos, redução do impacto ambiental causado pelos elementos poluentes produzidos durante a disposição do material orgânico em aterros sanitários, e os custos bastante reduzidos de toda a operação. Além de todas estas vantagens, a compostagem doméstica apresenta a particularidade de poder ser praticada por qualquer pessoa, devido aos modelos de compostagem serem de tamanho reduzido e ocuparem muito pouco espaço, adequando-se às pequenas habitações e apartamentos (Oliveira et al. 2017).

2.1.3 Normas e Certificações dos Biomateriais

A biodegradação é a decomposição de um material orgânico, por meio de bactérias, fungos e outros microrganismos, em partículas como compostos de carbono (formados por CO_2 , CH_4 e H_2O) que posteriormente são utilizados como fertilizantes de solo. O processo completo da biodegradação varia entre dias a milhares de anos, dependendo do material e da forma selecionada para se processar este. Mesmo que um material biodegradável apresente um tempo de biodegradação longo, como anos, por norma não danifica nem contamina o meio ambiente, porém, materiais não biodegradáveis como a maioria dos plásticos, depois de descartados mantêm-se no meio ambiente por décadas sem se decomporem e contribuindo para o aumento da poluição ambiental (Bioethic 2018). A biodegradação é, assim, essencial para a manutenção da vida na terra, pois permite a formação de “húmus”, que retorna os nutrientes para as plantas, regula o número de microrganismos, e torna os solos férteis (eCycle 2013).

O termo “biodegradável” concentra-se apenas na forma como o processo de degradação é realizado em cada material, sendo que a origem do carbono destes não é importante, e é por isso que tanto os materiais petroquímicos como os biomateriais podem ser apresentados muitas vezes como biodegradáveis.

Alguns produtos além de assinalados como biodegradáveis, também são intitulados de compostáveis. Apesar de estarem inseridos no grupo dos biodegradáveis, os materiais compostáveis apresentam algumas especificações, como no seu processo de degradação, que pode variar apenas entre um a seis meses em compostagem industrial e até 12 meses em compostagem doméstica, sendo assim, mais rápido e altamente benéfico para o meio ambiente. Durante o período de decomposição destes produtos de origem vegetal - estando reunidas condições ideais de temperatura, humidade, oxigénio e agentes biológicos - gera-se um material orgânico muito rico em nutrientes para o solo, um composto, que pode ser utilizado na agricultura e jardinagem. A compostagem proporciona assim, um destino útil para os resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterros e no meio ambiente (Bioethic 2018).

Desta forma, a degradação dos materiais assinalados como “biodegradáveis” e “compostáveis” pode ocorrer sob ambiente natural, em solos ou em ambientes controlados, como durante o tratamento biológico de resíduos. A digestão anaeróbica e a compostagem, como descrito anteriormente, são assim exemplos de processos de eliminação destes materiais sob condições de biodegradação anaeróbica e aeróbica, respetivamente (Hermann et al. 2011).

Normas e certificações para produtos/embalagens compostáveis industrialmente

Existem vários padrões que podem ser utilizados para certificar se um material é compostável. As normas EN 13432 (EU), EN 14995 (EU), ASTM D6400 (UE), ASTM D6868 (UE), ISO 17088 (Mundial) e a norma AS 4736 (Australiana) são as mais conhecidas e foram lançadas de forma a estabelecer requisitos e especificações para materiais, produtos, ou embalagens compostáveis por meio de centros de compostagem industrial. Destas, a norma europeia EN 13432 é uma das mais utilizadas para certificar embalagens recuperáveis através de compostagem e biodegradação por meio industrial – compostagem industrial. Para o material poder atingir esta certificação ambiental, bem como outras similares, tem que atingir uma biodegradação de 90% ao fim de 6 meses em centros de compostagem industrial a uma temperatura máxima de 58°C. Além da biodegradação, o material tem que conseguir desintegrar-se em partículas de pelo menos 2mm ao fim de 3 meses. Durante este processo é imprescindível a ausência de toxicidades e de efeitos negativos no composto resultante (Recycling 2011).

A certificação ASTM (American Society for Testing and Materials) – ASTM D6400, é outra das mais utilizadas, e responsável por certificar materiais compostáveis em instalações de compostagem aeróbica municipais e industriais. Destina-se sobretudo a embalagens e materiais plásticos ou com alguma percentagem plástica. As restrições nesta norma são as necessárias para determinar se o produto/embalagem plástica se compostará satisfatoriamente, incluindo a biodegradação a uma taxa comparável a outros materiais compostáveis. A degradação do material não pode diminuir o valor ou a utilidade do composto resultante no processo de compostagem (Conshohocken 2012).

NORMAS E CERTIFICAÇÕES QUE ATESTAM A COMPOSTAGEM INDUSTRIAL				
País	Ano	Norma/Certificação	Organização	Rótulos
União Europeia	2000	EN 13432 Requisitos e critérios de avaliação para embalagens recuperáveis por compostagem e biodegração.	DIN Certco e Vinçotte	
União Europeia	2006	EN 14995 Requisitos e procedimentos para determinar a compostabilidade anaeróbica de materiais plásticos.	DIN Certco e Vinçotte	
EUA	2004	ASTM D6400 Especificações para rotulagem de plásticos projetados para compostagem aeróbica em instalações industriais	DIN Certco e Biodegradable products institute	
EUA	2011	ASTM D6868 Especificações para rotulagem de produtos que incorporam plástico e polímeros na sua constituição - projetados para compostagem industrial.	DIN Certco e Biodegradable products institute	
Mundial	2008	ISO 17088 Procedimentos e requisitos para identificação e rotulagem de plásticos e produtos plásticos adequados para recuperação por compostagem aeróbica.	DIN Certco	
Austrália	2006	AS 4736 Plásticos biodegradáveis adequados para compostagem e outros tratamentos microbianos.	DIN Certco	

Tabela 01: Síntese das normas e certificações ambientais que atestam a compostagem industrial e respetivos rótulos.

Normas e certificações para produtos/embalagens compostáveis domesticamente

As normas ASTM e ISO apresentam algumas certificações a nível de compostagem industrial, porém a nível de compostagem doméstica não apresentam nenhum esquema de certificações. Desta forma, a necessidade de um padrão dedicado para embalagens compostáveis domesticamente foi destacado pelo Parlamento Europeu e pelo Conselho da UE na diretiva de abril de 2015.

A compostagem doméstica é um processo mais difícil e lento devido à temperatura e ambiente menos constante que na compostagem industrial, desta forma, os materiais para serem rotulados como “Home compostable” têm de obedecer a alguns requisitos mais rígidos. Para os produtos/embalagens compostáveis em casa a TÜV AUSTRIA-Viçotte lançou o rótulo “OK Compost Home” muito utilizado para esse fim. Este rótulo exige que os materiais se degradem à temperatura ambiente (20°C a 30°C), e que ao fim de 12 meses sob estas condições apresentem uma degradação de 90%. Ao fim de 6 meses o material deve ter atingido 90% da sua desintegração em partículas (até 2mm) (Hermann et al. 2011; TÜV 2019; Recycling 2011).

Apesar de não existir atualmente normas ASTM e ISSO que rotulem os materiais/embalagens compostáveis domesticamente, existem alguns exemplos de certificações lançadas em outros países. A DIN CERTCO, por exemplo, oferece certificação para plásticos de compostagem doméstica de acordo com a norma australiana AS 5810 e segundo a norma francesa NF T 51-800, introduzida em 2015. Itália também possui um padrão nacional para a compostagem de plásticos à temperatura ambiente, UNI 11183: 2006 (Bioplastics 2016).

NORMAS E CERTIFICAÇÕES QUE ATESTAM A COMPOSTAGEM DOMÉSTICA				
País	Ano	Norma/Certificação	Organização	Rótulos
Austrália	2010	AS 5810 Plásticos biodegradáveis e adequados para compostagem doméstica.	DIN Certco e Vinçotte	
França	2015	NFT 51 800 Especificações para plásticos apropriados para decomposição em ambiente doméstico.	DIN Certco	
Itália	2006	UNI 11183 Requisitos e métodos de teste para materiais plásticos biodegradáveis à temperatura ambiente.	DIN Certco	

Tabela 02: Síntese das normas e certificações ambientais que atestam a compostagem doméstica e respetivos rótulos.

2.1.4 Life Cycle assessment nos Biomateriais

Os biomateriais têm auxiliado no caminho para um planeta mais sustentável pois têm vindo a substituir os atuais e poluentes plásticos e espumas presentes, essencialmente, na indústria das embalagens, colmatando assim o seu descarte excessivo e, muitas das vezes, realizado de forma prejudicial para sistemas biológicos e fisiológicos.

Apesar das suas vantagens, o facto de um produto/embalagem conter uma ou mais bases orgânicas na sua constituição não significa que o seu desempenho ambiental seja melhor em todo o seu ciclo de vida quando comparado a produtos/embalagens convencionais já existentes no mercado. Desta forma existe a necessidade de uma avaliação prévia dos materiais para aferir os aspetos ambientais que estes na realidade cumprem além da sua composição biológica (Wall-Markowski, Kicherer, e Saling 2004).

Uma das principais preocupações relacionadas com os impactos do ciclo de vida de um produto/embalagem é a geração de gases de efeito estufa. Desta forma, foram criados compromissos internacionais que levaram as empresas a ter uma maior consciência ambiental e social, principalmente relacionada às consequências das emissões de CO₂ derivadas do processo produtivo. Uma das formas de medir o impacto destas emissões para cada material é através da sua pegada de carbono, porém, esta apresenta algumas limitações que passam pela falta de métodos padronizados e bastante diversificados, e, as incertezas em relação aos resultados alcançados dificultam a avaliação do ciclo de vida destes materiais.

Na avaliação do ciclo de vida dos biomateriais existem falhas devido à omissão de algumas etapas do ciclo de vida ou à avaliação inadequada das etapas. Isto acontece devido a não considerarem os impactos ambientais causados na fase de pré-tratamento das fibras naturais, por exemplo. Este tipo de situações pode diminuir, assim, o desempenho ambiental de um biomaterial quando comparado aos materiais tradicionais.

A seleção da categoria de impacto é outro fator que também influencia diretamente os resultados relacionados com o seu desempenho de ecoeficiência. As categorias de impacto mais significativas relacionadas com esta tipologia de materiais são: a depleção de fósseis, mudanças climáticas, ocupação de terras agrícolas, formação de matéria particulada (materiais que se desintegram em pequenas partículas) e toxicidade humana.

Para definir de forma adequada a sustentabilidade dos materiais existe a necessidade de avaliar outros aspetos exteriores à sua extração e produção, como o comportamento de compra (aspetos económicos), aplicações industriais (aspetos sociais) e propriedades mecânicas e ambientais (viabilidade técnica e ambiental), de forma a compreender como os materiais afetam as outras dimensões da sustentabilidade (figura 15) (Correa, Montalvo-Navarrete, e Hidalgo-Salazar 2019).



Figura 15: Critérios para produtos sustentáveis.

Os setores responsáveis pela gestão de resíduos ainda não estão devidamente organizados quanto aos resíduos resultantes dos biomateriais, pois ainda não existe uma grande quantidade destes resíduos a serem descartados anualmente. O objetivo passa por estabelecer algumas exigências e restrições relativas ao manejo destes resíduos, visando minimizar a pegada ecológica desta etapa do ciclo de vida dos biomateriais.

A LCA é um método padronizado segundo a norma ISO 14040/44 que descreve os princípios e a estrutura para a avaliação do ciclo de vida de um material ou produto. Inicialmente, o instrumento LCA foi desenvolvido com o objetivo de encontrar a máxima quantificação da vida de um produto, e os primeiros sistemas comparativos de análise utilizados segundo esta foram testados sobre as embalagens de bebidas em 1970 nos EUA e na Alemanha. LCA quantifica o impacto ambiental potencial dos produtos na fase de extração das matérias-primas, passando pelo processamento dos materiais, fabricação de produtos e o uso do produto até ao seu fim de vida. Divide-se em quatro etapas principais: definição da meta, análise do inventário e do ciclo de vida, fase da avaliação do impacto do ciclo de vida e fase da interpretação do mesmo. Na Europa, um método híbrido, também é utilizado para avaliar os impactos ambientais, este rege-se segundo oito indicadores, entre eles: mudança climática, destruição do ozono, acidificação terrestre, eutrofização em água doce, oxidação fotoquímica, perda de fósseis, toxicidade humana, e toxicidade em água doce. Esta normalização permite aferir a contribuição dos materiais para a sociedade e meio ambiente bem como o impacto causado em comparação com os convencionais (Beigbeder et al. 2019).

A avaliação do ciclo de vida ajuda na compreensão de quais as repercussões que a seleção de materiais tem no produto final, auxiliando os fabricantes a decidir quais as melhores opções para substituir estes materiais e atingir uma melhoria nos benefícios ambientais. Uma das vantagens da utilização de um biomaterial/biocompósito, é que estes fornecem componentes leves que ajudam a melhorar os consumos de energia e a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em aplicações industriais (Correa, Montalvo-Navarrete, e Hidalgo-Salazar 2019).

Pode-se, assim, afirmar que os compostos de base natural oferecem muitas vantagens em termos de desempenho ambiental, como renovabilidade, reciclabilidade e biodegradabilidade, além de custos de matéria-prima mais baixos e materiais mais leves (Mansor et al. 2019).

2.2

Sustentabilidade no Setor de Embalagens

Tipologias de embalagem | Diretrizes e iniciativas tomadas no setor

O tema da sustentabilidade e da proteção ambiental tem vindo a ganhar grandes proporções sendo bastante popular nos dias de hoje, o que levou a que os produtos “amigos do ambiente” se tornassem numa tendência (Hao *et al.* 2019).

As embalagens são projetadas visando cumprir várias funcionalidades: contentor (para produtos/equipamentos); proteção de um produto; base explicativa do conteúdo; fácil manuseamento (por pessoas/máquinas); fácil transporte (fabricante – comércio; comércio – cliente; cliente – casa); e marketing (apresentação do produto/equipamento) ((ISO) 2013).

As embalagens começaram a receber mais atenção no setor da sustentabilidade desde que as compras online e o consumo massificado começaram a aumentar de forma drástica e consequentemente o consumo das embalagens e o número de empresas deste setor (Hao *et al.* 2019).

O aumento do consumo das embalagens e a necessidade de transporte entre pontos cada vez mais distantes levou à necessidade do desenvolvimento de mais camadas protetoras numa embalagem, de forma a assegurar uma maior proteção do produto. Atualmente uma embalagem de transporte pode ser constituída por:

- Embalagem primária – Contém e protege o produto. É produzida numa grande variedade de formatos e materiais e não se destina ao transporte do produto, mas sim aos pontos de venda (comerciante–cliente) onde a embalagem está exposta e serve essencialmente como ferramenta de marketing e contentor (do produto/equipamento).
- Embalagem secundária – Pode conter uma ou várias embalagens primárias e é direcionada ao transporte do produto (fabricante – ponto de comércio/ diretamente para o cliente, no caso das compras online). Ajuda na contenção, manuseamento, utilização e proteção, e, no caso dos produtos frágeis, contém um inserto interior (materiais/ enchimentos que auxiliam na proteção do produto e que são utilizados, também, para evitar o atrito e o contato entre as embalagens primárias durante o transporte). Destes materiais, fazem parte os sacos de ar, as espumas expandidas e enchimentos em papel reciclado. O foco desta tese passa pela substituição destes materiais de proteção, por materiais biodegradáveis/ compostáveis.
- Embalagem terciária – Utilizada para agrupar as embalagens secundárias, e auxilia, em simultâneo, o manuseamento, a utilização, o transporte e a prevenção de danos no produto. Esta embalagem é usada no transporte tradicional da fábrica para os pontos de distribuição e dela fazem parte as paletes e “skids” feitos por norma de madeira ou plástico, e têm a vantagem de poderem ser de uso único ou reutilizáveis (Coalition 2016).



1. Embalagem Primária



2. Embalagem Secundária



3. Inseto
– plástico bolha



4. Embalagem Terciária

Figura 16: Ilustração das várias tipologias de embalagens.

A maioria destas embalagens, intituladas de “embalagens de transporte”, têm como objetivo envolver e proteger o produto durante todo o percurso desde os fabricantes, distribuidores e posteriormente retalho, postos de comércio e clientes singulares. Este último grupo, é o principal responsável pelo aumento do consumo deste tipo de embalagens através do comércio online, o que originou, também, uma maior valorização das várias tipologias de embalagens e da preocupação pela experiência do consumidor (UX) (Coalition 2016).

Este acontecimento culminou numa preocupação ambiental devido ao aumento do descarte destas e ao seu impacto ambiental em todo o seu ciclo de vida (Hao et al. 2019). Quando aplicado ao envelhecimento da embalagem, o conceito de sustentabilidade começou a incluir a determinação de metas de desenvolvimento sustentável no ciclo de vida da embalagem, desde o seu processo de fabrico ao seu processo de descarte (fim de vida) (Martinho et al. 2015). Para todo o processo de sustentabilidade ser realizado corretamente é necessário um esforço conjunto de várias entidades envolvidas como governo, empresas e consumidores para que sejam cumpridas de forma ecologicamente correta todas as etapas (Hao et al. 2019). Sendo a população os utilizadores finais, são uma das partes fundamentais para a gestão sustentável dos materiais e causadores de o ciclo ser fechado, ou não, corretamente (Coalition 2016).

Desde que as abordagens das embalagens convencionais começaram a ser consideradas lixo ambiental, os materiais sustentáveis ou com base bio começaram a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento sustentável do setor de embalagem, pois são uma forma de assegurar uma melhoria drástica no impacto das embalagens no meio ambiente (Tumwesigye, Oliveira, e Gallagher 2016).

As embalagens são classificadas como totalmente sustentáveis quando todo o seu processo/percurso é ecologicamente correto – design, desenvolvimento, fabricação, uso e reciclagem. A sustentabilidade no setor das embalagens visa certificar-se que estas, ao longo deste processo, provocam pouco ou nenhum dano no meio ambiente ou na saúde humana (Hao et al. 2019).

Para isso, os setores de fabricação de embalagens foram aconselhados a projetar embalagens que apresentem vantagens ecológicas (biodegradáveis/ com base bio) direcionadas sobretudo para a fase de pós-uso, visando reduzir os impactos ambientais no processo de descarte (Herbes, Beuthner, e Ramme 2018).

A fase de pós-uso é a que mais peso tem na preocupação ambiental, pois o descarte incorreto e inconsciente é o causador de grande parte da poluição existente. Porém, todo o processo de fabrico deve ser avaliado para que todas as técnicas utilizadas sejam regidas por um desenvolvimento sustentável através da escolha de materiais, economização de energia e redução do consumo de matérias primas. E, partindo deste princípio, ao longo dos anos vários princípios para as embalagens sustentáveis foram propostos, como a redução, simplificação, leveza, inofensivo para meios biológicos e fisiológicos e produção mais limpa a nível de substâncias tóxicas emitidas (Liu e Bin 2010).

Como mencionado anteriormente, a sustentabilidade no setor das embalagens tenta atuar sobre todas as etapas do processo de desenvolvimento de uma embalagem, e neste sentido, nos últimos anos várias iniciativas foram realizadas para alertar e dar diretrizes que ajudam a atingir uma maior consciencialização neste setor, entre elas:

- Em 2005, na Austrália, foi criada a “Sustainable Packaging Alliance”, uma iniciativa cujo objetivo é estabelecer redes de eventos para partes interessadas nos negócios de embalagens sustentáveis;

- Em 2006, nos EUA, a “Sustainable Packaging Coalition” publicou um conjunto de diretrizes para o desenvolvimento de embalagens sustentáveis;
- Em 2009, no Reino Unido, a “WRAP” desenvolveu um banco de dados de benchmarking de embalagens para alimentos e bebidas.
- Em 2013, os grupos de normas ISO 18601 (International Organization for Standardization, 2013) relacionados aos impactos ambientais causados pelas embalagens publicaram um conjunto de normas com o objetivo de especificar como é que as embalagens podiam ser redesenhadas para aumentar a sua reutilização ou recuperação (Martinho et al. 2015).
- Em 2019, o Parlamento Europeu aprovou as restrições dos produtos de plástico descartáveis, sendo que a venda de produtos de plástico de utilização única será proibida em toda a União Europeia (UE) a partir de 2021.

O estudo das embalagens sustentáveis também passa pela sua aceitação por parte do consumidor, e para isso é necessário instigar uma maior consciencialização ambiental neste. Para haver prosperidade neste avanço ambiental no setor das embalagens assume-se que é necessário existir um esforço colaborativo do governo a vários níveis, bem como das empresas envolvidas e dos consumidores finais. Segundo Yu (2011) a legislação e os regulamentos também devem ser melhorados de forma a promover a popularização e utilização da embalagem ecologicamente correta e estabelecer uma consciência ambiental à cerca do baixo carbono e hábitos de consumo amigos do ambiente. Só a partir destes esforços conjuntos é que há a probabilidade do desenvolvimento sustentável ser alcançado (Hao et al. 2019). Um exemplo deste esforço conjunto que necessita da intervenção do governo e suas legislações, pode passar pela criação de sistemas ligados ao ciclo de vida de um material para que não haja poluição no processo nem na reciclagem – como a implementação de uma maior variedade de ecopontos, que se direcione para o fim de vida destes materiais bio (Niero et al. 2017).

Para aumentar a consciencialização da população relativamente ao descarte das embalagens e para melhorar a eficiência das suas atitudes relativamente ao fim de vida dos materiais sustentáveis a “Sustainable Packaging Coalition” criou o “How2Recycle” e o “How2Compost” (como podemos observar na Figura 17) que são rótulos para embalagens que visam informar os consumidores sobre como descartar com precisão as suas embalagens e onde se devem dirigir caso necessitem obter informações específicas dentro do seu município. Alguns dos motivos que levaram à criação destes rótulos foi porque vários “(...) recicláveis valiosos continuam a acabar em aterros sanitários, a rotulagem de reciclagem ainda não está padronizada e as informações de reciclagem existentes podem ser difíceis de entender.”. Desta forma, com a criação de rótulos padronizados, poderá se atingir uma melhor clarificação sobre os materiais que podem ser reciclados ou compostados e como e onde fazê-lo. O rótulo “How2Compost”, lançado em 2016, direciona-se para produtos com certificação segundo os requisitos da ASTM D6400, e caminha para uma maior consciencialização dos materiais bio/sustentáveis que têm vindo a ser implementados e que possivelmente vão entrar em voga, e, para os quais, ainda existe pouco ou nenhum conhecimento por parte da população de como agir com eles. Esta iniciativa da “Sustainable Packaging Coalition”, um grupo de trabalho de marcas, fabricantes, fornecedores e funcionários do governo que trabalham para promover embalagens sustentáveis, mostra que,

um esforço colaborativo de várias entidades pode fazer a diferença nos avanços da sustentabilidade nas embalagens (Coalition 2016).

It's a smarter label system.

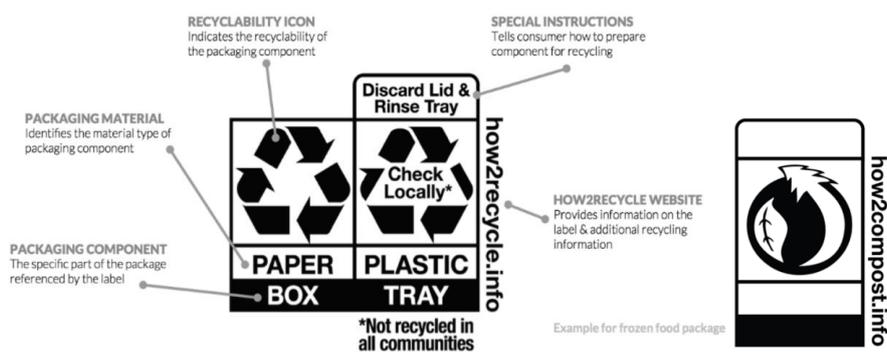


Figura 17: Rótulos “How2Recycle” e “How2Compost”, iniciativa da “Sustainable Packaging Coalition”.

Em suma, podemos afirmar que a sustentabilidade das embalagens passa por um esforço colaborativo entre todos os intervenientes e é definida através do estímulo realizado para reduzir a pegada ambiental de um produto através do redesenho e alteração das embalagens convencionais para materiais mais ecológicos e menos inofensivos sobre meios biológicos e fisiológicos (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

2.3

O Impacto das Embalagens Sustentáveis no Consumidor

Tipologias de embalagem | Diretrizes e iniciativas tomadas no setor

O crescente interesse da população pelas embalagens sustentáveis em comparação com as tradicionais, levou a que este tema passasse a ter grande relevância, levantando grande curiosidade sobre algumas questões, pois qual será verdadeiramente o grau de importância das embalagens sustentáveis para o consumidor? E qual a relação entre estas embalagens e o comportamento do consumidor ao longo das suas etapas – compra, ciclo de vida e reciclagem? (Martinho et al. 2015).

Como mencionado anteriormente, a revolução das vendas eletrônicas fez com que as embalagens se tornassem num dos principais focos no setor da sustentabilidade, gerando uma grande valorização das embalagens por parte do utilizador não só pela preocupação ambiental, mas também estética, por ser um objeto que estão em constante contacto e desta forma as suas exigências foram aumentando (Hao et al. 2019). Desta forma, o estudo do impacto destas sobre o utilizador e a avaliação dos fatores que regem as suas escolhas na hora de compra e em todas as etapas do ciclo de vida de uma embalagem vão ser o foco deste subcapítulo.

2.3.1 A importância das embalagens sustentáveis – Perspetiva do consumidor

Vários estudos realizados neste âmbito vieram constatar que os consumidores atuais favorecem mais as embalagens rotuladas como ambientalmente corretas, salientando este critério como um dos mais importantes na seleção dos seus produtos/compras. Neste âmbito, foram realizados vários estudos para decifrar qual a importância das embalagens sustentáveis para os consumidores e que influência têm na seleção dos seus produtos, sendo que o fator mais salientado é o nível de consciência ambiental do consumidor e a sua atitude ecologicamente correta (Martinho et al. 2015).

Apesar deste ser o motivo para que este seja um dos principais fatores a levar a população a optar por uma embalagem ecológica no momento de compra, continuam a existir falhas no conhecimento dos consumidores sobre o conceito de sustentabilidade, e, as lacunas sobre as terminologias relacionadas com o tema levam a atitudes inconscientes em relação às embalagens sustentáveis, pois não têm bases suficientes sobre o tema para optarem por estas e mesmo que optem por um outro fator, não têm conhecimento de como agir com elas no pós-uso (Nordin e Selke 2010).

Segundo Smithand Brower (2012) os consumidores ambientalmente conscientes tendem a procurar constantemente estratégias para alcançar um “status” ambientalmente amigável em vários níveis, o que os leva a ter um maior interesse por produtos/marcas/embalagens rotulados como ambientalmente sustentáveis (Martinho et al. 2015).

Apesar desta teoria ser a mais defendida, há quem defenda que nem sempre a consciência ambiental dos consumidores os leva a ter preferência pelos produtos sustentáveis devido à existência de inibidores como o preço, pois existe um grande grupo que não está disposto a pagar mais por um produto ambientalmente correto, por mais que ache que esse seria o caminho mais correto (Moisander 2007). Nestes casos, só existe enfraquecimento moral nos consumidores quando os impactos ambientais começam a ganhar grandes dimensões e quando não há, em simultâneo, nenhum outro fator relevante que afete a decisão de compra, como o preço elevado. Desta forma, pode-se afirmar que quando dois produtos são iguais (preço por exemplo), a sua sustentabilidade é o fator decisivo da compra, sendo que nestes casos as embalagens ambientais sobressaem positivamente (Martinho et al. 2015).

A consciência ambiental funciona então como um gatilho para o comportamento do consumidor, e pode ter um outro efeito neste, pois, à medida que os consumidores se tornam mais conscientes dentro dos temas ambientais, também se tornam mais atentos às deficiências das soluções existentes no mercado e, conseqüentemente, mais exigentes nas suas escolhas (Peattie 1999).

Além da consciência ambiental dada pelo conhecimento, e tal como podemos observar no esquema da Figura 18, outros fatores foram estudados como relevantes na decisão de compras sustentáveis como: a demografia; os valores; as atitudes; e os comportamentos (Barbaro-Forleo, Laroche, e Bergeron 2001).

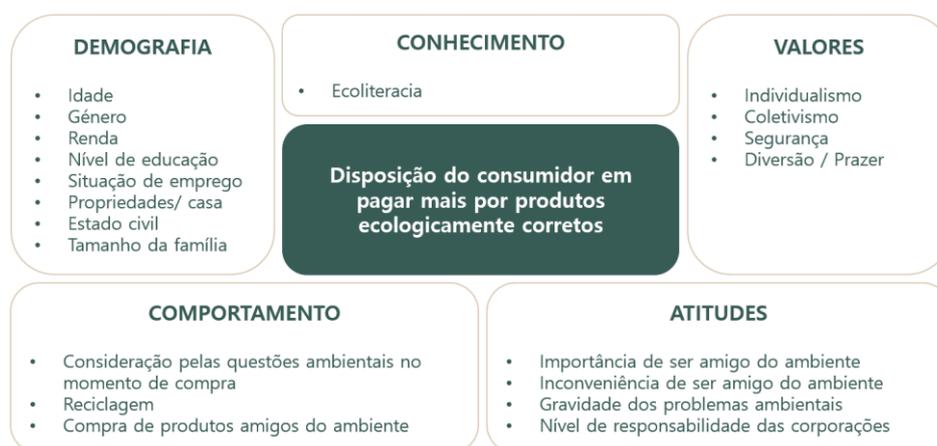


Figura 18: Fatores decisivos na seleção de produtos/ embalagens sustentáveis.

Dentro destes fatores vários estudos foram realizados visando descobrir aproximadamente que perfil de indivíduo tende mais a comprar produtos e embalagens sustentáveis. Entre estes estudos houve descobertas dentro dos diversos fatores, onde, nos direcionados para o género, apontam que o sexo feminino é o que apresenta uma maior consciência ambiental, logo é mais propenso a realizar compras amigas do ambiente (Barbaro-Forleo, Laroche, e Bergeron 2001). Outros autores, como Vinning e Ebreo (1990), detetaram diferenças relevantes não no género, mas na idade, onde afirmam que a população mais idosa é mais dedicada a fazer compras cuidadosas e amigas do ambiente (Martinho et al. 2015).

Os comportamentos e escolhas sustentáveis no consumo, são afetadas, segundo Wang (2018), pelo país/nacionalidade, sensibilidade cultural, etnocentrismo e consciência de valor. Sendo que a percepção e reconhecimento de valor são dos fatores com maior influência na disposição do consumidor em comprar/pagar mais por uma embalagem sustentável (Hao et al. 2019).

Como mencionado anteriormente, a consciência e conhecimento ambiental é o fator mais defendido como principal no consumo de embalagens sustentáveis. Desta forma, um estudo mais recente, analisa este fator intrínseco do consumidor bem como outros fatores extrínsecos onde tudo depende da embalagem em si e das suas características.

Neste estudo, o autor analisa a compra de embalagens sustentáveis sobre a influência de fatores presentes na embalagem e não no consumidor, como podemos observar no esquema

da Figura 19 abaixo representado. Na análise foram descobertos 10 fatores que têm influência sobre o consumidor na hora de compra e que se grupam em 4 fatores principais: meio ambiente; qualidade da embalagem; comodidade; e preço. Estes 4 fatores principais foram estudados de forma a descobrir quais os que apresentam um maior impacto, detetando-se que o “meio ambiente” e a “qualidade da embalagem” são os mais influentes na decisão de compra.



Figura 19: Fatores, presentes na embalagem, que influenciam a compra.

As embalagens sustentáveis devem ser equipadas com a função básica de embalagem convencional e com a função de proteção ambiental e, para isto, os fabricantes de embalagens ecológicas têm de ser fiéis aos 4 fatores principais acima representados (meio ambiente, qualidade da embalagem, comodidade e preço), para que a disposição do consumidor em pagar por estas seja crescente (Hao et al. 2019).

2.3.2 Embalagens sustentáveis na percepção de qualidade de um produto

As questões ambientais estão cada vez mais a atingir o setor das embalagens visando torná-las inofensivas para o meio ambiente. Este caminho passa pelo seu redesign, mudança drástica dos seus materiais constituintes e reavaliação/alteração de alguns processos de fabrico. Mas como será que reagem os consumidores a estas alterações? Será que estas alterações afetam a sua percepção de qualidade de um produto?

Segundo Mugge (2012), avaliar este efeito nos consumidores é de grande importância pois na altura de compra, estes procuram produtos/embalagens de qualidade e alto desempenho por um preço razoável, e para isso é imprescindível perceber de que forma decorre a sua percepção de qualidade perante uma embalagem ecológica. Esta qualidade percebida, no ponto de vista de McEachern (2002), é a principal motivação para os consumidores comprarem produtos/ embalagens rotuladas como ecológicas (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

Os indivíduos recorrem a atributos extrínsecos, ou seja, à embalagem, para fazer interferência sobre o produto, avaliando assim a “naturalidade” do produto. Desta forma, a percepção de sustentabilidade de uma embalagem afeta positivamente a naturalidade percebida do produto que, consequentemente, aumenta a qualidade percebida, sendo o produto valorizado pela embalagem. Porém, se ambos – produto e embalagem – estiverem rotulados como sustentáveis, é provável que o consumidor coloque maior relevância na sustentabilidade do produto do que na da embalagem, visto que este é o seu foco na hora de compra. Sendo assim, pode-se afirmar que uma embalagem sustentável tem maior impacto quando analisada individualmente, pois, a sustentabilidade das embalagens pode não afetar a qualidade percebida quando o produto é intrinsecamente sustentável (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

Quando não existe indicação de que o produto é sustentável, uma embalagem sustentável comparada a uma embalagem convencional, leva a uma maior qualidade percebida. Desta forma, e consequente a esta ação, os consumidores regem-se pelos vários elementos da embalagem para a avaliar e para analisarem a qualidade percebida do produto embalado. Vários estudos sobre este fator afirmam, assim, que o design de embalagem em conjunto com o material utilizado, influenciam significativamente a qualidade percebida do produto. Por exemplo, elementos de design como a cor e forma, têm influência na percepção do conteúdo e da qualidade do produto – mesmo que o produto seja igual, a embalagem pode levar o consumidor a ter percepção que um é melhor que outro através da análise da embalagem (Becker et al. 2011).

Do ponto de vista do consumidor, o design de uma embalagem sustentável/ecológica deve ser definido através da invocação à compatibilidade ecológica – com base na estrutura, composição, elementos gráficos, iconográficos e todos os elementos informativos. Cumprindo todos estes fatores, uma embalagem sustentável influencia positivamente a ética e qualidade percebida da marca, do respetivo produto embalado e das intenções de compra da população (Magnier e Crié 2015).

Esta percepção de qualidade de um produto através dos atributos extrínsecos, que é a embalagem sustentável e todos os elementos que a caracterizam, é intitulada, segundo Osion e Jcoby (1972), por percepção com base na “Teoria de utilização de pistas”. Esta teoria, mostra que os consumidores utilizam esses atributos extrínsecos para avaliar a qualidade do produto quando os atributos intrínsecos não podem ser avaliados ou tasteados na hora de compra. O peso que determinada “pista” dos atributos tem sobre o consumidor em relação à

percepção de qualidade, depende muito do “valor preditivo”, ou seja, até que ponto este associa essa mesma pista à qualidade, e também pode estar relacionado com o valor de confiança que cada indivíduo tem, por outras palavras, até que ponto o indivíduo confia na sua capacidade de usar e avaliar corretamente as pistas de atributos que recebe. Contudo, as avaliações realizadas com base nesta teoria, a nível da confiança individual e do valor preditivo, na avaliação de pistas de sustentabilidade foram bastante satisfatórias e mostram que existe uma percepção positiva da qualidade do produto (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

Estudos como este, mostram assim, que de facto a sustentabilidade da embalagem influencia positivamente a percepção de qualidade do produto nela embalado e da marca do mesmo. Este acontecimento deve-se, muito provavelmente, à crescente preocupação da população com a saúde e bem-estar, o que leva a que as suas exigências aumentem e os levem a procurar produtos mais naturais, sustentáveis e ambientalmente corretos e consequentemente a interiorizarem que os produtos que sigam estas exigências mesmo que na embalagem, sejam de melhor qualidade.

Desta forma, os consumidores pensam que tudo o que seja relacionado a “natural” ou “Bio” seja um atributo desejável e demonstram preferência por produtos que estejam de alguma forma relacionados com estes grupos. Os consumidores tendem, assim, a descrever estas alternativas “naturais” de embalagens como mais sustentáveis, mais atraentes esteticamente em relação às convencionais, mais ambientalmente corretas, bem como mais morais, levando-as a ter a percepção que o conjunto de qualidades destas em comparação com as atuais transmitem, também, uma maior qualidade do produto embalado (Lunardo e Saintives 2013).

Como podemos confirmar, através dos estudos das entidades mencionadas, a sustentabilidade da embalagem tem efeitos mais positivos sobre o consumidor em relação à qualidade percebida, desde que essa sustentabilidade seja visível e perceptível por ele (Magnier e Crié 2015). Como forma de comprovar esta análise, foram realizados estudos de campo como questionários acerca de 2 embalagens semelhantes, em que a embalagem convencional era de plástico branco e a embalagem sustentável era de cartão/papel reciclado. Nesta análise, o autor Magnier (2016) confirmou, através das respostas, que a população que participou, na grande maioria, optou pela embalagem de cartão reciclado, que avaliaram logo como mais sustentável, mais natural e logo mais saudável. Neste estudo também teve a percepção que a atratividade das embalagens pode influenciar a percepção de qualidade do produto, pois a população votou na embalagem sustentável como mais atraente e consequentemente votaram que o produto nela embalado era de melhor qualidade. O autor concluiu, simultaneamente, que se a embalagem sustentável tiver devidamente rotulado com essa especificação, ajuda a uma melhor e mais eficaz percepção da qualidade e sustentabilidade do mesmo. Conclui-se assim que uma embalagem sustentável tem grande influência sobre os consumidores relativamente à sua escolha de produtos (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

2.3.3 O Consumidor e a reciclagem

A maioria dos produtos são vendidos contidos em embalagens, logo a sua pegada ambiental não depende apenas da constituição do produto, mas também da constituição da embalagem. Visto esta última ser a que o consumidor mantém consigo num espaço de tempo significativamente mais curto, e ser descartada pouco depois da compra, as preocupações ambientais recaem sobre esta (Magnier, Schoormans, e Mugge 2016).

Esta preocupação ambiental, recai então sobre o consumidor, o principal responsável pelo pós-uso de uma embalagem. Desta forma, foram realizados estudos sobre a população, dividindo-a em 2 grupos principais: o grupo MIEFP (população que atribui maior importância às questões ambientais); e o grupo LIEFP (população que atribui menor importância às questões ambientais) (Martinho et al. 2015).

A pesquisa sobre o consumidor amigo do ambiente, grupo MIEFP, e a reciclagem baseia-se em 2 modelos teóricos, esquematizados na Figura 20, que foram elaborados para aumentar a previsão neste setor:

- Teoria da ação racional (TAR);
- Teoria do comportamento planeado (TCP).



Figura 20: Teorias que sustentam a análise da relação do consumidor com a reciclagem.

A TCP tem sido a mais utilizada para compreender os comportamentos face à reciclagem onde afirma que os consumidores têm base racional para o seu comportamento e consideram as implicações de todas as suas intenções e ações, sobre a influência de 3 fatores:

- Atitude - onde avaliam se o seu comportamento favorece ou não a pessoa que o vai manifestar;
- Norma subjetiva - percepção da pessoa em relação à pressão social para se empenhar/ ou desistir de um comportamento específico;
- Percepção de controlo - consiste na percepção que a pessoa tem em relação à condução do seu comportamento (Martinho et al. 2015).

Outros autores estudaram a ação de reciclagem por parte do consumidor através do comportamento atitudinal, onde analisaram que a distribuição de tarefas de reciclagem dentro de casa atribui aos indivíduos uma maior atitude positiva e interventiva na ecologia e proteção ambiental (Meneses e Palacio 2005).

No que diz respeito às causas subjetivas como pressão social e influência normativa, segundo Vining e Ebreo (1990), estas são definidas como uma preocupação individual do consumidor, pois a pressão dos indivíduos que o rodeiam, como vizinhos e família, afeta o seu comportamento na reciclagem (se eles reciclam ou não), pois os indivíduos têm como instinto não querer agir de forma inferior aos que os rodeiam e desta forma se as ações destes forem positivas no âmbito ambiental, as suas, por consequência, também serão (Martinho et al. 2015).

A consciência e conhecimento ambiental é um dos principais pontos de partida para um indivíduo ter a iniciativa de realizar a reciclagem das suas embalagens. Desta forma, para aumentar a percentagem de pessoas que reciclam deve existir iniciativas na área informativa/ de comunicação que visem aumentar o conhecimento na área da reciclagem e sustentabilidade, aumentar a consciência ambiental da população, aumentar o envolvimento ecológico e aumentar a auto-realização ecológica, pois a transmissão da importância coletiva da reciclagem irá apelar aos danos que a não reciclagem causa na sociedade e por consequência, aumentará a percentagem de pessoas que reciclam. Outra solução, é os produtos serem devidamente rotulados com informações que englobem a forma correta de reciclar aquela embalagem e os danos que a não reciclagem do produto vai causar no meio ambiente para, desta forma, desenvolver a preocupação ambiental do indivíduo.

A responsabilidade social também é um dos motores para a intervenção do indivíduo nos problemas ambientais, porém, como já vimos anteriormente, não é a única. Autores afirmam que fatores sociodemográficos e psicográficos, como – cultura, hábitos, personalidade, tradições, local de residência, grupo de amigos, estilo de vida, entre outros – afetam, também a participação do indivíduo na reciclagem, sendo que as influências / pressão social são as que têm um impacto mais direto no consumidor, como afirmado anteriormente por outros autores (Meneses e Palacio 2005).

2.4

Normas e Requisitos das Embalagens

Requisitos para seleção e aprovação de materiais e embalagens
Bosch

Sendo o objetivo desta investigação a implementação de um novo material sustentável, e, posteriormente, de uma nova embalagem, este subcapítulo foca-se na análise dos requisitos regidos pela Bosch na seleção e aprovação de um material ou embalagem. Os requisitos utilizados pela empresa para orientar a validação de um novo material/embalagem estão divididos em duas fases cruciais – sendo que na primeira fase são realizados e analisados os testes e as normas que possibilitam a validação do material; e numa segunda fase são realizados e explorados os testes realizados internamente na Bosch, que se guiam segundo uma norma e que levarão à validação ou reprovação de uma embalagem.

2.4.1 A Seleção do Material

Para a seleção de materiais são realizados, inicialmente, dois testes mecânicos, que levarão à validação ou reprovação dos mesmos. Os testes realizados no início do procedimento são assim – o **Teste climático** e o **Teste de impacto** – respetivamente, e estes foram selecionados com base numa norma e tendo em conta todos os procedimentos a que são submetidas as embalagens Bosch.

Teste Climático (Condicionamento Atmosférico)

O primeiro teste a que são submetidos os materiais em análise é o teste climático ou de condicionamento atmosférico. Na realização deste teste é utilizada uma câmara climática (figura 21), onde são gerados e simulados diferentes ambientes com temperaturas e níveis de humidade distintos e regidos pela norma ISTA 2A 2008, norma utilizada para este tipo de teste na empresa Bosch. Neste teste o objetivo é perceber se o material aguenta as condições atmosféricas a que vai estar sujeito no trajeto até chegar ao consumidor final, tendo em conta as condições ambientais dos locais de distribuição e de armazenamento respetivamente.



Figura 21: Câmara climática Bosch.

O equipamento utilizado para a realização deste teste – câmara climática – é utilizado também para analisar o efeito das condições ambientais específicas na embalagem final, contudo, na análise e seleção de materiais que antecedem a embalagem final, é fundamental

a sua utilização para auxiliar na validação ou reprovação dos materiais em estudo, reduzindo assim a lista de materiais apropriados para a empresa e que seguirão para as próximas fases de validação.

Os requisitos deste equipamento regem-se segundo a norma ASTM D4332. A câmara climática deve controlar a temperatura e a humidade relativa continuamente (no mínimo a cada 5 minutos), e a precisão do dispositivo de medição deve ser inferior a 0,1°C e de 1% de humidade relativa. A câmara climática deve permitir uma variação de temperatura entre -55°C e +55°C e uma variação de humidade relativa entre 30% e 90%.

No caso de materiais ou embalagens/produtos que não contenham informação sobre os parâmetros climáticos a que devem ser submetidos, é realizado o teste segundo a versão standard (23°C de temperatura e 50% de humidade relativa) para validação do material/embalagem.

Este é o caso da análise desta investigação, onde o objetivo é analisar e validar materiais independentemente do produto ou embalagem a que se destinam. Desta forma, analisou-se os cenários mais agressivos atmosféricamente a que o material iria estar sujeito, com base nos centros de produção da empresa – Portugal, China, México e Alemanha – e nos centros de distribuição – Greer, Singapura, Tilburg e Lincoln.

Neste seguimento, com o auxílio do departamento de embalagem da Bosch, estabeleceram-se os parâmetros para testar climaticamente os materiais desta investigação, objetivando testar os piores cenários para garantir que se chega a um material válido e capaz de circular entre qualquer um dos centros de produção e distribuição da Bosch. Os parâmetros delineados com o auxílio da equipa Bosch baseiam-se na norma utilizada por eles para a realização destes – norma ISTA 2A. Na tabela 03, pode-se conferir todos os parâmetros estabelecidos para a realização do teste climático aos materiais em investigação (BOSCH 2018).

Parâmetros Teste Climático / Condicionamento Atmosférico			
Teste	Tempo	Temperatura	Humidade
1º Teste	72 horas	38°C	85%
2º Teste	72 horas	- 29°C	Variável
3º Teste	72 horas	60°C	Variável

Tabela 03: Parâmetros teste climático.

Concluídos os três testes que compõe esta análise climática e que têm uma duração total de nove dias, são retiradas as amostras dos materiais da câmara climática e procede-se a uma análise detalhada do mesmo. Esta análise é realizada a olho nu e deve-se concluir se algum dos materiais sofreu alguma alteração de forma, densidade, cor ou até mesmo de desempenho mecânico. A realização de um registo fotográfico, às amostras dos materiais, antes e depois das três fases do teste climático, poderá auxiliar na deteção de alterações externas.

Teste de Impacto (Amortecimento)

Posterior ao teste climático, segue-se o teste de impacto/amortecimento. Nesta fase todos os materiais voltam a ser testados, para avaliar a sua resistência mecânica ao impacto segundo a norma ASTM D1596-14 (Método de teste padrão que se destina a características de amortecimento dinâmico de choque para materiais de embalagem).

Deste teste são retirados dados que devem ser utilizados para o desenvolvimento de uma curva de amortecimento, que auxiliará na comparação entre os diferentes materiais. Porém estes dados não devem ser utilizados para prever o desempenho da embalagem final.

Neste teste de amortecimento, regido pela norma ASTM D1596-14, o equipamento utilizado (figura 22) deve ter uma base plana à semelhança do impactor a utilizar. A base do impactor deve ser obrigatoriamente paralela à base de impacto onde se encontra a amostra. A placa de queda (onde se fixa o impactor) deve apresentar condições para se poder adicionar mais peso e ajustar a sua massa. Neste teste o impactor é influenciado pelo atrito do sistema de guia e pela resistência do ar. A falta de rigidez e os vários elementos móveis presentes no equipamento podem causar vibrações indesejáveis que irão ser registadas na curva de tempo e aceleração retirada no fim de cada teste.

Para a realização de um teste de impacto é necessário a presença de um acelerómetro no impactor e conectado a um sistema de recolha de dados que irá registar o choque recebido/sentido pela amostra (proвете) durante o impacto. Com a alteração das variáveis do teste, como – velocidade de impacto, carga estática, e o número de impactos – é possível desenvolver características dinâmicas de amortecimento de choque do material.

É necessário haver instrumentação neste teste que meça a velocidade do impacto com uma precisão de $\pm 2\%$ do valor real. Para monitorizar a curva de aceleração vs. tempo são utilizados instrumentos como acelerómetros, condicionador de sinal e aparelhos de armazenamento de dados.

O número de amostras por material vai reger o nível de precisão do teste, pois, se existir uma grande disponibilidade dos materiais, poderá se retirar várias amostras iguais do mesmo e consequentemente realizar um maior número de testes, aumentando assim a precisão do resultado. No entanto é aconselhado uma média de três amostras iguais por material para permitir a repetição de três testes e puder existir uma comparação destes através da análise da média das três provas. Todas as amostras devem ser cortadas uniformemente no formato quadrangular e com dimensões máximas inferiores às do impactor. É recomendado que as dimensões mínimas de comprimento e largura sejam de 101,6mm por 101,6mm. Os dados resultantes deste teste podem ser afetados pela área da amostra, espessura e outros fatores. Os dados obtidos num teste de impacto (curvas de amortecimento) devem ser utilizadas para comparação entre os vários materiais de forma a concluir quais os que apresentam um melhor desempenho no momento de amortecimento do impactor (ASTM D1596-14 2014) (BOSCH 2018).

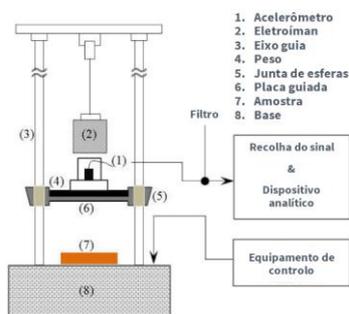


Figura 22: Componentes de uma máquina para testes de impacto/amortecimento.

2.4.2 Validação de uma Embalagem

Para a aprovação de uma embalagem, empresas como a Bosch, submetem-na a três testes distintos – teste de **compressão**, teste de **vibração** e teste de **queda** – sendo que a embalagem tem que ter uma performance positiva nos três para poder ser validada.

Teste de Compressão (Vertical)

Este primeiro teste tem como objetivo simular a pressão exercida sobre a embalagem na hora do empilhamento. Este, ao utilizar uma força predefinida, testa, assim, a resistência à capacidade de carga de uma embalagem durante todo o transporte, tendo em conta também o seu interior (cheia ou com espaços vazios) e o sentido do empilhamento que irá ser colocada. A realização deste teste permite aferir os efeitos da compressão na embalagem final – deformação, colapso ou falha – e medir de que forma suporta o sistema de distribuição que irá ser utilizado.

Na realização de um teste de compressão (vertical) os requisitos utilizados na máquina devem seguir a norma ASTM D642.

Relativamente à composição do equipamento utilizado na realização deste teste, este apresenta duas placas horizontais planas e paralelas entre si, que podem ser movidas apenas verticalmente com o auxílio de guias verticais acionadas por um mecanismo composto por um motor ou sistema hidráulico. Desta forma, a pressão é aplicada através do movimento uniforme da placa superior, contra a placa inferior, a uma velocidade relativa de 13mm/minuto, de acordo com a norma acima mencionada.

Para a realização deste teste é necessário, previamente, e através do peso da embalagem completa, calcular a força máxima que a embalagem tem que suportar para poder passar no teste. Este cálculo é realizado segundo esta equação:

$$FC = [m * (NE - 1) * A * g] * B$$

Parâmetros /Fórmula para Teste de Compressão (vertical)			
Símbolo	Significado	Unidade	Valor
FC	Força de compressão	N	?
m	Massa do produto	Kg	?
NE	Número de embalagens empilháveis	unidades	?
A	Fator de compressão	-	5
g	Aceleração da gravidade	m/s ²	9,81
B	Fator de compensação de tempo e compressão	-	1,4

Tabela 04: Parâmetros/Fórmula para os testes de compressão segundo a empresa Bosch.

Na realização de um teste de compressão é utilizado um software que possibilita a criação de um gráfico com a curva de força por deslocamento, o que permitirá uma análise mais clara dos resultados e mesmo um termo de comparação entre outras possíveis soluções de embalagem para o mesmo produto.

Todos os métodos e procedimentos, adotados pelo departamento de embalagem da empresa Bosch, para a realização deste teste, seguem a norma ISTA 2A 2008.

Finalizado o teste e obtidos os resultados, a embalagem deve permanecer em bom estado (com ausência de deformações de forma/tamanho) e o produto contido no seu interior deve manter a sua aparência e funcionalidades conforme as suas especificações, para a embalagem puder ser válida e seguir para a fase seguinte.

Como em todos os testes, existe uma tolerância relativamente aos danos causados na embalagem ao longo do teste de compressão, sendo, assim, aceites apenas alguns arranhões ou pequenas rugas na embalagem, desde que não interfiram com o bom estado do produto. Alguns aspetos inadmissíveis e reprobatórios são rasgões na caixa, patilhas danificadas/rasgadas, bordas/arestas demasiado deformadas, ou o produto ter falhas no seu normal funcionamento ou aspeto (BOSCH 2018).



Figura 23: Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização dos testes de compressão.

Teste de Vibração

Neste teste, a empresa, objetiva simular a vibração sentida pela embalagem durante o manuseio e transporte da mesma. O equipamento utilizado duplica os efeitos negativos das vibrações causadas pelos veículos/camiões durante o transporte das embalagens entre vários pontos, conseguindo-se, assim, analisar se existe consequências para o produto e embalagem.

No teste de vibração, os requisitos e parâmetros utilizados no equipamento têm por base a norma ASTM D4728.

O equipamento utilizado, para a realização deste teste, é composto por uma superfície horizontal plana, rígida e com dimensões razoáveis, tendo sempre que exceder consideravelmente as dimensões da embalagem – mesa vibratória.

O seu funcionamento dá-se por meio de uma vibração fixa ou de uma oscilação constante. O mecanismo utilizado por este equipamento tem que ser capaz de vibrar a mesa o suficiente para esta oscilar as embalagens sobretudo na direção vertical.

Durante todo o processo as embalagens completas (embalagem composta pelos incertos e pelo produto) são “fixas” à mesa vibratória com o auxílio de fitas e cordas, impossibilitando que estas saltem da mesa ao longo do teste. Deve se ter em atenção a forma de fixação das embalagens na mesa vibratória, pois devem ser evitados danos na embalagem causados pela sua fixação.

A realização deste teste na empresa Bosch, Ovar, segue o método imposto pela norma ISTA 2A 2008. Na sua realização, a embalagem é então colocada na plataforma horizontal plana e é aumentada a frequência até ao valor pretendido. A duração do teste tem de ter no mínimo 30 minutos, porém, existem outros tempos predefinidos para cada caso, que se encontram descritos numa tabela de exemplos de vibrações por deslocamento fixo para que se possa consultar e selecionar a opção mais indicada. Estes valores são selecionados tendo em conta que existe uma relação entre a duração do teste e a frequência utilizada, que é dada pela seguinte fórmula:

14.200 Impactos Vibratórios

$$\text{Duração do teste [minutos]} = \frac{\text{Ciclos por minuto (CPM) ou [Ciclos por segundo (Hz) *60]}}{\text{Ciclos por minuto (CPM) ou [Ciclos por segundo (Hz) *60]}}$$

Vibração por Deslocamento fixo		
Ciclos por minuto	Hz	Duração (min)
150	2.5	95
180	3.0	79
210	3.5	68
240	4.0	60
270	4.5	53
300	5.0	48

Tabela 05: Tabela de exemplos de vibração por deslocamento fixo.

À semelhança dos outros testes, este apresenta uma tolerância de danos, admitindo pequenos arranhões ou pequenas rugas na embalagem, porém, é considerado reprobatório arranhões profundos ou falhas no funcionamento do produto, o deslocamento do produto do local onde deveria se encontrar fixo, o deslocamento ou partes partidas nos insertos, e patilhas rasgadas ou bastante danificadas na embalagem (BOSCH 2018).



Figura 24: Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização dos testes de vibração.

Teste de queda (livre)

Neste teste, o objetivo primordial, é conseguir determinar a capacidade de uma embalagem completa em aguentar todos os impactos comuns no processo de distribuição. O teste de queda é considerado o mais intenso de todos, devido às elevadas desacelerações a que o produto e embalagem estão sujeitos no momento de embate com uma superfície plana. Este possibilita a compreensão do desempenho dos insertos, material e embalagem selecionados para proteção de um produto específico.

O equipamento utilizado na realização deste teste deverá estar de acordo com os requisitos da norma ASTM D5276 e ASTM D880, e segundo o regulamento aprovado pela Bosch a 10 de agosto de 2018. Desta forma o equipamento deve permitir a elevação e a queda segura da embalagem, não havendo riscos de o próprio equipamento danificar esta ao longo de todo o processo.

Neste teste é possível calcular a energia de impacto que o material/embalagem de proteção são capazes de suportar, sendo este cálculo realizado através da análise da velocidade a que a embalagem embate na superfície plana. Sendo assim, é analisado o deslocamento – a capacidade que o material de proteção oferece a nível de absorção de desacelerações e energias de impacto. Quanto mais curto o valor do deslocamento for, maior será o valor da desaceleração da embalagem.

Para a realização deste teste, a embalagem é colocada a uma altura pré-definida e ajustada na máquina, sendo que esta altura varia de acordo com o peso da embalagem final,

podendo ir dos 970mm aos 310mm. A altura mais utilizada são os 970mm, pois a maioria das embalagens apresenta um peso que lhe permite ser manuseada e transportada em mãos pelo utilizador. Para esta altura são estabelecidas 10 quedas que seguem as restrições da tabela 06. A ordem estabelecida, para a queda da embalagem, inicia-se pelas faces de maior dimensão e seguindo-se até às de menor dimensão, sendo as últimas quedas para as arestas e cantos, normalmente os que têm ligação com a zona considerada mais frágil da embalagem (junta de fabrico da caixa, aresta 2-3 e 3-5, e o canto mais fraco da caixa 2-3-5). Para a realização deste teste a Bosch segue então a norma ISTA 2A com algumas modificações realizadas pelos mesmos.

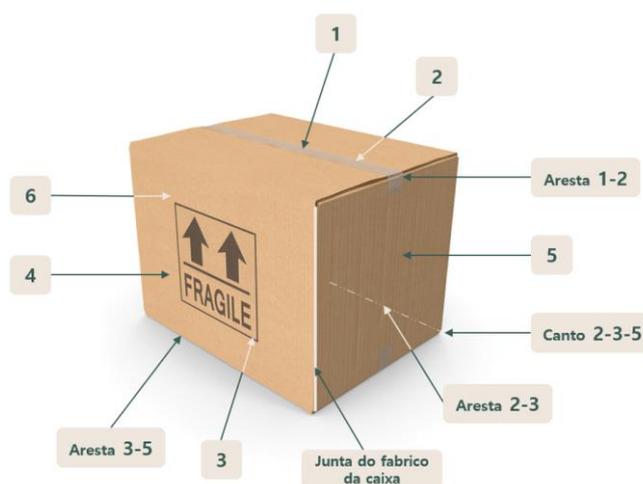


Figura 25: Ilustração da ordem das faces, arestas e cantos que compõe uma embalagem a testar.

Parâmetros para Teste de Queda (livre)	
Sequência	Orientação
1	Face 2
2	Face 4
3	Face 6
4	Face 5
5	Face 3
6	Face 1
7	Aresta 3-5
8	Aresta 2-3
9	Junta do fabrico da caixa
10	Canto 2-3-5

Tabela 06: Sequência e orientação para a realização de testes de queda.

Após a queda de todas as faces, arestas e canto, tal como descritos na tabela anterior, procede-se a uma análise detalhada do estado da caixa, salientando se não há danos profundos e permanentes que impeçam a sua validação. Após ser validada a embalagem, de acordo com o seu estado após as 10 quedas, é realizada uma análise ao produto que esta continha, verificando se este não sofreu danos quer externos quer internos – funcionamento. Quando se trata de produtos eletrónicos, como é o caso da Bosch, na maioria dos equipamentos é utilizado um acelerómetro que possibilita a medição dos G's de cada queda. Esta medição é realizada quando existe uma indicação por parte do departamento de desenvolvimento do produto que existem restrições de G's para aquele produto em específico. Nestes casos, o departamento de embalagem deve avaliar, assim, os G's de cada queda e certificar-se que não ultrapassa o valor limite indicado para aquele produto.

Como nos testes anteriores, existe uma tolerância de danos na realização do teste de queda, admitindo-se, assim, arranhões ou pequenas rugas na embalagem e arestas e cantos ligeiramente danificados. Contudo, é reprovável arranhões no produto, o deslocamento do mesmo no interior da embalagem, o deslocamento dos insertos de proteção, patilhas rasgadas, caixa rasgada, e o não funcionamento do produto conforme as suas especificações (BOSCH 2018).

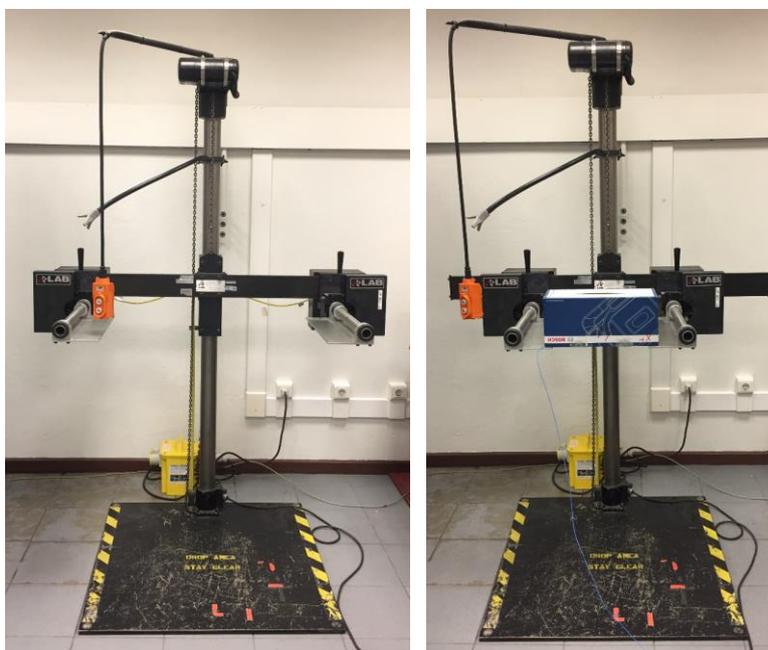


Figura 26: Equipamento utilizado na empresa Bosch para a realização do teste de queda.



Figura 27: Plantas

3

ESTUDO DE MERCADO

O terceiro capítulo desta tese – pesquisa de mercado – é composto por uma análise dos principais materiais poluentes utilizados pela empresa Bosch (EPS e EPE) e por uma investigação de materiais compostáveis, recentes no mercado, e adequados para substituir estes na indústria da embalagem, mais concretamente, no embalamento de produtos eletrónicos. Desta investigação fazem parte um grupo de sete espumas – três compostáveis industrialmente e quatro compostáveis domesticamente – e um grupo de seis filmes poliméricos, todos compostáveis domesticamente.

Da terceira parte deste estudo, fazem parte, exemplos de embalagens e insertos sustentáveis presentes no mercado, com o objetivo de expor que outras indústrias deste setor já caminham para um mundo mais sustentável, reduzindo a sua pegada ambiental, e apelando pelo abandono de materiais poluentes como polímeros e espumas derivadas do petróleo.

3.1

EPS e EPE

Materiais poluentes utilizados no embalamento dos produtos Bosch

O embalamento seguro de qualquer equipamento ou produto é o objetivo primordial de qualquer empresa, para que este chegue ao cliente final sem qualquer sequelas. A importância das embalagens e da sua capacidade de proteção foi atingindo uma maior importância com o aumento das compras online e das exportações realizadas por inúmeras empresas.

Desta forma, a procura por materiais capazes de cumprir estes requisitos foi aumentando e sendo cada vez mais valorizada, apesar da dificuldade que esta engloba. A proteção de produtos eletrônicos de grande escala ou peso, até ao momento, é realizada através de materiais com grandes capacidades mecânicas, mas baixo teor de sustentabilidade, sendo, muitas das vezes derivados de materiais poluentes e de difícil reciclagem como o petróleo – EPS e EPE. O embalamento de produtos eletrônicos e outros equipamentos frágeis é, assim, realizado na maioria das vezes por estes materiais – EPS e EPE – devido à quase inexistência de materiais sustentáveis que apresentem o mesmo desempenho mecânico que estes e possam, desta forma, substituí-los em empresas como a Bosch.

Esta investigação, objetiva assim, encontrar materiais sustentáveis capazes de substituir o EPS e o EPE no embalamento de produtos eletrônicos Bosch. Para isso foi realizada uma breve análise dos materiais atuais utilizados pela empresa, e, de seguida, um estudo e comparação destes com alguns dos materiais compostáveis selecionados para serem igualmente testados mecanicamente segundo as normas ISTA 2A e ISTA 3A – normas utilizadas pela empresa nas fases de validação de um material ou embalagem. Os materiais além de serem comparados mecanicamente, também vão ser analisados com base na sua composição e produção, na localização do seu fornecedor, no seu fim de vida, nas suas certificações ambientais, no seu custo e na sua fácil aplicabilidade.

3.1.1 Material – EPS

O EPS – Poliestireno expandido, é um material celular rígido composto por 98% de ar e 2% de plástico. Este material apresenta-se como uma espuma de poliestireno (PS) expansível e moldável, devido à sua constituição por grânulos, que a permite adquirir diversas formas e densidades e adequar-se a indústrias distintas – embalagem, isolamento na construção civil, caixas de peixe, entre outras. O poliestireno apresenta a capacidade de ser expansível devido a conter um agente expensor que é obtido através do petróleo, por intervenção de várias transformações químicas (Acepe 2019).

Processo Produtivo

No processo produtivo do EPS, todas as empresas fabricantes cumprem as normas regulamentadas para a sua produção, sendo, que desta forma, a matéria prima sofre um processo de transformação física, sem nunca alterar as propriedades químicas do material. Este processo físico dá-se em três etapas principais:

1. **A Pré-expansão** – Nesta fase processa-se a expansão do poliestireno (PS) através de um pré-expansor onde se dá o seu aquecimento por contacto com o vapor de água. Neste processo o poliestireno aumenta o seu volume cerca de 50 vezes do tamanho original, originando um granulado de partículas de EPS constituídas por pequenas células fechadas.
2. **Armazenamento intermédio e estabilização** – O armazenamento das partículas,

conseguidas na primeira fase, em silos ventilados é muito importante, pois é aqui que se dá a estabilização do granulado de EPS, dando tempo para que este arrefeça e origine uma depressão no interior das células. Durante este processo, o espaço interior das células é ocupado por ar, fazendo com que os grânulos atinjam uma maior estabilidade mecânica e melhorando a sua capacidade de expansão, o que é bastante útil para a próxima etapa do processo.

3. **Expansão e Modelagem** – O granulado depois de seco e estabilizado é introduzido em moldes e é novamente exposto ao vapor de água, solidificando os grânulos entre si e originando um material expandido e rígido mas com uma grande concentração de ar. Esta elevada percentagem de ar faz com que a peça originada, por maior que seja a sua dimensão, continue a ser bastante leve em comparação com outros materiais. A seleção do tipo de matéria-prima e a regulação do processo de fabrico, permitem obter uma diversidade de tipos de EPS com distintas densidades, cujas suas características individuais se adaptam às mais diversas aplicações (BEWI-Plastimar 2011).

Propriedades do EPS

O EPS apresenta diversas propriedades que o levam a ser um excelente material de proteção e de isolamento (Tabela 07).

- **Propriedades mecânicas** – As propriedades mecânicas mais importantes do EPS são a elevada resistência à compressão, a resistência à flexão, resistência à tração e a fluência sob compressão – características que o levam a ter altas condições de manuseamento e aplicação. Os valores da resistência estão diretamente relacionados com a massa (volume) do EPS, sendo que os valores aumentam de forma linear com o aumento da massa volúmica. No que diz respeito à compressão, o EPS, comporta-se de forma elástica até a deformação atingir cerca de 2% da espessura total da placa. Neste tipo de situação, quando a força que provoca a deformação é retirada, a placa volta a recuperar a sua espessura original. Quando existe um aumento da força de compressão, supera-se o limite de elasticidade e dá-se uma deformação permanente de parte das células, sem nunca haver rompimento.
- **Propriedades Térmicas** – Uma das propriedades mais importantes deste material é a sua capacidade de resistir à passagem do calor, e esta deve-se à sua estrutura celular, constituída por milhões de células fechadas com diâmetros de apenas alguns décimos de milímetro e com uma parede de 1mm. O EPS é assim considerado um bom isolante térmico, pois apresenta a capacidade de manter uma grande quantidade de ar, praticamente imóvel e de forma permanente, dentro das suas células. A capacidade de isolamento térmico do EPS é expressa através do Coeficiente de Condutibilidade Térmica (CCT), habitualmente medido em $[W/m^{\circ}C]$. Quando menor for o coeficiente, maior será a sua capacidade de isolamento térmico. Porém, para obter um efeito isolante numa aplicação construtiva, para além do CCT os outros fatores determinantes são a espessura da camada isolante e a sua massa volúmica.
- **Propriedade de absorção de água** – O EPS, quando imerso, absorve apenas pequenas quantidades de água. Isto deve-se à sua estrutura de células

fechadas e ao facto das paredes das células serem impermeáveis à água, fazendo com que a esta fique retida nos espaços entre as células. Este processo faz com que o EPS volte a secar facilmente, sem perder nenhuma das suas propriedades. Os valores de absorção de água diminuem com o aumento da massa volúmica.

- **Propriedade de difusão do vapor de água** – O EPS é permeável ao vapor de água. Esta propriedade é importante, pois permite a difusão do vapor de água pela envolvente dos edifícios. No entanto, o posicionamento da camada de EPS na envolvente e a composição das restantes camadas, isto é, a solução construtiva escolhida, devem ser especificadas de modo a evitar uma eventual condensação do vapor de água no material. A permeabilidade ao vapor de água diminui com o aumento da massa volúmica (ver tabela das propriedades do EPS).
- **Resistência a temperaturas extremas** – O EPS não apresenta um limite na exposição a baixas temperaturas, porém, como todos os plásticos, o EPS tem um limite na exposição a altas temperaturas. Este limite varia em função do tempo de exposição, da temperatura e das cargas a que o EPS for sujeito. A temperatura máxima que o EPS pode suportar pode ultrapassar os 100°C em exposições muito curtas, baixando para 80–85°C em situações de exposição prolongada com a aplicação de cargas elevadas. Com a aplicação de temperaturas mais elevadas a estrutura celular do EPS começa a fundir, permitindo a saída do ar, e levando, conseqüentemente à perda de espessura e das propriedades isolantes (BEWI-Plastimar 2011).

Propriedades do EPS							
EPS TIPO	EN 13163	EPS 30	EPS 60	EPS 100	EPS 150	EPS 200	EPS 250
Condutibilidade Térmica (W/m°C)	EN 12667 ou EN 12939	0,044	0,040	0,038	0,036	0,035	0,035
Resistência à Compressão - Deformação < 2% (KPa)	EN 826	5	15	25	35	50	70
Resistência à Compressão - Deformação 10% (KPa)	EN 826	30	60	100	150	200	250
Resistência à Flexão (KPa)	EN 12089	50	100	150	200	250	350
Fator de Difusão do vapor de água (μ)	EN 12086	20-40	20-40	30-70	30-70	40-100	40-100
Absorção de água por imersão (% volume)	EN 12087	<5	<3	<2	<2	<2	<1
Coefficiente de dilatação térmica linear (°C ⁻¹)	-	-	-	-	5-7*10 ⁻⁵	-	-
Estabilidade de forma à temperatura (°C)	-	-	-	-	85	-	-
Reação ao fogo (EPS não inflamável)	EN 13501-1 Especificação LNEC E365	-	-	-	Euroclasse E M1-Não inflamável	-	-

Tabela 07: Propriedades dos EPS (Acepe 2019).

Fim de vida do EPS

O EPS, apesar de conter petróleo na sua constituição, quando utilizado como isolante térmico, pode desempenhar um papel significativo na redução das emissões de CO₂ e auxiliar na redução do aquecimento global. Isto acontece, pois a energia necessária para sua produção (151–269 kWh/m³), é recuperável após seis meses neste tipo de aplicações.

No final do seu ciclo de vida, o EPS pode ser 100% reciclável e reutilizável ou convertido em energia. Por se tratar de um plástico e de ser muito leve, o processo de fabrico consome muito pouca energia e origina poucos resíduos sólidos ou líquidos. A produção de EPS é assim um processo limpo, livre de CFCs e de HCFCs (BEWI-Plastimar 2011).

O EPS é um material que não apodrece nem ganha bolor, não é solúvel em água nem liberta substâncias para o ambiente, e, caso seja utilizado de forma correta no acondicionamento de alimentos, não levanta riscos para a saúde. O EPS não constitui substratos ou alimentos para o desenvolvimento de animais ou microrganismos. Este material pode, ocasionalmente, ser atacado por roedores ou outros animais. Por isso, é necessário prever revestimentos que impeçam o acesso desses animais às placas de EPS (Acepe 2019).

Aplicações do EPS

O EPS é, sobretudo, utilizado na área da construção civil e das embalagens alimentares e industriais. No setor da construção civil este é utilizado de variadas formas, entre elas: isolante térmico para coberturas, paredes e pavimentos; enchimentos; câmaras frigoríficas; e substrato para a realização de formas decorativas de acabamento.

No que diz respeito à sua utilização no setor de embalagens, este é muito utilizado devido à sua versatilidade na aquisição de qualquer forma e devido a ser um bom elemento de proteção e isolante. Devido às suas características, este passou a ser um dos materiais mais utilizados neste setor, abrangendo embalagens alimentares, industriais, da química-farmacêutica, de perfumaria, horticultura, jardinagem, materiais de escritório, de produtos eletrónicos, de brinquedos, peças cerâmicas, entre muitos outros.

Os equipamentos industriais encontram no EPS o material ideal para uma proteção integral, pois este confere uma proteção perfeita e completa contra todos os riscos provenientes do transporte e manuseamento dos mesmos. No setor alimentar, as embalagens em EPS contribuem para uma maior conservação dos vários tipos de alimentos, e, ainda auxilia na redução do risco dos alimentos se deteriorarem durante o transporte (BEWI-Plastimar 2011).

Fornecedores Bosch

O EPS é um dos materiais utilizados pela empresa Bosch na proteção dos seus equipamentos eletrónicos. Este é um dos materiais que visam substituir por materiais mais sustentáveis e com bases biológicas de forma a reduzirem a pegada ecológica da empresa.

A maioria dos insertos em EPS utilizados pela empresa têm um peso específico de 23 kg/m³, exceto se o produto a ser embalado exigir outras especificações do material. Em relação aos insertos de EPS, estes são, sobretudo, produzidos pela empresa Petibol, um dos principais fornecedores da Bosch.

Ao longo do estágio curricular cedido pela empresa, foi possível ter um contacto direto com

este fornecedor, do qual se conseguiu informações mais concretas sobre os seus produtos e respetivos processos produtivos, como também amostras não só dos seus produtos mas também de materiais de empresas que eles estabelecem uma parceria, como é o caso da empresa BASF.

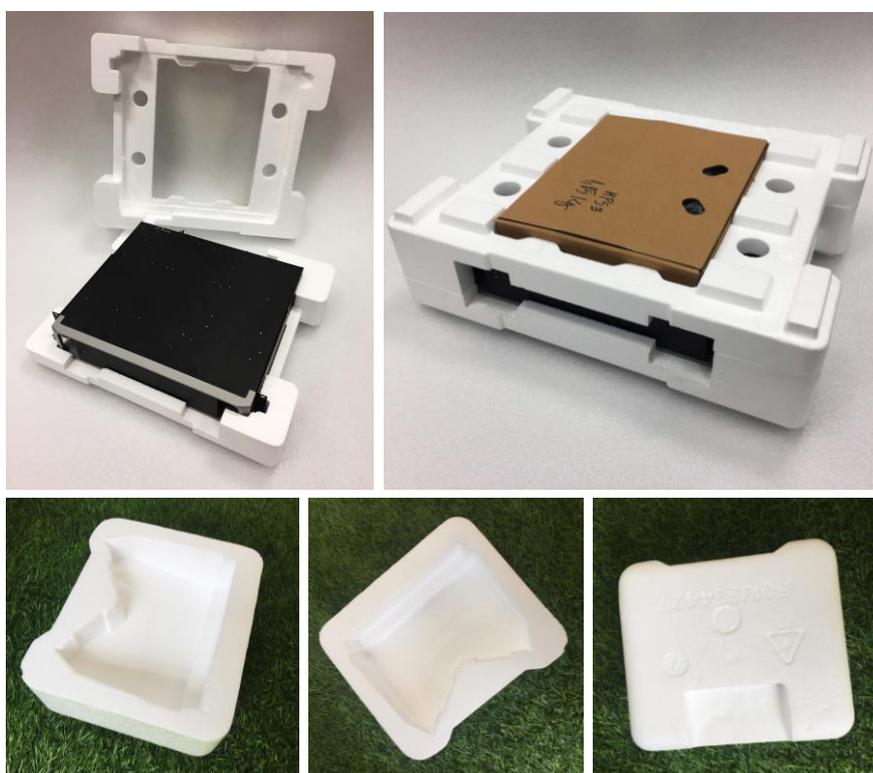


Figura 28: Exemplos de insertos em EPS utilizados pela empresa Bosch – Inseto do IPPA e do Idesk respetivamente.

3.1.2 Material – EPE

O Polietileno expandido – EPE, é uma espuma de baixa densidade com estrutura celular fechada e reticulação física ou química. Esta possui um alto desempenho técnico em aplicações de tratamento térmico, acústico, isolamento hídrico, anti- vibração, flutuadores, calços e amortecedores. Este material é caracterizado como leve, inodoro e flexível e pode ser adquirido sob a forma de peças moldadas, fitas, mantas, placas e tubos. As suas aplicações mais frequentes são nos setores automóvel, agrícola, eletrónico, construção civil, refrigeração, condicionadores de ar, embalagens alimentares e industriais, entre outros (Incoflex 2019).

Processo Produtivo

O polietileno expandido de baixa densidade é obtido através do processo de polimerização via radical livre a alta pressão, e a nível de temperatura é um polímero parcialmente cristalino. A sua densidade varia de 0,91 a 0,93 g/cm³, a sua massa molar de 20.000 a 45.000 g/mol e o seu ponto de fusão de 100 a 120° C.

O sistema de produção do polietileno expandido de baixa densidade inclui três passos essenciais no processo: a unidade de compressão, o reator e os sistemas de separação do produto. O processo consiste na compressão do gás eteno, com altíssima pureza, até o reator tubular, a alta pressão (1000 a 3000 atm), aquecer e atingir a temperatura de iniciação da reação. Esta é controlada numa faixa de 140 a 330°C. O reator é onde tem início a reação de polimerização via radicais livres. A poliadição dos monómeros pode ser iniciada através da injeção de compostos – oxigénio e/ou peróxidos orgânicos – no reator ou por condições físicas como radiação ou calor.

O manuseamento dos termoplásticos exige uma etapa de aquecimento do sólido, até este atingir a temperatura adequada para lhe conceber a fluidez necessária para ser conformado mecanicamente. São utilizados vários tipos de processos na produção de filmes tubulares e filmes planos, entre eles, a moldagem de peças por injeção, moldagem de frascos por sopro, calandragem, rotomoldagem, entre outros.

Para a produção dos insertos utilizados como proteção nas embalagens da Bosch é utilizado, sobretudo, o processo de moldagem por injeção. Este processo consiste, essencialmente, na fusão do material num cilindro aquecido e, posteriormente, na sua injeção a alta pressão para o interior de um molde relativamente frio, onde endurece e toma a forma final, sendo assim moldada e retirada do molde com auxílio de pinos extratores. O sistema de injeção trabalha em ciclos e, para que isto ocorra, são necessárias algumas operações adicionais como:

- Dosagem do polímero granulado no cilindro de injeção;
- A fusão da resina até que o material ganhe a fluidez necessária para ser injetado;
- Injeção do material fundido no molde fechado;
- Arrefecimento do material até que ocorra a solidificação;
- Extração do produto com o molde aberto (BARBOSA 2017).

Propriedades do EPE

A espuma de polietileno expandido (EPE), de célula fechada, é produzida por processos ecológicos, sem utilização de CFC's e HFC's, é reciclável e inodora, fornecendo, assim, a possibilidade de se criarem soluções amigas do ambiente.

O EPE possui um conjunto de propriedades que o tornam único no embalamento de diversos produtos – tenacidade, boa resistência ao impacto, alta flexibilidade, fácil processabilidade, propriedades elétricas notáveis e grande estabilidade das suas propriedades mesmo com o passar do tempo.

Mesmo sendo muito resistente à água, o EPE é atacado aos poucos por agentes oxidantes. Solventes alifáticos, aromáticos e clorados, podem causar o seu inchamento mesmo em temperatura ambiente. O polietileno de baixa densidade é pouco solúvel em solventes polares como cetonas, ésteres e álcoois, e a sua permeabilidade mediante a água é baixa quando comparada com outros polímeros. A permeabilidade a compostos orgânicos polares (ex.: álcool ou éster) é significativamente mais baixa comparada com compostos orgânicos apolares (ex.: heptano ou éter dietílico).

Em suma, as principais propriedades do EPE passam por:

- Excelente capacidade de amortecimento;
- Material resiliente;
- Células fechadas;
- Não abrasivo;
- Fácil de transformar;
- Flexível e de fácil adaptação a diferentes morfologias;
- Impermeável ao mofo e bactérias;
- Resistente à água, produtos químicos, solventes e graxa;
- Livre de CFC's e HFC's;
- Inodora;
- Excelente fluabilidade;
- Excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico;
- Boa relação qualidade preço (EPOLI 2018; Polímeros 2019).

Fim de vida do EPE

O EPE é uma espuma 100% reciclável, sendo assim, amiga do ambiente quando é encaminhada corretamente para centros onde é realizada a sua correta eliminação.

As empresas de reciclagem de polietileno podem utilizar métodos diferentes de reciclagem. Um deles é o processo de reciclagem mecânica, onde os resíduos plásticos são transformados novamente em grânulos e utilizados na produção de outros produtos.

As etapas deste processo, realizadas pelas empresas de reciclagem de polietileno, são:

- Recolha seletiva e triagem;
- Moagem dos plásticos;
- Lavagem com água;
- Aglutinação – feita por atrito numa máquina rotativa que gera calor criando uma massa plástica;
- Extrusão – que é o amolecimento e homogeneização do material.

Outro método de reciclagem que pode ser utilizado na eliminação do polietileno é a reciclagem química, onde são utilizados compostos químicos para recuperação dos resíduos plásticos (Polibalbino 1998).

Aplicações do EPE

O EPE pode ser adquirido em placa, cantoneiras, ou mesmo adquirir diversas formas através da sua expansão em moldes. Todos eles podem apresentar diversas espessuras, cores e densidades. Esta sua versatilidade faz com que seja um material muito requisitado pela indústria da embalagem, para embalar e proteger, sobretudo, produtos mais frágeis, produtos eletrônicos, ou muitos outros que necessitem de uma camada protetora durante todo o processo logístico. A proteção oferecida pelo EPE na indústria das embalagens destaca-se nas seguintes áreas:

- Eletrodomésticos;
- Outros produtos Eletrônicos;
- Peças automotivas;
- Itens de vidraçaria;
- Produtos da indústria mobiliária;
- Alimentos e bebidas.

Contudo, o polietileno de baixa densidade tem outras aplicações na indústria, entre elas:

- Sacaria industrial;
- Filmes multicamadas;
- Filmes agrícolas;
- Fraldas;
- Laminação;
- Coextrusão (Polímeros 2019; Unipoli 2015).

Fornecedores Bosch

EPE é um dos materiais utilizados pela empresa Bosch, e que esta visa substituir tal como o EPS. O principal fornecedor Bosch para este material é a empresa Inapa, empresa que se visitou ao longo do estágio realizado na Bosch. Durante as visitas foi possível ficar a conhecer os processos produtivos, as variações do material, bem como as tecnologias de prototipagem utilizadas por eles para a realização de muitos dos protótipos Bosch, que apenas necessitam de placas cortadas e coladas ou dobradas. O contacto realizado com este fornecedor auxiliou na aquisição de amostras, no esclarecimento de dúvidas, e no conhecimento de outros materiais similares ao EPE mas mais ecológicos que este.



Figura 29: Exemplos de insertos em EPE utilizados em produtos Bosch.

3.2

Materiais Sustentáveis

Espumas e filmes poliméricos compostáveis

Os materiais selecionados para fazerem parte desta investigação, passaram por uma pré-seleção, onde foram analisados vários materiais e elegidos os mais indicados para substituírem o EPS e o EPE no embalamento de produtos eletrônicos Bosch. O foco passa por encontrar materiais compostáveis que substituam tanto o EPS como o EPE no embalamento de produtos que ainda não foi possível se proceder a essa alteração, devido à falta de opções de materiais sustentáveis que, em simultâneo, apresentem propriedades mecânicas semelhantes a estes.

Este estudo passou assim pela seleção de sete espumas (Tabela 08) e seis filmes poliméricos (Tabela 09), que, numa pré-análise, têm fortes possibilidades de conseguirem substituir mecanicamente estes materiais e os sacos plásticos que envolvem os produtos eletrônicos e os respetivos acessórios.

Além de materiais compostáveis domesticamente também foram estudados materiais compostáveis industrialmente como forma de validar e comparar as duas opções e concluir quais os mais viáveis para dar resposta a esta investigação.

Biomateriais						
Espumas						
Compostáveis Industrialmente			Compostáveis Domesticamente			
						
a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.
Ecovio® EA	Fibi Buffer	Biofoam®	Mycocomposite™	Mycoflex™	Green Cell Foam™	Bioespuma®
Basf	Fibi Buffer	BEWi Synbra	Ecovative	Ecovative	KTM Industries Inc.	Kehl

Tabela 08: Bio materiais: Espumas e o seu fim de vida.

Biomateriais					
Filmes Poliméricos					
Compostáveis Domesticamente					
					
a.	b.	c.	d.	e.	f.
Quitina e Celulose	Bio-cassava bag	Sacos de Celulose	Nature Flex™	ecovio®	Bio Flex®
Georgia Institute of Technology	Avani	Repaq	Innovia	Basf	Fkur

Tabela 09: Bio materiais: Filmes poliméricos e o seu fim de vida.

3.2.1 Espumas Compostáveis Industrialmente

A compostagem industrial é capaz de transformar as características dos resíduos sólidos, sejam eles de origem agropecuária, urbana, agroindustrial ou industrial, num produto orgânico, com propriedades de condicionador de solos e/ou fertilizante orgânico seguro para utilizar na agricultura.

O processo utilizado na compostagem industrial é muito importante na atividade de tratamento de resíduos sólidos orgânicos, sendo capaz de transformar as suas propriedades físico-químicas, estabilizar a carga orgânica, higienizá-los, reduzir a sua massa e volume, torná-los seguros para uso, e focando-se sempre na reciclagem de nutrientes e de matéria orgânica estabilizada.

Este processo insere-se assim, dentro do conceito de economia circular e ocorre em cinco etapas principais, que visam a transformação dos resíduos orgânicos em fertilizantes:

1. **Análise prévia dos resíduos orgânicos** - Os resíduos são avaliados segundo a atividade que os gera, assim como as matérias-primas e os materiais utilizados na produção. Também são analisadas as suas características físico-químicas.
2. **Disposição dos resíduos em "Lareiras"** - Na planta de compostagem, os resíduos são misturados com cavacos de madeira e outros materiais e em seguida, dispostos em leiras, onde o material é misturado com o auxílio de máquinas ou de sopradores, o que garante a aeração e o desenvolvimento de microrganismos que os digerem e transformam.
3. **Destacamento do calor na fase termofílica** - Após serem misturados, permanecem em compostagem no mínimo 55 dias, onde são envolvidos frequentemente e expostos a uma temperatura média de 55°C. O objetivo é higienizar a massa, livrando-a de microrganismos patogênicos, e reduzir a sua humidade a cerca de 40%.
4. **Peneiramento** - Após a etapa 3, o composto é peneirado. O composto passa pela peneira, onde fica até 30 dias em maturação, aqui a matéria que é rejeitada e fica na peneira - normalmente composta por fragmentos de madeira - é retornada ao início do processo de compostagem.
5. **Aplicação em áreas agrícolas** - Nesta fase o produto passa a ser chamado de fertilizante orgânico composto e é rico em matéria orgânica, substâncias húmicas, macro e micronutrientes e destina-se a culturas agrícolas ou a plantas de interior e jardins (Tera 2019).

BASF ecovio® EA

Compostável Industrialmente



Figura 30: Ecovio® EA, da empresa BASF.

Ecovio® EA (Figura 30) é um material desenvolvido pela empresa alemã BASF com o objetivo de substituir materiais poluentes, como o EPS, na indústria da embalagem.

Esta espuma é gerada pelo mesmo processo de fabrico que o EPS e o EPP – Termoformagem – e a sua formação dá-se através de um conjunto de células expansíveis compostas por um polímero biodegradável “ecoflex®”, também desenvolvido pela empresa BASF, e ácido polilático (PLA), um polímero derivado do milho e de outras plantas geradoras de açúcar como a mandioca.

BASF ecovio EA assemelha-se ao EPS convencional, apresentando excelentes propriedades mecânicas que o tornam adequado para o embalamento de produtos delicados ou de peso elevado. Este oferece propriedades que passam pela elevada resistência a impactos; robustez; ótimas propriedades térmicas (sendo um bom material a utilizar em isolamentos); elevada resistência a solventes; excelente absorção de energia; e boa resiliência, mesmo quando submetido a múltiplas cargas de impacto.

O alto conteúdo de base biológica faz com que este seja compostável industrialmente em 5 semanas segundo a norma DIN EN 13432 (BASF 2019).

NOME COMERCIAL

Ecovio® EA

COMPOSIÇÃO

BASF ecoflex® + PLA (derivado do milho ou de outras plantas geradoras de açúcar como a mandioca)

PROCESSO PRODUTIVO

Termoformagem (máquinas utilizadas no EPS/EPP)

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL

Os cubos de ecovio® EA com 5cm de lado e 28-47g/l degradam-se em cerca de 5 semanas

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

DIN EN 13432 (embalagem compostável)

BASF

Alemanha

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

6 meses (sem perder propriedades)

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (PLA derivado do milho/ mandioca)
- ✓ Condutividade térmica mínima de 34 mW / mK
- ✓ Boa resistência a solventes (ex: acetona)
- ✓ Não contém retardadores de chama
- ✓ Resistência até 100 ° C num período de várias horas



FIBI BUFFER

Compostável Industrialmente



Figura 31: Fibi Buffer , Holanda.

Fibi Buffer (Figura 31) é uma ideia inovadora desenvolvida na Holanda e bastante recente no mercado das embalagens.

Este material sustentável é composto pela espuma ecovio® EA desenvolvida pela empresa alemã BASF e por um filme envolvente da FKUR, ambos compostáveis industrialmente.

Esta solução inovadora para o setor das embalagens apresenta um formato cúbico, e o filme envolvente permite que este seja manuseado facilmente e destacado no tamanho pretendido.

Estas “almofadas” de ecovio são formadas através da técnica de termoformação, tal como os rebaiços no filme biodegradável onde posteriormente são colocadas e seladas.

A sua composição permite que seja uma solução bastante leve, intuitiva e que abranja um conjunto vasto de soluções de diferentes tamanhos e pesos, podendo-se adaptar ao embalamento de uma diversa gama de produtos desde acessórios a grandes produtos eletrónicos.

Fibi Buffer permite, assim, o embalamento eficiente de diversos produtos, pois, além do seu design adaptativo, também apresenta excelentes propriedades mecânicas e elevada resistência ao impacto.

Apesar de ser um produto sustentável ainda não contém certificações ambientais, porém, os dois materiais que o compõe apresentam: ecovio® EA - DIN EN 13432 (embalagem compostável); e o filme envolvente da FKUR Bio-Flex® F1130 - EN 13432 (embalagem compostável) e ASTM D6400 (materiais e produtos compostáveis) (Packaging 2018; Plas 2018).

NOME COMERCIAL

Fibi Buffer

COMPOSIÇÃO

Ecovio® EA (BASF) + Bio-Flex® F1130 (FKUR)

PROCESSO PRODUTIVO

Através do processo de termoformagem são realizados os rebaixos no filme biodegradável, onde posteriormente são colocados e selados os cubos de ecovio®

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL

Compostável em cerca de 5 semanas

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Esta solução ainda não é ambientalmente certificada, porém os materiais que a compõe sim:

Ecovio® EA (BASF): DIN EN 13432 (embalagem compostável)

Bio-Flex® F1130 (FKUR): DIN EN 13432 (embalagem compostável) e ASTM D6400 (materiais e produtos compostáveis)

FIBI BUFFER

Holanda

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

Ecovio® EA (BASF): 6 meses

Bio-Flex® F1130 (FKUR): Duradouro na ausência de umidade e de radiação UV

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica
- ✓ Alta flexibilidade e adaptabilidade
- ✓ Impermeável

SYNBRA Biofoam®

Compostável Industrialmente

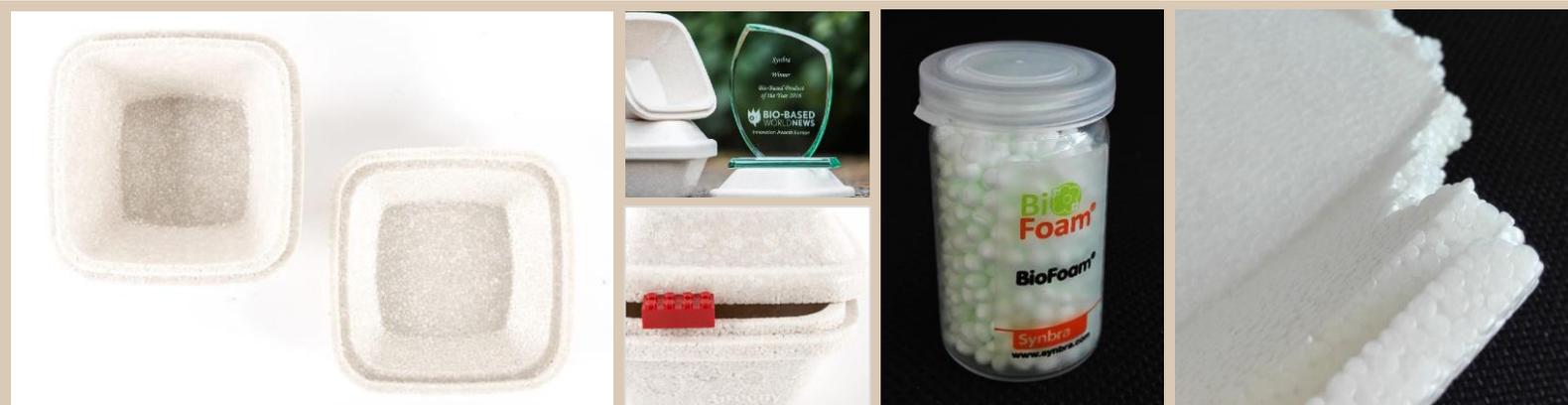


Figura 32: Biofoam®, SYNBRA.

SYNBRA biofoam® (Figura 32), tal como o nome indica, é um material desenvolvido pela empresa Holandesa SYNBRA, e assemelha-se em quase tudo ao atual EPS, material muito utilizado na indústria da embalagem.

Esta bioespuma apresenta, assim, a mesma estrutura e as mesmas propriedades do EPS, apresentando como única diferença a sua constituição. Enquanto que o EPS é produzido à base de polímeros provenientes de matérias-primas fósseis, um recurso finito, a SYNBRA biofoam® é desenvolvida a partir de biopolímeros (PLA) com base em materiais vegetais, um recurso infinito. A sua composição à base de partículas utiliza apenas CO² como agente expansivo das mesmas.

Devido à sua base orgânica, esta é biodegradável e pode ser industrialmente compostada em quatro semanas a uma temperatura de cerca de 70°C e sob influência de humidade e bactérias.

SYNBRA biofoam® é livre de qualquer substância cancerígena, mutagénica e reprotóxica. Esta espuma sustentável segue as normas PAS 2060 de verificação de neutralidade e a norma europeia EN 13501 - 1 classe E (fogo). Além destas normas e dos vários prémios que todas estas características lhe concederam, também é certificada ambientalmente com o certificados creadle-to-creadle e DIN EN 13432 (Synbra 2019).

NOME COMERCIAL

Synbra Biofoam®

COMPOSIÇÃO

À base do PLA Synbra, biopolímero de base biológica

PROCESSO PRODUTIVO

Termoformação (máquinas utilizadas no EPS)

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL

Os cubos de biofoam® de 5cm de lado, desintegram-se completamente a 70°C em 4 semanas

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Cradle-to-cradle: Silver

EN 13501 - 1 class E (fogo)

DIN EN 13432 (embalagem compostável)

BEWi SYNBRA

Suécia

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

Aproximadamente 6 meses

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (PLA Synbra)
- ✓ 100% carbono neutro
- ✓ Livre de substância cancerígenas, mutagénicas e reprotóxicas



3.2.2 Espumas e Filmes Compostáveis domesticamente

A compostagem é um processo biológico através do qual os microrganismos transformam a matéria orgânica (como folhas e restos de fruta) numa substância (composto) cujas propriedades se assemelham às do solo. Este composto, ao ser rico em nutrientes, melhora o crescimento das plantas, hortas e jardins.

Os resíduos que podem e devem ser compostados são classificados em dois grupos, de acordo com o teor de humidade e da proporção de nutrientes que apresentam: "verdes" (húmidos e ricos em Azoto); e "castanhos" (secos e ricos em Carbono).

Para que a compostagem decorra da melhor forma, é fundamental ter a maior diversidade de resíduos possível, numa proporção igual de verdes e castanhos. A compostagem doméstica é preferencialmente realizada em casa pela população, porém, estes resíduos também podem ser depositados no ecoponto castanho, onde serão posteriormente levados para zonas de compostagem doméstica e produção de fertilizantes naturais.

Este processo apresenta um conjunto de etapas bastante simples:

1. **Escolha do local** – Na compostagem realizada em casa, é essencial que se inicie o processo num local à sombra, com água e sem vento (para evitar a secagem do composto).
2. **Preparar o fundo do posto de compostagem** – Colocar uma camada de pequenos ramos para possibilitar o arejamento e impedir a compactação.
3. **Misturar os materiais** – Dispor os resíduos verdes e castanhos em camadas alternadas, sendo a última sempre de resíduos castanhos.
4. **Deixar arejar** – Colocar a pilha de resíduos orgânicos em contacto com a terra para permitir a entrada de microrganismos e a drenagem da água.
5. **Manter o composto húmido** – Regar várias vezes o composto para que este se mantenha húmido e gere um composto rico em nutrientes.

Como em todos os processos, este também apresentar fatores influenciadores, que ditarão a qualidade do composto gerado:



Temperatura – A temperatura deve ser medida periodicamente, sendo que a temperatura ideal para a compostagem é entre os 60 e os 65°C.



Arejamento – Sem oxigénio os microrganismos não conseguem respirar e, conseqüentemente, não conseguem realizar a compostagem. Desta forma, existe a necessidade de revirar a pilha de resíduos orgânicos várias vezes para os arejar.



Humidade – Para os microrganismos poderem atuar de forma eficaz, a pilha de resíduos orgânicos deverá ter sempre algum teor de humidade. Sendo assim é necessário a rega regular da pilha, e a verificação do nível de humidade desta. Quando se pega nos resíduos as mãos devem ficar húmidas mas nunca a escorrer água, pois o excesso de água pode estragar as propriedades do composto final (Ambisousa 2020).

ECOVATIVE Myco Composite™

Compostável Domesticamente



Figura 33: Myco Composite™, Ecovative.

Myco Composite™ (Figura 33) é uma bioespuma orgânica, desenvolvida pela empresa Ecovative, para substituir materiais poluentes como o EPS.

Esta, tal como o Myco Flex, também está inserida no grupo dos compósitos devido à sua composição 100% natural. Esta matéria prima é composta por resíduos agrícolas – palha, milho, arroz, entre outros – e micélio, o elemento principal e encarregue de unificar todos os elementos.

O Myco Foam assemelha-se em consistência ao poluente EPS e o seu processo produtivo assemelha-se à do Myco Flex, onde todos os resíduos são limpos e misturados com o micélio em moldes de crescimento, onde permanecem na ausência de luz até 5/6 dias. A última etapa do processo consiste em retirar a peça já moldada e levá-la ao forno para parar o crescimento do micélio e impedir a produção de cogumelos na peça.

A sua estrutura permite que se decomponha em casa em 30 dias, o que levou a que fosse certificado ambientalmente pelas normas: cradle-to-cradle; USDA; e ASTM 6400 (Circular 2016).

NOME COMERCIAL

Myco Composite™

COMPOSIÇÃO

Micélio + resíduos agrícolas

PROCESSO PRODUTIVO

A mistura desenvolve-se em moldes plásticos ou tabuleiros, durante 5/6 dias na ausência de luz

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

Degrada-se em 30 dias

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Cradle-to-cradle: Gold

USDA (produto de base 100% biológica)

ASTM D6400 (produtos e materiais compostáveis)

ECOVATIVE

USA

CARACTERÍSTICAS

- ✓ 100% natural (bio. compósito)
- ✓ Sem recurso a produtos químicos ou aditivos prejudiciais
- ✓ Leve e adaptável a várias formas e geometrias
- ✓ Bom isolante térmico
- ✓ Bom isolante acústico



ECOVATIVE Myco Flex™

Compostável Domesticamente

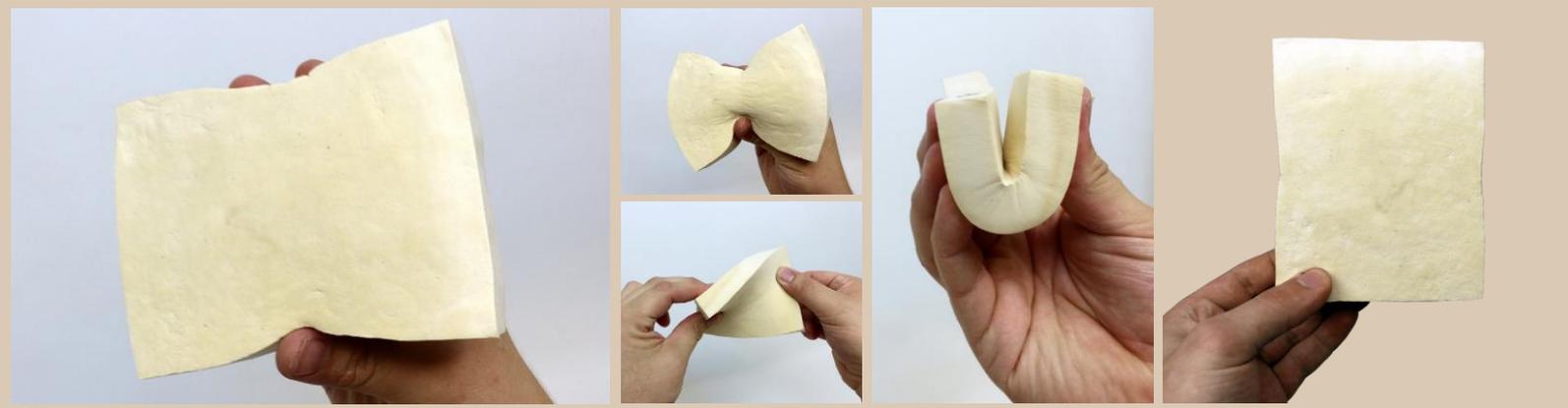


Figura 34: Myco Flex™, Ecovative.

Myco Flex™ (Figura 34) é uma bioespuma orgânica desenvolvida pela empresa Ecovative. Esta insere-se no grupo dos compósitos/bio compósitos pois apresenta uma base 100% natural. A sua aparência e consistência bastante flexível é conseguida através do material que a compõe – micélio puro.

Os resíduos de plantas e cogumelos, que compõe este material, são limpos a vapor e introduzidos com o micélio puro em bandejas/moldes de crescimento, que são lavados e reutilizados a cada semana para produzir novas peças. Esta mistura cresce num ambiente controlado e na ausência de luz, o que leva a que o micélio se desenvolva e una todos os resíduos agrícolas ao longo de 9 dias.

Este material 100% sustentável encontra-se disponível nos USA e é compostável em casa, onde se degrada em menos de um ano. Devido a estas características, este material é certificado ambientalmente pelas normas: cradle-to-cradle e USDA (Ecovative 2018).

NOME COMERCIAL

Myco Flex™

COMPOSIÇÃO

Micélio puro

PROCESSO PRODUTIVO

Este material desenvolve-se em moldes plásticos ou tabuleiros, durante 9 dias, num ambiente controlado e na ausência de luz

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

Menos de 1 ano

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Cradle-to-cradle: Gold

USDA (produto de base 100% biológica)

ECOVATIVE

USA

CARACTERÍSTICAS

- ✓ 100% de base biológica (bio. compósito)
- ✓ Sem químicos ou aditivos
- ✓ Muito flexível
- ✓ Não liberta partículas
- ✓ Bom isolante térmico e acústico
- ✓ Resistente ao fogo
- ✓ Impermeável à água e vapor de água
- ✓ Variedade de aplicações - têxteis, calçados, beleza e embalagens.



GREEN CELL FOAM™

Compostável Domesticamente



Figura 35: Green Cell Foam™.

Green Cell Foam™ (Figura 35) é produzido nos USA e é um dos materiais mais sustentáveis disponíveis recentemente no mercado.

Esta bioespuma é 100% compostável e biodegradável devido à sua composição orgânica conseguida através de um componente principal e maioritário – milho.

A sua composição permite que seja compostável em casa em apenas quatro semanas – compostor doméstico. Também oferece outras possibilidades de fim de vida como ser dissolvido em água em apenas alguns segundos, ou até ser reciclado junto com o papel no ecoponto azul.

Este material foi lançado, essencialmente para o setor de embalagens, permitindo uma grande variedade de possibilidade consoante as necessidades do consumidor.

A Green cell foam™ requer menos 70% de energia e produz menos 80% de gases de efeito estufa, no processo produtivo, em comparação com as espumas à base de petróleo.

Por este não ser um material com elevada resistência à humidade, os seus produtores criaram a versão Green Cell Foam™ Plus ou conhecida também por GCF+, onde colocaram como capa protetora e envolvedora de toda a espuma um filme de polietileno, que é facilmente separado da espuma e reciclado no ecoponto amarelo.

Este material é certificado pelas normas ASTM 6400 e USDA (GreenCellFoam 2018).

NOME COMERCIAL

Green Cell Foam™

COMPOSIÇÃO

Amido de milho

PROCESSO PRODUTIVO

Extrusora

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

Degrada-se dentro de 4 semanas num ambiente propício

Dissolve-se em água

Pode ser reciclado no ecoponto azul

Pode ser queimado

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

ASTM 6400 (produtos e materiais compostáveis)

USDA (produto de base 100% biológica)

GREEN CELL FOAM™

USA

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

Amostras Bosch armazenadas à 12 meses não sofreram alteração de propriedades

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base 100% biológica (amido de milho)
- ✓ Requer menos 70% de energia e produz menos 80% de gases de efeito estufa durante a sua produção
- ✓ Antiestático
- ✓ A versão GCF+ deste material tem a vantagem de ser impermeável e resistente à humidade



KEHL Bioespuma®

Compostável Domesticamente



Figura 36: Bioespuma®, KEHL.

KEHL biofoam® (Figura 36) é um novo material sustentável que se insere no grupo das espumas poliuretânicas. Esta tem produção no Brasil e é desenvolvida a partir de dois componentes principais, sendo o componente A o isocianato, e o componente B o bio-poliol, composto por óleo de mamona, óleo de soja e amido. O componente bio-poliol é 100% natural, foi desenvolvido pela empresa Kehl e é o elemento que torna o material biodegradável e compostável em casa e em aterros.

Apesar de ser um material de base biológica, este não interfere com a cadeia alimentar pois não utiliza fonte alimentar, não corre risco de parasitas e os componentes que utiliza são seguros e fáceis de obter.

Outra vantagem deste material é o processo produtivo simples, com tecnologia de baixo custo e com padrões e requisitos de produção facilmente ajustáveis.

Esta espuma sustentável utiliza a tecnologia de “foam in place”, sendo facilmente adaptável a qualquer forma e tamanho.

Depois de expandida na forma pretendida apresenta uma longa validade em armazém, porém, o elemento orgânico – bio-poliol – quando armazenado em bidões de 200l decanta ao fim de 3 meses, necessitando, assim, de voltar para a misturadora.

A KEHL biofoam® apresenta um tempo de decomposição de 6 a 24 meses, e, apesar de ainda não ser certificada ambientalmente, apresenta vários testes de compostagem e toxicidade que seguem normas como a ASTM 6400 e DIN EN 13432 (KEHL 2006).

NOME COMERCIAL

Biofoam®

COMPOSIÇÃO

Bio Polioliol Kehl (óleo de mamona + amido + óleo de soja)
+ Isocianato

PROCESSO PRODUTIVO

Foam in place (injetora de baixa pressão + moldes)

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

Degrada-se de 6 a 24 meses

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Ainda não contém certificados ambientais porém apresenta testes que seguem as normas:

DIN EN 13432 (embalagem compostável) e
ASTM D6400 (produtos e materiais compostáveis)

KEHL

Brasil

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

Longa validade se armazenada em zonas sem radiação UV;
As amostras Bosch sofreram oxidação por radiação UV ao fim de 6 meses porém não sofreram perda de propriedades

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (bio.polioliol – óleo de mamona e de soja + amido)
- ✓ Não recorre a fontes alimentares
- ✓ Sem risco de parasitas
- ✓ Processo de produção simples
- ✓ Tecnologia de baixo custo - injetor de baixa pressão e moldes de madeira
- ✓ Facilmente ajustável aos padrões de produção e requisitos
- ✓ Bom amortecimento
- ✓ Não liberta partículas

Quitina e Celulose

Compostável Domesticamente



Figura 37: Quitina e Celulose, Georgia Institute of Technology.

Este filme à base de quitina e celulose (Figura 37) é um material revolucionário desenvolvido por um grupo de investigadores de Georgia Institute of Technology, nos Estados Unidos, e é produzido através da pulverização de múltiplas camadas de quitina, uma substância presente na carapaça do caranguejo e a partir da celulose encontrada nas árvores. Este novo material compara-se diretamente ao PET e ao tereftalato de polietileno a nível de propriedades mecânicas, e destaca-se destes devido à sua base 100% orgânica e à redução de 67% na permeabilidade de oxigénio, o que o torna perfeito para embalagem de alimentos, conservando-os frescos durante mais tempo.

A sua base de biopolímeros naturais, e o seu método de produção, onde são colocadas nano-fibras de celulose e de quitina em água e posteriormente pulverizadas numa superfície lisa, fizeram com que o material resultante fosse bastante flexível, resistente, transparente e, sobretudo, biodegradável/ compostável em casa (MONTEIRO 2018; Sciences-World 2018).

NOME COMERCIAL

Quitina e Celulose

COMPOSIÇÃO

Quitina (substância presente na carapaça dos caranguejos)
+ Celulose (proveniente das árvores)

PROCESSO PRODUTIVO

São colocadas nano-fibras de celulose e de quitina em água e posteriormente pulverizadas alternadamente sobre uma superfície lisa

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

-

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

Ainda não contém certificações ambientais

GEORGIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

USA

CARACTERÍSTICAS

- ✓ 100% base biológica (quitina + celulose)
- ✓ Não recorre a fonte alimentar
- ✓ Processo de fabrico simples e de baixo custo
- ✓ Diretamente comparável a nível mecânico ao PET e ao tereftalato de polietileno
- ✓ Apresenta uma redução de 67% na permeabilidade de oxigénio – o que o torna apropriado no embalamento de alimentos
- ✓ Material bastante resistente e flexível

AVANI Bio-cassava bag

Compostável Domesticamente



Figura 38: Bio-cassava bag, Avani.

AVANI bio-cassava bag (Figura 38) é uma bolsa/saca polimérica 100% biodegradável e absorvível pelo ser humano, e isto só é possível devido à sua constituição à base de mandioca, que faz com que este não cause qualquer tipo de dano em sistemas biológicos e fisiológicos.

Avani veio tentar revolucionar o mercado das “single use”, e a problemática do seu descarte, uma vez que a empresa estima que “(...) por ano, 1 trilhão de sacas plásticas são consumidas em todo o mundo.”, sendo este um dos maiores problemas que atravessamos atualmente.

O filme bioplástico que constitui as sacas Avani apresenta alto desempenho no transporte de produtos secos, boa barreira ao oxigênio, propriedades antiestáticas, não contém qualquer substância tóxica ou à base de petróleo, é altamente personalizável, e é biodegradável e compostável em 6 meses. Apresenta a particularidade de se dissolver mais rapidamente em água quente e de poder ser ingerido.

Avani bio-cassava bag é certificada ambientalmente pela EN 13432, e pela WIL Research Netherlands (toxicidade Oral) (AVANI 2017).

NOME COMERCIAL

Bio-cassava bag

COMPOSIÇÃO

Feito a partir das raízes de mandioca

PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo dá-se através de uma extrusora de balão, onde é realizada a moldagem por sopro do filme polimérico, de seguida os rolos deste filme seguem para o setor de corte e cola, onde se dá a formação da saca do tamanho e formato pretendidos

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

6 meses em compostor doméstico

Em água quente dissolve-se rapidamente

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

DIN EN 13432 (embalagem compostável)

WIL Research Netherlands (toxicidade Oral)

AVANI

Bali, Indonésia

CARACTERÍSTICAS

- ✓ 100% de base biológica (mandioca)
- ✓ Certificado como não tóxico
- ✓ Inofensivo quando consumido
- ✓ Boa barreira ao oxigénio
- ✓ Propriedades antiestáticas
- ✓ Personalizável
- ✓ Alto desempenho no transporte de produtos secos

REPAQ Sacos de celulose

Compostável Domesticamente



Figura 39: Sacos de Celulose, Repaq.

O filme à base de celulose desenvolvido pela REPAQ (Figura 39), empresa sediada em Hamburgo e Berlim, é composto por 90% de celulose, 5% de água, 4% de glicerina e 1% de ligantes.

Este filme de folha impressa inovador é o único, livre de plástico na Europa, que provou ser 100% biocompatível com o meio ambiente. A matéria prima da Repaq é fornecida de resíduos de madeira provenientes de florestas certificadas pelo FSC e apenas são utilizadas plantas geneticamente modificadas para crescimento rápido.

A sua composição leva a que seja completamente livre de poluentes e seguro para o meio ambiente, animais e seres humanos.

Todas as suas características e composição tornam o produto compostável em CO₂ e H₂O, tanto em terra como no mar, em cerca de 42 dias.

Os filmes desenvolvidos pela Repaq protegem os produtos até 70 meses e são certificados ambientalmente pela TÜV – compostável em casa e jardim – o padrão ambiental mais elevado para embalagens e filmes, e, também contém, certificações como a DIN CERTCO, a PEFC, e, como já foi mencionada anteriormente, o FSC (Repaq 2018).

NOME COMERCIAL

Sacos de celulose Repaq

COMPOSIÇÃO

Composto por 90% de celulose, 5% de água, 4% de glicerina e 1% de ligantes

PROCESSO PRODUTIVO

Produzidos a partir de máquinas convencionais de embalagem - processáveis até 230°C

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

42 dias (aproximadamente)

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

DIN CERTCO (produto compostável)

TÜV Rheinland (material compostável)

PEFC (Manuseamento Florestal Sustentável)

FSC (certificação do manuseamento florestal correto)

REPAQ

Hamburgo e Berlim

TEMPO DE ARMAZENAMENTO

5/6 anos

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Filme de base biológica (celulose)
- ✓ Além de compostável em casa, também pode ser colocado junto com os resíduos residuais, orgânicos e no ecoponto azul junto com o papel
- ✓ Antiestático
- ✓ Bastante flexível e dobrável
- ✓ Imprimível nos dois lados
- ✓ Excelentes propriedades de barreira
- ✓ Resistente a óleos e gorduras
- ✓ Boa barreira contra a humidade
- ✓ Proteção UV natural
- ✓ Alto valor energético



INNOVIA Nature Flex™

Compostável Domesticamente



Figura 40: Nature Flex™ Bio, Innovia.

INNOVIA Nature Flex™ (Figura 40) é um filme compostável tanto domesticamente como industrialmente e, isto deve-se, à sua composição com 95% de base biológica – celulose. Innovia é uma empresa em expansão, apresentando sedes em França, Itália, Rússia, Reino Unido, Polónia, entre outros.

Nature Flex™ é um polímero livre de estática, selável através de calor e foi projetado para operar em equipamentos de embalagem padrão sem necessidade de modificações.

Este material, além de impermeável apresenta vedação hermética, excelente barreira de gás, elevada flexibilidade e boas propriedades mecânicas que o permitem resistir à contínua dobragem e torção, características térmicas adequadas para ser levado ao micro-ondas, e apresenta elevada resistência a gorduras e óleos.

Testes realizados comprovam que este polímero é adequado para compostagem doméstica, sendo que apresenta fácil biodegradação em diversos meios como solo, compostor, águas residuais, esgotos e ambientes marinhos.

INNOVIA Nature Flex™ apresenta uma biodegradação total ao fim de 24 dias e é certificado ambientalmente por diversas normas, entre elas: ASTM D6866, EN 13432, ASTM D6400, OK COMPOST Home, DIN Certco, e AS4736 (Cohn 2003).

NOME COMERCIAL

Nature Flex™

COMPOSIÇÃO

95% de celulose (polpa de madeira de plantações controladas)

PROCESSO PRODUTIVO

Equipamentos de embalagem padrão (sem necessidade de modificações)

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

24 dias

Também apropriado para digestão anaeróbica

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

ASTM D6866 (base biológica)

ASTM D6400 (produtos e materiais compostáveis)

EN 13432 (embalagem compostável)

OK Compost Home - TÜV Áustria

DIN Certco (produto compostável)

AS 4736 (plástico biodegradável)

INNOVIA

França, Itália, Rússia, Reino Unido, Polónia, entre outros.

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (celulose)
- ✓ impermeável
- ✓ Vedação hermética
- ✓ Excelente barreira de gás
- ✓ Grande flexibilidade
- ✓ Boas propriedades mecânicas – que permitem ser resistente à contínua dobragem e torção
- ✓ Pode ser colocado no micro-ondas
- ✓ Elevada resistência a gorduras e óleos



BASF ecovio®

Compostável Domesticamente



Figura 41: ecovio®, BASF.

BASF ecovio® (Figura 41) é um bioplástico versátil e de alta qualidade, desenvolvido pela empresa alemã BASF.

Este biopolímero é composto por dois elementos base: BASF ecoflex® + PLA, um polímero derivado do milho.

As principais áreas de uso do ecovio® são filmes plásticos, como sacos de lixo orgânico, sacos para frutas e vegetais, sacos de uso duplo (primeiro para compras, depois para lixo orgânico) ou filmes agrícolas. Além destas finalidades, ecovio® também pode ser utilizado como revestimento de outros materiais – papel e espumas –, como filme retrátil e aderente, e como muitos outros produtos produzidos através de moldagem por injeção e termoformagem.

O filme polimérico da BASF é processado através de métodos padrão de fabricação de plásticos e apresenta diversas vantagens como a sua propriedade elástica, permeabilidade, resistência à humidade e ao rasgo, e a sua dupla funcionalidade de saca de compras e, numa fase final, saca de recolha de lixo orgânico.

Com ecovio® os resíduos orgânicos podem ser arrecadados de forma higiénica e posteriormente transformados, junto com a saca, em composto. O odor indesejável e a infestação de pragas são prevenidas com o uso deste.

O bioplástico da BASF é compostado em 6 meses e é ambientalmente certificado pela OK compost - TÜV Áustria, EN 13432, ASTM D6400, DIN Certco, e pela AS 4736 (BASF 2018).

NOME COMERCIAL

ecovio®

COMPOSIÇÃO

BASF ecoflex® + PLA (polímero derivado do milho)

PROCESSO PRODUTIVO

Processado através de métodos padrão de fabrico de plásticos

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

6 meses em compostor doméstico

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

OK Compost - TÜV Áustria (produto/material compostável)

EN 13432 (embalagem compostável)

ASTM D6400 (material e produto compostável)

DIN Certco (produto compostável)

AS 4736 (plástico biodegradável)

BASF

Alemanha

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (milho)
- ✓ Utiliza métodos de produção padronizados
- ✓ Material elástico
- ✓ Elevada permeabilidade
- ✓ Resistente à humidade
- ✓ Resistente ao rasgo
- ✓ Pode embalar resíduos orgânicos e ir para o compostor com estes, reduzindo o aparecimento de odores e pragas



FKUR Bio Flex®

Compostável Domesticamente



Figura 42: Bio Flex®, FKUR.

A FKUR Bio-Flex® (Figura 42) é uma família de produtos bioplásticos adequados para aplicações flexíveis que podem ser convertidas utilizando uma ampla variedade de métodos de processamento. Todos os produtos Bio-Flex® são completamente biodegradáveis/compostáveis em 6 meses e baseiam-se total ou parcialmente em matérias-primas naturais como amido de milho, cana-de-açúcar e óleo de mamona. FKUR, com sede na Alemanha e EUA, tornou-se uma empresa ambientalmente reconhecida devido ao desenvolvimento destes biopolímeros.

Este filme bioplástico permite uma ampla variedade de aplicações – filmes agrícolas, domésticos e de higiene – devido ao seu fácil processamento por termoformação e injeção, podendo ser produzidos diversos produtos com este polímero.

As sacas constituídas por este filme oferecem um duplo benefício: a água proveniente dos desperdícios alimentares permanece dentro da saca devido à sua excelente permeabilidade e estabilidade na presença de humidade, e, desta forma o contentor de descarte permanece seco e higienizado, resolvendo o problema dos sacos de papel. Em segundo lugar, os sacos do lixo compostáveis contribuem ativamente para a conservação de recursos, sendo que o composto resultante pode ser utilizado como fertilizante valioso para a agricultura.

O Bio-Flex® oferece uma rota de descarte alternativa por meio de biodegradabilidade/compostabilidade certificada ambientalmente pelas normas OK Compost home, EN 13432, e ASTM D6400 (FKUR 2003).

NOME COMERCIAL

Bio Flex®

COMPOSIÇÃO

Amido de milho, cana-de-açúcar e óleo de mamona

PROCESSO PRODUTIVO

Ampla variedade de métodos de processamento standard – entre eles a termoformação e a injeção

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL

6 meses

CERTIFICADOS AMBIENTAIS

OK Compost Home - TÜV Áustria (produto/material compostável em casa)

EN 13432 (embalagem compostável)

ASTM D6400 (material e produto compostável)

FKUR

Alemanha e USA

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Base biológica (amido, cana-de-açúcar e óleo de mamona)
- ✓ Utiliza métodos de produção padronizados (termoformagem e injeção)
- ✓ Material bastante flexível
- ✓ Elevada permeabilidade
- ✓ Elevada resistência à humidade
- ✓ Pode embalar resíduos orgânicos sem deixar que a água proveniente destes saia para o contentor, preservando assim a higiene deste
- ✓ O composto resultante deste material é rico em nutrientes para a agricultura



3.2.3 Tabela síntese e comparativa dos materiais compostáveis

A tabela elaborada e apresentada abaixo resume esta investigação de espumas compostáveis capazes de substituir o EPS e o EPE no embalamento dos produtos Bosch.

Aqui é possível comparar diretamente as características gerais das sete espumas e, ainda, verificar as suas semelhanças e pontos diferenciais com as espumas de EPS e EPE.

Nesta tabela comparativa foram utilizados os mesmo pontos acima estudados: nome, fornecedor, localização, composição, processo de fabrico, fim de vida, certificados ambientais, tempo máximo de armazenamento e, por fim, as características principais do material.

Na comparação das espumas é possível perceber que as espumas compostáveis industrialmente assemelham-se mais ao EPS e ao EPE nos processos produtivos e nas propriedades do material, porém, as espumas compostáveis domesticamente apresentam um fim de vida mais limpo e na maioria apresentam processos produtivos rápidos e de baixo custo, e contêm características satisfatórias para o embalamento de produtos. Desta forma, a fase prática vai ser imprescindível para perceber qual o material mais indicado, a nível mecânico, para o embalamento de produtos eletrónicos Bosch.

Depois de comparadas as espumas, foi realizada, igualmente, uma tabela síntese das películas compostáveis acima estudadas, de forma a perceber, qual a mais indicada caso seja necessário a utilização de um saco para acessórios, por exemplo. Desta forma era possível embalar um equipamento de forma 100% sustentável e compostável, não necessitando de recorrer a espumas nem polímeros à base de petróleo ou recicláveis.

Desta segunda tabela, destacam-se os sacos de celulose da Repaq, o Nature Flex™ da Innovia, e o Bio-Flex® da Fkur, por serem 100% de base biológica, e em simultâneo, apresentarem propriedades bastante satisfatórias para este setor, como serem bastante flexíveis, serem resistentes ao rasgo e à humidade e apresentarem diversos certificados ambientais que comprovam a sua sustentabilidade.

ESPUMAS COMPOSTÁVEIS Vs. EPS e EPE								
Nome	Fornecedor	Localização	Composição	Processo de fabrico	Fim de vida	Certificados	Tempo de armazenamento	Características principais
EPS	Petibol	Portugal	98% de ar 2% de plástico (poliestireno)	Moldado através da Termoformação	- Reciclável (processo pouco utilizado por ser dispendioso) - Reutilizável - Aterros	-	Longa duração (vários anos)	Bastante leve; ótimas propriedades mecânicas; resistente à humidade e a químicos; excelentes propriedades térmicas.
EPE	Inapa	Portugal	Poliétileno expandido de baixa densidade	Produzido em placas através da Extrusora	- Reciclável (processo pouco utilizado por ser dispendioso) - Reutilizável - Aterros	-	Longa duração (vários anos)	leve; ótimas propriedades mecânicas; resistente à humidade e a químicos; livre de CF's e HFC's; bom isolante térmico e acústico.
Ecovio® EA	Basf	Alemanha	BASF ecoflex® + PLA (derivado do milho/mandioca)	Termoformação (máquinas utilizadas no EPS/EPP)	Compostável Industrialmente (5 semanas)	DIN EN 13432	6 meses	Base parcialmente biológica; condutividade térmica mínima de 34 mW / mK; boa resistência a solventes; não contém retardadores de chama; resistência até 100°C.
Fibi Buffer	Fibi-Buffer	Holanda	Ecovio® EA (BASF) + Bio-Flex® F1130 (FKUR)	Através da termoformação são realizados os rebaixos no filme onde serão colocados os cubos	Compostável Industrialmente (5 semanas)	Sem certificações	Espuma- 6 meses; Filme- longa duração sem humidade e radiação UV	Base parcialmente biológica; alta flexibilidade e adaptabilidade; totalmente impermeável.
Biofoam®	BEWi Synbra	Suécia	À base do PLA Synbra, biopolímero de base biológica	Termoformação (máquinas utilizadas no EPS)	Compostável Industrialmente (4 semanas)	Cradle-to-cradle: Silver EN 13501 - 1 class E (fogo) DIN EN 13432	6 meses	Base parcialmente biológica (PLA Synbra); 100% carbono neutro; livre de substância cancerígenas, mutagénicas e reprotóxicas.
Mycocomposite™	Ecovative	USA	Micélio + resíduos agrícolas	A mistura desenvolve-se em moldes plásticos ou tabuleiros, durante 5/6 dias na ausência de luz	Compostável Domesticamente (30 dias)	Cradle-to-cradle: Gold USDA ASTM D6400	-	Base 100% biológica; sem recurso a produtos químicos ou aditivos prejudiciais; leve e adaptável a várias formas; bom isolante térmico e acústico.
Mycoflex™	Ecovative	USA	Micélio puro	Desenvolve-se em moldes plásticos ou tabuleiros, durante 9 dias, num ambiente controlado e na ausência de luz	Compostável Domesticamente (menos de 1 ano)	Cradle-to-cradle: Gold USDA	-	Base 100% biológica; sem químicos ou aditivos; muito flexível; não liberta partículas; bom isolante térmico e acústico; resistente ao fogo; impermeável; variedade de aplicações.
Green Cell Foam™	Green Cell Foam™	USA	Amido de milho	Extrusora	Compostável Domesticamente (4 semanas) Também pode ser dissolvido em água; Reciclado (ecoponto azul); e queimado.	ASTM 6400 USDA	Amostras armazenadas à 12 meses não sofreram alterações	Base 100% biológica; requer menos 70% de energia e produz menos 80% de gases de efeito estufa; antiestático; a versão GCF+ é impermeável e resistente à humidade.
Bioespuma®	Kehl	Brasil	Bio Polioli Kehl (óleo de mamona + amido + óleo de soja) + Isocianato	Foam in place (injetora de baixa pressão + moldes)	Compostável Domesticamente (de 6 a 24 meses)	Sem certificações	Amostras armazenadas à 6 meses sofreram apenas oxidação por radiação UV	Base parcialmente biológica; não recorre a fontes alimentares; processo de produção simples e de baixo custo; facilmente ajustável aos padrões de produção; bom amortecimento; não liberta partículas.

Tabela 10: Tabela síntese e comparativa das espumas compostáveis.

FILMES COMPOSTÁVEIS								
Nome	Fornecedor	Localização	Composição	Processo de fabrico	Fim de vida	Certificados	Tempo de armazenam ento	Características principais
Quitina e Celulose	Georgia Institute of Technology	USA	Quitina (carapaça dos caranguejos) + Celulose (proveniente das árvores)	São colocadas nano-fibras de celulose e de quitina em água e posteriormente pulverizadas alternadamente	Compostável Domesticamente	-	-	Base 100% biológica; processo de fabrico simples e de baixo custo; mecanicamente semelhante ao PET e ao tereftalato de polietileno; flexível e bom no embalamento de alimentos.
Bio-Cassava bag	Avani	Indonésia	Raízes de mandioca	Máquinas padrão: extrusora balão, moldagem por sopro e corte-e-cola	Compostável Domesticamente (6 meses) Dissolve-se rapidamente em água quente	DIN EN 13432 WIL Research Netherlands	-	Base 100% biológica; não tóxico; pode ser ingerido; boa barreira de oxigénio; propriedades antiestáticas; personalizável; alto desempenho no transporte de produtos secos.
Sacos de Celulose	Repaq	Hamburgo e Berlim	90% de celulose + 5% de água + 4% de glicerina + 1% de ligantes	Máquinas convencionais de embalagem - processáveis até 230°C	Compostável Domesticamente (42 dias)	DIN CERTCO TÜV Rheinland PEFC FSC	5/6 anos	Base 100% biológica; também pode ser colocado junto com os resíduos residuais, orgânicos e no ecoponto azul; bastante flexível; resistente a óleos e gorduras; boa barreira contra a humidade e raios UV
Nature Flex™	Innovia	França, Itália, Rússia, Reino Unido, Polónia.	95% de celulose (polpa de madeira de plantações controladas)	Equipamentos de embalagem padrão (sem necessidade de modificações)	Compostável Domesticamente (24 dias) Apropriado para digestão anaeróbica	ASTM D6866 ASTM D6400 EN 13432 OK Compost Home DIN Certco AS 4736	-	Base 100% biológica; impermeável; vedação hermética; excelente barreira de gás; flexível; resistente à contínua dobragem e torção; propriedades térmicas; resistente a gorduras e óleos.
Ecovio®	Basf	Alemanha	BASF ecoflex® + PLA	Processado através de métodos padrão de fabrico de plásticos	Compostável Domesticamente (6 meses)	OK Compost - TÜV Áustria EN 13432 ASTM D6400 DIN Certco AS 4736	-	Base parcialmente biológica; métodos de produção padronizados; flexível; elevada permeabilidade; resistente à humidade e ao rasgo; pode embalar resíduos orgânicos e ir para o compostor com estes.
Bio Flex®	Fkur	Alemanha e USA	Amido de milho + cana-de-açúcar + óleo de mamona	Métodos de processamento standard-termoformagem e injeção	Compostável Domesticamente (6 meses)	OK Compost Home EN 13432 ASTM D6400	-	Base 100% biológica; métodos de produção padronizados; flexível; elevada permeabilidade; resistente à humidade; resulta num composto rico em nutrientes para a agricultura.

Tabela 11: Tabela síntese e comparativa dos filmes compostáveis.

3.3

Embalagens Sustentáveis

Embalagens Compostáveis atualmente no mercado

Neste terceiro e último ponto da pesquisa de mercado, é exposto uma pesquisa de exemplos de embalagens sustentáveis já implementadas no mercado, de forma a exibir a importância de embalagens e de materiais deste tipo (compostáveis) e mostrar que a preocupação e iniciativa tomadas pela empresa Bosch em reduzir a sua pegada ambiental é partilhada por outras empresas e setores na área das embalagens.

Com esta pesquisa é possível perceber que a preocupação pela alteração de materiais poluentes por materiais orgânicos e inofensivos a meios biológicos e fisiológicos começou, sobretudo, por abranger o setor de embalagens de produtos alimentares, mais concretamente de produtos orgânicos, como frutas, legumes e ovos. Sendo que esta alteração de material ajuda na percepção do cliente em relação ao produto, associando uma embalagem orgânica a um produto natural e mais saudável também.

Além das embalagens para produtos alimentares, também foi possível apresentar alguns exemplos de embalagens sustentáveis implementadas no embalamento de diversos produtos, inclusive eletrônicos – alguns dos exemplos analisados já se encontram implementados ou em fase de estudo na empresa Bosch.

A evolução deste setor e a tomada de consciência por estas entidades, que durante muitos anos contribuíram para o aumento da poluição, é um avanço na ecologia do nosso planeta, e está a ser fulcral para a consciencialização de produtores, empresas e consumidores, sendo que o objetivo, agora, é caminhar para o abandono total ou parcial dos plásticos e materiais derivados do petróleo.

Fibra de Côco

Embalagem Alimentar



Figura 43: Botiá, Manuela Yamada.

Esta embalagem sustentável foi desenvolvida pela designer **Manuela Yamada**. Este projeto foi desenvolvido em contexto acadêmico, onde uma extensa pesquisa levou a designer ao projeto **Botiá**, um sistema de embalagens em forma de ninho produzidas a partir de fibra de coco e amido de mandioca.

Como sugestão de aplicações, Yamada, projetou uma linha de embalagens para alimentos, porém, o material e o processamento não restringem o número de aplicações.

Yamada conseguiu aliar um material biológico a um processo produtivo de baixo consumo energético e de baixo custo, que consiste na modelação através de prensagem a frio com molde contra molde. Este processo produtivo permite o design de formas orgânicas e garante a rigidez ao objeto apesar da sua baixa densidade. Desta forma, afirma-se que Botiá apresenta uma matéria prima e uma tecnologia 100% natural e biocompatível.

Além de todas as vantagens, Botiá também é de rápida degradação e apresenta uma ótima hidrossolubilidade, permitindo que as fibras possam ser novamente reutilizadas em novos objetos (Design 2013).

Mandioca e Fibras naturais

Embalagem Alimentar



Figura 44: Mandioca e fibras, OKA.

Esta bio embalagem foi desenvolvida pela **OKA** para a marca **Fazenda da Toca**.

A sua composição à base de fécula de mandioca e fibras naturais permite que seja compostada depois de cumprir a sua função de transporte de ovos. O seu rótulo em papel semente, desenvolvido a partir de sementes naturais, como manjeriço, permite que seja plantado juntamente com a restante embalagem, e todas as matérias primas utilizadas atuam como um excelente adubo para hortas e jardins e, além disso, o papel semente ainda germina mudas de manjeriço. Além de 100% natural este material ainda apresenta boas propriedades mecânicas para o transporte de produtos de baixo peso, e ainda apresenta uma resistência térmica até 200°C.

A empresa OKA, além desta embalagem para ovos, projetou uma linha de produtos que inclui taças, talheres e caixas de chocolates, todas à base de mandioca e focadas no conceito de "lixo zero". Esta empresa defende processos produtivos limpos e produtos integrados num ciclo totalmente natural, trabalhando apenas com matérias primas renováveis, à base de resíduos agroindustriais, não interferindo na cadeia alimentar, e devolvendo os materiais à natureza, ou tornando-os em ração para animais depois de cumprirem a função por eles pré-estabelecida (OKA 2010).

Resíduos de Uvas

Embalagem de vinho



Figura 45: Naturally Clicquot, Maison Clicquot.

Esta embalagem, intitulada de **Naturally Clicquot**, foi projetada pela **Maison Veuve Clicquot** para as suas garrafas de vinho.

A matéria prima utilizada para o seu desenvolvimento são os resíduos de uvas, provenientes do processo produtivo dos seus vinhos, e papel reciclado.

Para a produção deste material sustentável, os resíduos de uvas são recolhidos e transformados num pó muito similar à farinha, que depois de compactado se torna num material maleável, porém, resistente quando combinado com papel reciclado.

Naturally Clicquot, apresenta propriedades térmicas que lhe permite manter a garrafa de vinho refrigerada ao longo de duas horas, é, também uma embalagem discreta e revolucionária na junção de materiais. É um produto que afirma uma constante preocupação ambiental por parte da empresa, que procura abandonar os materiais prejudiciais para o meio ambiente, adotando pela busca de materiais 100% sustentáveis, recicláveis, biodegradáveis e ainda isotérmicos, um fator de relevância para as suas embalagens.

Esta embalagem e respetivo material ainda não apresentam certificados ambientais (Dumas 2015).

Folhas de Bambu e Palma

Embalagem de água



Figura 46: 360 water bottle, Jim Warner.

A garrafa de água “**360 water bottle**” foi desenvolvida pelo designer **Jim Warner**, para colmatar a problemática do excessivo descarte de garrafas plásticas. De acordo com Brandimage, uma agência de design sediada em Nova Zelândia, todos os dias são descartadas mais de 60 milhões de garrafas, das quais, apenas 14% são recicláveis. Esta problemática levou a designers, como Warner, a apostarem em soluções ambientalmente corretas para este setor de embalagem.

Esta garrafa tem a particularidade de ser produzida através de recursos 100% renováveis e recicláveis, e, o seu design, foi pensado para estas serem facilmente empilháveis visando a redução dos custos de transporte e de forma a requerer uma menor energia durante todo o seu ciclo de vida.

A “360 water bottle” é constituída por duas partes que são fundidas através de uma barreira muito fina de PLA, que também auxilia na vedação da água. A tampa é destacável do corpo da garrafa, ficando apenas este e uma alça que ajuda no seu transporte e que também é utilizada para a selar novamente.

Warner também alega que a sua garrafa de água, produzida a partir de papel, ou mais concretamente, folhas de bambu e de palma, resiste a todos os tipos de líquidos, pelo que a sua utilização não se limita apenas a água (Garvey 2009).

Papel, amido e sementes

Embalagem Alimentar



Figura 47: Biopack, George Bosnas.

A embalagem “**Biopack**”, desenvolvida por **George Bosnas**, destina-se ao embalamento de ovos e apresenta um ciclo de vida bastante sustentável.

A “**Biopack**” contém um formato arredondado e a sua constituição à base de pasta de papel, farinha, amido e sementes de leguminosas permite que seja plantada ou regada, germinando uma muda de leguminosa em cerca de 30 dias.

A escolha da semente de leguminosas advém da pesquisa realizada pelo designer, onde descobriu que o cultivo destas aumenta a fertilidade do solo devido à sua capacidade de fixar o Azoto atmosférico através da sua raiz.

Apesar da utilização do “papel semente” não ser propriamente uma novidade, e de existir alguns exemplos da utilização deste tipo de materiais, ainda não é observável o uso industrial deste em grande escala, como a produção em série de embalagens.

Biopack, além de compostável, trás benefícios não só para o meio ambiente como para os seres vivos, sendo que se transforma em alimento para ambos e enriquece o solo.

Apesar de ainda não apresentar certificações ambientais, as suas propriedades garantiram-lhe o prémio de design circular em 2019 (Sousa 2019).

Polpa de Bagaço

Embalagem produtos eletrónicos



Figura 48: Polpa de Bagaço, amostra Bosch.

O inserto, a cima representado, é uma das amostras que tivemos oportunidade de analisar na empresa Bosch.

Este inserto é realizado num material 100% biodegradável e 100% base biológica, sendo constituído pela **celulose do bagaço presente nas canas**.

Este material teve origem na **China**, e, inicialmente, foi utilizado na produção de talheres, pratos, bandejas, copos e suportes descartáveis para comida de rua, porém, rapidamente se estendeu a outros setores, e, atualmente é sobretudo utilizado no embalamento de produtos eletrónicos de pequenas dimensões e de baixo peso.

Além da sua constituição orgânica, e do seu fim de vida livre de toxicidades, este material pode também adquirir várias formas e tamanhos e apresentar diversas espessuras que vão de 0,8mm a 2mm.

O seu processo produtivo é simples e de baixo custo, utilizando apenas moldes para polpa e uma prensa para a polpa molhada.

Com este material, ainda em estudo, a empresa irá conseguir substituir as bandejas de plástico utilizadas para os produtos de pequenas dimensões.

Paper Foam®

Embalagem produtos eletrônicos



Figura 49: Paper Foam®, amostra Bosch.

O **Paper Foam®** é um material revolucionário que veio para substituir as embalagens plásticas no embalamento de produtos eletrônicos.

Este material é 100% base biológica, e é composto por três ingredientes – **amido industrial, fibras naturais e água**. No seu processo produtivo, é realizada a mistura destes ingredientes, e, de seguida esta é injetada para o interior do molde (molde e contra-molde) onde a peça é “cozida”, adquirindo a forma pretendida.

As embalagens ecológicas em Paper Foam®, apresentam uma redução de peso até 40% em comparação com as embalagens tradicionais. Além disso, apresentam uma excelente adaptação e proteção do produto; possibilidade de adquirir várias formas, tamanhos e cores; possibilidade de gravação a alto relevo no próprio material; consegue apresentar detalhes finos e delicados devido à moldagem por injeção; e pode ainda ser empilhável.

A sua composição e propriedades benéficas para o meio ambiente garantiram-lhe diversas certificações ambientais, entre elas: USDA Certified; TÜV OK Biobased; EN 13432; ASTM D6868; TÜV OK Compost (compostagem industrial); e TÜV OK Compost Home (compostagem doméstica) (PaperFoam® 2018).

Polpa de Papel™

Embalagem produtos eletrônicos



Figura 50: Polpa de Papel™.

A **Polpa de papel™** é mais um exemplo de um material sustentável já utilizado pela empresa Bosch, sendo que este já está implementado há vários anos.

Este material é 100% reciclável e biodegradável, e isto só é possível devido à sua constituição à base de **celulose, amido e água**. Porém, é necessário avaliar os métodos de produção de cada fornecedor, pois, diversas vezes são utilizados agentes de colagem ou mesmo químicos na composição (ou mesmo na composição do cartão utilizado) para aumentar as suas propriedades mecânicas.

A polpa de papel™ apresenta várias vantagens como um processo de fabrico rápido e simples através de moldes; produção de peças empilháveis, que ajudam na economização do transporte e armazenamento; e uma boa proteção dos produtos. O facto deste produto ser moldado através de moldes, permite que possa adquirir diversas formas, inclusive designs mais orgânicos.

Este material apresenta a superfície externa rugosa e a superfície interna – que fica em contacto com o produto – lisa e macia, não danificando os produtos mais sensíveis. A polpa de papel™ é assim um material versátil e uma boa aposta na substituição de materiais de embalamento poluentes, como o EPS e o EPE.

Korrvu®

Embalagem produtos eletrônicos



Figura 51: Korrvu®, amostra Bosch.

Korrvu® é outro material já implementado pela Bosch. Este é o mais utilizado em produtos de pequenas dimensões e nos quais a apresentação e a experiência do cliente são essenciais.

Este filme leve, fino e 100% transparente fornece alta proteção dos produtos – mantendo-os imóveis durante qualquer queda ou vibração – além de ser uma solução bastante simples e económica.

Este tipo de solução pode ser realizada em vários tamanhos, havendo, por exemplo, já alguns embalamentos de televisões através deste material.

Korrvu® é um material **biodegradável**, anticorrosivo, e que pode, também, ser **reciclado junto com o cartão no ecoponto azul**, devido a ser utilizado sempre numa percentagem muito mais baixa que este.

Com a junção deste material aos insertos de cartão foi possível criar uma forma de apresentar os produtos mais apelativa e que faz sobressair o produto à embalagem, sendo que esta não dificulta a leitura e visibilidade do design deste.



Figura 52: Plantas

4

CASO DE ESTUDO

O quarto capítulo desta investigação – Caso de Estudo – tem por base uma pequena análise da empresa Bosch e o levantamento e exposição da problemática levantada por esta.

Com base na investigação feita no estado de arte e na pesquisa de materiais compostáveis realizada anteriormente, objetiva-se, neste capítulo, realizar um conjunto de testes mecânicos às amostras conseguidas, de forma a encontrar o material mais indicado para responder a esta problemática.

Todos os testes realizados – teste climático, teste de impacto, e teste de queda livre – seguiram os requisitos de validação utilizados pela empresa. Com a realização destes testes e comparação direta dos resultados irá ser possível selecionar o material que reúne as melhores propriedades para ser implementado na empresa e substituir o EPS no embalamento dos seus produtos.

Deste capítulo também fazem parte o estudo e desenvolvimento do inserto no material selecionado, onde, inicialmente, se manterá a mesma forma do inserto em EPS, e, depois de realizada a comparação e a análise dos pontos negativos e positivos deste, irá realizar-se um novo inserto com os ajustes necessários para melhorar a sua capacidade de proteção do produto.

4.1

Empresa Bosch

Security Systems, Ovar

As atividades da Bosch Security Systems, em Ovar, iniciaram-se com a aquisição do negócio de sistemas de videovigilância da Phillips, em 2002, mantendo assim este edifício focado, desde sempre, no desenvolvimento e produção de soluções inovadoras na área da videovigilância, comunicação e deteção de incêndios.

Em 2016, a Bosch Ovar foi a primeira unidade da empresa, fora do setor automóvel, a ser distinguida com o título de finalista dos EFQM European Excellence Awards e, em 2017, viu a sua área de produção ser expandida. Nos últimos anos, o reconhecimento das suas competências na área da produção permitiu-lhes uma maior diversificação do portefólio de produtos, ao qual foram acrescentados sistemas eletrónicos para as divisões de Ferramentas Elétricas, Termotecnologia e Eletrodomésticos.

Mais recentemente, a Bosch Security Systems de Ovar passou a apostar na investigação e desenvolvimento de soluções inovadoras na área da segurança para as cidades inteligentes, e já tem mais de 45 engenheiros dedicados só a esta área.

Atualmente com cerca de 700 colaboradores, esta localização tem vindo a crescer e a consolidar as suas atividades, contribuindo ativamente para o desenvolvimento da economia da região.

Apesar do embalamento, e da seleção rigorosa de materiais para este, ser algo fulcral para um transporte e armazenamento eficaz dos seus produtos eletrónicos, esta, sempre foi uma área pouco explorada pela empresa, sendo estas desenhadas pelos próprios colaboradores que também desenvolviam o produto. Desta forma, não existia um grupo especializado que trabalhasse no estudo de materiais, de insertos e de embalagens exteriores, para que fossem analisados e colmatados todos os problemas existentes no transporte e exposição dos seus produtos. Porém, a evolução da empresa, e a procura por uma maior qualidade dos seus serviços, fez com que, em 2016, fosse criado um grupo especializado no desenvolvimento de embalagens, tendo sede nas instalações da Bosch Ovar, em Portugal. Com a criação desta equipa centralizada e focada no bom embalamento e transporte dos equipamentos Bosch, todos os equipamentos desenvolvidos passaram a ser analisados, embalados e avaliados por esta, sendo todos os testes mecânicos e validações de materiais e embalagens realizados neste departamento.

Em 2019, esta equipa já contava com cerca de 30 colaboradores em quatro áreas distintas:

- ✓ **MKM1** – Marketing and Messaging 1 (Packaging)
- ✓ **MKM2** – Marketing and Messaging 2 (Product digitalization)
- ✓ **MKW4** – Marketing and Writing (Technical writing)
- ✓ **MKK** – Marketing and Knowledge (Comercial training)

O estágio realizado, ao longo de 12 meses, nesta empresa, esteve inserido na equipa MKM1, grupo centralizado no desenho de embalagens, insertos para o bom acondicionamento dos produtos, seleção e validação de materiais, testes mecânicos de validação de embalagens, desenvolvimento de etiquetas, desenho de artworks para uniformização dos manuais de instruções e do exterior das embalagens, entre outras funções fulcrais para um embalamento eficaz e para um transporte/ armazenamento seguro dos seus equipamentos.



Figura 53: Instalações Bosch Security Systems, Ovar.

4.2

Proposta

Inserto para embalagem - Idesk

A presente investigação de mestrado tem por base a proposta lançada pela empresa Bosch – o desenvolvimento de um novo inserto compostável para o produto Idesk (aparelho de comunicação). O principal objetivo desta proposta era a investigação de novos materiais compostáveis, preferencialmente em casa; da validação do novo material por meio de testes mecânicos; e o estudo e comparação do inserto no novo material com o antigo, EPS. Numa fase posterior dever-se-ia realizar uma análise detalhada ao design do inserto, e caso necessário, realizar pequenos ajustes para que, o material aliado ao design, conseguisse assemelhar-se às capacidades do material antigo.

A empresa tem vindo a tentar colmatar a sua pegada ecológica, batalhando aos poucos na substituição de materiais poluentes presentes no embalamento dos seus produtos. Como podemos observar na pesquisa de embalagens, a empresa já tem implementado um conjunto de materiais como – polpa de papel™, paper foam®, korrvu®, entre outros, ainda em fase de estudo – porém estes materiais, devido às suas propriedades, são utilizados sobretudo em produtos de pequenas dimensões ou em produtos de baixo peso.

Desta forma, a problemática que a empresa enfrenta, neste momento, é o abandono de espumas à base de petróleo que embalam produtos de grandes dimensões ou de peso mais elevado, como é o caso do Idesk, um produto que pesa cerca de 1,5kg e apresenta uma dimensão de 325mm x 167mm x 98mm (Tabela 12).

Para dar resposta a esta problemática foi necessário, não só realizar uma boa investigação de materiais e ter um contacto direto com os seus fornecedores, mas, também, analisar o produto e as especificações de embalagem que este exigia. Desta forma, foi necessário perceber os requisitos necessários para testar os materiais selecionados, bem como compreender se este produto – idesk- tem requisitos de G's (qual a energia de impacto que este pode enfrentar); perceber quais as vantagens e desvantagens dos insertos e material utilizados até ao momento neste produto; analisar que elementos têm que ser embalados e protegidos nesta embalagem (só o produto ou se contém acessórios), para estudar outros materiais que protejam estes e não deixem que danifiquem o produto principal; analisar qual o melhor posicionamento do produto dentro da embalagem; e, por fim, realizar testes mecânicos, segundo os requisito Bosch, à embalagem completa, de forma a aferir se esta passa em todas as fases e se o produto não é afetado ao longo do processo de validação.

Especificações do Produto e Embalagem	
Produto	Idesk – Aparelho de comunicação
Produção anual	33 000 unidades
Peso (kg)	1,5
Tamanho Produto (mm)	325 x 167 x 98
Tamanho Caixa (mm)	394 x 190 x 170
Tamanho insertos (mm)	186 x 165 x 82,50
Preço insertos EPS (€)	1,5 (as 2 peças)

Tabela 12: Especificações do produto Idesk e da sua embalagem.



Figura 54: Idesk, embalagem completa, e os insertos atuais em EPS

DESAFIO

Desenvolver um inserto num material compostável capaz de proteger o equipamento Idesk durante o transporte, manuseio e armazenamento do mesmo.

RESTRICÇÕES

Material Compostável

Material que se destine à compostagem industrial ou doméstica, preferencialmente a esta última.

Baixo Peso

Material cujo peso se assemelhe ao atual inserto em EPS.

Resistente às variações de temperatura e humidade

Tem de suportar distintas variações de temperatura e humidade, sem perder propriedades, durante a sua expedição (teste climático).

Resistente à Compressão

O inserto em material compostável tem que suportar o peso das outras embalagens em cima de si na formação da palete (teste de compressão).

Resistente ao Impacto

Inserto em material compostável que seja capaz de proteger o produto, amortecendo os choques nas quedas (teste de impacto e de queda).

Resistente à Vibração

Tem de resistir aos balanços comuns no transporte, sem quebrar nem largar partículas para o produto (teste de vibração).

Baixo Custo

O inserto no novo material deve custar só até 5% do preço de produção do produto.

OBJETIVOS

- ✓ Minimizar a poluição gerada pela empresa;
- ✓ Diminuir o lixo, gerado pelas embalagens, em aterros;
- ✓ Facilitar o descarte dos insertos das embalagens Bosch.

VARIÁVEIS DO PROJETO

- ✓ Material;
- ✓ Design do inserto;
- ✓ Cor e aparência;
- ✓ Fim de vida – Compostável industrialmente ou domesticamente;
- ✓ Fornecedor;
- ✓ Processo produtivo.

4.3

Fase Experimental

Validação dos materiais

Com base na investigação de espumas compostáveis realizada no capítulo anterior, objetiva-se realizar um conjunto de testes – teste climático e teste de impacto – segundo as restrições de validação de materiais regidas pela Bosch Ovar e descritas no subcapítulo “Normas e requisitos das embalagens”. A fase experimental é crucial para um melhor conhecimento dos materiais a nível mecânico e para uma comparação mais direta destes, que vai auxiliar na eleição do material mais indicado para dar resposta à problemática levantada pela empresa.

Neste subcapítulo vão ser apresentados, detalhadamente, os testes realizados, a síntese dos resultados, e a análise e discussão dos mesmos.

É de salientar que da análise de sete espumas só foi possível testar seis, as que se conseguiu obter amostras do fornecedor. Em alguns casos, as amostras fornecidas pelos mesmos, não continham as dimensões pretendidas para a realização dos testes, sendo que houve a necessidade de um reajuste de todas as amostras, de forma a ser possível a comparação direta dos seus resultados. Desta forma todas as amostras apresentadas abaixo, dos respetivos materiais investigados, foram testadas e, posteriormente, todos os resultados foram inseridos e apresentados numa tabela síntese e comparativa.

Biomateriais						
Espumas						
Compostáveis Industrialmente			Compostáveis Domesticamente			
						
a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.
Ecovio® EA	Fibi Buffer	Biofoam®	Mycocomposite™	Mycoflex™	Green Cell Foam™	Bioespuma®
Basf	Fibi Buffer	BEWi Synbra	Ecovative	Ecovative	KTM Industries Inc.	Kehl
Amostras Recolhidas						
				Não se obteve amostra		
BASF	Fibi Buffer	Biofoam	Mycocomposite		Green Cell Foam	Bioespuma

Tabela 13: Espumas compostáveis e respetivas amostras recolhidas.

METODOLOGIA FASE EXPERIMENTAL

1. TESTE CLIMÁTICO

1.1 Recolha e preparação das amostras

Após a receção das amostras cedidas pelos fornecedores, estas foram organizadas e cortadas - com cerca de 70 mm de lado (à exceção das industrialmente compostáveis que a sua dimensão dependeu do formato das amostras recebidas) - para seguirem para a câmara climática.

1.2 Início do teste climático

Colocação das amostras na câmara climática e início do teste composto por três variações de temperatura e de humidade.

1.3 Recolha e análise dos resultados

Após terminarem as três fases do teste climático, as amostras são retiradas da câmara climática, analisadas a nível de forma e propriedades mecânicas, e todos os resultados visíveis são organizados numa tabela.

2. TESTE DE IMPACTO

2.1 Recolha e preparação de novas amostras

Depois de analisados os requisitos e calculadas as dimensões mais indicadas, e possíveis, para a realização do teste, novas amostras foram cortadas e devidamente etiquetadas.

1.2 Início do teste de impacto

Todas as amostras foram colocadas e testadas na máquina de impacto da FEUP, e foi utilizado um batente pensado e modelado por nós e impresso em 3D em PLA (ácido polilático), também pela FEUP.

1.3 Recolha e análise dos resultados

Após realizado o teste de impacto em todas as amostras, estas foram recolhidas e analisadas a nível de estragos visíveis, e, posteriormente, foram analisados os gráficos retirados de cada queda, analisados, e colocados todos os resultados numa tabela síntese e comparativa.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Elaboração de uma tabela síntese com o resultado dos dois testes e das propriedades relevantes de cada material, recolhidas na fase de investigação

Neste ponto vão ser comparadas todas as características e propriedades de cada material, de forma a ser possível a seleção do que apresenta um maior número de pontos positivos.

3.2 Seleção do material

Depois de analisados e comparados todos os materiais, irá dar-se a seleção e justificação do material que irá seguir para a fase de desenvolvimento.

4.3.1 Teste Climático – Condicionamento Atmosférico

A fase experimental teve início com a realização do teste climático. Esta escolha deve-se ao facto, de numa primeira análise, ser crucial saber se o material é resistente às variáveis de temperatura e humidade a que vai estar sujeito durante o seu transporte. Caso o material não resista a um dos fatores mais importantes para a empresa, não existe a necessidade de avançar com o mesmo para a fase de validação seguinte.

Para a realização deste teste começou-se por analisar as amostras recebidas dos fornecedores e por cortar e organizar diversas amostras, das mesmas, para seguirem para a câmara climática. Além das amostras cortadas de forma uniforme, também foram colocados dois insertos inteiros (em Green Cell Foam e na Bioespuma Kehl), já moldados, de forma a perceber se a temperatura levava à deformação extrema da forma inicial. Neste teste foi utilizada a máquina de condicionamento térmico da Bosch e os materiais que foram testados foram: o Ecovio EA; o Fibi-Buffer; a Biofoam; o Myco Composite; o Green Cell Foam; e a Bioespuma Kehl. Destes materiais, testou-se também o Green Cell Foam Plus – uma versão em que a espuma é envolvida numa película polimérica reciclável – e a Bioespuma Kehl embalada também numa película reciclável, uma vez que nesta solução a espuma já é injetada num molde de madeira e envolvida numa película reciclável, porém, na preparação das amostras houve a necessidade de retirar a película e acabou-se por testar a mesma espuma com e sem película para obter uma melhor análise deste material promissor.

Os requisitos para a realização deste teste já foram descritos anteriormente no subcapítulo de “Normas e requisitos das embalagens”, contudo, é de salientar, que neste teste os materiais foram submetidos a três variáveis de temperatura e humidade por um total de 9 dias (72 horas cada teste). Na seleção das variáveis de temperatura e humidade são sempre escolhidos os piores cenários a que o material/embalagem vão estar sujeitos durante a sua distribuição. Neste caso o pior cenário que as embalagens Bosch se deparam é no seu transporte aéreo para a Ásia, onde são submetidas a uma temperatura de 38°C e a uma humidade relativa de 85%.



Figura 55: Colocação dos materiais na câmara climática e ajuste da temperatura e humidade.

Após a colocação dos materiais na câmara climática, como podemos observar na Figura 55, deu-se o ajuste da temperatura e humidade, sendo que, começou-se por testar o cenário mais agressivo que os materiais iriam ter que enfrentar – 72 horas a 38°C e 85% de humidade; de seguida o segundo cenário simulado foi – 72 horas a -29°C e com humidade não controlada; e o último cenário foi – 72 horas a 60°C e com humidade não controlada novamente.

Os três testes climáticos realizados a todas as amostras seguem a norma ISTA 2A e tiveram por base os parâmetros e requisitos regidos pelo departamento de embalagem da Bosch Ovar.

No final de cada teste, a câmara climática foi aberta e todas as amostras foram analisadas minuciosamente, de forma a perceber em qual temperatura e humidade relativa o material quebrava. Sendo assim, no final do primeiro teste – 72 horas a 38°C e 85% de humidade – as amostras foram retiradas e foram analisadas a olho nu, procurando-se alterações de forma, alterações na cor ou aspeto do material e alguma quebra nas propriedades gerais do mesmo. Ao fim deste teste conseguiu-se perceber que todas as amostras mantiveram as características principais e não sofreram qualquer alteração, à exceção da amostra de Green Cell Foam, que apresentou alterações de forma, cor, e de propriedades, tendo ficado bastante deformada e dura ao toque.

No final da segunda fase do teste climático – 72 horas a -29°C e com humidade não controlada – os materiais foram analisados e não tinham variações de forma e de propriedades em relação ao primeiro teste.

Por fim, finalizado o terceiro teste – 72 horas a 60°C e com humidade não controlada – as amostras continuaram iguais, sem variações de forma ou propriedades.



Figura 56: Green Cell Foam – antes e depois da primeira fase do teste climático.



Figura 57: Amostras dos materiais após as três fases do teste climático.

Testes	1º Teste (72 hr a 38°C e 85% HR)	2º Teste (72 hr a -29°C e HNC)	3º Teste (72 hr a 60°C e HNC)	Validação
Ecovio EA	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Fibi-Buffer	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Biofoam	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Mycocomposite	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Green Cell Foam	Alterações de cor, forma e dureza	Sem mais alterações	Sem mais alterações	Reprovado
Green Cell Foam plus	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Bioespuma	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado
Bioespumac/Filme	Sem alterações	Sem alterações	Sem alterações	Aprovado

Tabela 14: Validação dos materiais segundo as três fases do teste climático.

De acordo com os resultados obtidos e sumarizados na tabela acima representada, podemos concluir que, no geral, os resultados foram bastante satisfatórios, sendo que apenas um material não apresenta as propriedades necessárias para seguir para as próximas fases, mas, os restantes materiais mostram-se viáveis para dar resposta à problemática levantada pela empresa Bosch, uma vez que poderão enfrentar o pior cenário de temperatura e humidade no seu transporte.

Com a realização do teste foi possível perceber que alguns materiais, compostáveis domesticamente como o Green Cell Foam, só se tornam viáveis no embalamento de certos equipamentos quando utilizados com uma película protetora – Green Cell Foam Plus – uma vez que a sua rápida compostabilidade e degradação na presença de humidade é uma característica ótima para o seu fim de vida, porém, para muitos setores de embalagem e transporte é um problema reprobatório. Noutros casos, de materiais compostáveis domesticamente mas que a sua base não é 100% biológica – como é o caso da Bioespuma da Kehl – a película protetora que envolve a espuma não faz qualquer diferença relativamente ao seu comportamento face à temperatura e humidade, o que o torna num material promissor uma vez que apresenta boas características de resistência ao clima, boa aparência, facilidade de produção e moldagem e com um fim de vida limpo tal como o pretendido pela empresa.

4.3.2 Teste de Impacto _ Amortecimento

Na segunda e última fase, da validação de materiais, dá-se o teste de impacto. Este teste, já descrito anteriormente no subcapítulo “Normas e requisitos das embalagens”, é essencial na análise e validação das características de amortecimento dos materiais, sendo que para esta análise, é utilizada uma máquina de impacto e um batente e, são criadas, a partir do software, curvas de amortecimento que nos permitem no fim comparar diretamente todos os materiais entre si.

Este teste, tal como todos os outros realizados para validação de materiais e embalagens, seguem os procedimentos e requisitos estabelecidos pela Bosch, que, neste caso, baseia-se na norma ASTM D1596-14. Porém, devido a fatores externos não foi possível seguir a norma na íntegra, uma vez que os testes tiveram que ser realizados na máquina de impacto da FEUP que não continha acelerômetro, tal como pedia a norma ASTM D1596-14. Apesar do contratempo, a máquina utilizada tinha instalado um sensor de forças com uma sensibilidade de 3.958 pC/N e com um alcance de 50 kN, o que permitiu que fosse possível obter as curvas de amortecimento (tempo Vs. força) imprescindíveis para a comparação dos materiais em estudo.

Para a realização do teste impacto, foi necessário, numa primeira fase, redesenhar e prototipar um batente novo que seguisse os requisitos do teste da Bosch, e que facilitasse a leitura do amortecimento de cada material, uma vez que, o batente de forma cilíndrica existente na máquina de impacto da FEUP era para testes a metais. Além disso o batente existente era inferior ao tamanho das amostras e a sua ponta arredondada perfurava todos os materiais, entrando em choque com a base metálica. Desta forma, foi modelado um batente, com o software Solidworks, com a base de impacto plana e quadrangular que posteriormente foi impresso em 3D em PLA (figura 58 e 59).

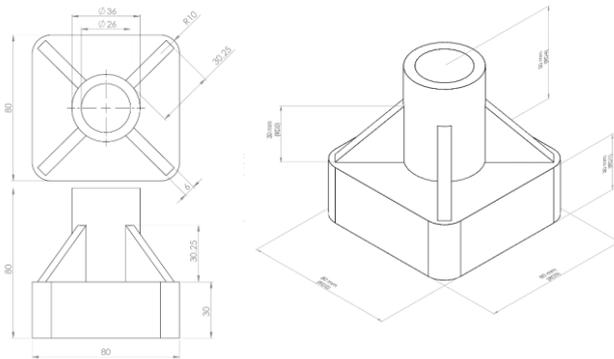


Figura 58: Desenho cotado do batente modelado em Solidworks.

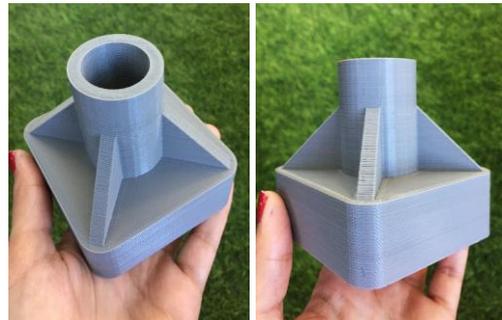


Figura 59: Batente final, impresso em 3D, em PLA, na máquina de impressão FEUP.

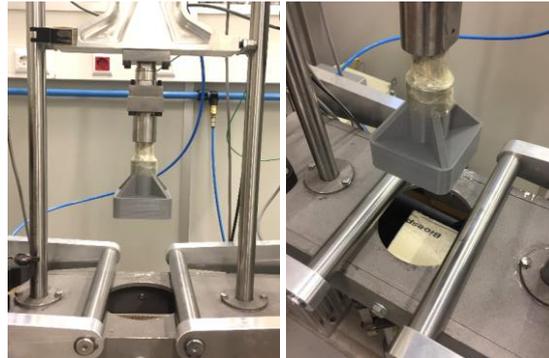


Figura 60: Batente final aplicado na máquina de testes de impacto.

O modelação deste batente teve que ter em conta as características e composição da máquina utilizada, uma vez que este teria de passar por um orifício, durante o teste, para embater no material que se encontrava sobre uma base metálica. Desta forma, o batente não pôde ter mais de 80 mm de lado, e as amostras tiveram que ser inferiores ao tamanho deste, pois, segundo a norma ASTM D1596-14, a base de impacto do batente deve sempre exceder as dimensões da amostra em todos os lados. A norma também dita que as amostras devem ter no mínimo 100 mm de lado, porém a terem que ser menores que a base do batente, teve que se optar por cortar num tamanho inferior a 80 mm.

Na preparação das amostras, foram cortadas duas de cada material e foram devidamente etiquetadas com o nome e com o número do teste, para facilitar a análise e descrição final. Sendo assim, e segundo a norma ASTM D1596-14 descrita acima, cortou-se as amostras dos materiais compostáveis domesticamente com 70 mm de lado e 40 mm de altura, e as amostras dos materiais compostáveis industrialmente com dimensões inferiores de 40 mm de lado e 30 mm de altura, uma vez que as amostras destes materiais recebidas dos fornecedores já apresentavam dimensões reduzidas o que não permitiam seguir uma dimensão superior. Relativamente à espessura das amostras, a norma utilizada não indica nenhum limite, porém, dita que todas têm que apresentar espessura igual para que o resultado do teste seja diretamente comparável. Desta forma selecionou-se os 40 mm para as compostáveis em casa e os 30 mm para as compostáveis industrialmente por serem as dimensões que permitiam a uniformização de todas as amostras.

Cada material foi testado duas vezes para se conseguir um resultado mais preciso, e, segundo a norma utilizada, o número de testes por material pode se gerir de acordo com a quantidade disponível de cada um deles, uma vez que, em alguns casos não daria mesmo para testar mais que duas vezes.

De seguida, realizou-se o cálculo da força que iria ser submetida pelo impactor na realização deste teste, onde teve que se ter por base os G's que o EPS suporta, uma vez que é o material que se visa substituir no fim desta investigação. Desta forma, foi necessário recorrer a uma curva de amortecimento do EPS, e teve que se ter por base os 60 G's - que são o requisito mais alto que um produto Bosch pode ter - seguidamente teve que se analisar a carga estática correspondente na curva do EPS de 24kgf/m³ (o EPS mais utilizado nas embalagens Bosch). Na análise desta curva foi possível constatar que a carga estática correspondente aos 60 G's é 0,65 N/cm², ou seja, 0,06628 kgf/cm².

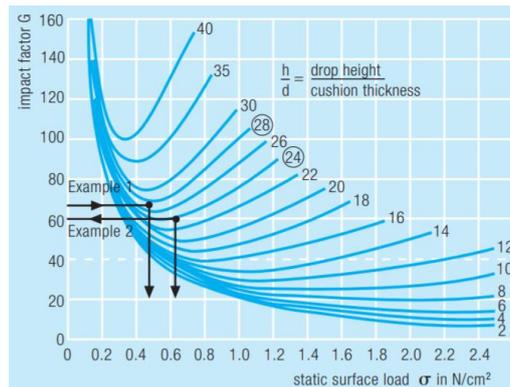


Figura 61: Curvas de amortecimento do EPS.

Sendo assim, os requisitos do teste de impacto para estes materiais são: fator de impacto de 60 G's; carga estática correspondente de 0,06628 Kgf/cm²; a altura a que vai estar o batente é de 97 cm – medida normalmente utilizada nestes testes; o batente tem forma quadrangular de 80 mm de lado; o peso geral do batente é aproximadamente 4,5 Kg – uma vez que se ligou o batente impresso ao metálico já existente na máquina; e que o produto que se visa embalar é o idesk com um peso de 1,5 Kg.

De seguida, para se prever qual seria a velocidade de impacto e a energia cinética na queda, foi necessário aplicar a conservação de energia ao objeto em queda livre. É importante salientar que na realização deste teste decidiu-se calcular o impacto com um valor de massa superior ao do produto em estudo – idesk de 1,5 Kg – de forma a poder-se avaliar os materiais para outros possíveis produtos de peso mais elevado que este, considerando-se assim, para o estudo, o valor da massa de 3 Kg. Assim sendo, se o produto apresentar uma massa (m) de 3 Kg, e se for lançado a uma altura (h) de 97 cm, a velocidade (v) antes do impacto será de 4,36 m/s.

Desta forma, consegue-se chegar ao valor da energia potencial gravitacional na altura em que foi lançado, que, neste caso, é de 28,5 J. E sabendo que, este valor é igual ao da energia cinética (EC) antes do impacto, pode-se assim afirmar que EC = 28,5 J.

Parâmetros reais do Teste de impacto	
Fator de impacto (G's)	60
Carga estática (kgf/cm ²)	0,06628
Base do batente (mm)	80 de lado
Altura da queda (cm)	97
Massa (Kg)	3
Velocidade de impacto (m/s)	4,36
Energia cinética (J)	28,5

Tabela 15: Parâmetros reais do teste de impacto.

Sendo que na máquina de impacto utilizada não era possível utilizar os valores dos parâmetros reais descritos acima, houve então a necessidade de alterar-se os valores da altura (h) da queda, da massa (m) do produto e da velocidade (v) da queda para valores que fossem possíveis testar na máquina e, que ao mesmo tempo, se mantivessem fiéis aos valores reais que se querem representar. Desta forma a alteração destes valores foi estudada para ser proporcional aos anteriores, mantendo a energia cinética (EC) praticamente no mesmo valor, e, só assim, se consegue saber se os valores que se vão retirar do teste vão ser proporcionais a uma situação real. Os valores atingidos para serem utilizados no teste de impacto são os seguintes:

Parâmetros modificados	
Altura da queda (cm)	27
Amostras (mm)	70 x 70 x 40
Carga estática (N/cm ²)	0,65
Massa (Kg)	10
Velocidade de impacto (m/s)	2,38
Energia cinética (J)	28,4

Tabela 16: Parâmetros modificados para serem aplicados na máquina de impacto.

Depois de inseridos os valores na máquina de impacto da FEUP, iniciaram-se os testes às amostras dos materiais compostáveis. O teste teve início com as amostras dos materiais compostáveis domesticamente, que foram testados juntamente com uma amostra de EPS e outra de EPE, com as mesmas dimensões, visto serem os materiais que se visa substituir e, por isso, é necessário comparar diretamente os valores com estes.

Os materiais foram assim testados pela seguinte ordem: EPS; EPE; Green Cell Foam; Bioespuma da Kehl e por fim o Myco Composite. Neste grupo de testes também foram testadas mais duas amostras de Green Cell Foam cortadas do inserto levado à câmara climática, para ser possível aferir se as deformações causadas pela temperatura e humidade têm depois interferência com o grau de amortecimento do material.

No caso dos testes de impacto aos materiais industrialmente compostáveis é de salientar que os parâmetros se mantiveram, porém o tamanho de todas as amostras neste grupo tiveram de conter dimensões de 40x40x30mm. Como forma de comparação, neste segundo grupo de testes foram cortadas amostras de EPS nas mesmas dimensões e testadas em primeiro lugar, seguindo-se das amostras do Fibi-Buffer e posteriormente de Ecovio EA.

Após os materiais terem sido todos testados, foram analisados os resultados e retiradas as curvas de força vs. tempo, apresentadas abaixo juntamente com a fotografia do respetivo material depois de ter sido testado. Todos os gráficos apresentam um pequeno ruído inicial que ficou registado e que antecede sempre a curva de valor, porém, neste teste a materiais para embalagens é admitido que possam existir elementos móveis na máquina que causem e registem no gráfico certas vibrações que não afetam a leitura do valor procurado.

4.3.2.1 Teste de Impacto _ Materiais Compostáveis Domesticamente vs. EPS / EPE

EPS 1

NÃO COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 1.290894 KN



Figura 62: Amostra de EPS 1.

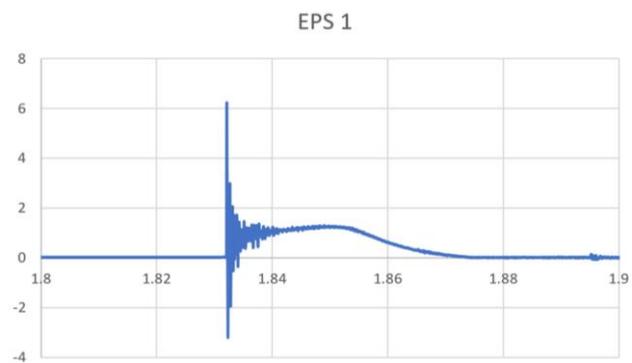


Figura 63: Gráfico – curva de amortecimento EPS 1.

EPS 2

NÃO COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 2.299063 KN



Figura 64: Amostra de EPS 2.

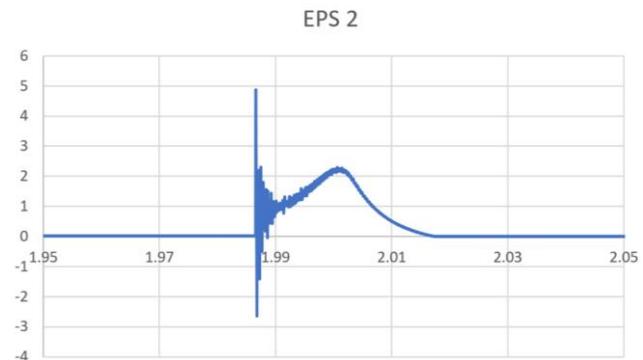


Figura 65: Gráfico – curva de amortecimento EPS 2.

EPE 1

MATERIAL RECICLÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 2.359009 KN



Figura 66: Amostra de EPE 1.

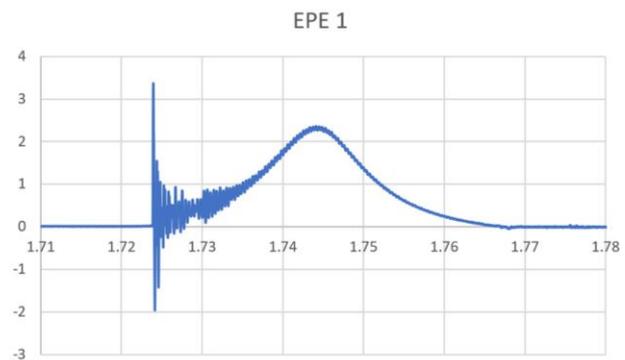


Figura 67: Gráfico – curva de amortecimento EPE 1.

EPE 2

MATERIAL RECICLÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 2.582114 KN



Figura 68: Amostra de EPE 2.

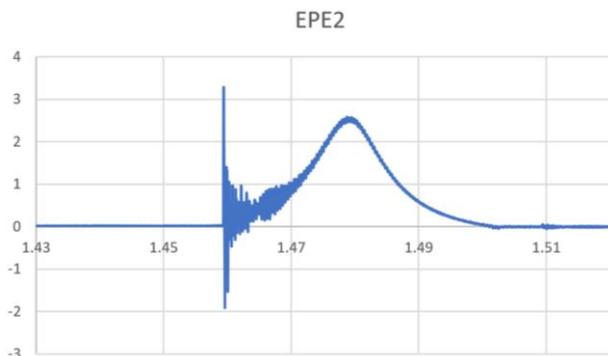


Figura 69: Gráfico – curva de amortecimento EPE 2.

GREEN CELL FOAM 1

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 3.774915 KN



Figura 70: Amostra de GCF 1.

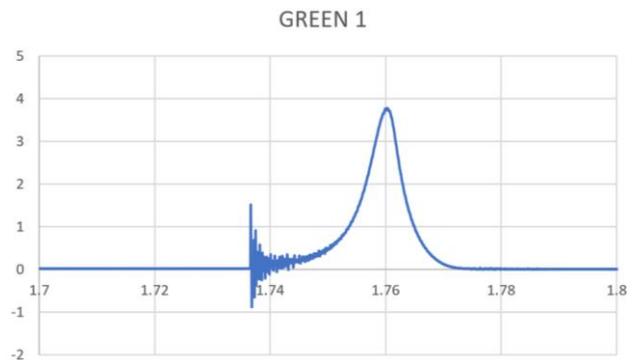


Figura 71: Gráfico – curva de amortecimento GCF 1.

GREEN CELL FOAM 2

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 4.188973 KN



Figura 72: Amostra de GCF 2.

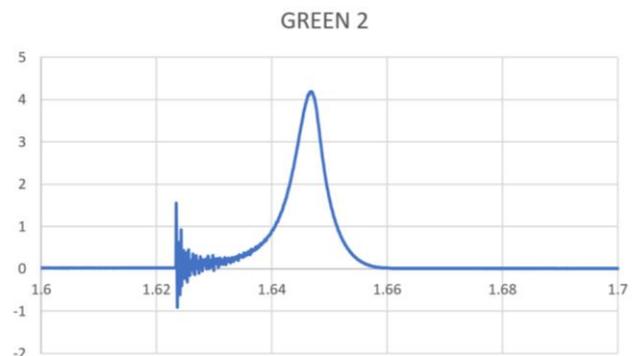


Figura 73: Gráfico – curva de amortecimento GCF 2.

GREEN CELL FOAM 3

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40

Força Máxima: 1.867894 KN



Figura 74: Amostra de GCF 3 após teste climático.

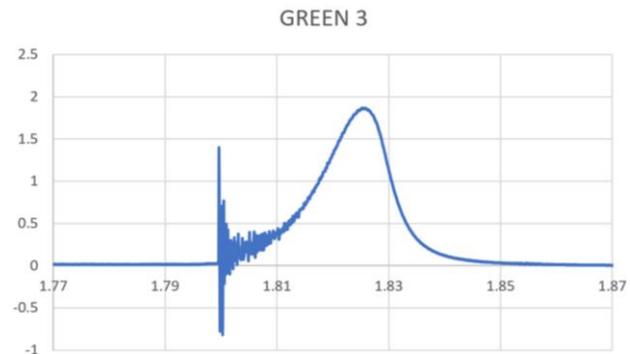


Figura 75: Gráfico – curva de amortecimento GCF 3.

GREEN CELL FOAM 4

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40

Força Máxima: 1.952471 KN



Figura 76: Amostra de GCF 4 após teste climático.

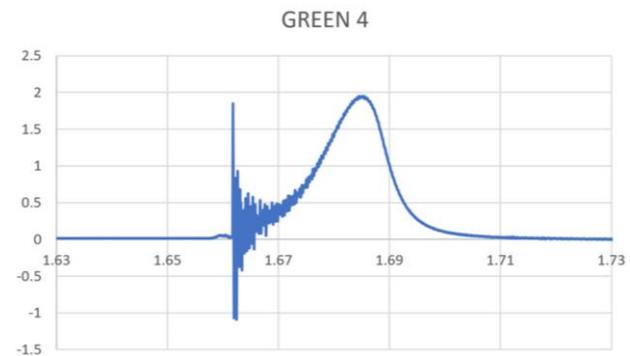


Figura 77: Gráfico – curva de amortecimento GCF 4.

KEHL BIOESPUMA 1

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40

Força Máxima: 2.95007 KN



Figura 78: Amostra de Bioespuma 1.

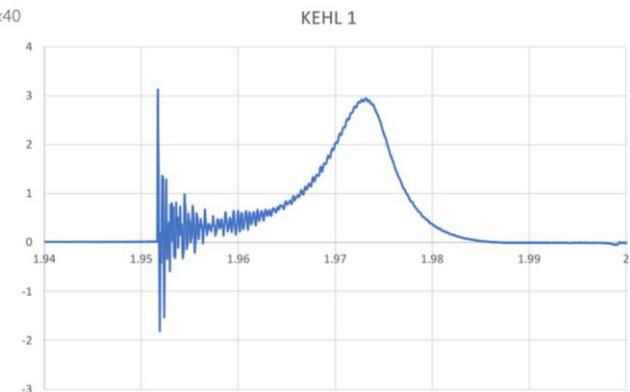


Figura 79: Gráfico – curva de amortecimento Bioespuma 1.

KEHL BIOESPUMA 2

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 3.741019 KN



Figura 80: Amostra de Bioespuma 2.

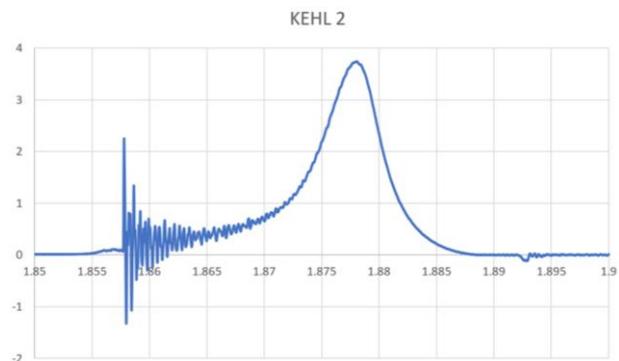


Figura 81: Gráfico - curva de amortecimento Bioespuma 2.

MYCO COMPOSITE 1

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 2.662223 KN



Figura 82: Amostra de Myco Composite 1.

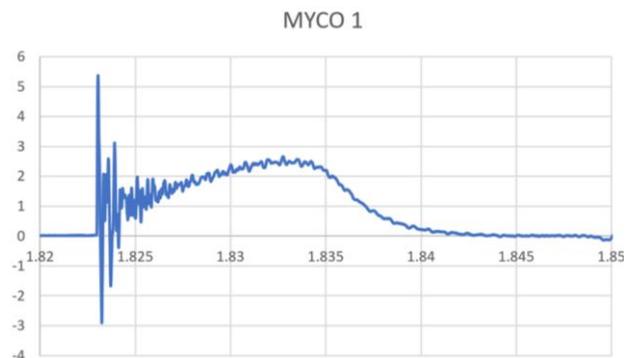


Figura 83: Gráfico - curva de amortecimento Myco Composite 1.

MYCO COMPOSITE 2

DOMESTICAMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 70x70x40
Força Máxima: 2.599226 KN



Figura 84: Amostra de Myco Composite 2.

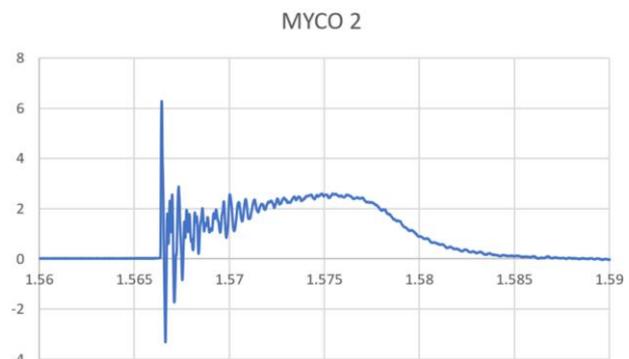


Figura 85: Gráfico - curva de amortecimento Myco Composite 2.

4.3.2.2 Teste de Impacto _ Materiais Compostáveis Industrialmente vs. EPS

EPS 3

NÃO COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 4.938507 KN



Figura 86: Amostra de EPS 3.

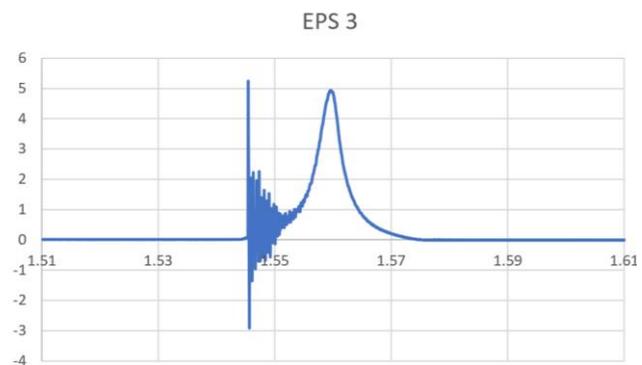


Figura 87: Gráfico – curva de amortecimento EPS 3.

EPS 4

NÃO COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 4.899218 KN



Figura 88: Amostra de EPS 4.

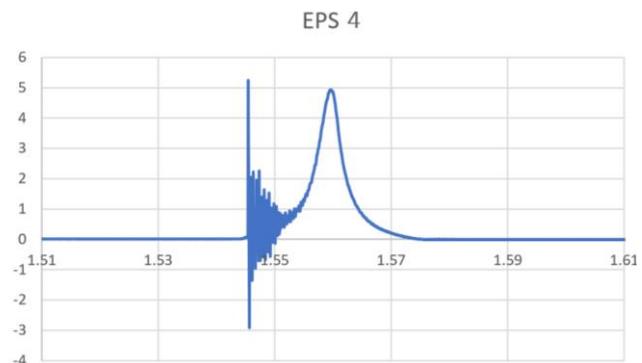


Figura 89: Gráfico – curva de amortecimento EPS 4.

FIBI BUFFER 1

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 3.925759 KN



Figura 90: Amostra de Fibi-Buffer 1.

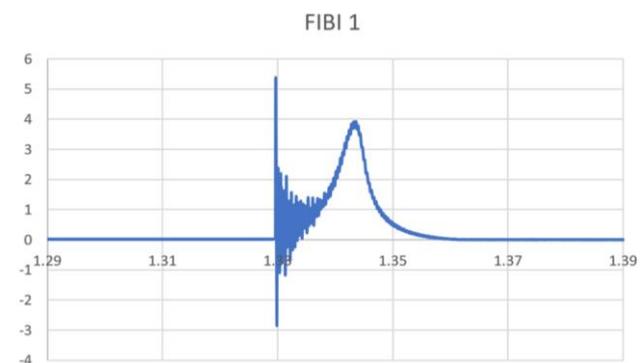


Figura 91: Gráfico – curva de amortecimento Fibi-Buffer 1.

FIBI BUFFER 2

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 3.918348 KN



Figura 92: Amostra de Fibi-Buffer 2.

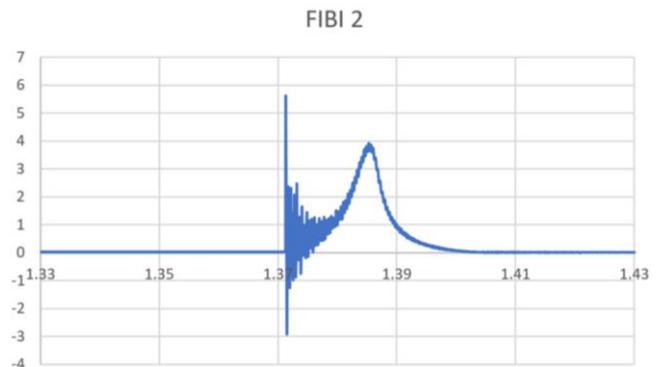


Figura 93: Gráfico – curva de amortecimento Fibi-Buffer 2.

BASF ECOVIO 1

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 4.583304 KN



Figura 94: Amostra de Ecovio 1.

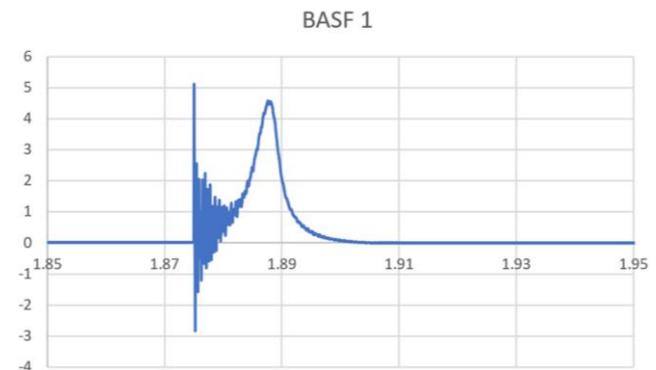


Figura 95: Gráfico – curva de amortecimento Ecovio 1.

BASF ECOVIO 2

INDUSTRIALMENTE COMPOSTÁVEL | AMOSTRA 40x40x30
Força Máxima: 5.27954 KN



Figura 96: Amostra de Ecovio 2.

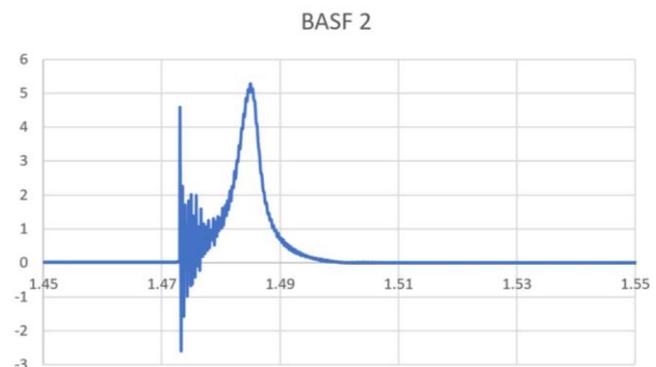


Figura 97: Gráfico – curva de amortecimento Ecovio 2.

4.3.2.3 Teste de Impacto _ Tabela síntese e comparativa

Finalizadas as duas fases do teste de impacto – teste às espumas compostáveis domesticamente e teste às espumas compostáveis industrialmente – organizou-se todos os resultados numa tabela síntese e comparativa das forças máximas obtidas por cada material. Para se conseguir realizar uma comparação direta dos materiais da fase 1 juntamente com os materiais da fase 2, houve a necessidade da realização de cálculos para igualar os valores, uma vez que as amostras utilizadas na segunda fase continham um volume quatro vezes menor que as amostras utilizadas na primeira fase. Desta forma dividiu-se o valor obtido por quatro, visando que a força máxima obtida estaria dissipada por um volume quatro vezes maior. Na tabela comparativa, da fase 2 do teste de impacto, encontra-se assim a coluna do “valor calculado” que apresenta os valores proporcionais para serem comparados com os da fase 1.

Volume amostras fase 1: 196 cm³

Volume amostras fase 2: 48 cm³

$$196/48 = 4,08$$

(volume quatro vezes maior)

Com este teste objetivava-se filtrar os materiais para o que se assemelhava mais ao EPS na absorção de impacto/força, sendo que, tal como podemos observar na tabela 17, quanto menor a força máxima atingida pelo material, melhor e mais viável é este na proteção de produtos.

Tal como o esperado, as espumas compostáveis industrialmente, apresentam uma maior semelhança com o EPS a nível de propriedades mecânicas, encontrando-se com resultados de absorção de impacto muito próximos aos do EPS. Desta forma, pode-se já afirmar que os materiais compostáveis industrialmente são grandes concorrentes para o EPS, sendo bastante similares a nível de propriedades mecânicas, tendo processos de fabrico iguais ou semelhantes, e apresentando como mais valia a vantagem de não serem prejudiciais para o meio ambiente.

Porém, os materiais compostáveis domesticamente, também apresentaram resultados aproximados a estes e bastante satisfatórios, passando assim na validação de materiais. Estes materiais apresentam a possibilidade de, com a adaptação do design do inserto e da alteração da densidade do material, conseguir-se atingir valores melhorados e que os tornem numa ótima aposta para o embalamento dos produtos eletrónicos Bosch. É de salientar também, que as espumas de compostagem doméstica apresentam uma constituição biológica, e que por isso, é normal não apresentarem os mesmos níveis de resistência que outros materiais reforçados com elementos não biológicos. Contudo, estas seriam a melhor aposta para um fim de vida não nocivo e sem necessidade de coleta das embalagens, podendo o próprio consumidor tratar do seu fim de vida em casa, ou em compostores para transformação em adubos e fertilizantes de solo.

Testes de Impacto (Amortecimento)				
Fase 1	Espumas Compostáveis Domesticamente Vs. EPS e EPE			
Testes	1º Teste Força máxima (KN)	2º Teste Força máxima (KN)	Média Força máxima (KN)	
EPS	1.290894	2.299063	1.79	
EPE	2.359009	2.582114	2.47	
Green Cell Foam	3.774915	4.188973	3.98	
Green Cell Foam (Depois do teste climático)	1.867894	1.952471	1.91	
Bioespuma Kehl	2.95007	3.741019	3.35	
Myco Composite	2.662223	2.599226	2.63	
Fase 2	Espumas Compostáveis Industrialmente Vs. EPS			
Testes	1º Teste Força máxima (KN)	2º Teste Força máxima (KN)	Média Força máxima (KN)	Valor Calculado (KN)
EPS	4.938507	4.899218	4.92	1.21
Fibi-Buffer	3.925759	3.918348	3.92	0.96
Ecovio EA	4.583304	5.27954	4.93	1.21

Tabela 17: Resultados obtidos nas duas fases do teste de impacto.

4.4

Discussão dos resultados

Seleção do Material

Depois de todas as fases de investigação, execução de testes e análise dos resultados realizadas, realizou-se uma tabela síntese com toda a informação recolhida até ao momento sobre cada material, visando facilitar a seleção do material mais viável para dar resposta à problemática em questão. Desta tabela fazem parte vários pontos fulcrais para a comparação e validação dos materiais, como os resultados adquiridos nos testes mecânicos – teste climático e teste de impacto – bem como outras características sobre o seu fim de vida, produção, custo, e características ligadas ao seu manuseamento em linha e no armazém. Cada característica foi avaliada numa escala de 0 a 4, facilitando a leitura e seleção do material.

Como podemos observar na tabela abaixo, os dois materiais com melhor pontuação foram o Ecovio EA da Basf (espuma industrialmente compostável) e a Bioespuma da empresa Kehl (espuma domesticamente compostável). Destas duas espumas selecionou-se a Bioespuma da Kehl, devido a apresentar diversas vantagens, além dos resultados satisfatórios dos testes mecânicos, e por apresentar, também, a vantagem de se decompor em casa e funcionar como um fertilizante para jardins. Esta característica é bastante importante para a empresa, pois acabam com o mau descarte das suas embalagens, uma vez que este material, mesmo que mal descartado e vá parar a locais inapropriados do meio ambiente – como mar ou terrenos florestais – a sua degradação ocorre normalmente, não afetando o meio ambiente nem ficando anos a ocupar espaço desnecessário no ecossistema. Esta vantagem prevaleceu na seleção do material uma vez que o Ecovio EA bem como as outras espumas industrialmente compostáveis, caso sejam mal descartadas e vão parar ao meio ambiente, como muitas vezes acontece com o EPS, não sofrem qualquer degradação, devido a necessitarem de níveis de temperatura e humidade bastante controlados só possíveis em usinas de compostagem industrial.

Síntese das Propriedades dos Materiais								
Material	EPS	EPE	Fibi-Buffer	Ecovio EA	Biofoam	Green Cell Foam	Bioespuma	Mycocomposite
Teste Climático	4	4	4	4	4	1	4	3
Teste de Impacto	4	4	4	4	0	2	2	3
Compostável Industrialmente	0	0	4	4	4	4	4	4
Compostável Domesticamente	0	0	0	0	0	4	4	4
Custo	4	3	1	1	1	2	2	1
Tempo de produção	4	3	4	4	4	3	3	1
Tempo de montagem	4	4	1	4	4	3	3	3
Espaço em Armazém	1	1	2	1	1	1	4	1
Sujidade/Partículas	3	4	4	3	3	3	3	1
UX	4	4	3	4	4	3	3	2
Base biológica	0	0	2	2	2	4	3	4
Certificações	0	0	2	4	4	4	0	4
TOTAL	28	27	31	35	31	34	35	31
0 – não existe / não tem ; 1 – mau ; 2 – bom ; 3 – muito bom ; 4 – excelente								

Tabela 18: Tabela síntese e comparativa dos materiais – Seleção do material.

Kehl Bioespuma _ Compostável Domesticamente

O material seleccionado foi assim a Bioespuma da Kehl. Este material já foi apresentado e descrito no capítulo do “Estudo de mercado” e tal como podemos aferir na tabela anterior, este tem grande potencial para vir a substituir o EPS no embalamento dos produtos Bosch.

A Bioespuma Kehl além de todas as características descritas nas fases anteriores, apresenta uma mais valia para a empresa que é a utilização de tecnologia de baixo custo e a ocupação bastante reduzida dos insertos em armazém e em linha. Este material na sua produção só necessita de uma injetora de baixa pressão e de moldes de madeira, e a sua expansão dá-se em apenas alguns segundos. Desta forma, é uma tecnologia fácil e rápida de implementar na empresa, além de que os moldes de madeira não necessitam de elevada manutenção devido à expansão da espuma se dar dentro de um saco polimérico, não havendo, assim, contacto direto da espuma com o molde.

Relativamente ao espaço em armazém, este material pode resolver vários problemas de armazenamento, uma vez que contém a possibilidade e a vantagem de vir já os componentes dentro de um saco espalmado, que pode ser armazenado desta forma e ser expandido apenas na hora de embalar o produto. Os componentes isocianato e bio-poliol, que constituem este material, uns segundos após o seu contacto iniciam o processo expansivo, sendo, que desta forma, os componentes vêm separados dentro de duas bolhas no interior do saco, que, são rebentadas em simultâneo na hora do embalamento dos produtos. Com esta solução em saco pode-se utilizar os moldes para adquirir o formato pretendido, ou, colocar o saco (no início do processo de expansão) no fundo da embalagem, depois colocar-se o produto, e depois novamente outro saco por cima e fechar-se a embalagem. Esta, quando se abrir, a espuma irá ter ocupado os espaços vazios entre o produto e a caixa e tornado o produto imóvel durante o seu transporte. Esta é uma excelente opção para o embalamento de qualquer produto, não necessitando do desenvolvimento de insertos em muitos dos casos.



Figura 98: Inserto Kehl expandido em molde de madeira.



Figura 99: Espuma moldada pelo produto.



Figura 100: Sacos expansivos de foam in place.

4.5

Desenvolvimento

Embalagem para o equipamento Idesk

Nesta fase, irá dar-se o desenvolvimento da embalagem para o produto idesk no novo material, selecionado anteriormente. Este subcapítulo vai ser iniciado com a apresentação da atual embalagem, e insertos, que fazem parte do embalamento deste produto eletrónico, onde irão ser analisados e destacados os pontos positivos e negativos destes. Esta análise vai ser fundamental para, numa fase posterior, realizar os ajustes necessários para que os insertos consigam a melhor performance possível.

De seguida irá dar-se o primeiro desenvolvimento, onde se irá prototipar, junto com o fornecedor do material selecionado, insertos com o mesmo design e densidade que os de EPS, de forma a possibilitar a realização dos testes de validação das embalagens a ambos os insertos e comparar diretamente os resultados. Este primeiro desenvolvimento é fulcral para o entendimento do material e das alterações de design que vão ser necessárias realizar caso não se atinjam os resultados pretendidos.

Depois de realizados os três testes de validação da embalagem – teste de compressão, teste de vibração e teste de queda – e analisados os resultados, irá dar-se o segundo desenvolvimento, onde se irão fazer as alterações necessárias no inserto, modelar e prototipar. Nesta fase vai ser possível analisar os pontos positivos do novo inserto relativamente ao antigo (no mesmo material) e testar a sua ergonomia juntamente com a embalagem e o produto idesk.

4.5.1 Análise da embalagem atual _ Embalagem idesk em EPS

Previamente à realização dos primeiros protótipos em Bioespuma Kehl, por parte do fornecedor, analisou-se a atual embalagem utilizada para o produto idesk.

O produto idesk é um aparelho de comunicação de 325 x 167 x 98 mm de dimensões e com 1,6 kg de peso. Este produto é embalado envolvido num saco polimérico, numa caixa com 394 x 190 x 170 mm, e com dois insertos iguais em EPS com 186 x 165 x 82,50 mm de dimensões.

Especificações do Produto e Embalagem	
Produto	Idesk – Aparelho de comunicação
Peso (kg)	1,6
Tamanho Produto (mm)	325 x 167 x 98
Tamanho Caixa (mm)	394 x 190 x 170
Tamanho insertos (mm)	186 x 165 x 82,50

Tabela 19: Especificações do produto e embalagem - idesk.



Figura 101: Embalagem completa - idesk.



Figura 102: Idesk.



Figura 103: Embalagem Idesk.



Figura 104: Insertos em EPS.



Forma e material atual

Os insertos desenvolvidos pelo gabinete de embalagem da Bosch Ovar, para esta embalagem, já sofreram imensas alterações e mudanças de material, sendo que já foram testadas soluções, além da atual em EPS, em EPE, cartão, AirBubble e Korrvu. Deste conjunto de materiais e respetivos designs de forma, apenas três passaram para a fase final de seleção – cartão, EPE e EPS. Como podemos observar na tabela abaixo representada, foram comparados vários parâmetros específicos de cada solução, como forma de chegar ao material/forma mais viável para embalar este produto.

	Proteção do produto	Manuseamento (Tempo de embalagem)	Espaço requerido em armazém	Sujidade	Reciclabilidade	Logística	Custo (Incluindo ferramentas)
Cartão	+	+	+++	+	+++	+	+++
EPE	++	++	+	++	++	++	+
EPS	+++	+++	++	+++	+	+++	++

+ (mau) ++ (bom) +++ (muito bom)

Tabela 20: Comparação dos três materiais/insertos finais – tabela realizada pelo departamento de embalagem Bosch.



Figura 105: Insertos em Cartão - Bosch.

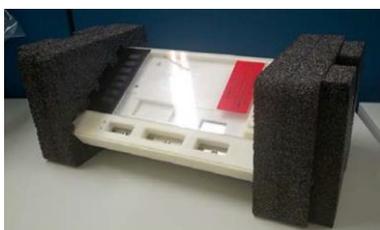


Figura 106: Insertos em EPE - Bosch.

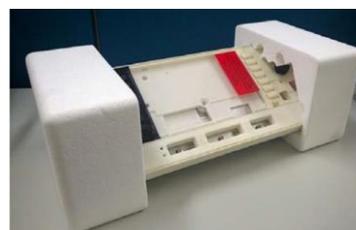


Figura 107: Insertos em EPS - Bosch.

Como podemos conferir, o EPS foi, assim, o material selecionado como mais viável para condicionar o produto idesk. Depois de terem selecionado o material, o gabinete de embalagem Bosch Ovar realizou vários estudos de forma dentro deste, de forma a atingirem o melhor inserto protetor. Ao longo do processo foram realizados vários protótipos, testados e assinalados erros de forma. Nas figuras abaixo podemos observar alguns dos estudos realizados em EPS até se atingir a forma atual, que se visa substituir o material pela Bioespuma Kehl selecionada anteriormente.



Figura 108: Evolução de forma dos insertos em EPS para o produto Idesk - Bosch.

Pontos positivos do inserto atual

Como se pôde observar anteriormente, o inserto em estudo, em que visamos alterar o material para o tornar sustentável, já sofreu várias alterações quer de material quer de forma, sendo que, desta forma, espera-se que não haja necessidade de grandes alterações de forma nas fases que se seguem.

Este inserto apresenta a vantagem de só necessitar de um molde na sua produção, uma vez que quer a peça da esquerda quer a da direita da embalagem apresentam exatamente a mesma forma. Isto deve-se ao facto de terem desenvolvido a parte interna do inserto – onde encaixa as laterais do produto – de forma simétrica, sendo possível encaixar qualquer uma das laterias, uma vez que a mesma peça apresenta o recorte para estas duas. Esta vantagem facilita não só a fase de modelação do inserto e do respetivo molde, como faz com que se economize na produção – uma vez que só necessita de um molde – e facilita também a fase de embalamento do produto por parte do operador, uma vez que, não existem peças distintas para colocar no interior da caixa, o que necessitava de um esforço e de uma atenção extra, além de um maior gasto de tempo.

Além destas vantagens, o inserto apresenta dois recortes na parte superior (figura 103) que são essenciais para o fácil e rápido manuseamento do produto. Estes recortes facilitam não só na colocação do produto dentro da caixa durante o embalamento, como, também, na retirada do equipamento da embalagem por parte do consumidor final.

Por fim, estes insertos apresentam como vantagem o baixo custo e estão bem redimensionados tanto a nível de altura como do recorte com o formato das laterais do equipamento Idesk.



Figura 109: Pontos positivos e negativos dos insertos atuais - EPS.

Pontos negativos do inserto atual

Numa primeira análise dos insertos, na embalagem com o produto Idesk, foi possível detetar dois pontos negativos que podem ser prejudiciais para o produto numa queda. O primeiro ponto negativo trata-se da zona de encaixe, que abrange a lateral do produto, que, tal como podemos observar na figura acima, a zona que suporta o produto tem muito pouca profundidade, suportando o produto apenas nas pontas e deixando o produto fragilizado em quase toda a sua superfície.

Outro ponto negativo encontra-se na face inferior do inserto – as duas patilhas com zona oca no meio – que o facto de ter só duas laterais a cheio com o centro oco gera mais uma zona de fragilidade, uma vez que o produto vai ser suportado, sobretudo, por esta face, numa situação normal de queda e mesmo em todo o processo de transporte, onde serão empilhadas várias embalagens, e haverá uma sobrecarga sobre as embalagens inferiores.

Também se podem salientar outros pontos negativos além das falhas de forma, como o facto do material não corresponder aos objetivos ecológicos da empresa e o facto deste material – EPS – ser, por vezes, quebradiço e soltar alguma sujidade ao longo do transporte.

4.5.2 Primeiro Desenvolvimento _ Primeiro protótipo em Bioespuma Kehl

Tal como mencionado anteriormente, o primeiro desenvolvimento tratou-se da execução dos primeiros protótipos em Bioespuma por parte do fornecedor da empresa Kehl, sediada no Brasil.

Nestes primeiros protótipos optou-se por manter todas as características dos atuais insertos em EPS possibilitando a comparação direta nos testes de validação da embalagem – teste de compressão, teste de vibração e teste de queda livre.

Nesta etapa foi crucial um contacto direto e sistemático com o fornecedor para que todos os objetivos quer de forma quer de tempo fossem cumpridos. Para isso, foram enviados ao fornecedor todos os documentos necessários para que pudesse replicar os insertos em Bioespuma. Foram assim enviados documentos 3D de modelação em Solidworks, desenhos técnicos e fotografias reais dos insertos em EPS.

No processo de execução dos protótipos, o fornecedor começou por realizar o molde de madeira pelo método manual (Figura 110). O molde foi construído através de placas de madeira cortadas, que foram unidas através de pregos e cola branca, até formarem o molde e contramolde no formato de caixa. O molde continha, assim, uma tampa com dobradiças e um fecho central metálico para impedir que a espuma saísse do mesmo e danificasse a forma pretendida. Por fim, foram pintadas as zonas internas do molde de forma a uniformizar e impedir que a madeira rompesse com o saco, e, foram realizadas também, as saídas de ar na face inferior do molde, para possibilitar que a espuma entrasse em expansão com o molde fechado.



Figura 110: Moldes de madeira produzidos pelo fornecedor Kehl para a realização do primeiro protótipo.

Depois de construído o molde, deu-se a fase de expansão da Bioespuma, onde foi colocado um plástico reciclável a cobrir todas as faces internas do interior do molde, e foi inserida a mistura de isocianato e de bio-poliol através de uma injetora de baixa pressão. Depois de inserida a mistura, o molde foi fechado através do fecho metálico e aguardou-se apenas alguns segundos até à Bioespuma adquirir o formato pretendido. Para a realização destes protótipos optou-se por utilizar uma densidade aproximada da do EPS, tendo os insertos em EPS uma densidade de 22 kg/m^3 e um peso de 36,5 g, e o inserto em Bioespuma uma densidade de 20 kg/m^3 e um peso de 47,5 g, de forma a facilitar a comparação dos resultados obtidos. Para ser possível realizar os insertos numa densidade aproximada foi necessário alterar as percentagens de cada componente, sendo que, por norma são utilizados 70% de bio-poliol e 30% de isocianato, e neste desenvolvimento foram utilizados 50% de cada componente (24 ml de bio-poliol e 24 ml de isocianato).

Todo o processo demorou cerca de 2-3 meses devido ao excesso de trabalho por parte do fornecedor e ao tempo de transporte dos protótipos.

Como podemos observar nas imagens seguintes, os insertos desenvolvidos nesta fase seguem as características dos de EPS, à exceção dos cantos arredondados, que, devido à forma como foi produzido o molde, impossibilitou a representação dos mesmos.



Figura 111: Primeiros protótipos desenvolvidos em Bioespuma e comparação com os insertos em EPS.

4.5.3 Teste de Compressão Vertical

Depois de desenvolvidos os protótipos e preparadas as embalagens completas para os testes, iniciou-se a fase de validação da embalagem pelo teste de compressão. Este teste, tal como descrito anteriormente no subcapítulo das “Normas e requisitos das embalagens”, é utilizado para simular uma situação real de empilhamento com base na aplicação de uma força pré-definida. Em suma, objetiva testar a capacidade de carga de uma embalagem, prevendo deformações na embalagem ou mesmo estragos no produto.

Previamente à realização do teste, foi necessário calcular a força de compressão a que a embalagem iria ser submetida. O cálculo da força de compressão é-nos dada pela seguinte equação:

$$FC = [m * (NE - 1) * A * g] * B$$

Parâmetros /Fórmula para Teste de Compressão (vertical)			
Símbolo	Significado	Unidade	Valor
FC	Força de compressão	N	?
m	Massa do produto embalado	Kg	1,711
NE	Número de embalagens empilháveis	unidades	11
A	Fator de compressão	-	5
g	Aceleração da gravidade	m/s ²	9,81
B	Fator de compensação de tempo e compressão	-	1,4

Tabela 21: Parâmetros para a resolução da equação.

Para a resolução da equação foi necessário preencher os valores em falta na tabela 21, sendo eles o valor do peso do produto embalado (1,711 kg) e o número de embalagens empilháveis deste produto (11 unidades). O número das embalagens empilháveis é nos dado pelo tamanho máximo do empilhamento/paleta (2025 mm) a dividir pela altura da embalagem em estudo (170 mm). Depois de preenchidos estes valores, resolveu-se a equação de cálculo da força de compressão a utilizar:

$$[1,711 * (11 - 1) * 5 * 9,81] * 1,4 = 1174,94 \text{ N}$$

O valor obtido foi arredondado para 1175 N, sendo, desta forma, este o valor da força de compressão a que a embalagem completa vai estar submetida.

Depois deste valor calculado deu-se início ao teste de compressão, iniciando-se por programar a máquina “TLS Compression Systems” da Bosch para os 1175 N, e seguidamente posicionando-se o produto embalado centrado na base da máquina.

Terminado o teste, com a duração de cerca de 13 minutos, e com a força máxima de compressão atingida, retirou-se a embalagem e observou-se apenas uma leve dobra na caixa, porém, o produto e os inserts não sofreram qualquer tipo de danos.

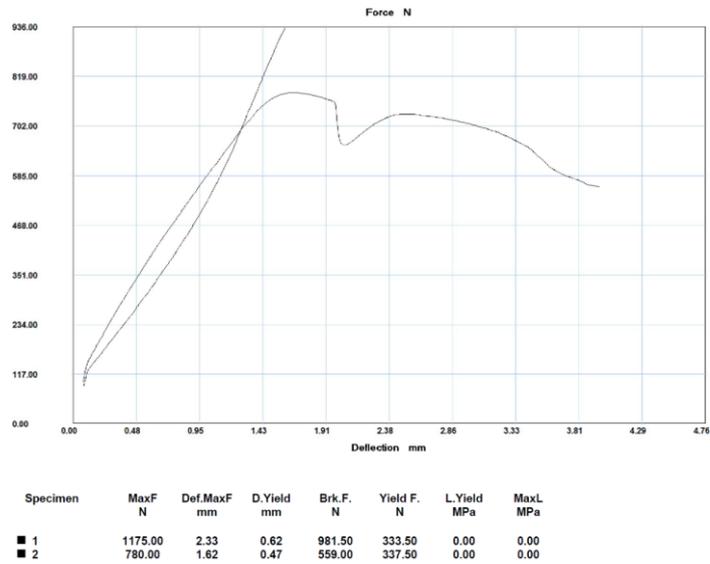


Figura 112: Gráfico retirado do teste de compressão à embalagem em Bioespuma Kehl.

Na discussão dos resultados, juntamente com os elementos do departamento de embalagem da Bosch encarregues dos testes mecânicos, chegou-se à conclusão que os desníveis obtidos no gráfico de compressão advêm da caixa de cartão, uma vez que a caixa de cartão vazia apenas aguenta 780 N e deveria atingir cerca de 1000 N por segurança. Desta forma, este é um problema já verificado anteriormente noutros testes internos e que está a ser solucionado – a alteração do tipo de cartão da caixa – pelo gabinete de embalagens. Devido a esta falha no cartão a embalagem saiu com uma pequena dobra ligeira, porém o produto e os insertos não sofreram qualquer tipo de alteração, tal como podemos aferir nas imagens abaixo.



Figura 113: Embalagem durante o teste de compressão e embalagem após o teste, onde apenas se verifica uma dobra ligeira numa única lateral.



Figura 114: Insertos e produto idesk sem qualquer alteração após o teste de compressão.

Resumo Teste de Compressão (Bioespuma Kehl)	
Norma aplicada	ISTA 2A
Máquina utilizada	TLS Compression Systems
Velocidade do teste (mm/min)	13
Altura do empilhamento (mm)	2025
Embalagens empilháveis	11
Fator de compensação	5
Força de compressão (N)	1175
Fim do teste	Força de compressão alcançada
Danos na embalagem	1 dobra ligeira (não relevante na validação)
Danos nos insertos	Não detetados
Danos no produto	Não detetados

Tabela 22: Resumo do teste de compressão e dos resultados obtidos (Kehl).

Em suma, pode-se verificar, através dos dados da tabela 22, que a embalagem em Bioespuma Kehl passou na primeira fase de validação da embalagem.

Para uma comparação direta com a atual embalagem em EPS, utilizada pela Bosch para este equipamento, foi realizada, também, uma tabela síntese dos resultados do teste de compressão, realizado anteriormente a esta, pelo departamento de embalagem.

Resumo Teste de Compressão (EPS)	
Norma aplicada	ISTA 2A
Máquina utilizada	TLS Compression Systems
Velocidade do teste (mm/min)	13
Altura do empilhamento (mm)	2025
Embalagens empilháveis	11
Fator de compensação	5
Força de compressão (N)	1348.50 (Este valor varia devido ao peso da embalagem completa)
Fim do teste	Força de compressão alcançada
Danos na embalagem	Pequena dobra numa das arestas verticais (Não relevante)
Danos nos insertos	Não detetados
Danos no produto	Não detetados

Tabela 23: Resumo do teste de compressão e dos resultados obtidos (EPS).

Os resultados dos testes de compressão tanto à embalagem em Bioespuma Kehl, tanto à embalagem em EPS foram bastante semelhantes, podendo-se afirmar, assim, que neste primeiro teste de validação o material compostável selecionado, apresenta as características necessárias para substituir o poluente EPS.

4.5.4 Teste de Vibração Horizontal

Na segunda etapa de validação de uma embalagem dá-se o teste de vibração, que tal como descrito em capítulos anteriores, objetiva simular as vibrações a que uma embalagem vai estar sujeita durante o seu manuseamento e transporte. O teste em questão duplica os efeitos das vibrações comuns, de forma a prever o comportamento da embalagem em situações mais agressivas, caso aconteçam pontualmente.

Para dar início ao teste de vibração foi necessário, previamente, definir os parâmetros a utilizar, que, segundo o departamento de embalagens da Bosch, este teste é realizado com a embalagem fixa na mesa vibratória a sofrer 230 ciclos por minuto, com uma frequência baixa de 3,83 Hz, num período de tempo de 62 minutos.

Depois de configurados os parâmetros, a embalagem foi fixa à mesa vibratória, junto com outras embalagens distintas.



Figura 115: Embalagem em Bioespuma Kehl fixa na mesa vibratória.



Figura 116: Embalagem em Bioespuma Kehl após teste de vibração.

Como podemos observar nas imagens acima, após o teste de vibração concluído, a embalagem, os insertos e o produto foram analisados e não se detetaram quaisquer deformações ou anomalias no produto. A nível de sujidade causada pelos insertos/material foi considerada quase inexistente, uma vez que, um dos insertos só soltou uma pequena partícula de Bioespuma devido a uma falha no embalamento da espuma com a película reciclável. Desta forma, considera-se que, se o material não tiver nenhuma rotura na película envolvente, não existirá nenhuma sujidade no interior da caixa após o transporte, apesar que, o resultado obtido neste teste foi, mesmo assim, bastante positivo.

Resumo Teste de Vibração (Bioespuma Kehl)	
Norma aplicada	ISTA 2A
Máquina utilizada	“LAB Simulator” de transporte
Tipo de vibração	Fixa de baixa frequência
Ciclos por minuto (rpm)	230
Frequência (Hz)	3,83
Duração (min)	62
Danos na embalagem	Não detetados
Danos nos insertos	Não detetados
Danos no produto	Não detetados
Sujidade	Quase inexistente

Tabela 24: Resumo do teste de vibração e dos resultados obtidos (Kehl).

Com os resultados obtidos no teste de vibração, a embalagem foi considerada válida para seguir para a terceira e última etapa de validação. Os resultados obtidos foram comparados diretamente com os resultados do teste de vibração à embalagem de EPS que seguiu exatamente as mesmas diretrizes e os mesmos parâmetros. Como podemos conferir na tabela síntese dos resultados obtidos pelo EPS abaixo representada, as embalagens são equiparáveis, no entanto, a embalagem em Bioespuma Kehl foi considerada melhor neste teste devido ao nível de sujidade que o EPS deixa na caixa durante o transporte / vibração da embalagem.

Resumo Teste de Vibração (EPS)	
Norma aplicada	ISTA 2A
Máquina utilizada	“LAB Simulator” de transporte
Tipo de vibração	Fixa de baixa frequência
Ciclos por minuto (rpm)	230
Frequência (Hz)	3,83
Duração (min)	62
Danos na embalagem	Não detetados
Danos nos insertos	Não detetados
Danos no produto	Não detetados
Sujidade	Partículas deixadas nas paredes e fundo da embalagem

Tabela 25: Resumo do teste de vibração e dos resultados obtidos (EPS).

4.5.5 Teste de Queda Livre

Na terceira e última etapa do processo de validação de uma embalagem deu-se o teste de queda livre. Este teste, tal como o nome indica, visa testar a capacidade de uma embalagem suportar eventuais quedas durante o seu manuseamento e transporte.

O teste de queda é considerado o mais agressivo na validação de uma embalagem, porém, é durante este, que se consegue perceber as anomalias existentes no desenho dos insertos e decidir quais as alterações necessárias a fazer para que este obtenha um melhor desempenho na proteção do produto durante o processo de distribuição.

Previamente a dar-se início ao teste de queda, foram preparadas duas embalagens uma em Bioespuma Kehl e outra em EPS, onde, em cada uma delas, foi colocado um equipamento idesk com um acelerómetro colado na sua face superior, de forma a medir os G's de cada queda. Em cada uma das quedas estão envolvidos diferentes eixos (x, y, z), positivos e negativos dependendo da orientação da caixa na altura em que cada face, aresta ou canto estão a ser testados.

Depois de preparadas as embalagens com o produto idesk e o acelerómetro, estas foram seladas e foi realizada uma marcação na caixa em seis faces, três arestas e um canto com a respetiva ordem de queda.

O teste teve início pelas faces (face 2, 4, 6, 5, 3 e 1) de seguida as arestas (aresta 3-5 e aresta 2-3), depois a junta de fabrico da caixa (a aresta mais frágil da embalagem) e, por fim, o canto (2-3-5). Todas as quedas foram realizadas a uma altura de 97 centímetros, e todo o teste teve por base a norma ISTA 2A, com ligeiras alterações configuradas pelo departamento de embalagem da Bosch Ovar.

Nas sequências de imagens, abaixo representada, encontram-se as etapas de preparação de ambas as embalagens para o teste de impacto e seguidamente os gráficos de queda de cada face, aresta e canto. Os gráficos são apresentados lado a lado – Bioespuma Vs. EPS – para uma comparação direta do comportamento de cada material/embalagem em cada queda específica.



Figura 117: Preparação da embalagem em Bioespuma para o teste de queda livre.



Figura 118: Preparação da embalagem em EPS para o teste de queda livre.

Gráficos obtidos nas quedas realizadas às embalagens em Bioespuma e EPS

Os gráficos, com a respetiva curva de valor de G's de cada queda, foram tratados na aplicação Simcenter Testlab 18, uma aplicação de filtros de curvas, para uma melhor leitura dos resultados.

É de salientar que os gráficos correspondentes às quedas das faces só apresentam uma curva/eixo devido a esta cair num só sentido – X, Y ou Z – resultando assim numa única curva de valor. Os gráficos representativos das quedas das arestas, apresentam duas curvas/eixos, uma vez que a sua queda envolve duas direções. Destas duas curvas são retirados os valores da que apresenta os G's mais elevados. Relativamente ao gráfico resultante da queda do canto 2-3-5, este apresenta três curvas/eixos uma vez que a sua queda envolve três direções. Mais uma vez, os valores retirados para termo de comparação, são da curva que apresenta um número mais elevado de G's. É de salientar que, devido às quedas envolverem diferentes eixos, os gráficos podem apresentar diferenças na direção dos picos de valor. A existência de dois picos de valor no mesmo eixo/sentido representam o ressalto da embalagem durante a queda.

Queda Face 2 _ Bioespuma

Valor obtido: 76,75 G's

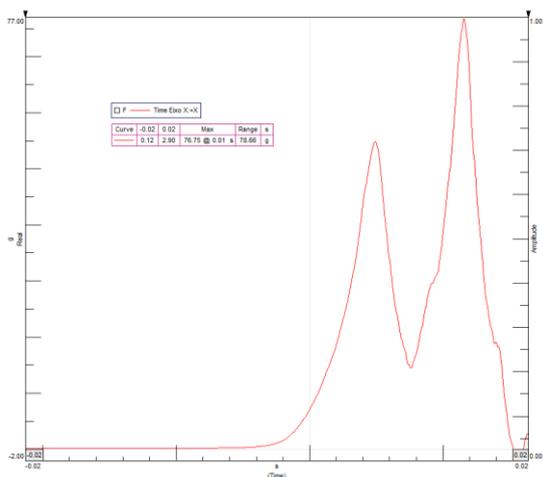


Figura 119: Gráfico de G's obtidos na queda da face 2 _ Bioespuma

Queda Face 2 _ EPS

Valor obtido: 67,68 G's

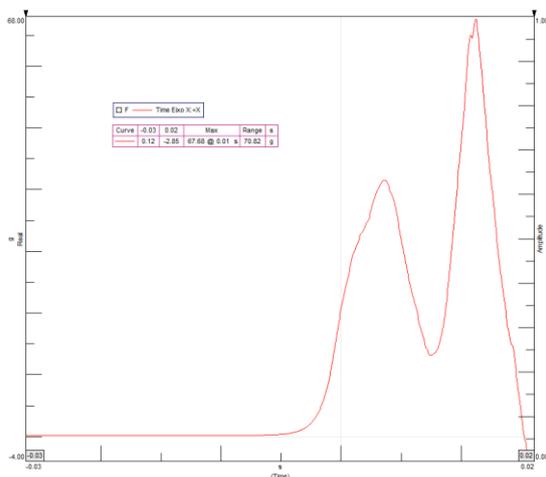


Figura 120: Gráfico de G's obtidos na queda da face 2 _ EPS

Queda Face 4 _ Bioespuma
Valor obtido: 112,17 G`s

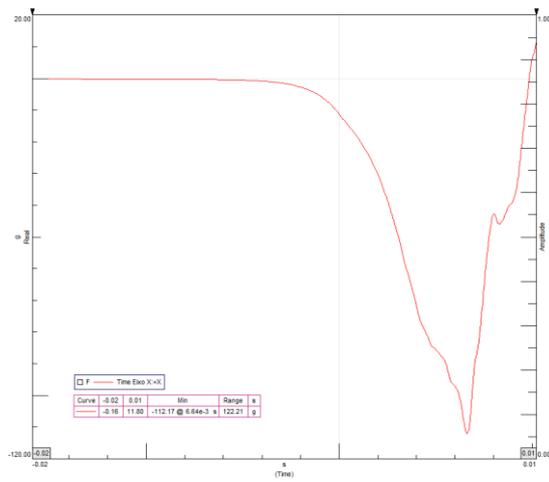


Figura 121: Gráfico de G's obtidos na queda da face 4 _ Bioespuma

Queda Face 4 _ EPS
Valor obtido: 78,83 G`s

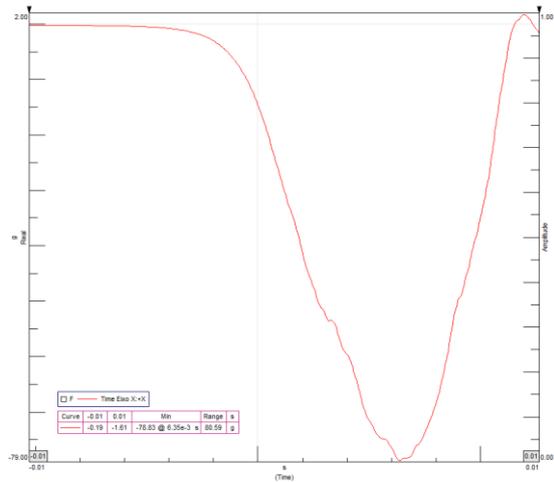


Figura 122: Gráfico de G's obtidos na queda da face 4 _ EPS

Queda Face 6 _ Bioespuma
Valor obtido: 50,60 G`s

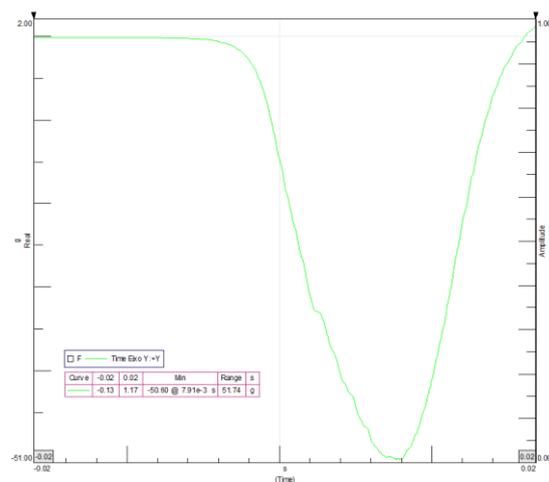


Figura 123: Gráfico de G's obtidos na queda da face 6 _ Bioespuma

Queda Face 6 _ EPS
Valor obtido: 110,50 G`s

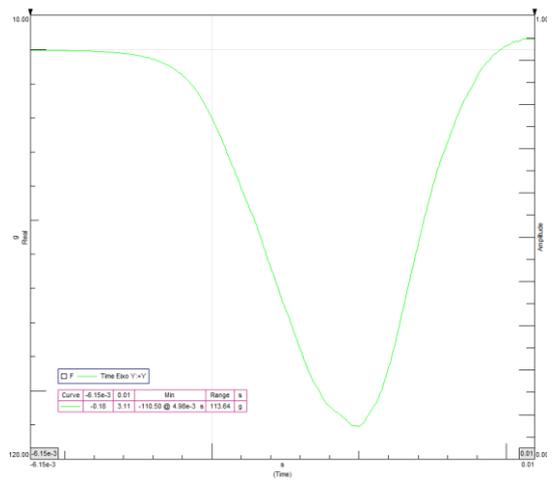


Figura 124: Gráfico de G's obtidos na queda da face 6 _ EPS

Queda Face 5 _ Bioespuma

Valor obtido: 61,38 G's

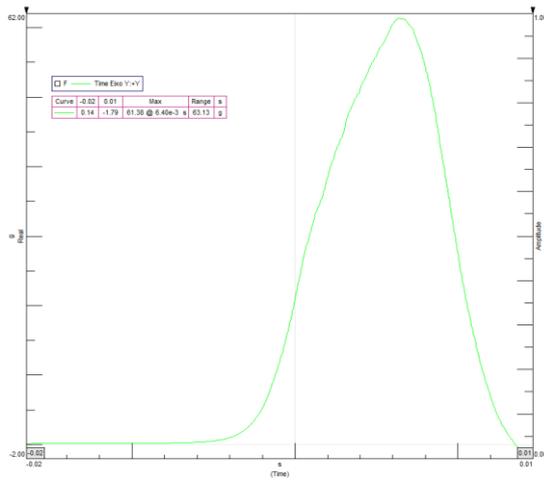


Figura 125: Gráfico de G's obtidos na queda da face 5 _ Bioespuma

Queda Face 5 _ EPS

Valor obtido: 122,61 G's

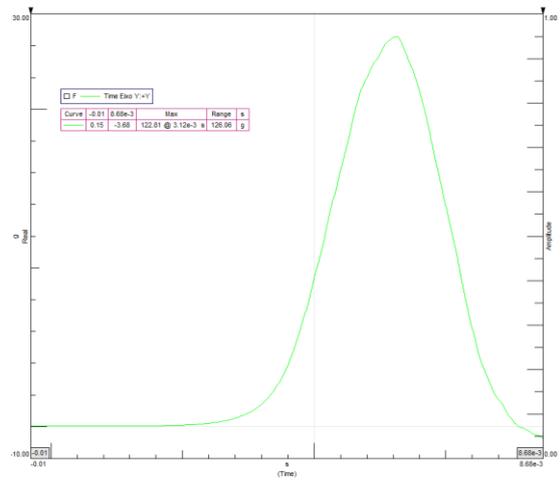


Figura 126: Gráfico de G's obtidos na queda da face 5 _ EPS

Queda Face 3 _ Bioespuma

Valor obtido: 48,49 G's

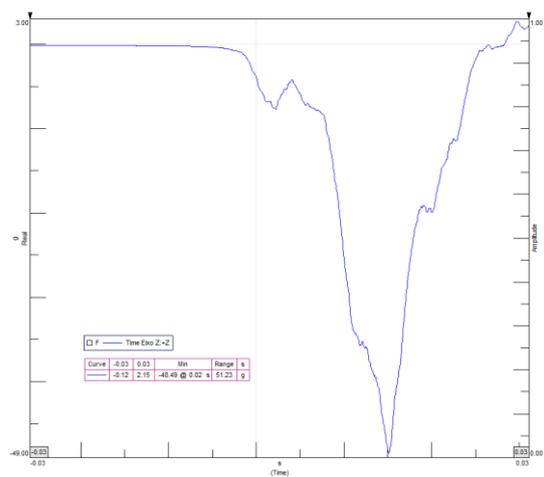


Figura 127: Gráfico de G's obtidos na queda da face 3 _ Bioespuma

Queda Face 3 _ EPS

Valor obtido: 49,15 G's

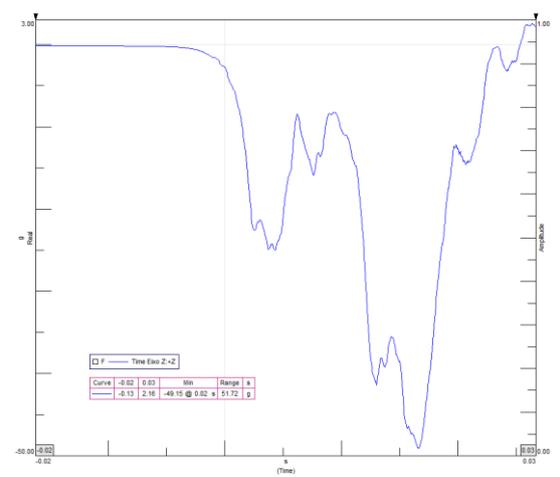


Figura 128: Gráfico de G's obtidos na queda da face 3 _ EPS

Queda Face 1 _ Bioespuma

Valor obtido: 61,02 G's

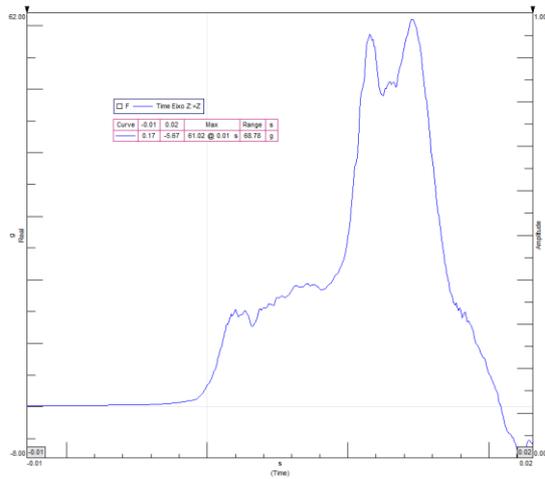


Figura 129: Gráfico de G's obtidos na queda da face 1 _ Bioespuma

Queda Face 1 _ EPS

Valor obtido: 126,96 G's

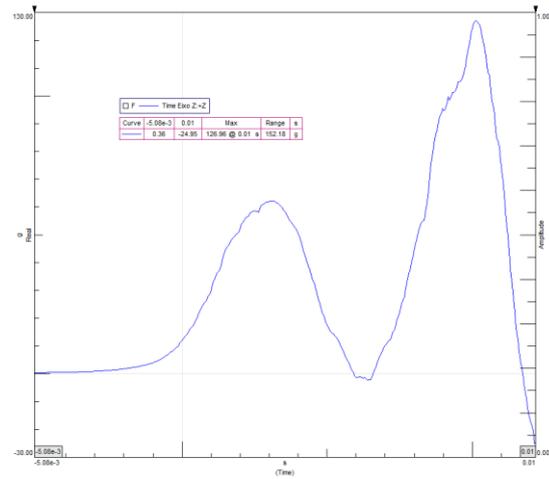


Figura 130: Gráfico de G's obtidos na queda da face 1 _ EPS

Queda Aresta 3-5 _ Bioespuma

Valor obtido: 25,35 G's

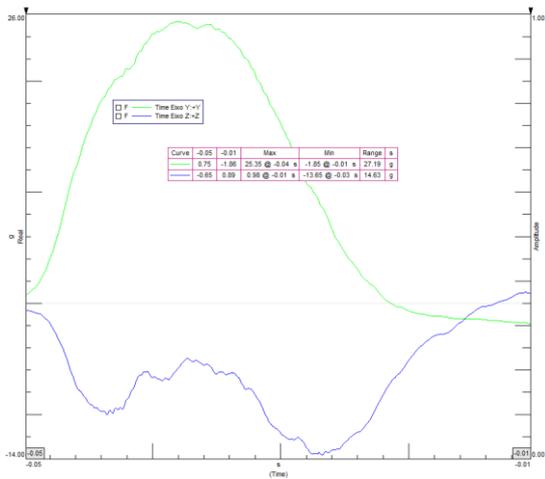


Figura 131: Gráfico de G's obtidos na queda da Aresta 3-5 _ Bioespuma

Queda Aresta 3-5 _ EPS

Valor obtido: 63,95 G's

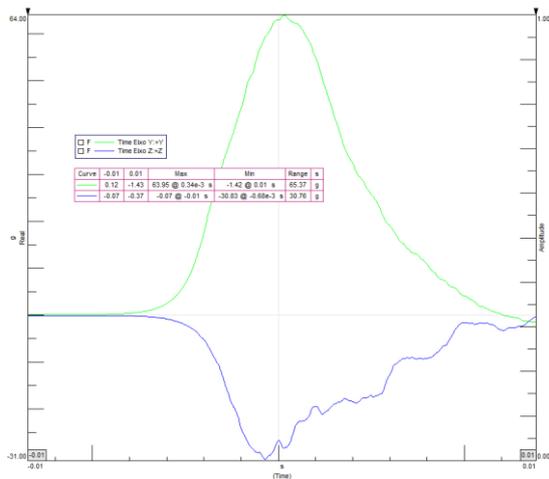


Figura 132: Gráfico de G's obtidos na queda da Aresta 3-5 _ EPS

Queda Aresta 2-3 _ Bioespuma

Valor obtido: 87,11 G's

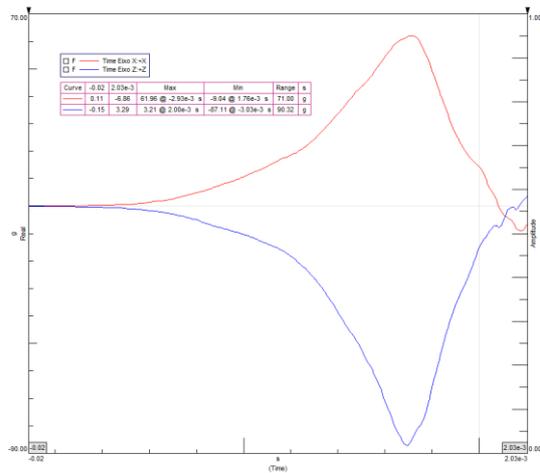


Figura 133: Gráfico de G's obtidos na queda da Aresta 2-3 _ Bioespuma

Queda Aresta 2-3 _ EPS

Valor obtido: 45,86 G's

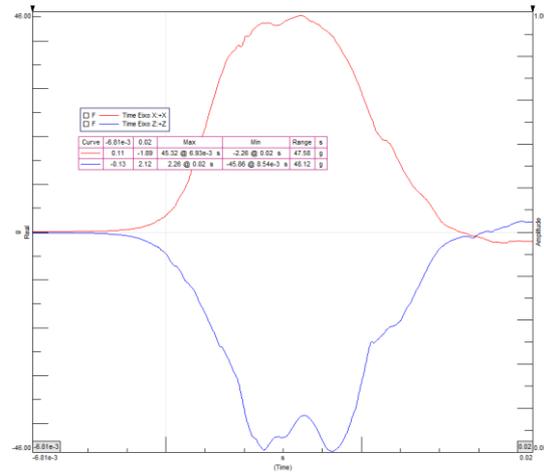


Figura 134: Gráfico de G's obtidos na queda da Aresta 2-3 _ EPS

Queda Junta 2-5 _ Bioespuma

Valor obtido: 125,66 G's

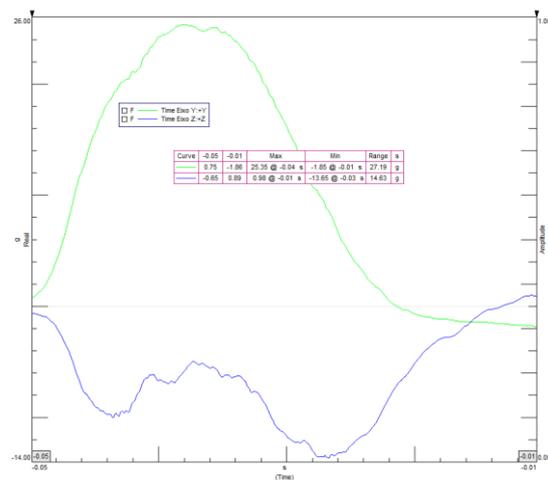


Figura 135: Gráfico de G's obtidos na queda da Junta do fabrico da caixa 2-5 _ Bioespuma

Queda Junta 2-5 _ EPS

Valor obtido: 68,03 G's

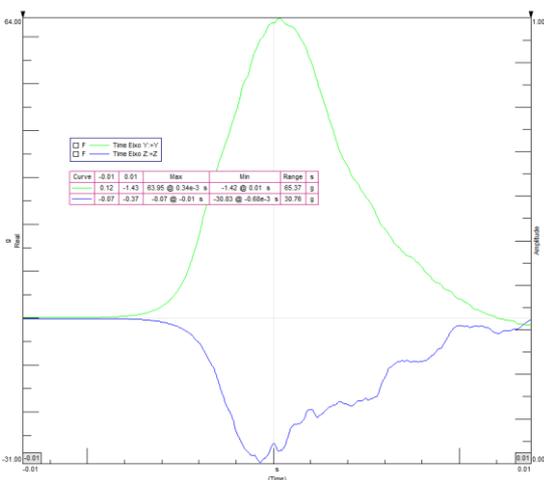


Figura 136: Gráfico de G's obtidos na queda da Junta do fabrico da caixa 2-5 _ EPS

Queda Canto 2-3-5 _ Bioespuma
 Valor obtido: 45,87 G's

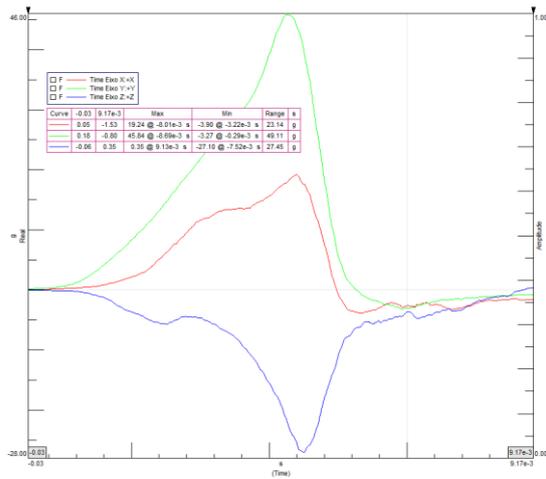


Figura 137: Gráfico de G's obtidos na queda do Canto 2-3-5 _ Bioespuma.

Queda Canto 2-3-5 _ EPS
 Valor obtido: 44,26 G's

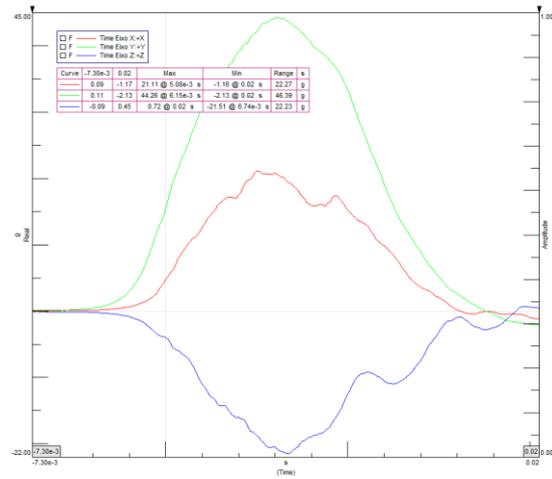


Figura 138: Gráfico de G's obtidos na queda do Canto 2-3-5 _ EPS.

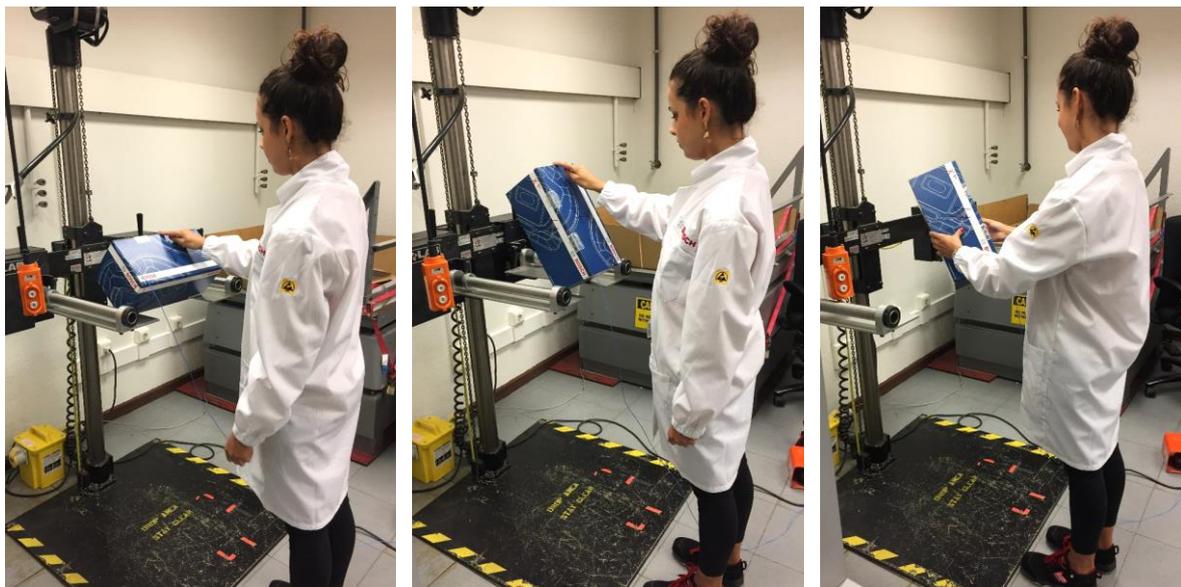


Figura 139: Quedas das arestas 2-3, 3-5 e do canto 2-3-5, respetivamente.

Resumo do Teste de Queda (livre)			
Ordem das Quedas	Embalagem em Bioespuma (G's)	Embalagem em EPS (G's)	Melhor prestação
Face 2	76,75	67,68	EPS
Face 4	112,17	78,83	EPS
Face 6	50,60	110,50	Bioespuma
Face 5	61,38	122,61	Bioespuma
Face 3	48,49	49,15	Bioespuma
Face 1	61,02	126,96	Bioespuma
Aresta 3-5	25,35	63,95	Bioespuma
Aresta 2-3	87,11	45,86	EPS
Junta do fabrico	125,66	68,03	EPS
Canto 2-3-5	45,87	44,26	EPS

Tabela 26: Resumo dos resultados obtidos no teste de queda livre Bioespuma vs. EPS.

Os produtos Bosch não têm todos um limite específico de G's, sendo que apenas os produtos mais sensíveis, como algumas câmaras de alta segurança, apresentam uma restrição de 60 G's. Desta forma, o produto testado, idesk, não apresentava qualquer restrição, apenas exigia que o produto deveria sair intacto no fim de todas as quedas (sem sequelas externas e internas), e que os estragos causados nos insertos e na embalagem não fossem significativos.

Sendo assim, objetivava-se que a embalagem em Bioespuma tivesse um comportamento igual, semelhante, ou melhor que a da embalagem em EPS. Para conferir e comparar o comportamento de ambas as embalagens no teste de queda, foi realizada uma tabela síntese com todos os resultados de G's obtidos. Como se pode observar na tabela acima representada, a prestação das duas embalagens foi bastante semelhante e positiva, uma vez que a Bioespuma teve uma melhor prestação em exatamente metade das quedas (5 quedas) e a embalagem em EPS teve uma melhor prestação na outra metade (5 quedas). E, como podemos conferir na tabela, nas quedas realizadas à face 2 e ao canto 2-3-5, a Bioespuma, apesar de não ter tido o melhor resultado, obteve um valor bastante próximo do EPS, o que nos indica que uma pequena retificação de forma ou mesmo de densidade de material no inserto irá ser suficiente para que esta obtenha uma prestação superior à do EPS. Além disso, se analisarmos ao contrário, sempre que a Bioespuma superou o EPS, não foi por diferenças mínimas de G's, foi, na maioria, por diferenças muito discrepantes – tendo o EPS o dobro ou mais do dobro do G's da Bioespuma.

Das faces, a face 2 e a face 4 foram as únicas que apresentaram valores piores que os do EPS. Este facto deve-se a serem as duas laterais de maior dimensão e onde existe menos quantidade de material a proteger o equipamento, tal como tínhamos verificado na análise de forma dos insertos atuais. O pior valor obtido no teste de queda pela embalagem em

Bioespuma foi o da junta do fabrico, onde se obteve 125,66 G's, e, apesar de ser previsível, devido a ser a aresta mais frágil da embalagem e de um material compostável domesticamente não apresentar propriedades de resistência tão elevadas como um material convencional, não deixa de ser um resultado positivo para um produto sem limite de G's. Além disso, se compararmos os piores resultados de cada material – Bioespuma: 125,66 G's ; EPS: 126,96 G's – a espuma compostável em estudo está em vantagem sobre o EPS, ou, pelo menos, bastante equiparável.

Além da análise e comparação de G's obtidos por cada embalagem, também se realizou uma análise à embalagem, aos insertos e ao produto, assim que finalizadas as dez quedas estipuladas. Ambas as embalagens ficaram com pequenas sequelas externas, essencialmente resultantes da queda de canto, contudo são falhas aceitáveis dada a agressividade do teste em questão. Os insertos em Bioespuma, tal como se pode aferir na sequência de imagens abaixo, não sofreram quase alteração nenhuma, salientando-se apenas duas fissuras no inserto do lado da junta de fabrico da caixa e na aresta inferior do inserto, onde já se calculava que aquela zona a vazio podia trazer alguma fragilidade para o produto e para os insertos. Os insertos em EPS sofreram diversas quebras, tendo um dos insertos se quebrado de vez, o que resultou em bastante sujidade no interior da embalagem, tal como se pode observar na sequência de imagens 140. Mais uma vez, a zona inferior dos insertos foi uma zona crítica, tal como o esperado. Relativamente ao produto, ambas as embalagens conseguiram o proteger na íntegra, não havendo arranhões ou qualquer tipo de sequelas internas ou externas.

Dadas todas as conclusões retiradas do teste de impacto realizado à nova embalagem em Bioespuma Kehl, pode-se afirmar que esta passou na última fase de validação de embalagens, uma vez que obteve resultados equiparáveis ao EPS e que, os pequenos danos na embalagem e num dos insertos não são considerados reprobatórios. Além disso, os insertos em Bioespuma não apresentam tantos estragos como os do EPS nem tanta sujidade no interior da embalagem, saindo assim em vantagem sobre este.



Figura 140: Embalagem, insertos e produto após teste de queda concluído – Bioespuma Kehl.



Figura 141: Embalagem, insertos e produto após teste de queda concluído – EPS.

Síntese do Teste de Queda (livre)		
Parâmetros	Bioespuma Kehl	EPS
Norma aplicada	ISTA 2A (modificada)	
Máquina utilizada	AccuDrop 125 - LAB	
Altura da queda (cm)	97	
Melhor prestação em G's	Superou o EPS em 5 quedas	Superou a Bioespuma em 5 quedas
Danos na embalagem	Aceitáveis	Aceitáveis
Danos nos insertos	Aceitáveis	Quebra de um dos insertos
Danos no produto	Não detetados	Não detetados
Sujidade	Não detetada	Alguma sujidade
Validação	Aprovada	Aprovada

Tabela 27: Síntese dos parâmetros e resultados obtidos no teste de queda livre – Bioespuma Vs. EPS.

Na síntese do teste de queda livre, representada acima, podemos verificar que ambas as embalagens saíram aprovadas desta última fase, porém, podemos afirmar que a embalagem em Bioespuma superou a de EPS mesmo assim, uma vez que nos resultados de G's foram equiparáveis mas em fatores como os danos permanentes nos insertos e a sujidade causada pelos mesmos na embalagem, esta teve uma resposta mais positiva que o EPS.

4.6

Discussão dos resultados

Validação do material e embalagem

Após a realização de todos os testes propostos pela empresa Bosch, para a validação do material e da embalagem, e de todos os resultados analisados, pode-se concluir que, a nova embalagem em Bioespuma Kehl, cumpre todos os requisitos e parâmetros para ser aceita pela empresa em questão.

O material selecionado – Bioespuma Kehl – apresentou um resultado bastante positivo nas fases de validação do material, onde, além de ter apresentado ótimas características de resistência a temperaturas e humidade variáveis, apresentou, também resultados razoáveis de amortecimento no teste de impacto. Além de sair aprovado destas duas fases de validação, é de salientar que este é um material amigo do ambiente e que seria uma mais valia na diminuição da pegada ecológica da empresa Bosch.

Este material respondeu assim ao briefing proposto pela empresa Bosch, uma vez que se trata de um material compostável em casa, que ainda pode ser decomposto em compostagem industrial, e caso vá parar a aterros, florestas ou oceanos, também apresenta um processo de degradação bastante satisfatório, não ficando a ocupar espaço no ecossistema e não sendo nocivo para meios biológicos e fisiológicos.

Este material é patenteado e o seu fornecedor tem sede no Brasil, contudo, o objetivo é vender a patente deste material e respetiva produção, o que seria uma mais valia para a empresa Bosch ou mesmo para fornecedores diretos da empresa que já trabalham com esta tecnologia de foam-in-place não biológica. A tecnologia utilizada na produção deste material (injetora de baixa pressão + moldes), além de ser de muito baixo custo, é de fácil implementação na empresa ou num dos seus fornecedores diretos. Além destas vantagens, a Bioespuma Kehl pode ser vendida já em sacos com os componentes no interior em cápsulas separadas, onde na hora da expansão, tanto se pode “rebentar” e misturar os componentes com o saco dentro do molde, ou simplesmente colocar o saco diretamente na embalagem para que a espuma adquira o formato do produto e preencha os espaços vazios entre este e a caixa.

A mistura que gera esta Bioespuma funciona, por norma, 70% de bio-poliol e 30% de isocianato, onde, se for bem misturada, e segundo os testes apresentados pelo fornecedor à empresa Bosch, o bio-poliol elimina as propriedades do isocianato, não existindo assim nenhuma característica nociva na peça/material depois de expandida. A densidade do material pode ser modificada consoante os requisitos de produção, e, para isso, é necessário alterar-se a percentagem de cada componente, ou aumentar a quantidade de material por peça – mais material por m³ – ou ainda, outra técnica, é a alteração da temperatura da mistura ao ser injetada, ou seja, se for aquecida o material sairá menos denso, se for arrefecido sairá mais denso.

Os insertos realizados com este material, no primeiro desenvolvimento, para termo de comparação com os atuais em EPS, tiveram resultados bastante positivos e equiparáveis a este nas três fases de validação da embalagem – teste de compressão, teste de vibração e teste de queda livre. No teste de compressão os resultados foram bastante semelhantes à embalagem em EPS e no de vibração conclui-se que a Bioespuma não solta tantas partículas como este. Relativamente ao teste de queda, mais uma vez a prestação de ambas as embalagens (Bioespuma Vs. EPS) foi bastante semelhante, tendo a Bioespuma obtido melhor resultado em metade das quedas (5 quedas) e o EPS melhores resultados na outra metade (5 quedas). Além disso, foi possível verificar que, na maioria, sempre que o EPS superava a Bioespuma era por uma diferença mínima, sendo que uma alteração de densidade do material ou até uma retificação de forma fariam com que este obtivesse um resultado superior ao do EPS. Porém sempre que a Bioespuma superava o EPS era quase sempre

com valores muito discrepantes. Ambas as embalagens saíram aprovadas do último teste de validação, com pequenas sequelas na embalagem e com o produto intacto e sem nenhuma anomalia no seu funcionamento. O inserto em Bioespuma suportou de forma bastante satisfatória as dez quedas, tendo ficado apenas com um dos insertos ligeiramente danificado, porém, o inserto em EPS, saiu bastante quebrado o que causou alguma sujidade no interior da caixa.

Desta forma, com base nos resultados dos testes de validação, pode-se afirmar que a embalagem em Bioespuma apresenta todas as capacidades para substituir o EPS, uma vez que, em todos eles teve resultados aproximados ou até superiores a este.

Relativamente a outros fatores, os componentes utilizados para o desenvolvimento deste material podem ser adquiridos pela empresa e serem utilizados para produção própria dos seus insertos. O bio-poliol, tal como referido anteriormente, é um componente 100% orgânico e patenteado, sendo que só pode ser adquirido através da empresa, porém, o isocianato é comercializado por várias entidades na Europa, sendo assim de fácil acesso. O custo dos componentes são bastante acessíveis, sendo que 1l (litro) de bio-poliol custa 5€ e 1l de isocianato fica por 2,50€. Tendo em conta que para a realização dos insertos em estudo – com um peso de 47,5g e uma densidade de cerca de 20Kg/m³ – foi utilizado 50% de isocianato, ou seja 24 ml, e 50% de bio-poliol, outros 24 ml, consegue-se calcular que por peça serão gastos 0,18€ (0,12€ bio-poliol + 0,06€ isocianato), isto dá um preço de 0,36€ por cada embalagem, uma vez que a embalagem do idesk leva dois insertos iguais. É de salientar que estes valores são os esperados após os gastos nas ferramentas necessárias, estando só representado aqui o preço do material.

Em suma, conclui-se que a Bioespuma da Kehl iguala o EPS no embalamento de produtos como o idesk e ainda apresenta a vantagem de ser compostável, não nociva, não libertar tantas partículas e, ainda, de apresentar um custo inferior a este, uma vez que as duas peças de EPS custam cerca de 1,5€.

Na tabela 28 encontra-se a síntese comparativa dos resultados obtidos pelos dois materiais/embalagens nos vários parâmetros que foram explorados ao longo desta investigação.

Bioespuma Kehl Vs. EPS		
Parâmetros	Embalagem em Bioespuma Kehl	Embalagem em EPS
Revestimento do produto (idesk)	PE (reciclável)	PE (reciclável)
Revestimento do material	PEAD (reciclável)	Sem revestimento
Composição	Isocianato + bio-poliol (óleo de mamona, óleo de soja e amido)	98% de ar + 2% poliestireno
Fim de vida	Compostável domesticamente	Reciclável e Reutilizável
Fornecedor	Kehl (Brasil)	Petibol (Portugal)
Processo produtivo	Injetora de baixa pressão + moldes	Injeção em moldes
Peso dos insertos (g)	47,5	36,5
Densidade (kg/m ³)	20	22
Peso produto embalado (kg)	1,7	1,6
Custo dos insertos (€)	0,36 (2)	1,5 (2)
Teste climático (material)	Aprovado	Aprovado
Teste de impacto (material)	Aprovado	Aprovado
Teste de compressão (embalagem)	Aprovado	Aprovado
Teste de vibração (embalagem)	Aprovado	Aprovado
Teste de queda (embalagem)	Aprovado	Aprovado

Tabela 28: Parâmetros comparativos da embalagem em Bioespuma Vs. embalagem em EPS.

4.7

Segundo Desenvolvimento

Alteração dos insertos

Concluídos todos os testes de validação da embalagem e realizada a comparação direta com a embalagem em EPS, deu-se o segundo desenvolvimento. Este visa retificar as falhas encontradas no desenho dos insertos anteriores, e que foram sendo mencionadas, de forma a que consiga atingir o melhor desempenho possível na proteção dos equipamentos Bosch. Para este desenvolvimento, considerou-se todas as anotações realizadas, sobretudo, na fase de análise dos insertos atuais, uma vez que, essas zonas de fragilidade vieram a ser confirmadas na fase do teste de queda livre.



Figura 142: Pontos positivos e negativos dos insertos atuais - EPS.

As partes do inserto assinaladas como possíveis zonas de rotura levaram à quebra do inserto de EPS e à causa de algumas sequelas no inserto em Bioespuma. Além disso, o facto do inserto abranger uma zona tão curta do equipamento idesk, e de ter tão pouco material nas suas laterais de maior dimensão (do produto), originou num pior resultado de G's nessas faces (face 2 e 4) por parte do inserto em Bioespuma, colocando em fragilidade essas zonas do equipamento idesk.

Com o objetivo de conceber um melhor desempenho aos insertos de Bioespuma, foram realizadas algumas alterações de design (figura 143) de acordo com as falhas assinaladas anteriormente. Desta forma, no redesenho dos novos insertos, foi retirada a zona a vazio na face inferior (que suporta todo o peso do equipamento) para passar a existir uma maior quantidade de material a amortecer o produto numa queda; foi, também aumentada (37,5 mm) a profundidade do inserto, com o objetivo deste abranger uma área maior do equipamento e conseguir uma melhor proteção, não só das laterais que entram dentro do inserto, mas, também, das faces de maior dimensão. As laterais e faces de maior dimensão do produto necessitavam de uma maior espessura de material na sua proteção, porém, uma vez que não há possibilidade de mexer na sua espessura lateral devido ao tamanho standard da embalagem, pensa-se que a única solução possível seria a de aumentar a profundidade dos insertos, atribuindo assim, uma maior área de proteção ao equipamento idesk.

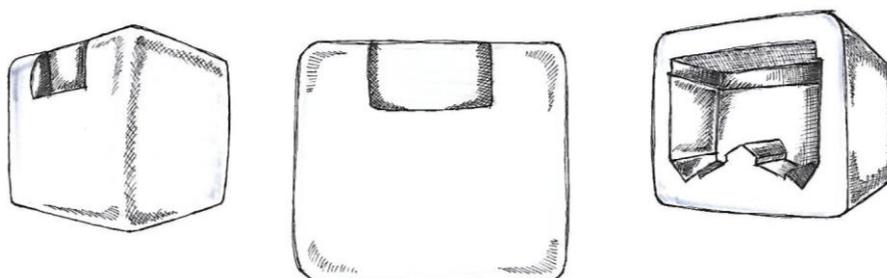


Figura 143: Esboço das alterações estudadas para os insertos do equipamento idesk.

Depois de esboçadas as alterações necessárias e possíveis de realizar aos atuais insertos do equipamento idesk, iniciou-se o desenvolvimento do protótipo experimental. Este desenvolvimento teve início com a modelação 3D em Solidworks do molde (Figura 144) que iria permitir a expansão da Bioespuma. Para isso, foi necessário realizar as alterações necessárias de dimensão e de forma aos insertos atuais e de seguida através desta modelação realizar o molde e contramolde. O molde foi desenvolvido em quatro partes visando facilitar a sua impressão 3D, em PLA, na empresa Bosch. Todas as partes do molde apresentam encaixes entre si, para facilitar a colagem e de forma a obterem uma maior resistência (para suportarem a expansão da Bioespuma no seu interior). O molde e contramolde também apresentam um encaixe entre si, objetivando uma maior segurança no desenvolvimento dos protótipos, e impedir a saída da Bioespuma do interior do molde.

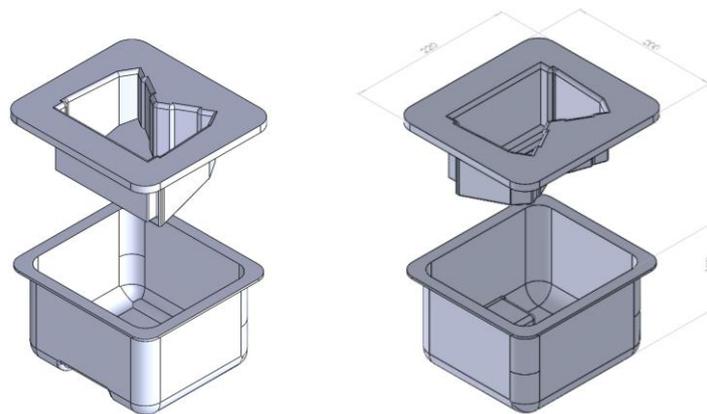


Figura 144: Modelação do molde em solidworks.



Figura 145: Imagens virtuais em Keyshot – molde para impressão 3D.

Após o molde impresso, avançou-se para a fase seguinte, a preparação do mesmo para dar início à expansão da Bioespuma no seu interior. Nesta etapa foram lixadas e posteriormente coladas todas as peças impressas (as duas partes que constituem a primeira peça do molde, e as duas peças que constituíam a segunda peça do molde) obtendo assim as duas peças principais que podemos observar na imagem acima representada. Na sequência de imagens seguinte, podemos observar de forma ilustrada todas as etapas de preparação do molde.



Figura 146: Processo de preparação do molde obtido por impressão 3D.

Após a preparação do molde, iniciou-se a fase de expansão dos protótipos. Nesta fase foi necessário pedir, previamente, ao fornecedor Kehl uma amostra dos dois componentes – isocianato e bio-poliol. Após a chegada dos componentes foram realizadas pequenas experiências para verificar como se comportava a mistura e o processo expansivo, uma vez que toda esta fase iria ser 100% manual, sem o auxílio da injetora de baixa pressão e sem o aquecimento ou arrefecimento da mistura. Desta forma, e após alguns testes realizados no molde, concluiu-se que para a mistura expandir por todo o molde e adquirir a forma pretendida, era necessário aumentar significativamente a quantidade dos componentes, tendo sido utilizados 150 ml de bio-poliol e 100 ml de isocianato. Os primeiros protótipos realizados na fase anterior continham 48 ml de mistura (24 ml de isocianato e 24 ml de bio-poliol) e, este protótipo final, se realizado pelo mesmo método produtivo, necessitaria apenas de cerca de 68 ml. Porém o processo manual da mistura dos componentes exigiu a um aumento excessivo das quantidades. A expansão manual do protótipo não permitiu que houvesse controlo da densidade, desta forma houve a possibilidade de se alterar as percentagens de cada componente para o que obteve a melhor expansão na fase de testes – 60% de bio-poliol + 40% de isocianato.

Em suma, os protótipos deste segundo desenvolvimento, teriam na realidade 68 ml de mistura, e esta funcionaria a 50%/50% – 34 ml de bio-poliol + 34 ml de isocianato – para se conseguir atingir a densidade dos insertos anteriores de 20 kg/m³.

Na sequência de imagens que se segue é possível acompanhar todo o processo de desenvolvimento dos novos insertos.

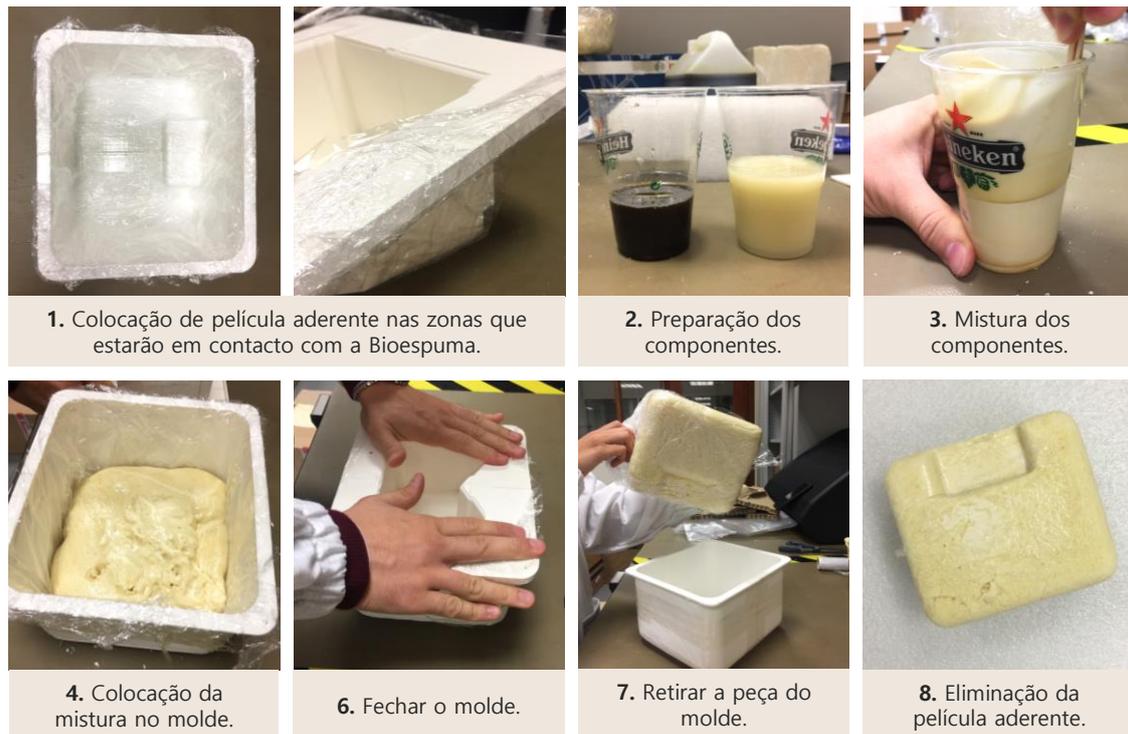


Figura 147: Processo de desenvolvimento do protótipo em Bioespuma.

O protótipo realizado neste segundo desenvolvimento funcionou como um estudo de forma, sendo possível assim, comparar diretamente os dois protótipos realizados em Bioespuma nas diferentes fases desta investigação.

Espera-se que se os insertos seguirem este formato, que o seu desempenho seja superior, que o produto tenha uma maior área protegida e que não ocorram danos nos insertos caso haja quedas ao longo do transporte.

Na tabela seguinte encontra-se o resumo deste segundo desenvolvimento com os valores estimados para a sua produção real.

Resumo do Segundo Desenvolvimento	
Dimensão (mm)	186 x 165 x 120
Peso (g)	68
Densidade (kg/m ³)	20
Mistura de componentes (ml)	34 ml bio-poliol + 34 ml isocianato
Processo produtivo	Injetora de baixa pressão + moldes
Revestimento do material	Filme compostável (em estudo)
Custo (€)	0,52 (apenas a espuma)

Tabela 29: Resumo do segundo desenvolvimento – Bioespuma.



Figura 148: Inserto do primeiro desenvolvimento Vs. Inserto do segundo desenvolvimento.



Figura 149: Plantas

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O quinto capítulo desta investigação visa realizar uma análise geral de toda a investigação, desde a proposta até à solução encontrada para esta.

O tema “Desenvolvimento de embalagem compostável para produtos eletrônicos Bosch” que foi a base desta investigação, resultou em algumas apresentações em eventos e uma publicação, que serão mencionadas neste capítulo.

O estágio realizado na empresa Bosch trouxe uma aquisição e partilha de conhecimentos, tendo existido a participação no desenvolvimento de outros projetos bem como a preparação de formações sobre programas de renderização, como o Keyshot, que serão uma mais valia para o departamento,

Deste capítulo, também fazem parte as perspetivas futuras sobre o projeto descrito, bem como a descrição dos próximos passos necessários para que esta investigação se torne num projeto completo.

5

Considerações Finais

O tema que sustentou esta tese de mestrado “Desenvolvimento de embalagem compostável para produtos eletrônicos Bosch”, teve início na proposta lançada pela Bosch, Ovar, e pela FEUP. Este é um tema bastante pertinente e cada vez mais explorado, uma vez que a sustentabilidade e a saúde do planeta são fatores que dizem respeito a todos os cidadãos e empresas. O facto do setor de embalagens ser um dos que mais resíduos gera, e um dos principais responsáveis pela quantidade de lixo que se encontra, erradamente, em aterros e no meio ambiente, levou a que empresas como a Bosch tomassem medidas.

Esta problemática levou a que entidades como a Comissão Europeia, a Sustainable Packaging Coalition, entre outras, criassem estratégias para a redução dos plásticos bem como diretrizes para o desenvolvimento de embalagens sustentáveis, tornando, assim, este um desafio e uma motivação para todas as empresas.

A proposta levantada pela empresa levou, numa primeira fase, a uma investigação de vários materiais biodegradáveis, e respetivos fornecedores, que apresentassem boas capacidades de acondicionamento de produtos bem como um fim de vida compostável – industrialmente ou domesticamente. Numa fase seguinte foi necessário investigar e testar as suas capacidades mecânicas, de forma a aferir a sua viabilidade para dar resposta a esta problemática.

Posteriormente, com o desenvolvimento de insertos com o material selecionado, e com a realização de testes de validação de embalagens, conseguiu-se concluir que, de facto, existe a possibilidade de substituir materiais poluentes, como o EPS, no embalamento de produtos eletrónicos.

No desenvolvimento desta investigação foi possível encontrar diversos materiais sustentáveis e com grandes capacidades para o embalamento de produtos, contudo, tal como se observou anteriormente, são necessárias várias fases de análise e de testes específicos para comprovar a viabilidade de cada material e da embalagem final. Conclui-se que, apesar dos materiais compostáveis domesticamente não apresentarem as mesmas propriedades de resistência mecânica que os compostáveis industrialmente, ou mesmo como os convencionais, podem ser suficientes e adequados para o embalamento de um grupo de produtos.

Com esta investigação, conseguiu-se dar resposta à problemática levantada pela empresa, apresentando um conjunto de materiais compostáveis, que ainda que necessitem de ser testados em embalagens, aparentam ter grandes capacidades para embalar pelo menos equipamentos de peso baixo ou intermédio. A Bioespuma utilizada como resposta para o embalamento do produto idesk, provou ser válida para equipamentos de peso similar a este – 1,5 kg – porém, para equipamentos de peso elevado era necessário a repetição de testes em embalagens de equipamentos superiores.

Conclui-se também, que, para materiais desta tipologia, a conjugação do design é um fator imprescindível para se atingir melhorias no seu desempenho, estimando-se assim, que consigam substituir materiais como o EPS e o EPE em muitos dos equipamentos de dimensões e peso baixo ou médio.

Outras questões levantadas no início desta investigação foi o custo destas embalagens e o nível de facilidade do seu descarte. Relativamente ao custo destes materiais comparativamente com o dos materiais de base fóssil, este é um parâmetro relativo e que varia muito, uma vez que há materiais em que a matéria prima é mais barata mas o processo produtivo é mais dispendioso ou vice versa, outras em que o conjunto fica mais barato como o caso da Bioespuma e outros em que o conjunto fica mais dispendioso.

No que diz respeito à facilidade de descarte, é de salientar que esta investigação se focou em dois grupos – materiais de compostagem industrial e materiais de compostagem doméstica – que, apesar de apresentarem um fim de vida mais limpo e amigo do ambiente que os

materiais convencionais, a facilidade de descarte é discutível. Os materiais de compostagem doméstica podem ser decompostos em casa pelo consumidor, tanto num compostor doméstico, como diretamente na terra nos seus jardins, além de que, também, podem ser colocados no lixo residual e seguir para aterros pois a sua decomposição ocorre normalmente. Estes materiais apresentam o benefício de não serem nocivos para o meio ambiente nem para meios fisiológicos, ou seja, mesmo que vão parar de forma incorreta à natureza ou oceanos, acabam por se decompor sem trazerem nenhum malefício para estes e não ficando a ocupar espaço no ecossistema. Os materiais de compostagem industrial, por mais sustentáveis que sejam, não apresentam um descarte tão simples, uma vez que, para se decomparem, necessitam de humidade e temperatura bastante controladas. Estes materiais, para apresentarem um fim de vida sustentável, necessitam de ser depositados em ecopontos apropriados que se encarregam de os encaminhar para instalações de compostagem industrial, de outra forma, não se irão decompor nem em aterros nem no meio ambiente. Desta forma, pode-se concluir que os materiais compostáveis domesticamente são uma melhor aposta para os dias de hoje, e os de compostagem industrial serão uma mais valia para as empresas quando for implementado um sistema de ecopontos de recolha deste tipo de materiais.

A resposta dada à problemática em questão passou assim, pela seleção e análise de um material de compostagem doméstica, uma vez que estes são uma melhor aposta para a empresa, para o meio ambiente e para o consumidor final dos seus produtos.

Esta investigação resultou em algumas apresentações alusivas bem como na publicação de um artigo. A primeira apresentação foi realizada na Bosch Ovar, em 2019, no evento “Packaging Summit Bosch”, onde foi apresentada toda a investigação de materiais compostáveis (espumas e filmes) e seus fornecedores. Este evento teve a duração de três dias e reuniu profissionais da Bosch de vários países – Alemanha, Espanha, Suíça, China, Portugal, entre outros – com o objetivo de trocar conhecimentos sobre as recentes inovações nos diferentes departamentos de desenvolvimento de embalagem e produtos. Outra apresentação realizada, com base na mesma investigação, teve sede na “Empack Porto 2019”, um evento sobre embalagem e logística.

Durante esta investigação, foi escrito, também, um artigo sobre materiais compostáveis para a conferência “Wastes 2019”, que ocorreu em Lisboa, Costa da Caparica, durante os dias 4, 5 e 6 de setembro de 2019. O artigo com o título “A brief review on sustainable packaging materials”, foi redigido juntamente com a professora Bárbara Rangel, o professor Jorge Lino, e o meu colega de curso e de estágio (Bosch) Gonçalo Silva. O artigo redigido e apresentado na conferência, encontra-se publicado no livro “Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities III”, juntamente com todos os artigos selecionados para a 5ª conferência internacional de “Wastes 2019”.

Ao longo do estágio realizado na empresa Bosch, Ovar, também se desenvolveu outros projetos dentro do departamento de embalagens. Estes projetos passaram pelo desenvolvimento de embalagens para outros produtos da divisão de Power tools da Bosch – discos de corte, serras, brocas, entre outros.

Por fim, também foi preparada e dada uma formação de Keyshot à equipa MKM1, do departamento de embalagens, de forma a partilhar conhecimento e a instigar o desenvolvimento de imagens virtuais dos produtos e embalagens antes da sua produção, podendo assim, se prever a aparência final tanto dos produtos como da sua embalagem final.



Figura 150: Evento "Packaging Summit Bosch" 2019.



Figura 151: Apresentação e publicação do artigo na conferência "Wastes III 2019".

Figura 152: Apresentação no evento "Empack 2019".

5.1

Perspetivas Futuras

Próximos passos

A investigação que teve base na presente tese de mestrado, apesar de concluída e validada segundo os parâmetros impostos pela empresa Bosch, deixou caminhos pouco explorados ou por investigar.

Tanto o material selecionado – Bioespuma – como a embalagem final foram analisados e testados, porém, não houve tempo suficiente para realizar as fases de validação da embalagem – teste de compressão, teste de vibração e teste de queda – com a solução estudada no segundo desenvolvimento. A realização dos testes a este inserto seria um passo fundamental para se perceber se de facto, as alterações realizadas, aumentam o desempenho do material no acondicionamento do equipamento Idesk.

Um caminho pouco explorado nesta investigação e que é um passo imprescindível para dar este projeto como concluído, é a alteração da película reciclável (PEAD), que envolve a Bioespuma, para uma película compostável domesticamente, para que todo o inserto tenha o mesmo fim de vida e facilite, assim, o descarte por parte do consumidor. Na fase de pesquisa de mercado iniciou-se esta investigação, tendo-se encontrado um conjunto de filmes compostáveis em casa com grande potencial para fazerem parte destas embalagens. Porém, sendo o foco a substituição de materiais como o EPS e o EPE, este estudo acabou por não seguir para a fase de testes.

Outro ponto importante, de investigar e testar, seria as labels, as fitas isolantes e os sacos para acessórios compostáveis. Empresas como a Repaq apresentam várias soluções, dentro destas categorias, compostáveis domesticamente. Apesar do equipamento Idesk não conter saco de acessórios, seria uma solução apropriada para outros equipamentos Bosch. A alteração de todos os elementos da embalagem (excepto o cartão) para componentes compostáveis domesticamente levaria a empresa a diminuir, ainda mais, a sua pegada ecológica, e seria um exemplo e uma motivação para outras empresas iniciarem a utilização de embalagens 100% amigas do ambiente.



Figura 153: Plantas

REFERÊNCIAS

—

- Abhijith, R., Anagha Ashok e C. R. Rejeesh. 2018. "Sustainable packaging applications from mycelium to substitute polystyrene: a review". *Materials Today: Proceedings* no. 5 (1, Part 2):2139-2145.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785317319508>.
- Acepe. 2019. "Tabela de Propriedades do EPS". <https://acepe.pt/tabela-de-propriedades-do-eps/>.
- Alves, Joel Fernando Malheiro. 2015. "Valorização de Resíduos Por Co-Digestão Anaeróbica". Dissertação, Instituto Politécnico de Viana do Castelo.
http://repositorio.ipv.pt/bitstream/20.500.11960/1517/1/Joel_Alves.pdf.
- Ambisousa. 2020. "Compostagem doméstica".
<http://www.ambisousa.pt/pt/projetos/compostagem-domestica/>.
- AVANI. 2017. "BIO-CASSAVA BAG". <https://www.avanieco.com/portfolio-item/bio-cassava-bag/>.
- Barbaro-Forleo, Guido, Michel Laroche e Jasmin Bergeron. 2001. "Targeting consumers who are willing to pay more for environmentally friendly products". *Journal of Consumer Marketing* no. 18 (6):503-520. Acedido a 2018/12/18.
<https://doi.org/10.1108/EUM000000006155>.
- BARBOSA, Luiz Antonio ; DREGER, Ademir Anildo ; et. al. 2017. "Polietileno de baixa densidade - PEBD: mercado, produção, principais propriedades e aplicações". *Revista Espacios*, 13.
<https://www.revistaespacios.com/a17v38n17/a17v38n17p10.pdf>.
- BASF. 2018. "ecovio® - certified compostable polymer with biobased content".
<https://products.basf.com/en/ecovio.html>.
- BASF. 2019. "ecovio® EA - certified compostable expandable particle foam". Acedido a 8.02.2019. https://www.basf.com/global/en/products/plastics-rubber/fairs/BASFatK2016/must_sees/ecovio-EA.html.
- Becker, Liza, Thomas J. L. van Rompay, Hendrik N. J. Schifferstein e Mirjam Galetzka. 2011. "Tough package, strong taste: The influence of packaging design on taste impressions and product evaluations". *Food Quality and Preference* no. 22 (1):17-23.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329310001175>.
- Beigbeder, Joana, Lata Soccalingame, Didier Perrin, Jean-Charles Bénézet e Anne Bergeret. 2019. "How to manage biocomposites wastes end of life? A life cycle assessment approach (LCA) focused on polypropylene (PP)/wood flour and polylactic acid (PLA)/flax fibres biocomposites". *Waste Management* no. 83:184-193.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18306755>.
- BEWI-Plastimar. 2011. "EPS". <http://www.plastimar.pt/index.php?id=26>.
- Bioethic. 2018. "Produtos 100% biodegradáveis e compostáveis - biodegradável vs compostável". <https://bioethic.pt/pt/content/10-100-compostavel>.
- Bioplastics, European. 2016. Position of European Bioplastics: Home composting of compostable bioplastics. https://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/pp/EUBP_PP_Home_Composting.pdf.
- BOSCH. 2018. "Testes Mecânicos - Normas e Restrições".
- Circular, Living. 2016. "Myco Foam: a new 100% biodegradable material to replace plastic". <https://www.livingcircular.veolia.com/en/industry/myco-foam-new-100-biodegradable-material-replace-plastic>.

- Coalition, Sustainable Packaging. 2016. Acedido a 21-11-2018.
<https://sustainablepackaging.org/spc-101-transport-packaging/>.
- Cohn, Malcolm. 2003. NatureFlex NatureFlex™ Flexible Packaging Flexible Packaging - Biodegradable Biodegradable & Compostable Packaging Films Compostable Packaging Films From a Sustainable Resource. INNOVIA Films.
https://sustainablebizness.com/archives/public/RespPkg/events/PkgForum_07_Ana/InnoviaAnaPkgForum.pdf.
- Conshohocken, West. 2012. "ASTM international, ASTM D6400-04, Especificação Padrão para Plásticos Compostáveis".
<https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D6400-04.htm>.
- Correa, Juan P., Juan M. Montalvo-Navarrete e Miguel A. Hidalgo-Salazar. 2019. "Carbon footprint considerations for biocomposite materials for sustainable products: A review". Journal of Cleaner Production no. 208:785-794.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618331135>.
- Design, Amenidades Do. 2013. "Botiá: Criando embalagens com fibra de coco".
<http://www.amenidadesdodesign.com.br/2013/04/botia-criando-com-fibra-de-coco.html>.
- Dumas, Etienne Gomes e Bianca. 2015. "Naturally Clicquot – Embalagem inédita feita com resíduos das uvas Veuve Clicquot".
<https://www.blogvinhotinto.com.br/destaquesdoblog/naturally-clicquot-embalagem-inedita-feita-com-residuos-das-uvas-veuve-clicquot/>.
- Ecovative. 2018. "MycroFlex™ - 100% PURE MYCELIUM".
<https://ecovativdesign.com/mycoflex>.
- eCycle. 2013. "O que é a biodegradação". <https://www.ecycle.com.br/6557-biodegradacao.html>.
- Elizabete Y. Kawachi, Celso A. Bertran*, Ralpo R. dos Reis e Oswaldo L. Alves. 2000. BIOCERÂMICAS: Tendências e perspectivas de uma área interdisciplinar. 518-522,
<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2652>.
- energia.pt. 2001. "O que é a BIOMASSA?". <http://www.energia.pt/biomassa>.
- EPOLI. 2018. "Quais as principais aplicações da Espuma de Polietileno?".
<https://www.epoli.pt/para-que-serve-a-espuma-de-polietileno/>.
- Fechine, Guilhermino J. M. 2013. Polímeros Biodegradáveis - Tipos, mecanismos, normas e mercado manual. Editado por Mackenzie.
- Fernanda. 2019. "O uso de metais biodegradáveis na engenharia de tecidos ósseos".
<http://tudosobreclulastronco.com.br/metais-biodegradaveis-na-engenharia-de-tecidos-osseos/>.
- Fernandes, António Augusto. 2017. Desenvolvimento de Novos Produtos e Serviços - Modelos e Estratégias para Inovar.
- FKUR. 2003. "Bio-Flex Home Compost". <https://fkur.com/en/brands/bio-flex-3/bio-flex-home-compost/>.
- Friedrich, Thorsten Blecker and Nizar Abdelkafi and Bernd Kaluza and Gerhard. 2003. "Variety steering concept for mass customization". <http://mpa.uni-muenchen.de/5251/>.
- Garvey, Jude. 2009. "360 Paper water bottle offers renewable alternative to plastic".
<https://newatlas.com/360-paper-water-bottle/11927/>.

- Gentile, Peter D. 2013. "Theory of Modularity, a Hypothesis". *Procedia Computer Science* no. 20:203–209.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913010624>.
- George, Archana, Priyanka A. Shah e Pranav S. Shrivastav. 2019. "Natural biodegradable polymers based nano-formulations for drug delivery: A review". *International Journal of Pharmaceutics* no. 561:244–264.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378517319301887>.
- Godavitarne, Charles, Alastair Robertson, Jonathan Peters e Benedict Rogers. 2017. "Biodegradable materials". *Orthopaedics and Trauma* no. 31 (5):316–320.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877132717300866>.
- GreenCellFoam. 2018. "Green Cell Foam – how the future does packaging".
<https://www.greencellfoam.com/>.
- Gu, P. e S. Sosale. 1999. "Product modularization for life cycle engineering". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* no. 15 (5):387–401.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584599000496>.
- Hao, Yu, Hao Liu, Hongjie Chen, Yanhua Sha, Hanfeng Ji e Jiajia Fan. 2019. "What affect consumers' willingness to pay for green packaging? Evidence from China". *Resources, Conservation and Recycling* no. 141:21–29.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918303665>.
- Hauschild, M. Z., J. Jeswiet e L. Alting. 2004. "Design for Environment — Do We Get the Focus Right?". *CIRP Annals* no. 53 (1):1–4.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850607606313>.
- Herbes, Carsten, Christoph Beuthner e Iris Ramme. 2018. "Consumer attitudes towards biobased packaging – A cross-cultural comparative study". *Journal of Cleaner Production* no. 194:203–218.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618314422>.
- Hermann, B. G., L. Debeer, B. De Wilde, K. Blok e M. K. Patel. 2011. "To compost or not to compost: Carbon and energy footprints of biodegradable materials' waste treatment". *Polymer Degradation and Stability* no. 96 (6):1159–1171.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391011000206>.
- Incoflex. 2019. "Polietileno Expandido".
http://www.incoflex.com.br/produtos/polietileno_expandido.htm.
- (ISO), Organisation Internationale de Normalisation. 2013. "ISO 18601:2013(en) Packaging and the environment — General requirements for the use of ISO standards in the field of packaging and the environment". Acedido a 19-11-2018.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:55869:en>.
- Jeswiet, J. e M. Hauschild. 2005. "EcoDesign and future environmental impacts". *Materials & Design* no. 26 (7):629–634.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306904002201>.
- KEHL. 2006. "Kehl Bioespuma". <http://www.kehl.ind.br/poliuretanos.php?opcao=bio>.
- Li, Huafang, Yufeng Zheng e Ling Qin. 2014. "Progress of biodegradable metals". *Progress in Natural Science: Materials International* no. 24 (5):414–422.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007114001178>.
- Liu, M. e D. Bin. 2010. "Reliability of a Like-Queue Production System with Poisson Arrival under Control Policy with Single Vacation". *Comunicação apresentada em 2010 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*. 26–28 Nov. 2010.

- Lunardo, Renaud e Camille Saintives. 2013. "The effect of naturalness claims on perceptions of food product naturalness in the point of purchase". *Journal of Retailing and Consumer Services* no. 20 (6):529-537.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969698913000635>.
- Lusa. 2018. "Parlamento Europeu quer proibir venda de produtos de plástico de utilização única a partir de 2021".
<https://www.publico.pt/2018/10/24/mundo/noticia/parlamento-europeu-quer-proibir-venda-produtos-plastico-utilizacao-unica-partir-2021-1848702>.
- Magnier, Lise e Dominique Crié. 2015. "Communicating packaging eco-friendliness: An exploration of consumers' perceptions of eco-designed packaging". *International Journal of Retail & Distribution Management* no. 43 (4/5):350-366. Acedido a 2018/12/19. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-04-2014-0048>.
- Magnier, Lise, Jan Schoormans e Ruth Mugge. 2016. "Judging a product by its cover: Packaging sustainability and perceptions of quality in food products". *Food Quality and Preference* no. 53:132-142.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950329316301203>.
- Mansor, M. R., M. T. Mastura, S. M. Sapuan e A. Z. Zainudin. 2019. "11 - The environmental impact of natural fiber composites through life cycle assessment analysis". Em *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, editado por Mohammad Jawaid, Mohamed Thariq e Naheed Saba, 257-285. Woodhead Publishing.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008102290000118>.
- Marconato, Sandra Mara Martins Franchetti e José Carlos. 2006. *Polímeros Biodegradáveis - Uma solução parcial para diminuir a quantidade de resíduos plásticos*.
<http://www.scielo.br/pdf/%0D/qn/v29n4/30263.pdf>.
- Martinho, Graça, Ana Pires, Gonçalo Portela e Miguel Fonseca. 2015. "Factors affecting consumers' choices concerning sustainable packaging during product purchase and recycling". *Resources, Conservation and Recycling* no. 103:58-68.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915300446>.
- Meneses, Gonzalo Díaz e Asunción Beerli Palacio. 2005. "Recycling Behavior: A Multidimensional Approach". *Environment and Behavior* no. 37 (6):837-860. Acedido a 2018/12/19. <https://doi.org/10.1177/0013916505276742>.
- Miagusuku, Marcelo Diego. 2016. "O que são Biocompósitos? Entenda o conceito de Biocompósitos, alguns exemplos e a sua importância".
<https://afinkopolimeros.com.br/category/compositos-e-biocompositos/>.
- . 2018. "Plásticos verdes, biopolímeros, bioplásticos, polímeros biodegradáveis e biobasedos... Entenda de uma vez por todas!".
<https://afinkopolimeros.com.br/bioplasticos-entenda-de-uma-vez-por-todas/>.
- Ministério do Meio Ambiente. 2018. "O impacto das embalagens no meio ambiente".
<https://www.mma.gov.br/comunicacao/campanhas/item/7586-impacto-das-embalagens-no-meio-ambiente>.
- Misch, Carl E. 2015. *Prótese sobre implantes dentais*. Editado por Mosby. 2ª Edição ed.
- Modrak, Vladimir e Zuzana Soltysova. 2018. "Process modularity of mass customized manufacturing systems: principles, measures and assessment". *Procedia CIRP* no. 67:36-40. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827117311149>.

- Moisander, Johanna. 2007. "Motivational complexity of green consumerism". *International Journal of Consumer Studies* no. 31 (4):404-409. Acedido a 2018/12/18. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2007.00586.x>.
- MONTEIRO, LILIANA LOPES. 2018. "Material extraído da carapaça do caranguejo pode substituir plástico". <https://www.noticiasominuto.com/lifestyle/1054580/material-extraido-da-carapaca-do-caranguejo-pode-substituir-plastico>.
- Niero, Monia, Michael Z. Hauschild, Simon B. Hoffmeyer e Stig I. Olsen. 2017. "Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems: Lessons from the Carlsberg Circular Community". *Journal of Industrial Ecology* no. 21 (3):742-753. Acedido a 2018/12/17. <https://doi.org/10.1111/jiec.12554>.
- Nordin, Norbisimi e Susan Selke. 2010. "Social aspect of sustainable packaging". *Packaging Technology and Science* no. 23 (6):317-326. Acedido a 2018/12/17. <https://doi.org/10.1002/pts.899>.
- OKA, biotecnologia. 2010. "Embalagens lixo zero!". <https://www.okabioembalagens.com.br/>.
- Oliveira, Luiza S. B. L., Deborah S. B. L. Oliveira, Barbara Stolte Bezerra, Bárbara Silva Pereira e Rosane Aparecida Gomes Battistelle. 2017. "Environmental analysis of organic waste treatment focusing on composting scenarios". *Journal of Cleaner Production* no. 155:229-237. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616312410>.
- Packaging, Canadian. 2018. "FIBI-BUFFER: Eco-friendly and multi-applicable buffering material". Acedido a 2019. <https://www.canadianpackaging.com/sustainability/fibi-buffer-eco-friendly-and-multi-applicable-buffering-material-161206/>.
- Packaging, Greenlight. 2017. "Opus Bio". <http://www.greenlightpackaging.com/film/>.
- PaperFoam®. 2018. "Eco friendly packaging - Biobased packing solutions". <https://www.paperfoam.com/>.
- Parlamento, Europeu. 2019. "Parlamento Europeu aprova restrições aos produtos de plástico descartáveis". <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/press-room/20190321PR32111/parlamento-europeu-aprova-restricoes-aos-produtos-de-plastico-descartaveis>.
- Peattie, Ken. 1999. "Trappings versus substance in the greening of marketing planning". *Journal of Strategic Marketing* no. 7 (2):131-148. <https://doi.org/10.1080/096525499346486>.
- Pelegri, Alexandre Vieira. 2005. "O processo de modularização em embalagens orientado para a customização em massa: Uma contribuição para a gestão do design".
- Plas, MSc Peter Westgeest and MSc Arjan van der. 2018. "FIBI-buffer - ECO-VRIENDELIJKE BUFFERVERPAKKINGEN". <http://fibi-buffer.com/#>.
- Polibalbino, Termoplásticos. 1998. "Empresas de reciclagem de polietileno". <http://www.polibalbino.com.br/empresas-reciclagem-polietileno>.
- Polímeros, Mais. 2019. "Polietileno (PE): conheça os tipos, as aplicações e as propriedades desta matéria-prima". <http://www.maispolimeros.com.br/2019/02/20/polietileno-pe/>.
- PRS. 2013. "Compostagem". Acedido a 6-03-2019. <https://portalresiduossolidos.com/compostagem/>.
- Recycling, Association for Organics. 2011. Concise guide to Compostable Products and Packaging. UK Local Authority Guidance <http://www.organics-recycling.org.uk/uploads/article1983/EN%2013432%20Compostable%20Products%20and%20Packaging.pdf>.

- Repaq. 2018. "A embalagem de filme natural feito de celulose sem plástico e compostado em 42 dias". <https://www.repaq.de/>.
- Sciences-World. 2018. "Material formado a partir de cascas de caranguejo e árvores poderia substituir embalagens plásticas flexíveis". <https://por.sciences-world.com/material-formed-from-crab-shells-14305>.
- Smith, Stephen R. e Sharon Jasim. 2009. "Small-scale home composting of biodegradable household waste: overview of key results from a 3-year research programme in West London". *Waste Management & Research* no. 27 (10):941-950. Acedido a 2019/03/12. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103828>.
- Sonego, Monique, Márcia Elisa Soares Echeveste e Henrique Galvan Debarba. 2018. "The role of modularity in sustainable design: A systematic review". *Journal of Cleaner Production* no. 176:196-209. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330561>.
- Sousa, Marcia. 2019. "Embalagem de ovos que pode ser plantada após uso". <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/design/embalagem-de-ovos-plantada-uso/>.
- Srebrenkoska, Vineta, Gordana Bogoeva-Gaceva, Dimko Dimeski, V. Srebrenkoska e D. Dimeski. 2014. *Biocomposites based on polylactic acid and their thermal behavior after recycling*. Vol. 33.
- Suprimento, Manutenção e. 2018. *Aplicações dos materiais compósitos*. <https://www.manutencaoesuprimentos.com.br/aplicacoes-dos-materiais-compositos/>.
- Synbra. 2019. "Synbra Technology bv - Biofoam". <https://www.synbratechnology.com/biofoam/>.
- Tahara, Sayuri. 2009. "Produto Modular". Instituto de gestão de desenvolvimento de produtos. Acedido a 11. 01. 2019. <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/content/view/full/9676>.
- Tera, Ambiental. 2019. "Compostagem Industrial: Entenda o processo que colabora para a economia circular". <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/compostagem-industrial-entenda-o-processo-que-colabora-para-a-economia-circular>.
- Tumwesigye, K. S., J. C. Oliveira e M. J. Sousa Gallagher. 2016. "Integrated sustainable process design framework for cassava biobased packaging materials: Critical review of current challenges, emerging trends and prospects". *Trends in Food Science & Technology* no. 56:103-114. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224416300577>.
- TÜV. 2019. "TÜV - World leader in certification of bioplastics". <http://www.tuv-at.be/home/>.
- Umeda, Yasushi, Shinichi Fukushige, Keita Tonoike e Shinsuke Kondoh. 2008. "Product modularity for life cycle design". *CIRP Annals* no. 57 (1):13-16. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850608000863>.
- V. V. C. Azevedo, S. A. Chaves, D. C. Bezerra, A. C. F. M. Costa. 2008. "Materiais cerâmicos utilizados para implantes". *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.3.1, 31-39. <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/58/87>.
- Verde, Pensamento. 2014. "Saiba quais são os benefícios da compostagem industrial". <https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/saiba-quais-sao-os-beneficios-da-compostagem-industrial/>.
- Viero, Carlos e Fabiano Nunes. 2016. Módulo, modularidade, modularização e produto modular: uma análise bibliográfica a partir da evolução histórica conceitual. Vol. 37.

- Wall-Markowski, Charlene A., Andreas Kicherer e Peter Saling. 2004. "Using eco-efficiency analysis to assess renewable-resource-based technologies". *Environmental Progress* no. 23 (4):329-333. Acedido a 2019/04/10. <https://doi.org/10.1002/ep.10051>.
- Wang, Qi, Dunbing Tang, Leilei Yin e Jun Yang. 2016. "A Method for Green Modular Design Considering Product Platform Planning Strategy". *Procedia CIRP* no. 56:40-45. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116310058>.
- Weiser, Ann-Katrin, Bernd Baasner, Manfred Hosch, Meike Schlueter e Jivka Ovtcharova. 2016. "Complexity Assessment of Modular Product Families". *Procedia CIRP* no. 50:595-600. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116305765>.
- ZERO. 2017. "PORTUGAL DESPERDIÇA CERCA DE 100 MILHÕES DE EUROS POR ANO EM NUTRIENTES E MATÉRIA ORGÂNICA QUE PODERIAM SER UTILIZADOS NA AGRICULTURA". <https://zero.org/portugal-desperdica-cerca-de-100-milhoes-de-euros-por-ano-em-nutrientes-e-materia-organica-que-poderiam-ser-utilizados-na-agricultura/>.
- Zheng, Y. F., X. N. Gu e F. Witte. 2014. "Biodegradable metals". *Materials Science and Engineering: R: Reports* no. 77:1-34. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927796X14000023>.

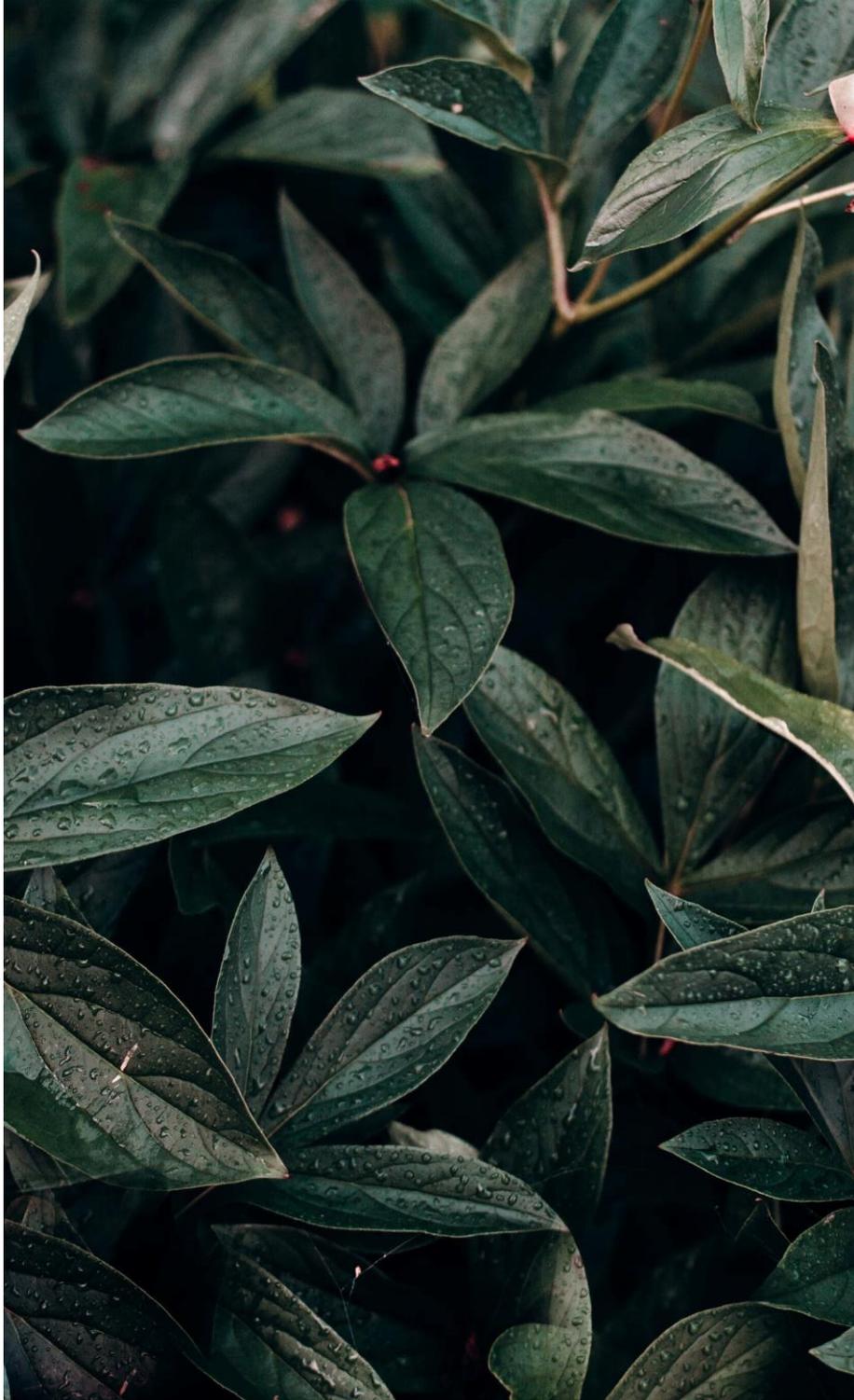


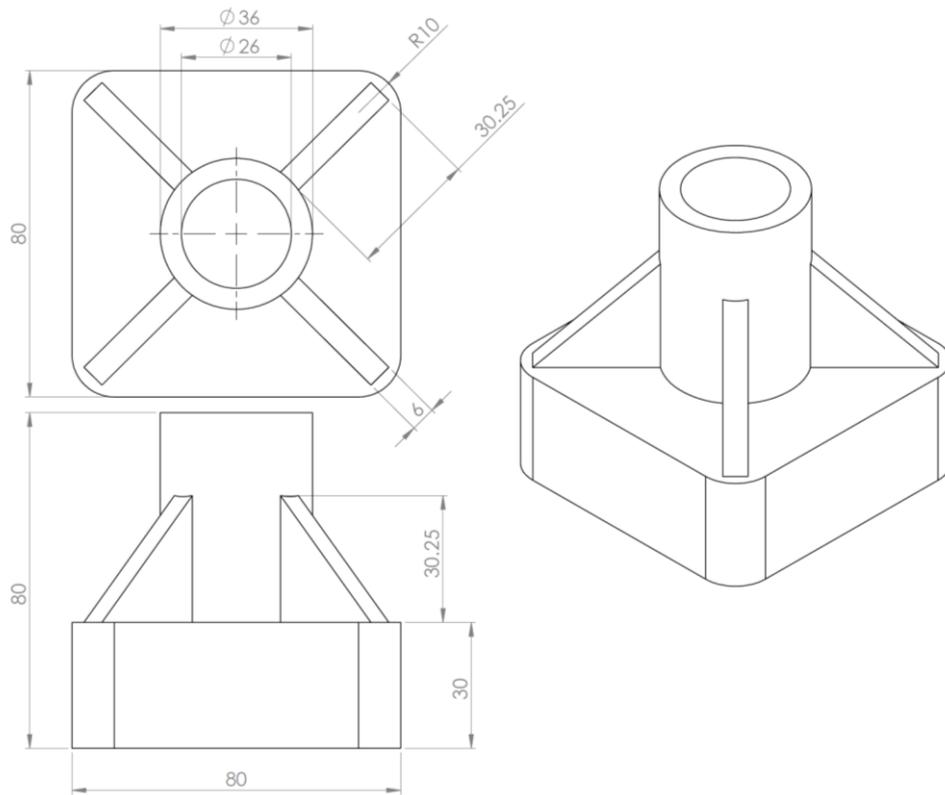
Figura 154: Plantas

ANEXOS

—

Desenho Técnico Batente

Anexo 1



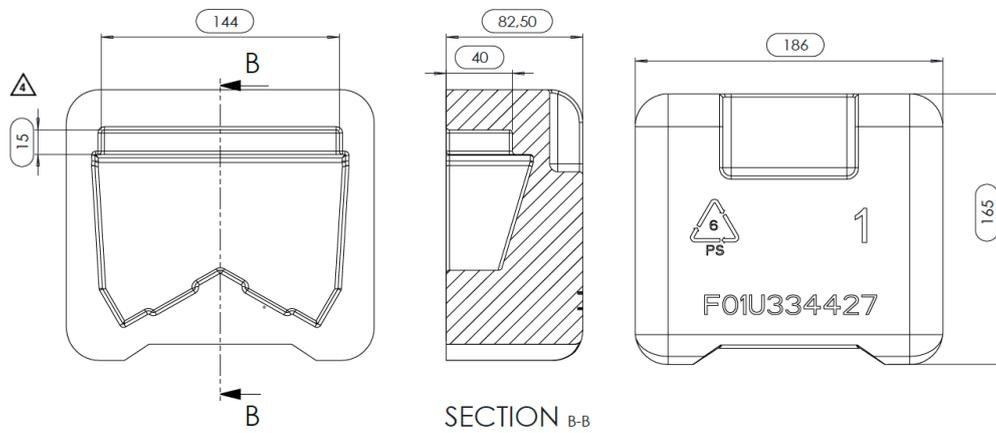
Desenho técnico Batente para impressão 3D

Medidas: milímetros (mm)

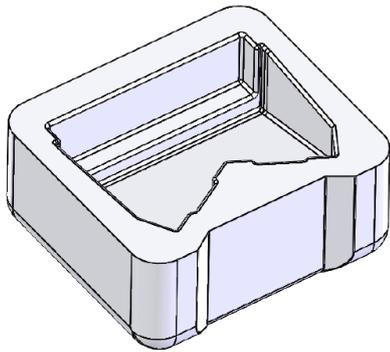
Escala: 1:2

Desenho Técnico Inserto em EPS

Anexo 2



SECTION B-B
SCALE 1 : 2



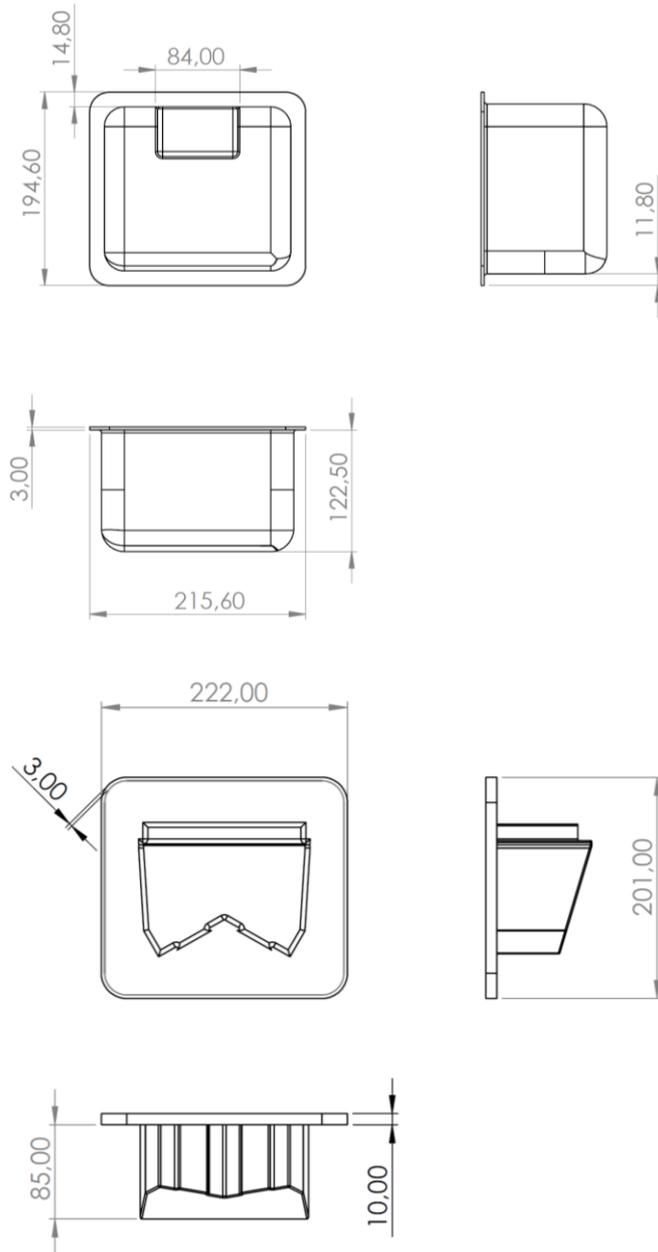
Desenho técnico Inserto em EPS

Medidas: milímetros (mm)

Escala: 1:2

Desenho Técnico Molde Final

Anexo 3



Desenho Molde Final
Medidas: milímetros (mm)
Escala: 1:5

Soluções para outros Produtos Bosch

Anexo 4

No primeiro ano de mestrado, a empresa Bosch, Ovar, já tinha proposto um desafio semelhante ao que serviu de base para esta investigação de mestrado. Neste projeto o objetivo era desenvolver uma embalagem sustentável para acondicionar um equipamento Bosch de maiores dimensões e com cerca de 12 kg.

Este projeto teve curta duração – 2 meses – e resultou numa embalagem em TNT (tecidos não tecidos), uma matéria prima reciclável e reutilizável.

A partir deste material, resultante dos desperdícios da indústria da colchoaria e dos têxteis, desenvolveu-se uma solução bastante simples e eficaz que se adaptava à geometria do produto em questão. Esta solução era composta na íntegra por linhas retas, de forma a diminuir os desperdícios de material e a facilitar o processo produtivo.

Esta primeira solução desenvolvida, além de ser de muito fácil embalagem e de se adequar ao produto, também reduz o espaço em linha e em armazém, uma vez que todas as suas peças se encaixam e estão otimizadas à palete.

Os pontos negativos encontrados nesta solução, após a realização do protótipo, são a quantidade de partículas soltas do material ao longo do transporte e manuseamento da embalagem, e o facto deste material, no seu fim de vida, não ter nenhum contentor apropriado para o conduzir de novo às empresas produtoras onde se dá a sua reutilização.

Numa segunda fase deste projeto foi lançado o desafio de desenvolver uma outra solução para o mesmo produto, mas, obrigatoriamente, em cartão canalado. Para dar resposta a este desafio foram desenvolvidas duas soluções, uma a pares e outra em grupo (8 elementos).

A primeira solução era composta por quatro cantos e duas diagonais que fixavam o produto no interior da embalagem e protegiam as zonas mais críticas do equipamento. Na segunda solução, em grupo, desenvolveu-se dois foles em cartão que envolviam todo o produto, mantendo assim protegidas todas as faces e cantos do equipamento.

Destas soluções em cartão, a que atingiu um melhor desempenho no teste de queda livre, realizado, de forma manual e isenta de maquinaria, foi a primeira, composta por cantos e diagonais.

Estas soluções apresentam diversas vantagens, uma vez que, além de recicláveis junto com a embalagem, apresentavam uma redução do espaço em linha, e uma maior otimização da palete, uma vez que viriam sob o formato de folhas de cartão espalmadas.

TECIDO NÃO TECIDO

Atualmente são gerados cerca de 80 000 toneladas anuais de resíduos têxteis e apenas 30% são reaproveitados, neste sentido, surge o termofixo, material que propomos para substituir o EPS. Este é produzido pela Pastofo – Enchimentos têxteis e feltros industriais - sediada na Trofa, Portugal. Este material, pertencente aos tecidos não tecidos, apresenta uma estrutura têxtil flexível e porosa fabricada com desperdícios da indústria têxtil e da colchoaria, tais como algodão, lã, linho, poliéster e espuma. É um produto reciclado, que não necessita de aglutinantes. A nível formal, a solução apresentada é bastante simples e retilínea, permitindo que se compacte e armazene num espaço mais pequeno que a solução atual, otimizando o espaço em 72%.



Vista Explodida - Peças

PROCESSO FABRICO

- 1 | Desagregação da matéria prima - fibras têxteis
- 2 | Obtenção de um manto consistente de um não tecido
- 3 | O manto segue para câmara aquecida.
- 4 | Ocorre a termoligação das fibras (15 min a 180°)
- 5 | O material é cortado e colado em camadas para se obter a forma pretendida

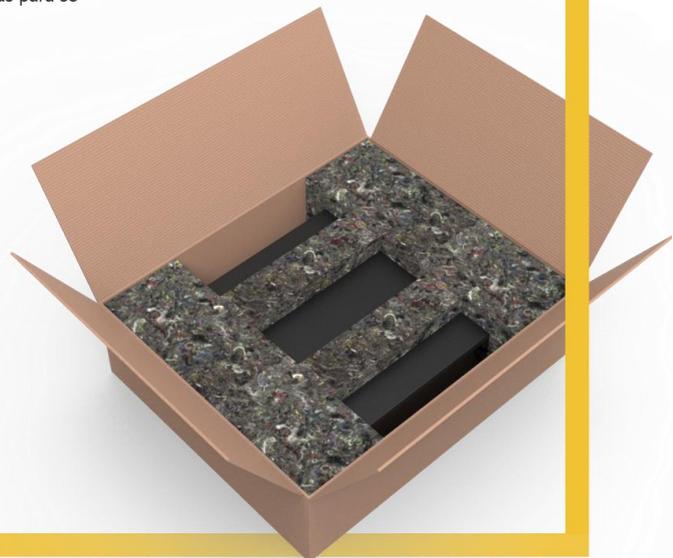


Produto Montado vs. Compactado



Docente
Promotores do Projeto

Bárbara Rangel
Adriana Fernandes
Ana Rodrigues
Gonçalo Silva
Mónica Oliveira
Rita Leite
Sofia Pinho



Cartaz síntese da embalagem em TNT

Projeto: Embalagem sustentável para produtos de 19" Bosch

CARTÃO CANELADO

SOLUÇÃO

Número de Peças: **6 Peças**

MATERIAL

Material: **Cartão canelado 4mm**
 Tamanho da Placa: **160 x 110 x 0,4 cm**
 Área da Placa: **17 600 cm²**
 Desperdício (%): **8%**

TEMPOS

Tempo Montagem Peças: **00:53 seg**
 Tempo Embalamento: **00:20 seg**
 Tempo Total: **01:13 min**

ARMAZENAMENTO

Capacidade 2 Paletes: **630 Proteções**

TESTE DE IMPACTO

Produto intacto e fixo
 Exterior dos cantos intacto
 Interior com aspecto apresentável
 Diagonais com ótima flexão
 Proteção em geral com bom aspecto
 Fragilidade na zona inferior dos cantos

MELHORIAS

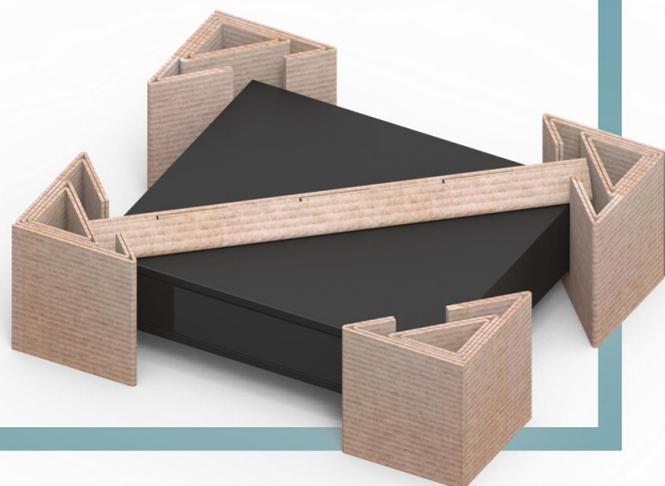
Aplicar duas diagonais na base do produto formando um "X"



Vista Explodida – Peças



Produto Embalado



Docente
 Promotores do Projeto

Bárbara Rangel
Gonçalo Silva
Mónica Oliveira



Cartaz síntese da solução em pares – Cantos e Diagonais
 Projeto: Embalagem em cartão para produtos de 19" Bosch

CARTÃO CANELADO

SOLUÇÃO

Número de Peças: **2 Peças**

MATERIAL

Material: **Cartão canelado 1mm**
 Tamanho da Placa: **165 x 162 x 0,1 cm**
 Área da Placa: **27 730 cm²**
 Desperdício (%): **1 %**

TEMPOS

Tempo Montagem Peças: **06:46 min**
 Tempo Embalamento: **00:18 seg**
 Tempo Total: **07:04 min**

ARMAZENAMENTO

Capacidade 2 Paletes: **216 Proteções**

TESTE DE IMPACTO

Produto com ligeiros arranhões quase imperceptíveis
 Produto fixo (não sofreu movimento no interior da caixa)
 Proteção de um canto fletiu, o que gerou amolgadelas
 Dobras/marcas em alguns foles aceitáveis
 Proteção no geral com bom aspecto e sem danos maiores

MELHORIAS

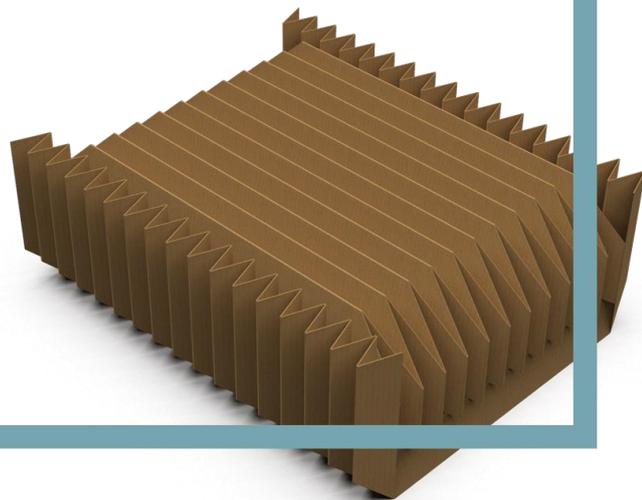
Pequenos ajustes dimensionais
 Diminuir o gasto de material



Vista Explodida - Peças



Produto Embalado



Docente
 Promotores do Projeto

Bárbara Rangel
 Gonçalo Silva
 Mónica Oliveira
 Carlos Matos
 Mariana Alves
 Beatriz Santos
 Bernardo Ghelli
 Bryan Pereira
 Ricardo Brás



Cartaz síntese da solução de grupo - Fole

Projeto: Embalagem em cartão para produtos de 19" Bosch

DESENVOLVIMENTO DE EMBALAGEM COMPOSTÁVEL para produtos eletrónicos Bosch



Mónica Sofia Rodrigues Oliveira

Setembro de 2020

-

Mestrado em Design Industrial e de Produto