



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Bárbara Matias Almeida

**Valorização de desperdícios
agroalimentares da vinicultura no
desenvolvimento de compósitos para
aplicação em embalagens**



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Bárbara Matias Almeida

**Valorização de desperdícios
agroalimentares da vinicultura no
desenvolvimento de compósitos para
aplicação em embalagens**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia de Produto

Trabalho efetuado sob a orientação do:

Professor Doutor Fernando Moura Duarte

Professor Doutor António José Vilela Pontes

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-SemDerivações
CC BY-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

[Esta licença permite que outras pessoas usem o seu trabalho para qualquer fim, incluindo para fins comerciais. Contudo, o trabalho, na forma adaptada, não poderá ser partilhado com outras pessoas e têm que lhe ser atribuídos os devidos créditos.]

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

AGRADECIMENTOS

Ao longo de todo o meu percurso académico, Licenciatura e Mestrado, foram muitos aqueles que marcaram o caminho e me apoiaram: os de sempre, os que se foram juntando, assim como todos que tive o prazer de conhecer ao longo desta jornada e que contribuíram, de alguma forma, para que hoje seja possível finalizá-lo.

Primeiramente, agradecer à equipa de orientação. Um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Moura Duarte, por toda a dedicação, disponibilidade e orientação em todos os momentos. Agradeço também ao Professor Doutor António Pontes, por toda a disponibilidade e orientação.

Agradecer à Movecho e Quinta da Alameda, em especial, à Sofia Ribeiro, pelo apoio na orientação, toda a disponibilidade demonstrada e dedicação.

Aos de sempre, a minha família, o maior agradecimento de todos. Aos meus pais, estou eternamente grata pela oportunidade que me proporcionaram, não de um, mas dois ciclos de estudo, por todo o apoio, carinho e motivação que sinto diariamente. Ao meu irmão, um agradecimento muito especial, por ser confidente, amigo e, acima de tudo, o meu pilar. À minha avó, obrigada por ser colo, carinho e conforto. Aos 4, obrigada por tudo, todos os dias. Aos meus padrinhos, tios e primas, por todo o apoio, motivação e momentos de descontração, obrigada. Em especial, agradeço à minha Ana, companheira e confidente de uma vida.

Por fim, aos meus amigos, a todos sem exceção, sou eternamente grata por vos ter em todos os momentos. Mas agradeço especialmente aos que percorreram comigo esta longa caminhada de 5 anos e a tornaram inesquecível. Ao Bruno, à Catarina, à Chica, à Filipa, à Ana e à Maria, obrigada por 5 anos das maiores aventuras e memórias, por todo o apoio, por nunca me deixarem desistir, por me terem ensinado tanto e por me terem feito rir e chorar ainda mais. Muito do que sou hoje, devo-o a vocês.

A todos, obrigada.

RESUMO

A economia circular surge como paradigma promissor para mitigar os impactos negativos da produção e promove a preservação do meio ambiente, através do reaproveitamento dos materiais. Os resíduos agroalimentares, que compreendem uma ampla variedade de subprodutos gerados ao longo das cadeias de produção e processamento de alimentos, têm um impacto ambiental e económico considerável. Desta forma, o presente estudo pretende valorizar e reaproveitar os resíduos agroalimentares da produção vinícola, no caso o engaço, promovendo a economia circular, a redução da pegada ambiental, a sustentabilidade e a prática sustentável no desenvolvimento de um produto.

O objetivo principal deste estudo é a criação de um biocompósito que, posteriormente, possa ser aplicado a uma embalagem para o transporte e acomodação de garrafas de vinho. Para o desenvolvimento e produção deste compósito optou-se pelo método de moldação por compressão, método mais utilizado na produção de compósitos. Para além da carga à base de fibras de engaço previamente selecionada, foram utilizados dois biopolímeros, de designação F10 e F38, à base de PLA e amido (PLA+PSAC) como matriz do compósito. Produziram-se placas para ensaios mecânicos com 25% de carga e 50% de carga, com as duas matrizes poliméricas. Os compósitos resultantes destas conjugações foram caracterizados mecanicamente através de técnicas de caracterização mecânica, como ensaios de impacto e flexão. Realizados os ensaios, conclui-se que o compósito com a conjugação de 25% de carga e 75% de matriz de biopolímero F10 apresenta desempenho mecânico superior. Após os resultados obtidos, desenvolveu-se uma embalagem e protótipo da mesma, tendo em conta as limitações do método de produção utilizado, constituído pelas placas de compósito. Com o estudo comprovou-se a viabilidade do desenvolvimento de produtos que promovam a valorização de resíduos agroalimentares, como o engaço, e que beneficiem disso mesmo, quer estética, quer mecanicamente.

Palavras-Chave

Resíduos agroalimentares, Sustentabilidade, Biodegradável, Compósitos, Embalagem

ABSTRACT

The circular economy unfolds as a promising paradigm to mitigate the negative impacts of production and promote the preservation of the environment, through the reuse of materials. Agri-food waste, which comprises a wide variety of by-products generated throughout food production and processing chains, has a considerable environmental and economic impact. Thus, the present study aims to value and reuse agri-food waste from wine production, in this case grape stalks, promoting the circular economy, the reduction of the environmental footprint, sustainability and sustainable practice in the development of a product.

The main purpose of this study is the creation of a biocomposite that can later be applied to packaging for the transport and accommodation of wine bottles. For the development and production of this composite, the compression molding method was chosen, a widely used method in the production of composites. In addition to the filler based on grape stalk fibers previously selected, two biopolymers, designated F10 and F38, with PLA and starch (PLA+PSAC) in their composition were used as the composite matrix. Plates were produced for mechanical tests with 25% load and 50% load, with the two polymer matrices. The composites resulting from these combinations were mechanically characterized using mechanical characterization techniques, such as impact and bending tests. After carrying out the tests, it was concluded that the composite with the combination of 25% filler and 75% F10 biopolymer matrix presents superior mechanical performance. After the results obtained, a packaging and prototype were developed, taking into account the limitations of the production method used, consisting of composite plates. The study proved the feasibility of developing products that promote the valorization of agri-food waste, such as grape stalks, and that benefit from this, both aesthetically and mechanically.

Keywords

Agri-food wastes, Sustainability, Biodegradable, Composites, Packaging

ÍNDICE

Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Índice.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xiv
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xv
1. Introdução.....	1
1.1.Enquadramento e Motivação.....	1
1.2.Objetivos.....	8
1.3.Estrutura da Dissertação.....	9
2. Estado da Arte.....	10
2.1.Engaço.....	10
2.2.Compósitos.....	13
2.3.Revisão Bibliográfica.....	14
2.3.1. Compósitos com reforço de fibras naturais.....	14
2.3.2. Compósitos com reforço de resíduos vinícolas.....	16
2.4.Moldação por Compressão.....	18
3. Produção do Compósito.....	20
3.1.Procedimento Experimental.....	20
3.1.1. Estudos Iniciais.....	20
3.1.2. Carga e Matrizes.....	23
3.1.2.1.Carga de Engaço.....	23
3.1.2.2.Matrizes de Biopolímero.....	23
3.1.3. Composições.....	25
3.1.4. Processo de Secagem.....	31
3.2.Ensaio Mecânicos.....	32
3.2.1. Preparação dos provetes.....	32
3.2.2. Ensaio de Impacto.....	33
3.2.3. Ensaio de Flexão.....	35

3.3.Apresentação e Discussão de Resultados.....	37
4. Desenvolvimento do Produto.....	44
4.1.Metodologia.....	44
4.2.Geração de Conceitos.....	44
4.2.1. Embalagens.....	45
4.2.2. Pesquisa de Mercado.....	46
4.2.3. Conceitos.....	48
4.2.4. Seleção do Conceito.....	53
4.2.5. Modelação 3D.....	56
4.3.Prototipagem.....	58
4.3.1. Produção de Placas.....	58
4.3.2. Protótipo.....	61
4.3.3. Produto num ambiente real e Imagens virtuais.....	63
5. Conclusões e Trabalhos Futuros.....	66
5.1.Conclusão.....	66
5.2.Trabalhos Futuros.....	67
6. Referências Bibliográficas.....	68
7. Anexos.....	73
Anexo 1.....	73
Anexo 2.....	74
Anexo 3.....	75
Anexo 4.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área Florestal Mundial (1990-2020).....	1
Figura 2 - Produtos com maior impacto na desflorestação.....	2
Figura 3 - Resíduos de embalagem gerados, por % de material, na EU.....	3
Figura 4 - Resíduos de embalagem gerados, por de material, na EU, 2010-2021.....	4
Figura 5 - Representação gráfica do conceito de Economia Circular.....	5
Figura 6 - Fases do processo vinícola e subprodutos gerados.....	10
Figura 7 - Engaço.....	11
Figura 8 - Valor estimado de engaço produzido, em Portugal, 2021-2023.....	12
Figura 9 - Estrutura dos compósitos.....	13
Figura 10 - Moldação por Compressão, molde.....	18
Figura 11 - Estudos iniciais com diversas matrizes.....	21
Figura 12 - Resultado obtido no primeiro ensaio.....	22
Figura 13 - Engaço, com escala.....	23
Figura 14 - Grânulos de biopolímero F10.....	24
Figura 15 - Grânulos de biopolímero F38.....	24
Figura 16 - Molde utilizado nos ensaios.....	25
Figura 17 - Engaço prensado com molde.....	25
Figura 18 - Placas de biopolímero F10 e F38, respetivamente.....	26
Figura 19 - Ensaios da técnica 1.....	29
Figura 20 - Ensaios da técnica 2.....	29
Figura 21 - Ensaios da técnica 3.....	30
Figura 22 - Ensaios da técnica 4.....	30
Figura 23 - Impacto do processo de secagem nas placas de compósito.....	31
Figura 24 - 6 placas realizadas para obtenção de provetes, respetivamente numeradas.....	32
Figura 25 - Entalhe em “v” nos provetes.....	34
Figura 26 - Equipamento de ensaios mecânicos INSTRON 4505.....	35
Figura 27 - Gráfico de valor de energia absorvida das amostras de F10, nos ensaios de impacto..	36
Figura 28 - Gráfico de valor de energia absorvida das amostras de F38, nos ensaios de impacto..	37
Figura 29 - Antes e depois dos provetes em relação ao ensaio de impacto.....	38
Figura 30 - Antes e depois dos provetes das placas 4 e 1, respetivamente.....	38

Figura 31 - Antes e depois dos provetes das placas 5 e 2, respetivamente.....	38
Figura 32 - Antes e depois dos provetes das placas 6 e 3, respetivamente.....	38
Figura 33 - Gráfico de tensão de cedência das amostras de F10, no ensaio de flexão.....	39
Figura 34 - Gráfico de tensão de cedência das amostras de F38, no ensaio de flexão.....	39
Figura 35 - Gráfico do módulo de elasticidade das amostras de F10, no ensaio de flexão.....	40
Figura 36 - Gráfico do módulo de elasticidade das amostras de F38, no ensaio de flexão.....	40
Figura 37 - Gráfico da deformação de cedência das amostras de F10, no ensaio de flexão.....	40
Figura 38 - Gráfico da deformação de cedência das amostras de F38, no ensaio de flexão.....	41
Figura 39 - Antes e depois dos provetes em relação ao ensaio de flexão.....	42
Figura 40 - Embalagens de madeira para o transporte de garrafas de vinho.....	45
Figura 41 - Embalagens de cartão para o transporte de garrafas de vinho.....	46
Figura 42 - Embalagem <i>Weingut Oberhofer</i> , de <i>Egger Druck e Medien</i> [45].....	46
Figura 43 - Esboços do conceito 1.....	47
Figura 44 - Esboços do conceito 2.....	48
Figura 45 - Esboço do conceito 3.....	48
Figura 46 - Esboços do conceito 4.....	49
Figura 47 - Esboços do conceito 5.....	49
Figura 48 - Esboços do conceito 6.....	50
Figura 49 - Esboços do conceito 7.....	50
Figura 50 - Esboços do conceito 8.....	51
Figura 51 - Esboço dos componentes da embalagem.....	53
Figura 52 - Esboços da peça frontal da embalagem.....	53
Figura 53 - Esboços da peça frontal da embalagem.....	54
Figura 54 - Projeção final da embalagem.....	54
Figura 55 - Dimensões de uma garrafa de 75cl.	55
Figura 56 - Representação tridimensional da embalagem.....	55
Figura 57 - Dimensões dos componentes da embalagem.....	56
Figura 58 - Prensa CR Clarke & Co R30 e moldes – 350x350x5 mm.....	58
Figura 59 - Depósito de partículas numa placa teste.....	58
Figura 60 - Processo de formação de placas para o protótipo.....	58
Figura 61 - Resultado das placas para o protótipo.....	59
Figura 62 - Moldes – 250x250x10 mm e 250x250x6 mm, respetivamente.....	59

Figura 63 - Processo de formação de placas para o protótipo.....	59
Figura 64 - Resultado das placas para o protótipo.....	60
Figura 65 - Processo de corte e gravação a laser das placas de compósito.....	60
Figura 66 – Processo de montagem do protótipo.....	61
Figura 67 - Imagens virtuais do produto.....	62
Figura 68 - Imagens virtuais do produto.....	63
Figura 69 – Imagens do produto num ambiente real.....	63
Figura 70 – Imagens do produto num ambiente real.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Subprodutos do processo de vinificação, em kg/hL – Retirado e adaptado de [17].....	11
Tabela 2 – Estado da Arte – Compósitos com reforço de fibras naturais.....	14
Tabela 3 – Estado da Arte – Compósitos com reforço de resíduos vinícolas.....	16
Tabela 4 – Composições e parâmetros de processamento.....	28
Tabela 5 – Placas em moldação por compressão para ensaios mecânicos.....	32
Tabela 6 – Parâmetros para os ensaios de flexão.....	35
Tabela 7 – Resultados dos ensaios de impacto.....	36
Tabela 8 – Matriz de seleção de conceito.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

EPS – Poliestireno Expandido

hL – Hectolitros

J – Joule

MPa – Megapascal

PBS – Polibutileno Succinato

PET – Polietileno tereftalato

PHBV - Poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato)

PLA – Ácido polilático

PSAC – Polissacarideo

PVC – Policloreto de Vinilo

Ton – Toneladas

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

Num mundo caracterizado pela mudança num estado constante, são cada vez mais evidentes os impactos negativos das alterações climáticas. A desflorestação representa, à escala mundial, um problema que cresce a um ritmo preocupante. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), entre 1990 e 2020 perderam-se cerca de 178 milhões de hectares de floresta no mundo (Figura 1), sendo o continente africano e a América do Sul as regiões mais afetadas [1].

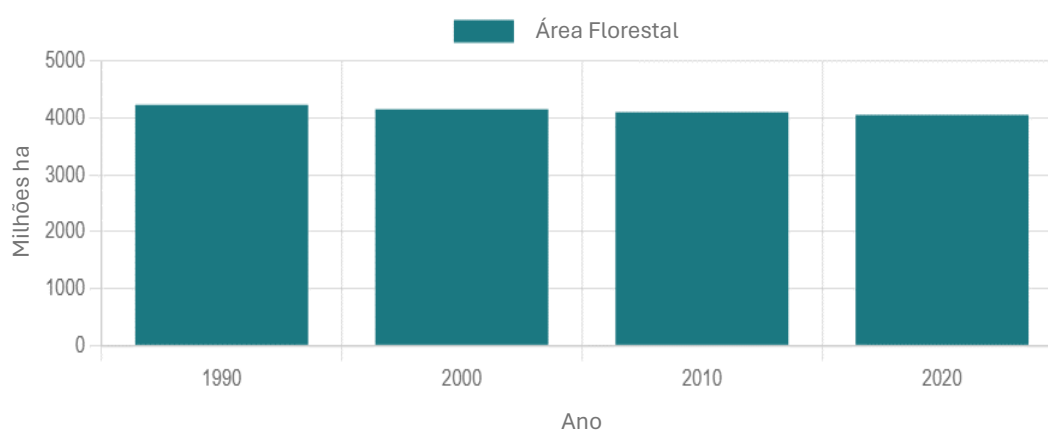


Figura 1 – Área Florestal Mundial (1990-2020) – Retirado e adaptado de [1]

É inevitável referir esta problemática, sem apontar a atividade humana como maior causador da desflorestação e degradação florestal. Segundo a FAO, as principais atividades causadoras deste problema são a agricultura industrial (com um impacto substancial de cerca de 50% da desflorestação global), a urbanização (que representa a principal causa de desflorestação na Europa), a superexploração dos recursos de madeira e as alterações climáticas, que são simultaneamente causa e consequência da desflorestação e degradação das florestas [2]. Em 2021, foi apresentada pela Comissão Europeia uma Nova Estratégia da UE para as Florestas em 2030, que tem como objetivo principal aumentar a quantidade e qualidade das florestas, promovendo práticas de gestão florestal mais sustentáveis. Entre muitos pontos referidos no comunicado da Nova Estratégia, destaca-se, de acordo com este estudo, o seguinte: “Garantir que a quantidade de madeira que utilizamos se mantém dentro dos limites de sustentabilidade e é

utilizada da melhor forma, em conformidade com o princípio da utilização em cascata e a abordagem da economia circular” [3]. Para uma maior percepção dos produtos que mais causam desflorestação dentro da UE, o gráfico da Figura 2, apresentado pela Comissão Europeia, serve para ilustrar esta problemática. A percentagem de floresta causada pelo abate de árvores para o aproveitamento da madeira, apesar de não ser a mais significativa, não deixa de ser um valor bastante representativo que, podendo ser diminuído, contribui também para a diminuição da desflorestação [4].

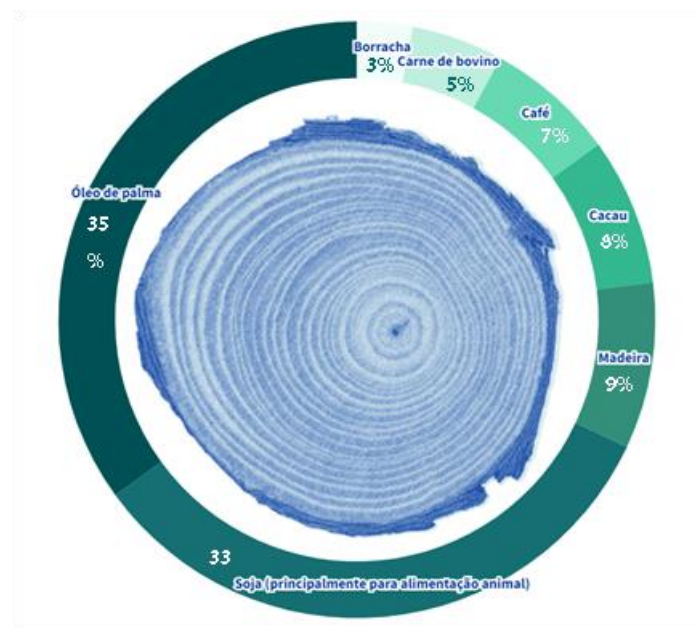


Figura 2 – Produtos com maior impacto na desflorestação – Retirado e adaptado de [4]

Estima-se que, mundialmente, sejam produzidas cerca de 1.3 mil milhões de toneladas de resíduos agroalimentares por ano [5]. O processamento industrial da indústria agroalimentar gera subprodutos indesejados e inutilizados, na sua maioria, como polpas, cascas, sementes, bagaços e folhelhos [5]. Estes subprodutos podem ser ainda categorizados como resíduos agrícolas, que são produzidos inteiramente pela agricultura, relacionada com o cultivo de plantações e criação de animais, para comércio. [6] De acordo com o GEMET (General Multilingual Environmental Thesaurus), o conceito de resíduo agrícola tem como definição “materiais inutilizáveis, líquidos ou sólidos, resultantes de práticas agrícolas, como fertilizantes, pesticidas, resíduos de colheita (matérias resultantes da poda) e excremento de gado” [7]. Por esta razão, um agro resíduo produzido constantemente e em quantidades representativas, para além de

representar um impacto ambiental considerável, deve ser valorizado [6]. Da mesma forma, anualmente, são geradas toneladas de lixo e outros resíduos que, por vezes, não têm qualquer aproveitamento. Mesmo os que podem e devem ser reciclados, em grande quantidade não são, como é o caso das embalagens. Estima-se que em 2021 tenham sido gerados cerca de 188.7 kg de resíduos de embalagem por habitante na União Europeia (UE) [8]. Na Figura 3, é possível verificar as percentagens de resíduos de embalagens gerados por tipologia de material.

Resíduos de embalagens gerados, por material, na UE (%)

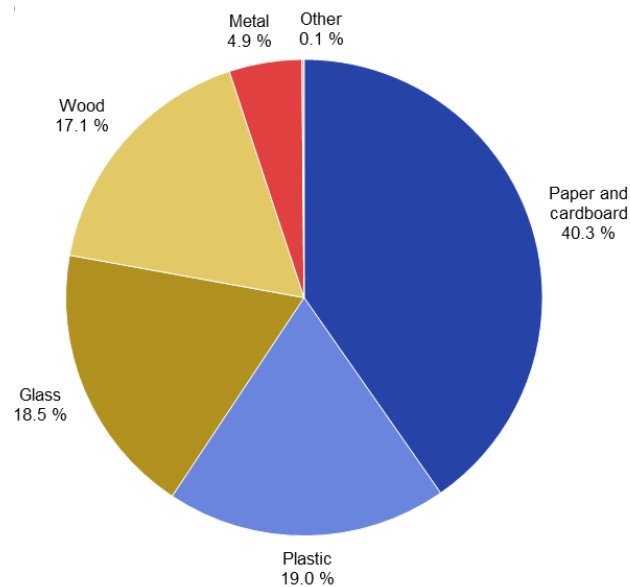


Figura 3 – Resíduos de embalagem gerados, por % de material, na UE – Retirado e adaptado de [8]

No mesmo ano, estima-se que tenham sido geradas, na UE, cerca de 84.3 milhões de toneladas de resíduos de embalagem, o que equivale a um crescimento de 6% face ao ano anterior. Curiosamente, este aumento teve como principal contribuinte as embalagens de madeira, com cerca de 19% de diferença. Para além da estimativa do ano de 2021, é possível observar também o crescimento exponencial dos resíduos de embalagens ao longo de um período de 11 anos, por tipologia de material, na UE (Figura 4) [8].

Resíduos de embalagens gerados, por material, na UE, 2010-2021 (milhões de Ton)

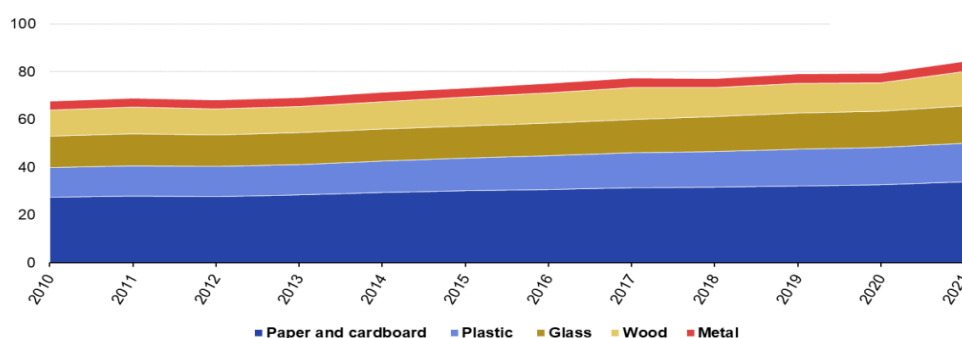


Figura 4 – Resíduos de embalagem gerados, por de material, na EU, 2010-2021 – Retirado e adaptado de [8]

Em 2022, a Comissão Europeia propôs novas regras na UE, integrantes do Pacto Ecológico Europeu, no que refere a embalagens. Foi indicado um conjunto de regras referentes a matérias de embalagens, com o objetivo de contrariar o crescimento dos valores dos resíduos. Uma vez que as embalagens são os principais produtos que utilizam matérias virgens, se não houver intervenção, estima-se um aumento de 19% destes resíduos até 2030, sendo que os resíduos de embalagens de plástico deverão aumentar em 46% [9]. Para os consumidores, as novas políticas assegurarão a existência de embalagens reutilizáveis e a eliminação de embalagens desnecessárias, entre outras. Para a indústria, será assegurada a redução da necessidade de matérias virgens, de forma a impulsionar a reciclagem na Europa e diminuir a dependência de recursos primários e fornecedores externos. Este plano exige também uma transição para os plásticos de base biológica, biodegradáveis e compostáveis, depois de estabelecidas quais as aplicações verdadeiramente vantajosas em termos ambientais, como devem ser produzidos, eliminados e reciclados [9]. Estes valores e aumentos são críticos e, por essa razão, a preocupação com o meio ambiente, o impacto dos resíduos, a necessidade de implementação de soluções mais sustentáveis, tornaram-se tópicos de foco para os governos. Na União Europeia, são cada vez mais as legislações e planos de ação implementados, para que seja possível fazer uma melhor gestão dos resíduos e, em simultâneo, promover a mudança para uma economia circular [10]. Para ajudar na diminuição do impacto dos resíduos e, ao mesmo tempo, apresentar soluções mais sustentáveis, é importante considerar os resíduos e valorizá-los. Os desperdícios, os resíduos e o aumento no consumo dos recursos na produção, resultam da aplicação do modelo económico linear (extração de recursos – produção – consumo – resíduos) [11] [12]. Dessa forma, é introduzido o conceito de Economia Circular, que contrasta com o modelo tradicional (Figura 5). A Economia Circular é um modelo de produção e consumo que abrange a partilha, a reutilização,

a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais e/ou produtos e energia, com intenção de alargar o ciclo de vida do produto ou serviço, pelo maior tempo possível. Esta prática implica a redução dos resíduos ou desperdícios ao máximo, manter os materiais, sem os descartar ou reciclar, sempre que possível, permitindo assim agregar valor, através da reutilização [10].



Figura 5 – Representação gráfica do conceito de Economia Circular – Retirado e adaptado de [10]

Os principais benefícios da utilização do conceito de economia circular são a proteção do ambiente, redução da emissão de gases com efeito de estufa, adiar o uso de recursos naturais, reduzir a dependência de matérias-primas, criação de postos de trabalho (com o aumento da competitividade, inovação e crescimento económico), entre outros [10]. Dado o panorama mundial, no que diz respeito a alterações climáticas e aumento da procura por energia e recursos, a UE introduziu uma série de políticas e iniciativas, no que diz respeito ao consumo e produção sustentáveis (CPS). O plano de ação engloba medidas de melhoria de desempenho ambiental dos produtos ao longo do seu ciclo de vida, aumento da sensibilização dos consumidores, aumento da procura de produtos e tecnologias mais sustentáveis e promover a inovação na indústria, entre outros [13].

A sustentabilidade, enquanto conceito, transcende o mero equilíbrio entre recursos naturais e as necessidades humanas do presente. A Organização das Nações Unidas (ONU) define a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável como um paradigma que pretende a harmonia entre o desenvolvimento social e económico, a preservação ambiental e a equidade social, de modo a garantir que as necessidades do presente são cumpridas, sem comprometer a habilidade

das gerações futuras cumprirem as suas [14]. O desenvolvimento sustentável, à escala mundial, implica que as nações mais desenvolvidas e com maior quantidade de recursos, façam uma utilização conscienciosa e responsável dos mesmos, colocando a maior responsabilidade sobre os governos mais desenvolvidos, mas também sobre as empresas, como por exemplo nos consumos energéticos para as produções e distribuições, e sobre a sociedade em geral, na adoção de estilos de vida que considerem a ecologia do planeta, na redução de desperdícios e implementação da reciclagem [15]. Assim, uma das principais motivações para o desenvolvimento desta dissertação, para além da valorização de um resíduo agroalimentar (o engaço), foi a criação de uma solução mais sustentável, com menor impacto ambiental, que considere questões como a valorização de resíduos, redução do impacto da desflorestação e implementação de soluções mais sustentáveis para a indústria das embalagens, aplicada em específico à indústria vinícola. Os desperdícios agroalimentares da produção vinícola, no caso o engaço de uva, são desperdícios biodegradáveis que, para além de serem utilizados como adubo para o solo, podem e devem ser valorizados. Este estudo pretende fazer a simbiose entre o reaproveitamento da matéria-prima rica em celulose e um material complementar biodegradável, tendo como finalidade a criação de uma embalagem. A proposta surge de uma quinta produtora de vinhos, Quinta da Alameda, que tenciona produzir uma embalagem sem recurso a madeira, concebida a partir dos desperdícios agroalimentares da viticultura. O objetivo é valorizar o engaço de uva ao produzir um compósito, promovendo a economia circular e a redução da pegada ambiental. O compósito deverá dispor de dois componentes: a fibra do engaço e um ligante. Este último poderá ser uma cola natural ou um biopolímero. Uma das maiores vantagens de trabalhar com um resíduo agroalimentar e a característica imprescindível que garante a valorização do mesmo e do compósito a ser produzido é a biodegradabilidade e, por essa razão, o ligante que complementa as fibras deverá também ele ser biodegradável. De forma a valorizar o resíduo, e a aplicação do conceito de sustentabilidade aos olhos do comprador e consumidor final, optou-se pela utilização das fibras do engaço sem sofrerem qualquer alteração à sua forma, como a trituração. A utilização da fibra no seu estado natural, depois de um processo de secagem, e a forma como é conjugada com a matriz polimérica, deixando visível e identificável a fibra, faz com que o consumidor possa comprovar que o produto que está a adquirir tem, na sua constituição, componentes de origem natural, e não se categoriza apenas como sustentável e biodegradável, de facto é. Outra das vantagens é que faz imediatamente a ligação entre a embalagem e o produto no seu interior, aquele de verdadeiro interesse de compra do consumidor – o vinho. Este fator não só valoriza o resíduo como valoriza

o produto, o preço e a marca, conferindo credibilidade perante o consumidor. Uma vez que as fibras de engaçó não serão trituradas, para a produção do compósito que dará origem à embalagem, excluíram-se técnicas de processamento como a termoformação e a injeção. Desta forma, serão realizadas placas de compósito através da moldação por compressão, desafiando posteriormente o design e projeção da embalagem, consequência do resultado obtido e das devidas limitações do processo e do material.

1.2. Objetivos

Desde a fase de planeamento da dissertação, foram elaborados os objetivos principais a cumprir ao longo do desenvolvimento do trabalho. Os objetivos são os seguintes:

- Valorização dos resíduos agroalimentares da vinicultura, explorando novas formas de reutilização;
- Expansão do campo de utilização/aplicação de desperdícios biodegradáveis na criação e desenvolvimento de produtos;
- Criação de um compósito biodegradável com engaço de uva, aplicando novas técnicas de transformação e utilizando novos materiais complementares;
- Promover a Economia Circular dentro das empresas, incentivando o reaproveitamento dos diversos desperdícios das indústrias;
- Criação de uma embalagem para o transporte de garrafas de vinho;
- Criação de um produto inovador (no caso de uma embalagem) com vista para o lançamento no mercado, que corresponda às premissas acima apresentadas;

1.3. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos principais, nomeadamente: Introdução, Estado da Arte, Produção do Compósito, Desenvolvimento do Produto e Conclusão e Trabalhos Futuros. No capítulo da Introdução é apresentado um enquadramento ao tema em estudo, assim como as motivações para o desenvolvimento deste trabalho, o produto a desenvolver e os principais objetivos definidos na fase inicial. No segundo capítulo é apresentado o Estado da Arte, onde são abordados 3 tópicos principais: o resíduo a ser utilizado neste estudo, a revisão bibliográfica e o método de produção do compósito. Primeiramente, é apresentado o resíduo, o engaço, como subproduto da produção vinícola. Em seguida, é apresentada a revisão bibliográfica, que aborda estudos de compósitos realizados com fibras naturais e com subprodutos da produção vinícola, entre os quais, o engaço. Por fim, é feita uma breve exposição do método de produção, para o compósito a desenvolver, a moldação por compressão. No terceiro capítulo, é apresentado todo o processo de produção do compósito, desde a seleção da matriz até aos ensaios mecânicos de flexão e impacto realizados a diversas placas de compósito. No quarto capítulo, mostra-se todo o desenvolvimento do produto. Após uma pesquisa de mercado, são apresentados os conceitos desenvolvidos, assim como a seleção do conceito a partir do qual se desenvolverá o produto. Por fim, são apresentados o processo de prototipagem e o produto idealizado. O quinto capítulo é referente à conclusão desta dissertação. Neste capítulo é realizada uma reflexão sobre o trabalho desenvolvido e análise dos resultados obtidos, assim como as propostas de melhorias ao produto e ao projeto.

2. Estado da Arte

2.1. O engaço

A indústria vinícola portuguesa é uma das mais representativas da economia agrícola, com uma produção média anual de cerca de 7 milhões de hL de vinho por ano, tornando Portugal num dos maiores produtores mundiais do setor, obtendo face ao ano de 2022 o 10º lugar no ranking mundial [16]. Como consequência deste valor elevado de produção, os subprodutos que derivam deste setor, tem um volume bastante elevado representando também uma perda de recursos se estes não forem devidamente e racionalmente aproveitados [17] [18]. Estes resíduos não apresentam um fator direto de risco, mas a produção de matéria orgânica em grande quantidade pode impactar de forma substancial o meio ambiente, representando, a longo prazo, um problema grave de poluição [19]. O esquema da Figura 6 ilustra, de forma resumida, o processo de vinificação e os subprodutos gerados ao longo da linha de produção [17].

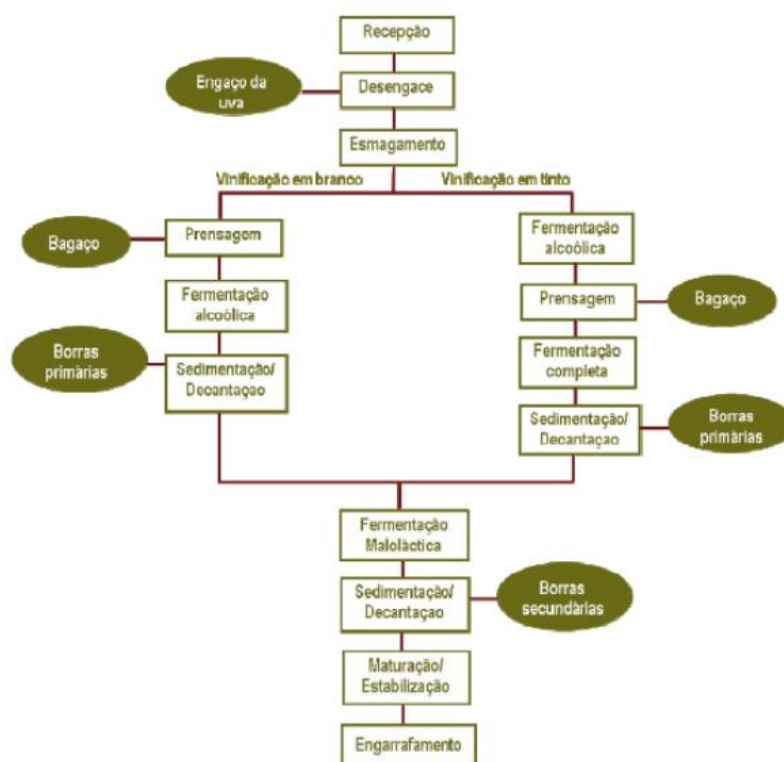


Figura 6 – Fases do processo vinícola e subprodutos gerados – Retirado de [17]

Os subprodutos obtidos ao longo do processo de vinificação são o bagaço, o engaço, as grainhas, o folhelho, as borras e o sarro, destacando-se como produtos resultantes o álcool etílico,

o ácido tartárico e a aguardente [20]. A Tabela 1 ilustra a composição dos subprodutos referidos anteriormente em kg/hL.

Tabela 1 – Subprodutos do processo de vinificação, em kg/hL – Retirado e adaptado de [17]

	Vinificação		Índice Médio
	Em Branco	Em Tinto	
Engaço	4	3	3.5
Bagaço	17	13.5	14.5
Grainha	4	4	4
Borra (líquida)	6	4.4	4.6
Sarro	0.17	0.10	0.12

O engaço (Figura 7), matéria utilizada neste trabalho, é um residuo com potencial de valorização promissor considerando a sua produção média anual, o seu custo reduzido e o seu carácter renovável. Este é o primeiro subproduto resultante do processo de vinificação, sendo produzidos em média cerca de 3,5 kg/hL de vinho de desperdício. Considerando o valor referido inicialmente de vinho produzido anualmente, em média, em Portugal, podem estimar-se cerca de 24,5 milhões de kg de engaço de uva [17]. Tendo em conta os dados apresentados pela OIV (Organização Internacional da Vinha e do Vinho) dos últimos anos, o esquema da Figura 8 representa a quantidade estimada de engaço produzida nos últimos anos, relativamente às últimas colheitas [16].



Figura 7 – Engaço

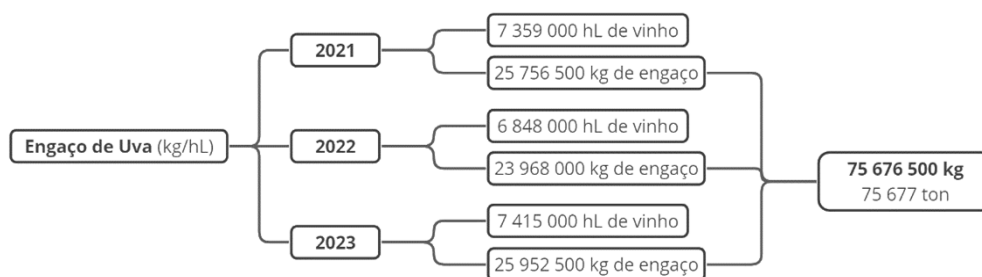


Figura 8 – Valor estimado de engaço produzido, em Portugal, 2021-2023

Por ser considerado das matérias-primas mais pobres, o engaço é de valorização simples tornando o seu aproveitamento limitado. A sua composição química consiste maioritariamente de celulose (cerca de 24-38%), hemicelulose e lenhina, contando ainda com a presença de outros compostos tais como, taninos, ceras, cinzas, minerais, compostos de nitrogénio, ácidos orgânicos e água. Esta pode variar consoante diversos fatores como a sua origem geográfica, o clima a que está sujeito, a altura em que é feita a colheita e a qualidade da uva. Com base nesta composição, a utilização deste resíduo fica delimitada, aplicando-o como base de um composto, adubo, matéria para a indústria do papel, de materiais de construção e é viável o seu aproveitamento como combustível [20] [21] [22]. Contudo, os subprodutos da produção vinícola são resíduos que têm despertado interesse na indústria, havendo bastantes estudos, que resultaram em compósitos, que na sua base contêm resíduos da vinicultura como o engaço, as borras e o folhelho [23] [24] [25]. Como referido anteriormente, as fibras naturais renováveis do engaço são vistas com grande potencial de aplicação para substituírem fibras sintéticas convencionais, em diversas aplicações, como partes semiestruturais de componentes automóveis, como assentos, componentes de porta, painéis inferiores, painéis de instrumentos, entre outros, construção e indústria de embalagens [21].

2.2. Compósitos

Um compósito é na verdade o material resultante da junção de dois ou mais materiais, sendo que o material composto deve ter propriedades superiores às propriedades de cada um dos constituintes. Os compósitos têm na sua composição uma matriz, caracterizada pela sua continuidade, e uma carga, caracterizada pela sua descontinuidade, sendo que a matriz é o elemento de ligação e predominante no composto e, as cargas atuam como reforço sobre a matriz. Devido à desigualdade de distribuição das cargas pela matriz, o material compósito caracteriza-se pela sua heterogeneidade. Contudo, para garantir uma melhor adesão entre matriz e cargas, por norma, os compósitos são aditivados, melhorando assim a zona de interface entre carga e matriz. Na Figura 9, estão representadas a matriz e as cargas, distribuídas aleatoriamente pela matriz do compósito [26] [27]. Os compósitos podem ser utilizados para diversas aplicações como embalagens, estruturas que requerem em peso menor, aplicações no campo da engenharia civil, aviação, desporto, na indústria aeroespacial e na indústria automóvel [26] [27].

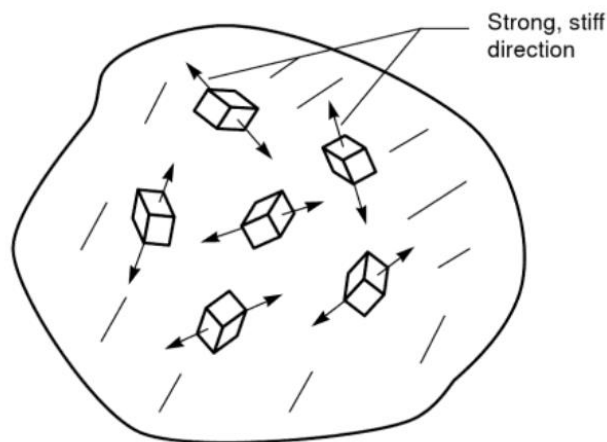


Figura 9 – Estrutura dos compósitos – Retirado de [26]

2.3. Revisão Bibliográfica

Na revisão da literatura, são abordados estudos que se referem a compósitos poliméricos com reforço de fibras naturais e a compósitos poliméricos e não poliméricos com reforço de fibras de engaço, resíduo em estudo neste trabalho.

2.3.1. Compósitos com reforço de fibras naturais

É possível encontrar, ao longo da literatura, estudos efetuados e respectivos resultados que abordam a incorporação de fibras naturais em matrizes poliméricas, sendo possível verificar alguns desses estudos na Tabela 2.

Tabela 2 – Estado da Arte – Compósitos com reforço de fibras naturais

Título	Objetivo	Fibra	Conclusões	Referência
Caraterização Mecânica e Morfológica de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Coco Verde: Influência do Teor de Fibra e das Condições de Mistura	Preparação de compósitos de polipropileno reforçados com fibras de coco verde com diferentes percentagens de carga adicionada e obtidos em diferentes temperaturas de processamento e velocidade de rotação e a avaliação desses compósitos quanto ao seu módulo de flexão e características morfológicas.	Coco verde	Foram utilizados neste estudo compósitos à base de PP com cargas de 10%, 20% e 30% de fibra de côco verde. Com a adição da fibra, houve uma diminuição no módulo de flexão dos compósitos em relação ao PP virgem, e depois um ligeiro aumento diretamente relacionado com o aumento da concentração das fibras. Em baixas concentrações, as fibras presentes no compósito não são suficientes para gerar uma mistura homogênea, gerando tensões localizadas. Como aumento das fibras, as tensões ficam melhor distribuídas e o material apresenta uma maior resistência. As misturas com 30% de carga apresentaram resultados, do módulo de flexão, próximos ou superiores ao do PP puro.	[28]
Estudo das Propriedades Mecânicas de um Composto de PVC Modificado com Fibras de Bananeira	Obter e avaliar compósitos de PVC rígido com fibras de bananeira com percentagens de carga de 5, 10 e 20%, analisando os efeitos nas propriedades mecânicas de tração e impacto, bem como peso específico e	Bananeira	Foram utilizados neste estudo compósitos à base de PVC com cargas de 5%, 10% e 20% de fibra de bananeira. No ensaio de tração, verificou-se um aumento das propriedades com a adição das fibras ao PVC puro, sendo o compósito com 10% de carga, aquele que obteve um resultado melhor. No ensaio de resistência ao impacto, verificou-se um aumento dos valores com a adição das fibras	[29]

	caraterísticas morfológicas.		ao PVC puro, sendo o compósito com 10% de carga, aquele que obteve um resultado melhor. Analisando os resultados observa-se que a incorporação da fibra no composto de PVC, mesmo sem o tratamento prévio das fibras ou adição de compatibilizantes, traz um potencial de reforço ao composto produzido.	
Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado	Estudar as propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de polipropileno, virgem e reciclado, reforçados com 30% de carga, fibra de sisal, assim como o perfil de processamento e a morfologia da matriz polimérica.	Sisal	Foram utilizados neste estudo compósitos à base de PP, virgem e reciclado, com carga de 30% de fibra de sisal. No ensaio de impacto, a energia absorvida aumentou para o dobro com a adição da carga. No ensaio de tração, a matriz de PP virgem com reforço de fibra apresenta menor resistência à tração do que a matriz de PP virgem apenas. Nas matrizes de PP reciclado, com ou sem reforço de fibra, os resultados foram contrários, devido a uma maior compatibilidade entre as fibras e a matriz. Com a adição da fibra como reforço, a única propriedade mecânica afetada acentuadamente de forma negativa foi a deformação à ruptura, e pode ser resolvido com o tratamento prévio da fibra de sisal para melhorar a adesão entre matriz e carga, assim como uma melhor compatibilidade.	[30]
Potencial de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibra de Juta: Revisão	Estudar as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos reforçados com fibra de juta, assim como o efeito de tratamentos químicos sobre essas mesmas propriedades mecânicas.	Juta	Foram utilizados neste estudo dados de diversas pesquisas sobre o tema, que utilizaram diversos métodos de fabrico para os compósitos com fibra de juta, assim, como diversas percentagens de carga, comprimento de fibra e orientação das mesmas. No geral, constata-se que as propriedades mecânicas dos compósitos aumentam, comparando com as devidas matrizes poliméricas. Até um certo ponto, sendo que depois diminuem, devido à fraca adesão entre as fibras e as matrizes. Os tratamentos químicos tiveram um resultado positivo sobre as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras de juta, quando comparados com compósitos que não tiveram qualquer tratamento químico.	[31]

A utilização de fibras naturais revela-se, como é possível verificar nos estudos mencionados na Tabela 2, uma alternativa à utilização de fibras sintéticas. Apesar de alguns resultados obtidos nos estudos mencionados não se revelarem os mais favoráveis, devido principalmente à fraca adesão de certas fibras a certas matrizes poliméricas, de um modo geral, as propriedades mecânicas dos compósitos com reforços de fibras naturais aumentaram face às propriedades mecânicas das matrizes poliméricas. Nos estudos referenciados, é possível ainda observar que as percentagens de carga não ultrapassam os 50%, sendo que a maioria utiliza percentagens compreendidas entre os 5% e os 30%. As fibras naturais, para além de soluções economicamente vantajosas, apresentam ser soluções mais sustentáveis de reforço de matrizes poliméricas em materiais compósitos, devido ao custo reduzido, à sua origem em fontes renováveis e à sua biodegradabilidade.

2.3.2. Compósitos com reforço de resíduos vinícolas

Tal como nos compósitos com reforço de fibras naturais, na literatura, são encontrados estudos e respetivos resultados que abordam a incorporação de fibras de engaço em matrizes poliméricas, sendo possível verificar alguns desses estudos na Tabela 3.

Tabela 3 – Estado da Arte – Compósitos com reforço de resíduos vinícolas

Título	Objetivo	Resíduo	Conclusões	Referência
Desenvolvimento de uma Espuma à Base de Amido de Mandioca reforçado com Engaço utilizando um Design Experimental	Estudar as possibilidades de misturas do amido de mandioca, com o glicerol e o engaço, assim como outros constituintes, bem como a melhor fórmula para obtenção de um compósito capaz de substituir embalagens de EPS.	Engaço	Foi utilizado o software <i>Statistica</i> para a obter a fórmula que apresentasse melhores propriedades para a espuma. Os resultados mostraram que a fórmula com 13.6% (em peso) de glicerol, 18.4% (em peso) de engaço no menor tamanho de partícula analisado ($\varnothing < 0.18$ mm), melhorou propriedades mecânicas e propriedades relacionadas com a humidade e densidade das espumas. Os resultados foram positivos, indicando a possibilidade de utilização destas espumas para a substituição de tabuleiros e embalagens de EPS.	[32]
Uso e Funcionalização do Engaço como reforço polimérico de Polibutileno	Produção e avaliação de pó de engaço como reforço para biocompósitos, utilizando o PBS como matriz polimérica. Avaliar as propriedades	Engaço	A reação da acetilação da superfície do engaço, fez com que o mesmo se tornasse mais hidrofóbico, mais resistente e mais esponjoso. A combinação entre as modificações químicas e físicas ao engaço resultou	[33]

Succinato (PBS)	estruturais, mecânicas e térmicas do compósito, de forma a obter um resultado com a menor perda de performance possível.		numa boa adesão entre partículas de carga e matriz polimérica o que, por sua vez, resultou em propriedades mecânicas satisfatórias do compósito. Para além disso, a incorporação do pó de engaço no polímero biodegradável (PBS) leva à redução da quantidade de polímero necessária e à redução do custo do material compósito.	
Eco Conversão de dois resíduos vinícolas lenhinocelulósicos em reforços para biocompósitos: brotos de videira e bagaço	Investigar as relações entre as principais características intrínsecas dos constituintes, a estrutura dos compósitos resultantes e as suas propriedades funcionais (propriedades de tração, permeabilidade e estabilidade térmica).	Brotos de videira e Bagaço	Os compósitos foram produzidos com reforço de cargas entre os 5 e os 20%. A adição dos reforços diminuiu a estabilidade térmica, especialmente no caso dos brotos de videira. Os compósitos têm propriedades de tração menores que o PHBV virgem. Este resultado demonstra que as partículas de ambos os resíduos podem ser utilizadas como reforço, até aos 20% de carga sobre a matriz.	[34]
Compósitos de PLA formulados com resíduos da indústria vinícola	Estudar a microestrutura e propriedades mecânicas dos compósitos, assim como a avaliação da estabilidade térmica e a absorção de água.	Engaço e Caules	Os resultados mostram que a adição dos resíduos vinícolas não compromete a estabilidade térmica da matriz e, ao mesmo tempo, melhoram a resistência ao impacto e têm influência nas propriedades de tração. A resistência à tração diminui progressivamente com a adição de carga à matriz e, em simultâneo, o módulo de elasticidade aumenta. Conclui-se que possam ser utilizados na matriz até 15% de carga, sob o peso total do compósito.	[35]

Ao longo do tempo, as fibras de engaço, e os resíduos da vinicultura em geral, têm vindo a desempenhar um papel de interesse, como referido anteriormente. Estes têm sido sujeitos a diversos estudos que visam expandir o leque de aplicações que, para além de valorizarem este resíduo, pretendem oferecer soluções mais sustentáveis com a incorporação do mesmo em diversas matrizes. Nos estudos apresentados na Tabela 3, verifica-se que os vários resíduos da vinicultura (como o engaço, o bagaço, caules e brotos de videira) foram incorporados em matrizes poliméricas para a formação de compósitos. Assim, os compósitos resultantes mostraram, de modo geral, possuir propriedades mecânicas e térmicas superiores às das matrizes utilizadas (EPS, PBS, PHBV e PLA). Estes estudos utilizaram percentagens de carga entre os 10 e os 20%, e obtiveram resultados positivos sendo que, dependendo do estudo e resíduo, poderiam indicar qual a percentagem máxima de carga a utilizar de forma a obter um compósito com propriedades

superiores às da matriz. Na literatura, encontraram-se vários estudos que resultaram na criação de biocompósitos. Desta forma, é possível atestar, desde já, a compatibilidade entre as fibras de engaçó e matrizes biopoliméricas. Não se encontraram, contudo, casos de estudo que utilizassem as fibras do engaçó sem sofrerem alterações à sua forma, foram sujeitas sempre ao processo de trituração.

2.4. Moldação por Compressão

A moldação por compressão é um dos métodos de processamento de plásticos mais antigo e mais utilizado na formação de compósitos. Foi das primeiras técnicas utilizadas para o processamento de plásticos, com equipamentos que datam mais de 100 anos [36] [37] [38] [39]. É uma técnica eficaz na formação de compósitos termoplásticos, onde as cavidades do molde são preenchidas com as quantidades apropriadas de material polimérico ou misturas de compósito (matriz polimérica com cargas naturais/sintéticas). De seguida, o molde é fechado, sendo que as duas partes do molde sofrem aquecimento enquanto pressionadas pela prensa hidráulica. Devido ao aquecimento do molde, transmitido pela prensa ao molde, o polímero ou compósito no seu interior funde e adapta-se ao formato do mesmo (Figura 10) [39]. Após este processo, o molde passa por um processo de arrefecimento para que, por fim, possa ser retirada a peça da cavidade do molde. [38]

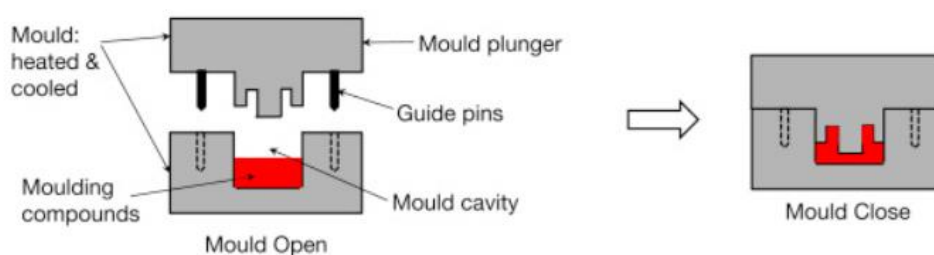


Figura 10 – Moldação por Compressão, molde – retirada e adaptada de [40]

A pressão aplicada no molde, pode ser alterada durante o processo, de forma automática ou manual (dependendo da prensa a ser utilizada), e tem em conta a expansão volumétrica do material, à medida que a temperatura do mesmo aumenta [41]. Todos os parâmetros a considerar para o processo de moldação por compressão, como a temperatura, a pressão a aplicar e o tempo, devem ser selecionados com base nas propriedades do material. Estes parâmetros são fatores críticos para um desfecho positivo [39]. Os produtos que resultam da moldação por compressão, por norma, são produtos com geometrias menos complexas, especialmente quando comparadas, por exemplo, com as geometrias de peças produzidas através de moldação por injeção. Desta forma, esta técnica só deve ser aplicada a peças que se adequem às especificações e limitações deste processo [37]. Este método é aplicável a vários polímeros e fibras, e é altamente utilizado para a produção de, por exemplo, portas e painéis de controlo de veículos comerciais [42].

3. Produção do Compósito

3.1. Procedimento experimental

O procedimento experimental, neste trabalho, refere-se a toda a parte do trabalho referente ao material compósito para aplicação na embalagem, todo o processo do seu desenvolvimento, bem como o modo de concepção de placas do mesmo, e os testes de caracterização mecânica realizados para consolidação e aprovação do material em estudo. Como referido, este processo foi dividido por partes: primeiramente, foram realizadas experiências com diversos materiais (cola branca, PVC em estado líquido, folha de PET, folha de biopolímero à base de PLA com e sem pó de café), para melhor perceber a ligação possível entre materiais e carga, o engajo. Em segundo lugar, depois de selecionado o material que melhor se relacionava com a carga e que melhor executaria placas de compósito, foram realizados testes com dois grades de biopolímero; por fim, realizaram-se os testes de caracterização mecânica às placas dos dois graus: F10 E F38.

3.1.1. Estudos Iniciais

Inicialmente, de forma a perceber qual o potencial e versatilidade da carga, assim como a compatibilidade com diversas matrizes, sem tratamento prévio, foram testadas várias combinações de matriz e carga. Estas combinações foram desde cola branca, folha de PET, pó de polímero, filme de biopolímero sem carga e com carga (borras de café) e tecido de algodão. A Figuras 11 demonstra os resultados obtidos na primeira fase de experiências. Contudo, após o resultado obtido com o filme de biopolímero F10 (PLA + PSAC), aquele que visualmente se mostrou mais interessante, decidiu-se experimentar o mesmo biopolímero em grânulo, sendo possível utilizar um molde para obter uma placa de compósito.



Figura 11 – Estudos iniciais com diversas matrizes

A Figura 12 representa o resultado obtido após o primeiro ensaio de formação de uma placa com um molde, numa prensa hidráulica, através do processo de moldação por compressão. O molde utilizado cumpre as seguintes medidas: 200x120x3 mm.

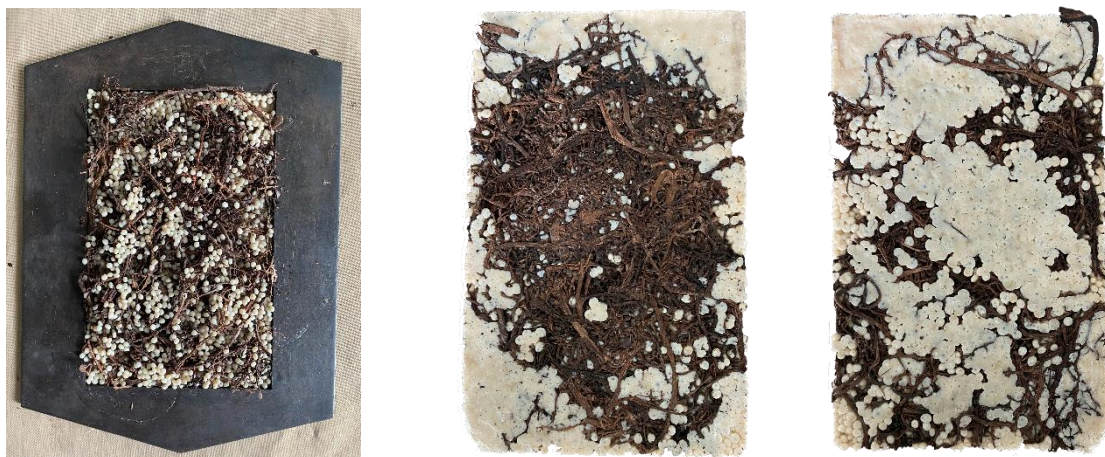


Figura 12 – Resultado obtido no primeiro ensaio

Contudo, percebeu-se da possibilidade de utilização de outro biopolímero, com a mesma constituição, o grau F38. As maiores diferenças entre os dois biopolímeros são as grades às quais pertencem e a cor de cada um. O biopolímero F10 pertence a um grau flexível e o biopolímero F38 pertence a um grau rígido. Esta diferença mostrou-se interessante para estudo, de forma a perceber, mecanicamente, qual o mais compatível com a carga. Quanto à cor, também é interessante a sua diferença, sendo um fator a ter em conta, após a realização dos ensaios mecânicos. Após ser reconhecido o potencial das placas de grânulo de biopolímero com adição de fibras de engajo, decidiu-se proceder com esta matriz para a realização das placas de compósito.

3.1.2. Carga e Matrizes

3.1.2.1. Carga de Engaço

No presente trabalho, as cargas utilizadas são provenientes de desperdícios da agricultura, em específico da vindima, no caso, um subproduto resultante da mesma, que é o engaço (Figura 13). De modo a permitir a sua utilização, o engaço foi previamente seco. Após o seu descarte no processo vinícola, o engaço foi exposto num local pouco húmido, que possibilitou a sua secagem. Este processo, bem como o engaço utilizado ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste trabalho e produto, foi garantido pela empresa “Quinta da Alameda”, que recolheu e secou o engaço após a colheita do ano de 2022.

Como um dos objetivos principais deste trabalho é a criação de um material que pretende valorizar a utilização de desperdícios para o desenvolvimento de novos produtos, optou-se pela utilização das fibras de engaço no seu estado natural, sem sofrer qualquer tipo de alteração, como por exemplo, a trituração do mesmo. O objetivo é que seja possível o consumidor identificar qual o material da embalagem, promovendo a valorização do produto no momento de escolha e compra.



Figura 13 – Engaço, com escala

3.1.2.2. Matrizes de Biopolímero

Para a realização deste estudo e produção do compósito, foram utilizados biopolímeros da gama Inzea, pertencente à empresa Nurel. A escolha de quais bioplímeros utilizar decorreu após análise da gama de biopolímeros da empresa disponibilizados pela universidade. Assim sendo, foram selecionados o biopolímero F10 (Figura 14) e o biopolímero F38 (Figura 15).

- O biopolímero F10, da gama Inzea, pertencente ao conjunto de grades flexíveis, é constituído pela mistura de Ácido lácteo (PLA) e Amido termoplástico (PSAC). Segundo as informações fornecidas pelo fabricante, possui cerca de 32% de conteúdo de base biológica, cerca de 40% de conteúdo renovável e uma tensão à rutura de 20 MPa. É biodegradável no solo e 100% compostável, incluindo compostável caseira para além de industrial e é possível estar em contacto com alimentos, sendo já aplicado em embalagens. A sua temperatura de fusão inicia-se nos 120°C. A ficha técnica do fornecedor encontra-se no Anexo 1.



Figura 14 – Grânulos de biopolímero F10

- O biopolímero F38, da gama Inzea, pertencente ao conjunto de graus rígidos, é também constituído pela mistura de Ácido lácteo (PLA) e Amido termoplástico (PSAC). De acordo com as informações fornecidas pelo fabricante, é constituído por mais de 70% de conteúdo renovável e apresenta uma tensão à rutura de 46 MPa. Não é biodegradável no solo, mas é 100% compostável, contudo é apenas realizar a sua compostagem de forma industrial. Foi aprovado para estar em contacto direto com alimentos. A sua temperatura de fusão varia entre os 140 e os 155°C. A ficha técnica do fornecedor encontra-se no Anexo 2.



Figura 15 – Grânulos de biopolímero F38

3.1.3. Composições

Numa primeira fase foram realizados vários ensaios em moldes de 200x120 mm e 3 mm de espessura, como os representados na Figura 16, para a obtenção de várias placas de compósito. Estas placas foram obtidas através da utilização do método de moldação por compressão, com recurso a prensas hidráulicas.

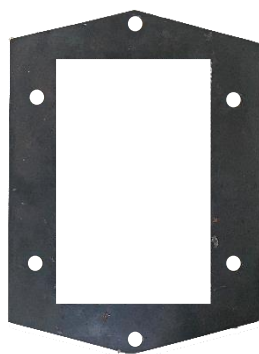


Figura 16 – Molde utilizado nos ensaios

Foi necessário avaliar primeiramente, o comportamento do engaço e dos biopolímeros separadamente no que diz respeito à moldação por compressão. Dessa forma, elaborou-se uma placa de engaço, uma placa de biopolímero F10 e uma placa de biopolímero F38. Devido ao volume que o engaço apresenta, foi difícil, numa primeira abordagem, perceber ao certo quantas gramas de engaço colocar para preencher devidamente o molde. Desta forma, foi então colocada uma quantidade que permitisse que o molde fosse fechado, na medida do possível, e transportado até à prensa. O molde foi colocado na prensa a 200°C, com uma pressão de 10 Ton, durante dois minutos, uma vez que tempo excessivo poderia queimar o engaço. O resultado obtido foi satisfatório, o engaço colocado no molde compactou e formou uma placa possível de retirar do molde sem praticamente se desfazer, como demonstra a Figura 17.



Figura 17 – Engaço prensado com molde

Para a formação das placas de biopolímero F10 e biopolímero F38, o molde sofreu um processo de pré-aquecimento durante dois minutos a 200°C. Foi tomada esta decisão uma vez que, assim, o tempo de compressão seria o suficiente para que os grânulos de polímero fundissem por completo, formando uma placa mais homogênea. Como os biopolímeros são constituídos maioritariamente por PLA, foi estabelecido que os grânulos de polímero deveriam fundir a uma temperatura entre os 180 e os 200 C. Tendo em conta o equipamento a utilizar, esta temperatura foi encontrada através do processo de “tentativa erro”, uma vez que a temperatura marcada no equipamento não corresponde à verdadeira temperatura dos pratos da prensa, podendo haver um desvio de cerca de 10°C. Ambas as placas foram colocadas na prensa a 200°C, durante cinco minutos sem pressão acrescida, apenas com o molde fechado, e posteriormente dois minutos com uma pressão acrescida de 20 Ton. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 18.



Figura 18 – Placas de biopolímero F10 e F38, respetivamente

Foi possível obter estas especificações entre tempo e graus de aquecimento da prensa, após um processo de “tentativa erro”. O mesmo se aplica aquando da formação de placas que combinam os grânulos de biopolímero com as fibras de engajo. Quanto à quantidade de material a colocar no molde, percebeu-se que seriam necessárias entre 90 e 100 g de material, após a realização dos vários ensaios. Tendo em consideração esta conclusão, foi necessário avaliar qual a percentagem de carga para percentagem de material. Para a realização destas placas foram

executadas diversas técnicas, com a finalidade de perceber qual das técnicas melhor se aplica para a formação de placas desta dimensão. Para tal, primeiramente, idealizou-se o processo de formação das mesmas, com as seguintes etapas:

- 1 – Secagem da carga e das matrizes numa estufa
- 2 – Pré-aquecimento do molde
- 3 – Colocação da carga e polímero no molde
- 4 – Colocação do molde no interior da prensa e moldação sob pressão do compósito
- 5 – Arrefecimento do molde
- 6 – Retirar o molde e deixar o material estabilizar e completar o arrefecimento à temperatura ambiente
- 7 – Retira a placa do molde

Durante a realização da etapa 3, foram então aplicadas 4 técnicas, de forma a aferir qual a melhor técnica para a formação do compósito. Na Técnica 1 foi aplicado o depósito de grânulos de polímero como camada inferior, logo de seguida, por cima, foi colocada uma camada de engajo (previamente prensado sem molde) e, por fim, uma camada de grânulo. Após o fecho do molde, o mesmo foi colocado na prensa para se proceder à moldação por compressão. Na Técnica 2, procedeu-se à prensagem, primeiramente, dos grânulos de polímero e, ao mesmo tempo, era feita a prensagem do engajo dentro do molde e a frio. Após o tempo de prensagem do polímero, o molde do mesmo foi aberto e colocado por cima o engajo. Por fim, procedeu-se ao fecho do molde e foi colocado na prensa para a realização da moldação por compressão. A Técnica 3 processa-se como a segunda, com a exceção do engajo não ser prensado, previamente, antes de ser colocado por cima do polímero. Por fim, Técnica 4 processa-se exatamente da mesma forma que a segunda, mas, no final, é acrescentada outra placa de polímero prensada sob uma primeira placa de polímero com engajo. Esta junção é levada novamente à prensa e procede-se novamente à moldação por compressão. Foram realizados no total, 16 ensaios, com as técnicas mencionadas, com diversas percentagens de carga para que, enquanto eram testadas as técnicas, eram também testas as quantidades de carga que poderiam ser adicionadas para obter resultados

positivos. Desta forma, na Tabela 4 estão representados os dados relativos aos 16 ensaios, a sua composição, a técnica de composição utilizada, e os parâmetros variáveis para a moldação sob pressão das mesmas. Todos os ensaios cumpriram as etapas do processo mencionadas anteriormente, a uma temperatura de moldação de 200°C, com força de fecho entre as 15 e 20 Ton, e temperatura de arrefecimento do molde a 70°C.

Tabela 4 – Composições e parâmetros de processamento

Ensaio	Técnica	Matriz	Composição (%) (Carga/Matriz)	Peso total (g)	Tempo de Pré- aquecimento (min)	Tempo de moldação (min)
1	1	F10	50/50	70	-	6
2	2	F10	25/75	90	5	4
3	1	F10	50/50	70	-	6
4	3	F10	38/62	80	6	6
5	2	F10	23/77	130	7	5
6	2	F10	28/72	70	5	6
7	2	F10	26/74	95	5	4
8	2	F10	35/65	100	6	3
9	2	F10	20/80	75	5	3
10	2	F10	30/70	95	6	3
11	2	F10	35/65	100	6	3
12	4	F10	17/83	120	10	5
13	2	F38	30/70	100	6	3
14	2	F38	20/80	100	6	3
15	2	F38	17/83	120	7	6
16	4	F38	17/83	120	10	7

Os resultados das placas obtidas nos 16 ensaios estão representados nas Figuras 19, 20, 21 e 22, correspondendo às técnicas 1, 2, 3 e 4 acima mencionadas, respetivamente.

Técnica 1

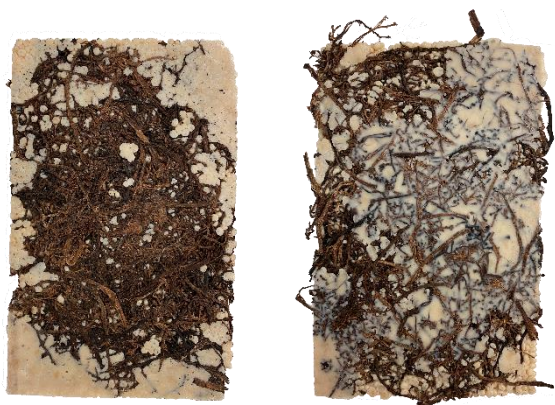


Figura 19 – Ensaios da técnica 1

Técnica 2

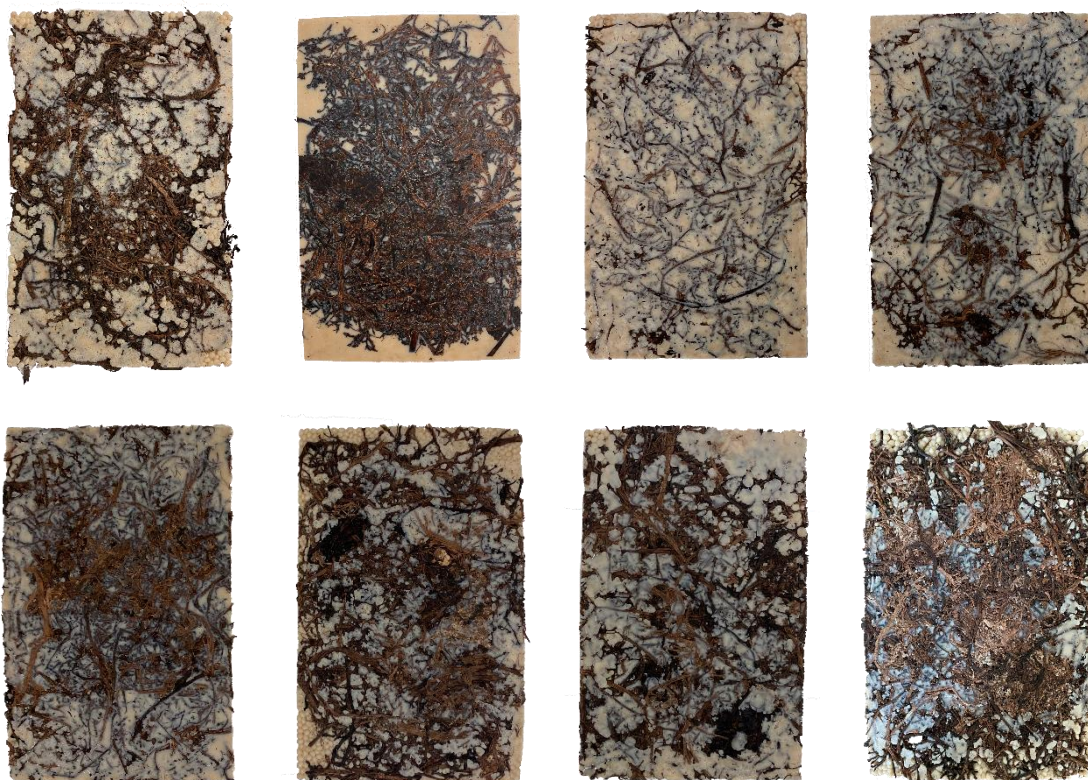


Figura 20 – Ensaios da técnica 2

Técnica 3



Figura 21 – Ensaio da técnica 3

Técnica 4

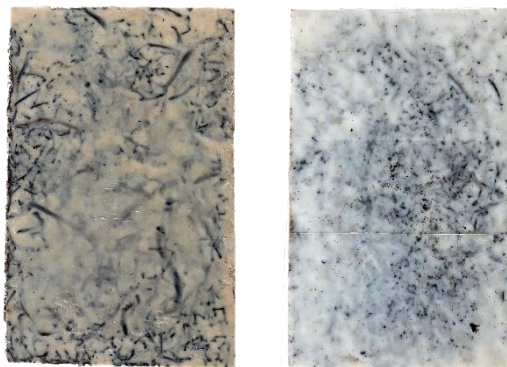


Figura 22 – Ensaio da técnica 4

É possível observar que os resultados obtidos no desenvolvimento da técnica 1 não foram os mais satisfatórios. Neste método de dispersão de material, verificou-se a criação de muitos espaços vazios pois os grânulos de polímero não abrangiam toda a área que, por sua vez, também não tinha fibras de engajo. Na técnica 2, é possível verificar que os resultados obtidos são bastante consistentes, diferenciando-se apenas pela percentagem de carga e matriz presente em cada placa. Com esta técnica foi possível testar diversas composições e entender melhor a ligação entre carga e matriz. A técnica 3, apesar das semelhanças à técnica 2 (tirando a compactação do engajo antes da junção com o polímero) e, visualmente, as placas parecerem idênticas, revelou-se um processo mais moroso e difícil. As fibras, como resultado de não terem sido compactadas previamente, não incorporaram por completo na matriz. Na técnica 4, verifica-se que, a nível superficial, os resultados obtidos foram os mais consistentes e com melhor acabamento. O engajo ficou bem incorporado na matriz e, pela forma de processamento da técnica, estes ensaios resultaram nas placas com maior peso e maior quantidade de polímero e nas placas com maior empenho, uma vez que a quantidade de polímero é igual dos dois lados. Contudo, apesar dos resultados positivos desta técnica, conclui-se que, visualmente, o engajo “perdia-se” muito por entre a matriz, e deixava de existir o impacto visual da utilização do engajo. Desta forma, a técnica selecionada para a produção das placas de compósito foi a técnica 2. Para todas as placas realizadas para os ensaios mecânicos e, posteriormente, para o protótipo, recorreu-se à técnica 2, com as devidas adaptações, se necessárias.

3.1.4. Processo de Secagem

Após a elaboração das placas, conclui-se que seria necessário proceder à secagem, tanto das matrizes poliméricas como das fibras do engaço. Ao formar as placas, era perceptível em algumas que existiam, no seu interior, “bolhas de ar” que só poderiam ser explicadas com a presença de alguma humidade nos materiais. Uma vez ocorrido o processo de aquecimento dos materiais, a humidade que ainda restar nas fibras e nos grânulos de polímero, vai sendo libertada, formando assim espaços (“bolhas”) que, posteriormente, são possíveis de observar nas placas. Desta forma, o processo de secagem diminui consideravelmente a humidade presente nos materiais e melhora substancialmente o aspeto visual das placas. Este processo foi realizado com o recurso a uma Estufa (Binder).

O engaço secou da estufa durante 30h, a uma temperatura de 60°C. Por sua vez, os biopolímeros secaram na estufa durante 1h, a uma temperatura de 60°C. Na Figura 23 é possível observar o antes e depois do processo de secagem e o impacto do mesmo nas placas.



Figura 23 – Impacto do processo de secagem nas placas de compósito

3.2. Ensaios Mecânicos

3.2.1. Preparação dos Provetes

Tendo em conta os dois biopolímeros a ser testados em ensaios mecânicos, foram consideradas diversas composições das placas no que toca a percentagem de carga para percentagem de biopolímero. Assim, e considerando também os testes previamente realizados e

referidos, a Tabela 5 ilustra exatamente as 6 placas (Figura 24), com peso de 100g cada, e as respectivas composições e parâmetros utilizados.

Tabela 5 – Placas em moldação por compressão para ensaios mecânicos

Placas	Composição (%)	Temperatura de Pré-aquecimento (°C)	Tempo de Pré-aquecimento (min)	Força de fecho (Ton)	Tempo de moldação (min)	Temperatura de Arrefecimento (°C)
Placa 1	100% F10	200	6	15-20	2	70
Placa 2	50% F10 + 50% Carga	200	6	15-20	3	70
Placa 3	75% F10 + 25% Carga	200	6	15-20	3	70
Placa 4	100% F38	200	6	15-20	2	70
Placa 5	50% F38 + 50% Carga	200	6	15-20	3	70
Placa 6	75% F38 + 25% Carga	200	6	15-20	3	70

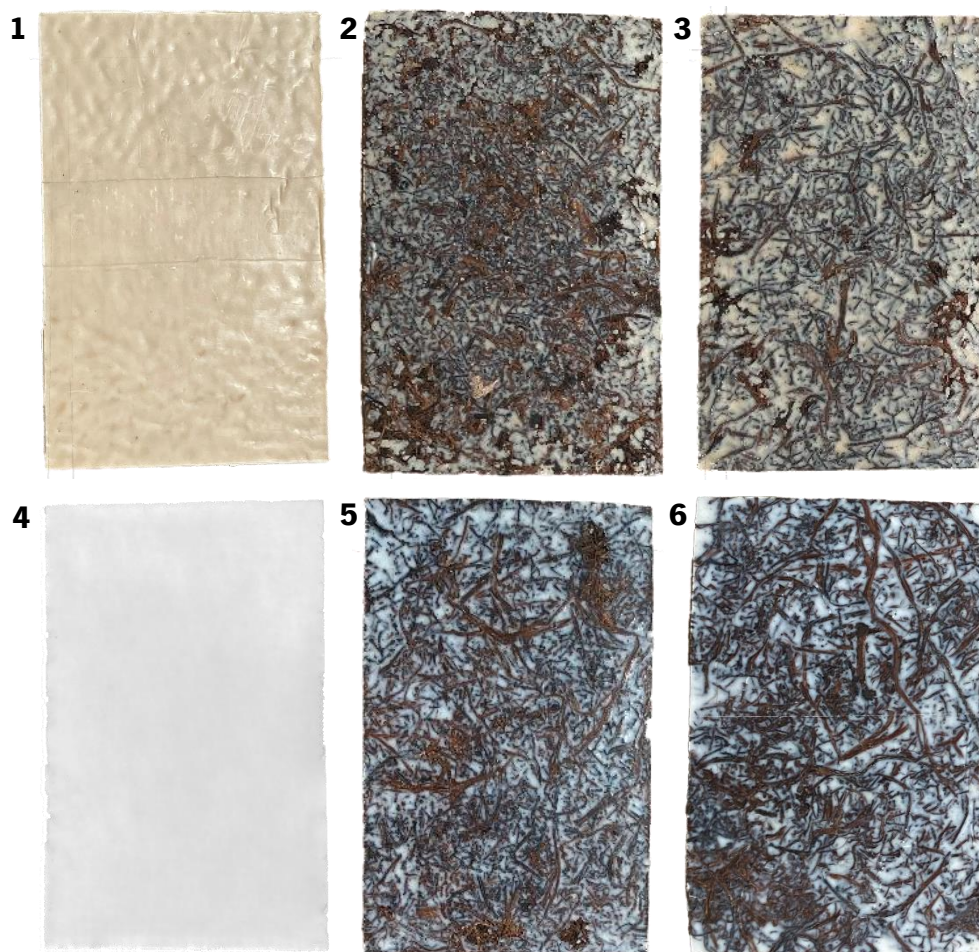


Figura 24 – 6 placas realizadas para obtenção de provetes, respetivamente numeradas

Para a preparação dos provetes a ser utilizados nos Ensaio de Impacto e nos Ensaio de Flexão, foi necessário o auxílio de uma serra de fita e um paquímetro. De acordo com as dimensões explicitas na ASTM D 256-04, as placas moldadas foram marcadas, possibilitando assim o corte dos provetes, com recurso à serra de fita, resultando em provetes com as seguintes dimensões: comprimento igual a 11,9 mm, largura igual a 15 mm, e espessura igual à espessura das placas moldadas por compressão, aproximadamente 3 mm, valor variável devido à possível contração das placas de material moldado. As 6 placas usadas para a caracterização mecânica dos compósitos foram divididas em provetes, perfazendo um total de 11 provetes por placa. Desses 11 provetes, 5 foram utilizados para o ensaio de impacto e outros 5 para o ensaio de flexão. Com as dimensões das placas, foi possível obter 1 provete a mais por placa e utilizado caso necessário, na eventualidade de ocorrer algum erro durante a preparação dos provetes para os ensaios mecânicos.

3.2.2. Ensaio de Impacto

O Ensaio de Impacto, realizado para avaliar a capacidade de um material resistir a impactos ou cargas, permite determinar, entre outros, a fragilidade do material em estudo. Quanto menor for o valor da energia absorvida pelo corpo em estudo após o embate do pêndulo na zona de entalhe, mais frágil será o comportamento do material. Os resultados são apresentados por kJ/m^2 , ou seja, energia absorvida por unidade de área. Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos: paquímetro digital, entalhador de fresa em forma de “v” e Pêndulo de Impacto CEAST.

Para a realização do entalhe em “v”, é necessário primeiro medir o centro do comprimento do provete para que possa ser aplicado nesse ponto o nó de, no caso e segundo a norma ASTM D 256-04, 2,54 mm. Com o auxílio de um entalhador de fresa com formato em “v”, foi colocado o provete centrado com a base do entalhador, encostando de seguida a fresa ao provete e coloca-se então o micrómetro em zero de forma a iniciar o corte no provete (Figura 25). O processo foi repetido nos 5 provetes utilizados para o Ensaio de Impacto.



Figur 25– Entalhe em “V” nos provetes

Relativamente à metodologia do Ensaio de Impacto, todos os provetes foram sujeitos às mesmas etapas: primeiramente, é realizada a medição de um provete para que seja possível calcular a área de secção; em seguida, é feita a colocação do provete no suporte do equipamento com o nó/entalhe voltado para zona de embate do pêndulo; por fim, é realizada a libertação do pêndulo e registado o valor de energia absorvida do momento de impacto entre o pêndulo e o provete. De notar que, para a realização dos ensaios de impacto, foi aplicada uma força de impacto de 4 J, a provetes com uma área de secção de $0,045 \text{ m}^2$. Após o término dos ensaios de impacto, foi realizado o tratamento e análise dos resultados obtidos.

3.2.3. Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão, consiste na aplicação de uma carga crescente no ponto central de um provete de geometria padronizada, em forma de barra. Os ensaios de flexão, permitem analisar a força necessária para uma deflexão máxima imposta a uma determinada velocidade. Após o tratamento dos dados, é possível analisar algumas propriedades do material em estudo, como o módulo de elasticidade, a deformação de cedência em flexão e a tensão de deflexão. A metodologia aplicada nestes ensaios está de acordo com a norma ASTM D 638-03. Para a realização deste ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos: paquímetro digital e equipamento de ensaios mecânicos INSTRON 4505 (Figura 26).



Figura 26 – Equipamento de ensaios mecânicos INSTRON 4505

Para que seja possível a realização dos ensaios de flexão, é necessário ajustar previamente os 3 pontos de suporte do provete. Após a centralização do provete sobre os dois pontos de apoio, é necessário mover o terceiro ponto de forma a tocar no provete sem exercer força e, dessa forma, só no momento de aplicação da força no terceiro ponto é que se inicia o deslocamento. Relativamente à metodologia do Ensaio de Flexão, todos os provetes foram sujeitos às mesmas etapas: primeiramente, é realizada a medição de um provete para que seja possível calcular a área de secção; em seguida, é feita a colocação do provete no suporte do equipamento, ajustando o provete aos 3 pontos; por fim, são inseridas, para cada ensaio, as medidas de largura e espessura dos provetes, dando assim início aos ensaios. De notar que, foram determinados parâmetros para a realização dos ensaios, a provetes com uma área de secção de $0,045 \text{ m}^2$. Após o término dos ensaios de flexão, foi realizado o tratamento e análise dos resultados obtidos. Os parâmetros de realização dos ensaios de flexão são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros para os ensaios de flexão

Velocidade (mm/min)	2.8
Deslocamento máximo (mm-) – D máximo	8
(Distância entre pontos de suporte (mm) – L	110

3.3. Apresentação e Discussão de Resultados

Neste ponto serão apresentados os resultados obtidos após a realização dos ensaios de impacto e dos ensaios de flexão. Após a exposição, comparação e discussão de resultados, será eleita a amostra, correspondente a uma composição (percentagem de carga para percentagem de biopolímero), com melhor comportamento para aplicação em placas de compósito, que têm como finalidade a formação de uma embalagem.

Ensaio de Impacto

Os resultados obtidos nos ensaios de impacto estão apresentados na Tabela 6, contabilizando a média do resultado de 5 ensaios efetuados aos provetes de biopolímero F10 e biopolímero F38, com as respectivas percentagens de carga. Nas Figuras 27 e 28 é possível observar os gráficos com os resultados obtidos nos ensaios de impacto.

Tabela 7 – Resultados dos ensaios de impacto

Placa	Composição	Breakenergy – J/m ²
1	100% F10	9,63 J/m ²
2	50% F10 + 50% Engaço	4,44 J/m ²
3	75% F10 + 25% Engaço	6,48 J/m ²
4	100% F38	4,88 J/m ²
5	50% F38 + 50% Engaço	3,55 J/m ²
6	75% F38 + 25% Engaço	4,22 J/m ²

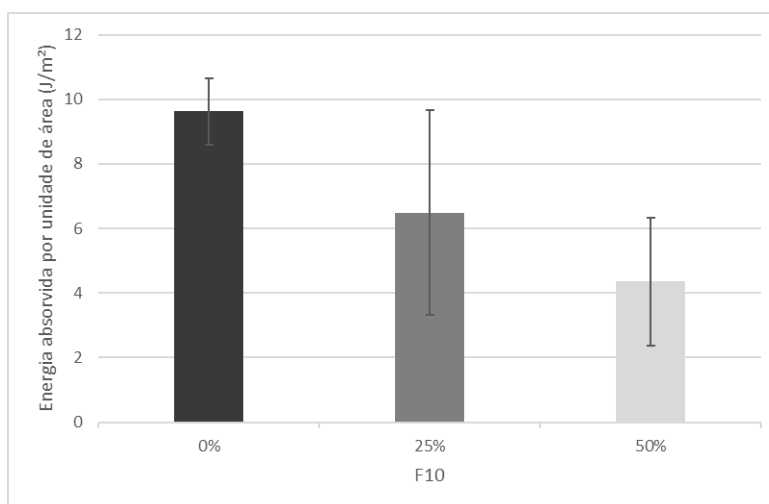


Figura 27 – Gráfico de valor de energia absorvida das amostras de F10, nos ensaios de impacto

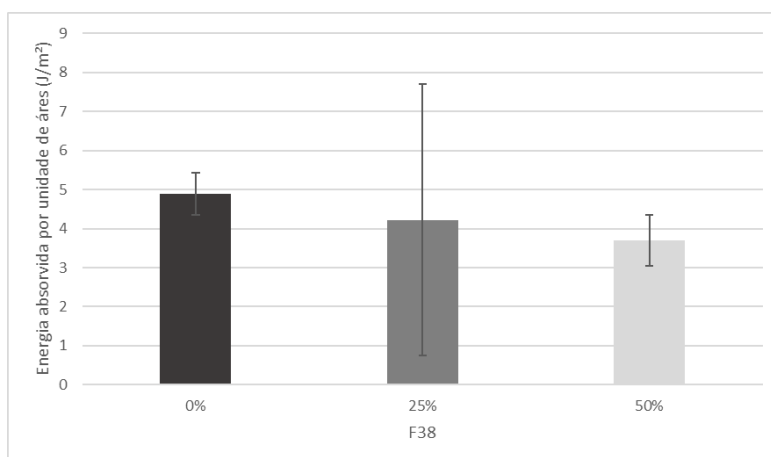


Figura 28 – Gráfico de valor de energia absorvida das amostras de F38, nos ensaios de impacto

Através da análise dos resultados obtidos, verifica-se que há uma diminuição da energia absorvida por unidade de área com a inserção de cargas aos biopolímeros. Verifica-se também que quanto maior a percentagem de carga adicionada, menor é o valor da energia absorvida e mais frágil será o comportamento do material. Desta forma, pode concluir-se que as amostras, com carga adicionada, que demonstram melhor comportamento após realização dos ensaios, são as amostras com 25% de carga e 75% de biopolímero, seja o F10 (6,48 J/m²) ou o F38 (4,22 J/m²). Contudo, a amostra com 25% de carga de biopolímero F10 demonstra um melhor resultado, uma vez que o valor de energia absorvida pela amostra em comparação é menor. É possível verificar, face aos resultados dos ensaios de impacto, que a resistência ao impacto do compósito não é superior à do material virgem. Contudo, este ponto pode ser justificado pela heterogeneidade do compósito, pelas fibras longas e pelo entalhe nos provetes. Em diversos provetes (Figuras 29-32), o nó do entalhe incidiu em zonas com uma maior concentração de carga, enquanto noutros provetes, o nó do entalhe incidiu sobre zonas mais homogêneas ou com uma maior concentração de polímero. Tendo todos estes pontos em consideração e tendo em conta os valores de energia absorvidos pelas duas matrizes no estado puro, o compósito com melhor resultado é o compósito de biopolímero F10 com 25% de carga de engaçó.

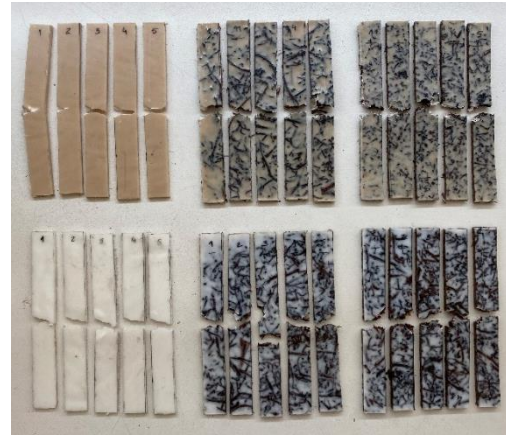


Figura 29 – Antes e depois dos provetes em relação ao ensaio de impacto

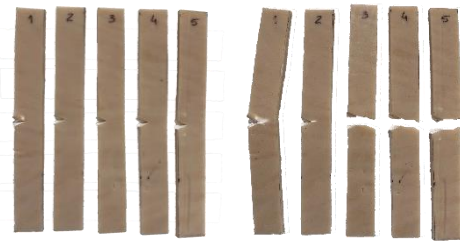


Figura 30 – Antes e depois dos provetes das placas 4 e 1, respetivamente

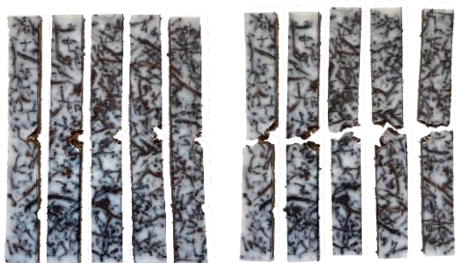


Figura 31 – Antes e depois dos provetes das placas 5 e 2, respetivamente

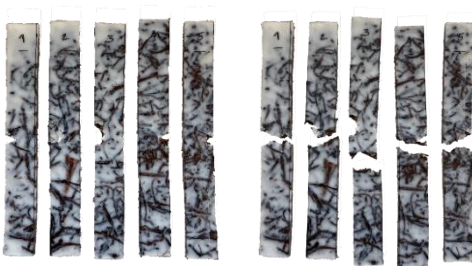


Figura 32 – Antes e depois dos provetes das placas 6 e 3, respetivamente

Ensaio de Flexão

Após a realização dos ensaios de flexão efetuados sobre os parâmetros anteriormente referidos, os resultados de tensão de cedência, módulo de elasticidade e deformação em flexão podem ser observados nas Figuras 33 - 38, respetivamente. Estes resultados foram obtidos através do cálculo da média de cinco provetes utilizados em cinco ensaios para cada uma das condições. No Anexo 3 é possível consultar os gráficos com as curvas tensão-deformação obtidas nos diversos ensaios de flexão.

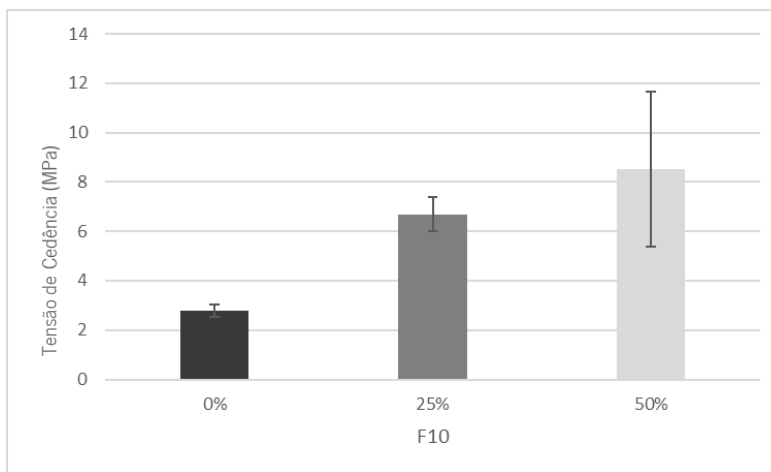


Figura 33 – Gráfico de tensão de cedência das amostras de F10, no ensaio de flexão

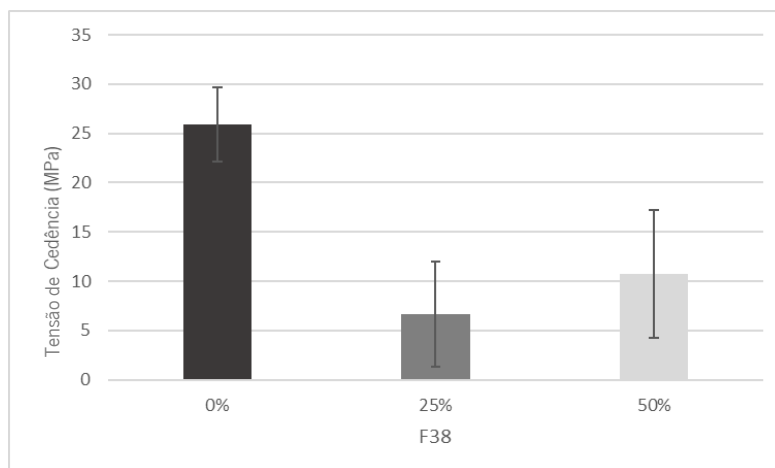


Figura 34 – Gráfico de tensão de cedência das amostras de F38, no ensaio de flexão

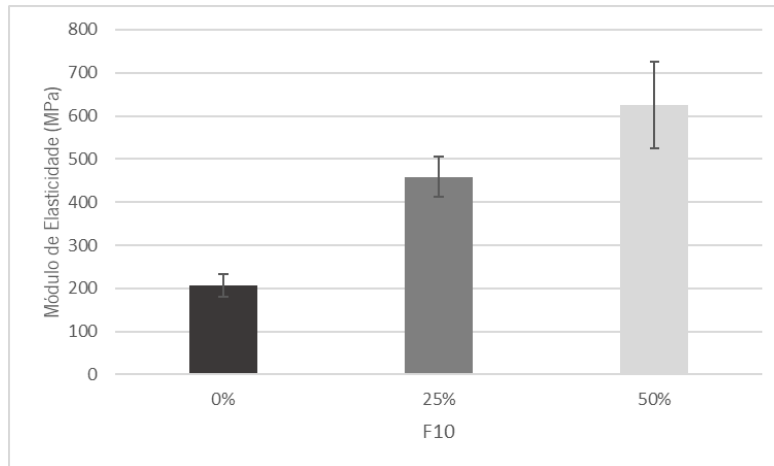


Figura 35 – Gráfico do módulo de elasticidade das amostras de F10, no ensaio de flexão

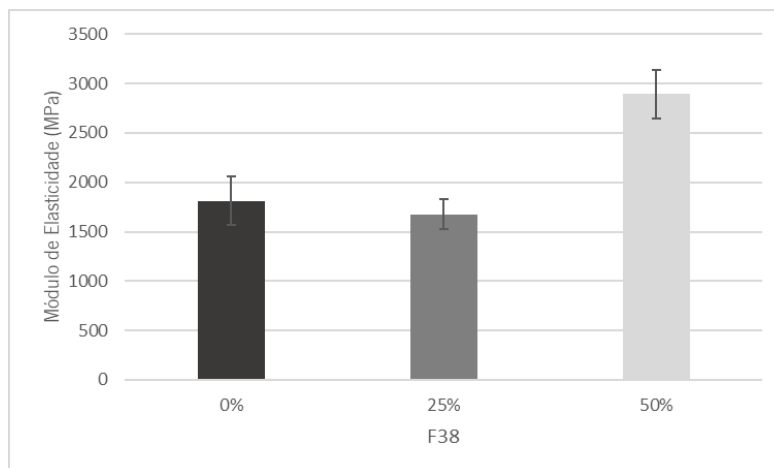


Figura 36 – Gráfico do módulo de elasticidade das amostras de F38, no ensaio de flexão

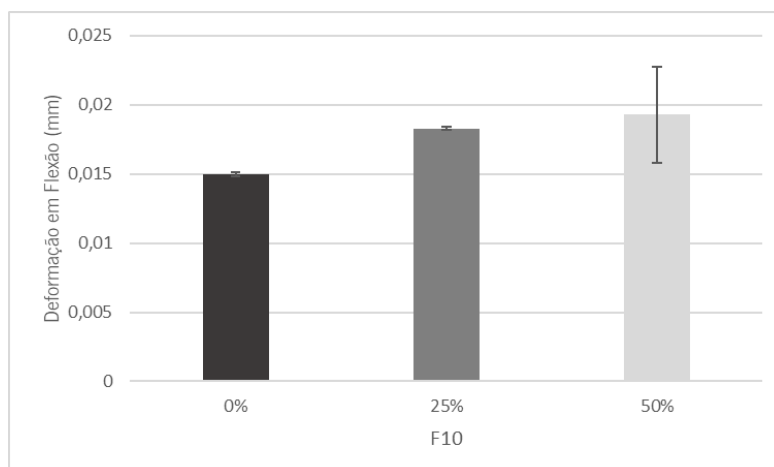


Figura 37 – Gráfico da deformação de cedência das amostras de F10, no ensaio de flexão

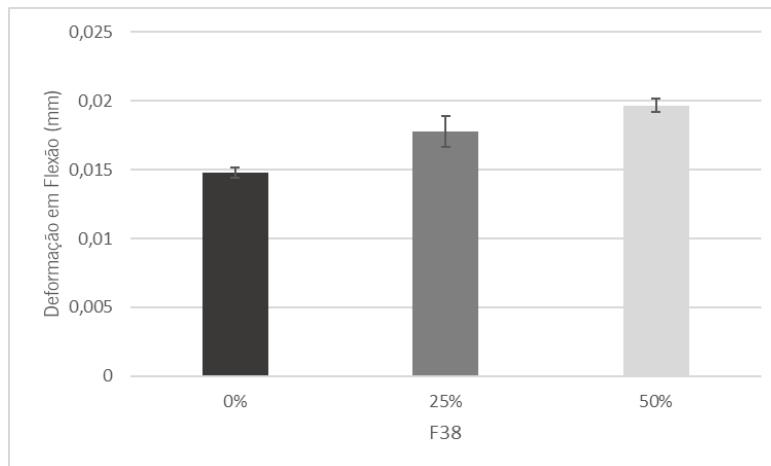


Figura 38 – Gráfico da deformação de cedência das amostras de F38, no ensaio de flexão

Através da análise dos resultados obtidos, verifica-se que, de forma geral, os resultados são os expectáveis quanto ao comportamento mecânico de compósitos aditivados com fibras naturais face ao comportamento e propriedades mecânicas das matrizes poliméricas virgens. Nas Figuras 33 e 35, verifica-se que há um aumento da tensão de cedência e do módulo de elasticidade do compósito com matriz polimérica de F10. Este resultado está em concordância com os resultados dos casos de estudo da literatura, uma vez que a adição de fibras a um compósito deve melhorar as propriedades mecânicas em relação à matriz em questão. No caso dos resultados obtidos da tensão de cedência e módulo de elasticidade do compósito com matriz polimérica de F38, estes não foram homogêneos. O valor da tensão de cedência diminuiu consideravelmente na média das amostras com 25% de carga, mas aumentou na média das amostras com 50% de carga, face aos valores obtidos na média das amostras com F38 puro (Figura 34). A diminuição do valor nas amostras com 25% de carga deve-se, provavelmente, à disposição das fibras nessas amostras e ao comprimento das mesmas. Relativamente à deformação de cedência, verifica-se um aumento dos valores, quer nas amostras com F10 ou com F38, face aos valores obtidos das amostras das matrizes puras (Figuras 37 e 38). Apesar das amostras com F38 registarem, na sua maioria, valores mais altos que as amostras com F10, o comportamento das amostras com F10 foi constante ao longo de todos os ensaios realizados, enquanto as amostras de F38 registaram um comportamento inconstante, justificado, possivelmente, pelo grau do material (rígido) e distribuição das fibras nas amostras.



Figura 39 – Antes e depois dos provetes em relação ao ensaio de flexão

No geral, o comportamento dos compósitos nos ensaios era expectável em relação ao comportamento dos compósitos aditivados com fibras e considerando também os valores das matrizes puras. Assim, o comportamento dos compósitos nos ensaios foi positivo.

As discrepâncias mencionadas devem-se, potencialmente, à distribuição heterogênea das cargas pela matriz. A realização do entalhe condicionou os resultados dos ensaios de impacto. Este fator tornou o compósito mais frágil em certas zonas, uma vez que em alguns provetes, o entalhe ficou localizado em zonas com maior concentração de carga, e outros em que o entalho incidiu em zonas com uma distribuição mais equilibrada de carga e matriz. As fibras longas condicionaram, provavelmente, os resultados dos ensaios de flexão, principalmente nas amostras de F38, sendo este um polímero mais rígido. As fibras longas podem não ter tanta influência sobre os resultados dos ensaios de flexão das amostras com F10 por este ser um polímero mais flexível. Para além dos resultados efetivamente obtidos nos ensaios mecânicos feitos aos dois compósitos, para a escolha de qual dos graus de polímero utilizar para o produto neste trabalho, foram também tidos em conta outros aspetos. Como anteriormente referido, é possível efetuar, no biopolímero F10, tanto a compostagem industrial como a compostagem caseira, enquanto no biopolímero F38, é apenas possível realizar a compostagem industrial. O processo de compostagem, coloca em vantagem o biopolímero F10 como escolha mais adequada para o produto com estas especificações. Desta forma, pelos resultados obtidos e anteriormente apresentados e discutidos, nos ensaios mecânicos realizados aos compósitos, e pelos outros fatores apresentados, optou-se pelo biopolímero F10 para o desenvolvimento do compósito a aplicar na embalagem, objetivo principal deste trabalho.

4. Desenvolvimento do Produto

4.1. Metodologia

A fase de desenvolvimento do produto, apresentada neste capítulo, encontra-se dividida em 2 fases. Primeiramente, na fase de geração de conceitos, foi desenvolvida uma pesquisa de mercado com o objetivo de perceber em que ponto este se encontra, quais são as embalagens mais comuns, quais as mais inovadoras e diferenciadas, assim como as alternativas mais sustentáveis já implementadas, se existirem. De seguida, foram estabelecidos alguns critérios que um produto desta tipologia deve cumprir. Posteriormente, foram elaborados diversos conceitos de produto, com base nas soluções que o mercado oferece, desenvolvendo conceitos mais inovadores ou padronizados. Com os conceitos desenvolvidos, realizou-se o processo de seleção de um dos conceitos, para o posterior desenvolvimento do mesmo para a criação do produto desejado. Por fim, nesta fase, iniciou-se a fase de modelação 3D (através do software *SolidWorks*), onde foi necessário desenvolver o conceito em que o produto se baseia, dimensionar o mesmo, modelá-lo e realizar as devidas alterações, de forma a preparar o mesmo para a fase de prototipagem. A segunda fase, a fase de prototipagem, tem como objetivo o desenvolvimento de um protótipo do produto idealizado. Desta forma, primeiramente, verificou-se a necessidade de desenvolver placas com dimensões maiores que as anteriores, de forma a produzir um protótipo à escala real. Este processo consistiu na adaptação das técnicas anteriormente desenvolvidas e aplicação do conhecimento adquirido na fase do Procedimento Experimental. De seguida, produziram-se as partes da embalagem com recurso a equipamentos como uma máquina de corte a laser, de forma a otimizar o processo e, assim, finalizar o protótipo.

4.2. Geração de Conceitos

A geração de conceitos no desenvolvimento de um produto é a fase em que uma ampla variedade de ideias é explorada como ponto de partida para o design e engenharia de produto. Designado como um processo criativo e iterativo, o foco principal é a geração do maior número de conceitos diferentes, antes de selecionar e desenvolver o mais promissor. Neste processo divergente e convergente de criação e seleção de ideias, o potencial criativo é um fator determinante, uma vez que não há restrições rígidas em relação à viabilidade técnica ou económica, o importante é estimular a criatividade. Para tal, foi inicialmente desenvolvida uma pesquisa de mercado de forma a perceber quais as soluções que o mesmo oferece para o

transporte de garrafas de vinho. Posteriormente, foram desenvolvidos conceitos, com base na pesquisa realizada, que pretendem colmatar falhas neste mercado e responder à proposta principal deste trabalho. Após a seleção de um destes conceitos, o mesmo foi desenvolvido e consolidado, podendo assim iniciar a fase seguinte.

4.2.1. Embalagens

O *packaging* do vinho pode ir desde toneis e garrafas de vidro, compreendendo ainda outros formatos menos convencionais e menos utilizados, como latas, pacotes *tetrapack* e até mesmo garrafas de plástico. Para o estudo em questão, serão apenas tidas como referência as garrafas de vinho e as embalagens para o acondicionamento das mesmas. As funções primárias de uma embalagem são o transporte e a proteção do item que se encontra no seu interior, permitindo assim uma transação segura do produto. Neste trabalho, o foco e objetivo principal, é a criação de uma embalagem, no caso secundária, para o transporte seguro de garrafas de vinho. Entende-se por embalagem secundária uma vez que a embalagem primária é a garrafa de vidro. A forma como os vinhos são selecionados pode variar dependendo de quem os seleciona: para um enólogo experiente, poderá ser através do “passa palavra”, junto de outros enólogos e produtores de vinho; para um verdadeiro apreciador/coleccionador, a seleção pode também passar pela pesquisa intensiva dos componentes do mesmo, assim como classificações e prémios obtidos; para a maior parte dos consumidores o momento de escolha é muito mais breve e, na maioria das vezes, menos informado, e tem como maior aliado o *packaging*, formado pelos rótulos e/ou embalagens de transporte. Ao longo dos últimos anos, vem-se a constatar que a embalagem constitui uma valiosa ferramenta de marketing e comunicação, e por isso requer o mesmo nível de atenção que outros aspetos a ter em conta no momento de comunicar e comercializar um produto [43]. Muitos consumidores consideram a embalagem e os materiais que constituem a mesma influenciam bastante no momento de escolha e compra de um produto, associando diretamente a qualidade da embalagem à qualidade do produto [44]. Desta forma, é importante que no momento de idealização de uma embalagem, estes fatores sejam considerados para garantir a criação de um produto com sucesso comercial.

4.2.2. Pesquisa de Mercado

A pesquisa de mercado será apresentada dividida por partes: as embalagens de madeira (foco de substituição deste trabalho), embalagens de cartão (alternativa comum à embalagem de madeira) e embalagens concetuais (conceitos inovadores, não necessariamente amplamente comercializadas). As embalagens para transporte de vinho encontradas em grandes superfícies e em garrafeiras são tipicamente de madeira, seja para o transporte de uma ou mais garrafas. Na Figura 40 estão representados alguns exemplos de embalagens de madeira, para o transporte de uma ou mais garrafas, com o objetivo de mostrar os formatos mais encontrados desta tipologia de embalagem.



Figura 40 – Embalagens de madeira para o transporte de garrafas de vinho

Contudo, já são algumas as alternativas às embalagens de madeira, que também podem ser vendidas à parte do vinho, por empresas que se dedicam ao seu fabrico. Na Figura 41 estão representados exemplos de embalagens de cartão.



Figura 41 – Embalagens de cartão para o transporte de garrafas de vinho

A embalagem da Figura 42 é apresentada como uma embalagem com conceito inovador, da quinta *Weingut Oberhofer*, na Alemanha, do fabricante *Egger Druck e Medien*, realizada em 2019. A forma está diretamente relacionada com a vinha e a colheita da uva, oferecendo ao consumidor a experiência da colheita ao abrir a embalagem.



Figura 42 – Embalagem Weingut Oberhofer, de Egger Druck e Medien [45]

4.2.3. Conceitos

Após a pesquisa de mercado, e tendo a mesma como ponto de partida, foram idealizados 8 conceitos que pretendem não só ser uma alternativa às embalagens de transporte de vinho tradicionais através da aplicação do compósito desenvolvido, mas também alternativas inovadoras na sua forma e conceito, face às propostas do mercado. Desta forma, de seguida são apresentados os 8 conceitos, com uma breve introdução a cada um e os esboços desenvolvidos.

Conceito 1

Baseado no conceito apresentado na Figura 42, o conceito 1 permite não só o transporte da garrafa, mas permite também a exposição da mesma num balcão ou até mesmo na mesa, quando o vinho está a ser servido. É constituído por uma base, uma lateral com ranhuras onde encaixariam um conjunto de placas para que a embalagem se possa transformar em expositor. Essas placas têm recortes diferentes que permitem adaptar ao formato da garrafa, fazendo assim a sua acomodação de forma mais segura. A Figura 43 ilustra os esboços do conceito 1.

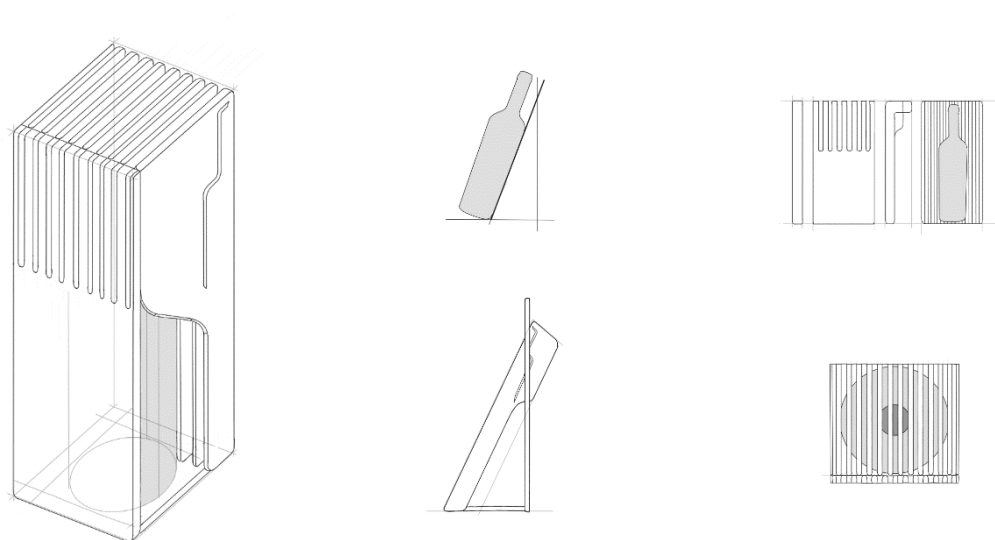


Figura 43 – Esboços do conceito 1

Conceito 2

O conceito 2 consiste numa embalagem montada apenas através de encaixes. As 4 placas que formam as laterais da embalagem, são encaixadas noutras 2 placas que servem de base e tampa da embalagem. Após cumprir a função principal, a embalagem pode ser desmontada, dando origem a uma garrafeira de balcão. A Figura 44 ilustra os esboços do conceito 2.

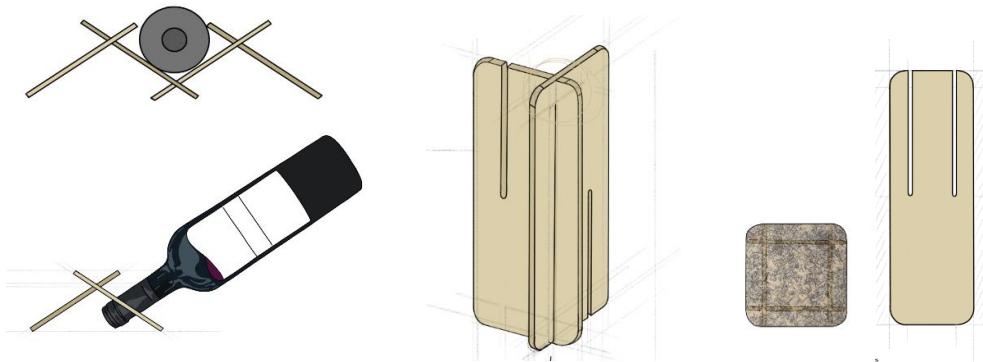


Figura 44 – Esboços do conceito 2

Conceito 3

O conceito 3 é baseado nas embalagens convencionais de madeira, onde a madeira seria substituída pelo compósito desenvolvido. Ainda, na parte da frente, que desliza nas outras laterais da embalagem, estaria um “vitral” com uma das experiências iniciais do desenvolvimento do compósito: o engaçó embebido em cola branca. A Figura 45 ilustra o esboço do conceito 3.

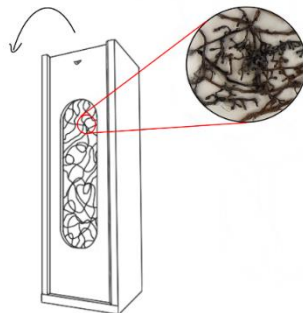


Figura 45 – Esboço do conceito 3

Conceito 4

O conceito 4 é semelhante na forma ao conceito 3. A ideia deste conceito seria transformar a embalagem num expositor/suporte para as garrafas na mesa. A tampa e a parte frontal da embalagem deslizariam ficando um expositor com pega para facilitar o transporte do mesmo. A Figura 46 ilustra o esboço do conceito 4.

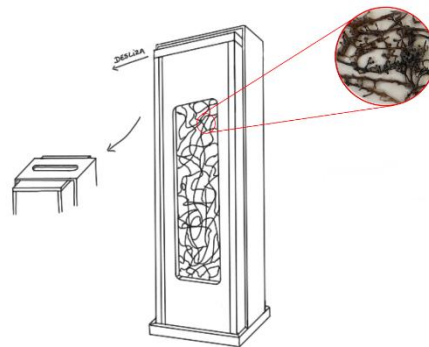


Figura 46 – Esboços do conceito 4

Conceito 5

O conceito 5, para além de se distinguir dos anteriores pela sua forma, o seu sistema de funcionamento é bastante característico. A embalagem seria constituída por duas bases que serviriam, posteriormente, de bases para as garrafas e copos, e por uma placa bastante fina que iria deslizar sob as ranhuras das bases, abrindo a embalagem em formato de “cortina”. A Figura 47 ilustra o esboço do conceito 5.

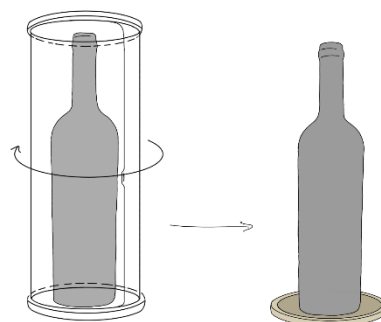


Figura 47 – Esboços do conceito 5

Conceito 6

O conceito 6 foi idealizado a pensar nas temáticas abordadas em conceitos anteriores (ser multifuncional) e na poupança de material. Decidiu-se então que a embalagem se comportaria como expositor de mesa, mesmo quando se encontra disponível para venda. Após a utilização do expositor em casa, a embalagem poderia ser dobrada para facilitar a arrumação e acondicionamento da mesma, através do sistema de cordas instalado nas laterais. A Figura 48 ilustra os esboços do conceito 6.

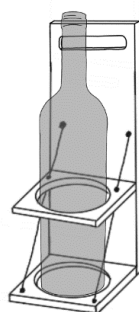


Figura 48 – Esboços do conceito 6

Conceito 7

O conceito 7 consiste, à semelhança do conceito 6, num produto que considera a poupança de material. Este conceito é multifuncional, dividido em 4 peças: duas servem, quando postas na horizontal, para garrafeiras de balcão, a peça maior de suporte e apoio de mesa para a garrafa e, a peça única com espessura maior serve de base de copos ou de garrafas. Quando encaixadas entre si, formam a embalagem. A Figura 49 ilustra os esboços do conceito 7.

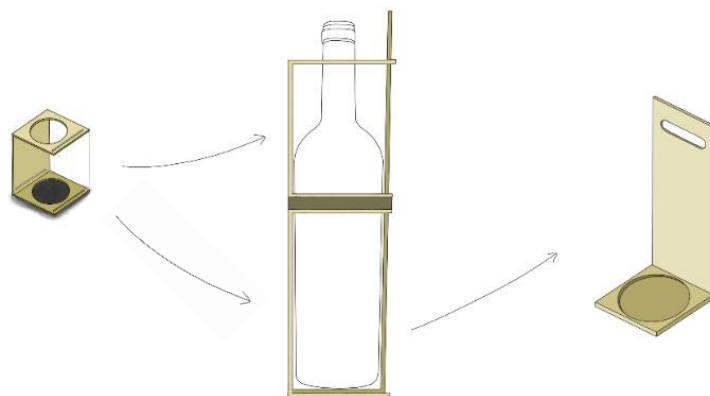


Figura 49 – Esboços do conceito 7

Conceito 8

Inspirado no símbolo da reciclagem e com o objetivo de prolongar o tempo de vida útil do produto, o conceito 8 cumpre o seguinte mote: Reaproveitar/Reciclar (os desperdícios agroalimentares), Reduzir (os desperdícios de material na produção e impacto ambiental), Reutilizar (dar uma 2ª vida ao produto). O conceito 8 diferencia-se dos demais pelo seu formato, em prima triangular, que permite a colocação de mais embalagens numa prateleira do que embalagens com o formato de prismas quadrangulares. Neste conceito, assim como no conceito 7, o mais importante é o prolongamento do tempo de vida útil do produto: depois de cumprir a sua função como embalagem, a tampa poderá servir de apoio para a garrafa quando esta for para a mesa e, ainda, o restante da embalagem poderá servir como garrafeira de balcão. A tira que envolve a embalagem, foi colocada para proteção e impedir que a tampa se solte. É possível também observar no esboço possíveis formas de juntar duas ou mais embalagens para o caso de transportar duas ou mais garrafas. A Figura 50 ilustra os esboços do conceito 8.

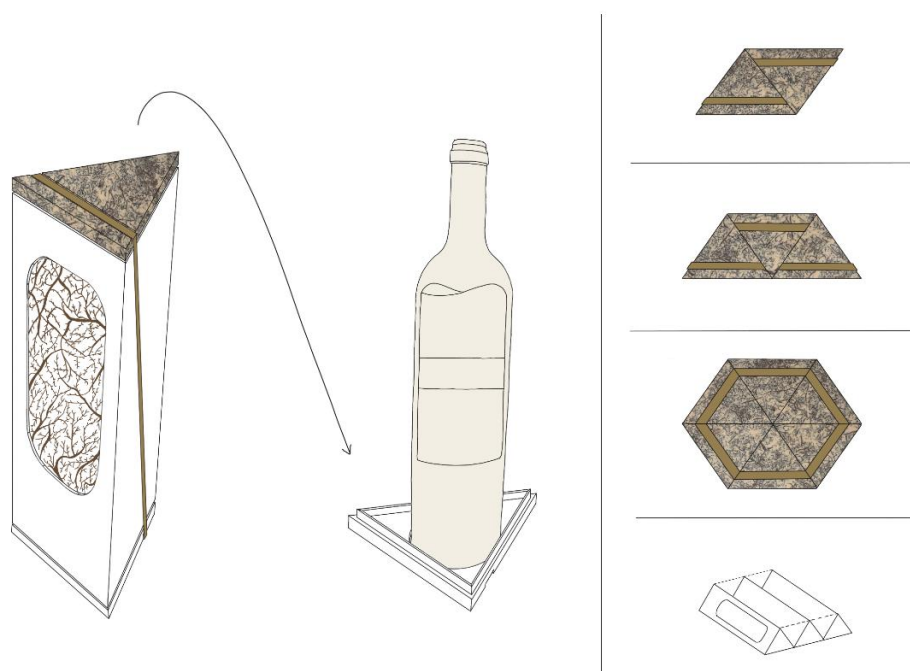


Figura 50 – Esboços do conceito 8

4.2.4. Seleção do Conceito

Após o processo de geração de conceitos, foi necessário selecionar um conceito para, a partir do mesmo, desenvolver o produto. Uma embalagem deve acomodar de forma segura o produto que transporta, deve protegê-lo na eventualidade de uma queda e deve também comunicar com o consumidor. A multifuncionalidade e reaproveitamento num produto, mas em específico numa embalagem, para além de acrescentar valor, torna-o também mais sustentável. A simbologia agregada a um produto (ou conceito) representa um fator importante, consolidando no produto os conceitos e visão de quem o elaborou. Para a seleção de um conceito é igualmente importante considerar a viabilidade do produto face às limitações das tecnologias e do material, no caso, da moldação por compressão e do compósito desenvolvido. Com base nestes critérios, foi elaborada uma matriz de seleção de conceito (Tabela 8) que contém critérios que o produto a desenvolver deve cumprir. O objetivo desta tabela é cruzar cada um dos critérios com cada um dos conceitos, pontuando de 1 a 5, sendo 1 “não cumpre” e 5 “cumpre totalmente”. Após o somatório das pontuações de cada um dos conceitos foi possível eleger o conceito no qual se irá basear o produto.

Tabela 8 – Matriz de seleção de conceito

Critérios	Conceito							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Multifuncionalidade	3	3	1	3	2	3	5	5
Seguro	2	4	5	5	4	3	3	5
Proteção no momento de queda	3	4	5	5	4	2	2	5
Comunicação	4	5	5	5	5	4	5	5
Simbologia	5	4	3	3	3	1	3	5
Viabilidade	2	5	5	5	3	5	5	5
Total	19	25	24	26	21	18	23	30

Com a seleção do conceito 8, iniciou-se a fase de desenvolvimento do conceito que permitiu perceber quais os aspetos a alterar, de forma a tornar o conceito numa proposta de produto funcional. Após a análise do conceito percebeu-se que a forma atribuída à embalagem poderia ser uma condicionante no momento de produção do protótipo e produto, uma vez que o objetivo era produzir a embalagem inteiramente do material compósito desenvolvido. O material compósito foi produzido em placas e, por isso, todos os componentes da embalagem deveriam

ser projetados partindo desse princípio. Assim, foram realizadas alterações ao conceito que permitem elaborar a embalagem, tendo em conta as limitações impostas pelo material. Para sustentar a estrutura da embalagem, foram colocados no interior da mesma, dois níveis que permitem também acomodar melhor a garrafa e impedem que a mesma balance no interior da embalagem. A tampa e a base sofreram também as devidas alterações à sua forma, sendo que possuem numa das suas faces uma ranhura onde deverão encaixar as laterais da embalagem e, na face contrária, possuem uma ranhura onde deverá assentar a fita que envolverá a embalagem. Estas alterações estão representadas na Figura 51.

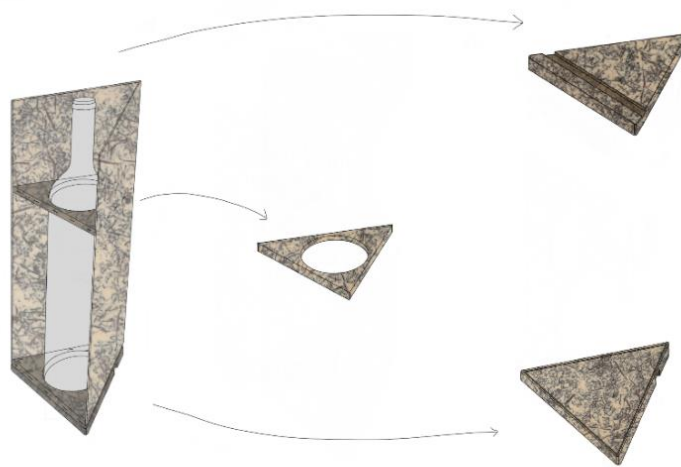


Figura 51 – Esboço dos componentes da embalagem

De seguida, foi realizada a exploração da forma desenhada na parte frontal da embalagem (Figura 52), onde seria colocado o engajo com cola branca, para criar um “vitral” e que permitiria ver a garrafa no interior da embalagem. Contudo, pela dificuldade de fixação do “vitral” à placa, decidiu-se apenas colocar uma abertura a partir de um recorte na placa, que permite a visualização de igual forma de parte da garrafa.

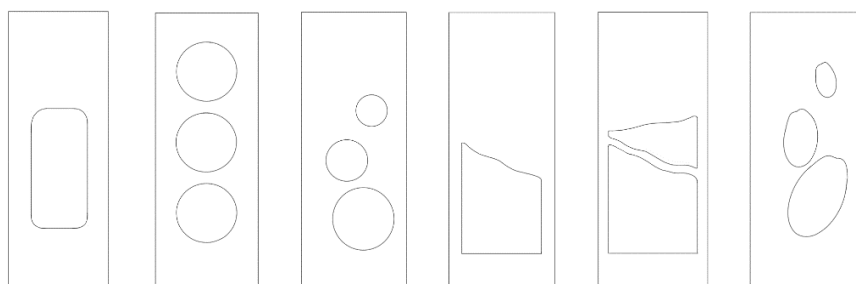


Figura 52 – Esboços da peça frontal da embalagem

Os desenhos evoluíram desde formas mais simples até desenhos inspirados nas vinhas e na vinicultura. Dois dos esboços representados na Figura 52, são referentes às colinas onde assentam as vinhas e, o último, às uvas. Selecionou-se este último pela ligação direta que tem com o engaço e com o vinho. A partir desta ideia, foram elaborados esboços mais completos com diversas disposições para o corte, permitindo contabilizar espaço para a gravação do nome da Quinta e perceber qual a solução mais equilibrada (Figura 53).



Figura 53 – Esboços da peça frontal da embalagem

Por fim, conclui-se o desenvolvimento do conceito, estabelecendo quais os componentes e como ficaria visualmente a embalagem (Figura 54).

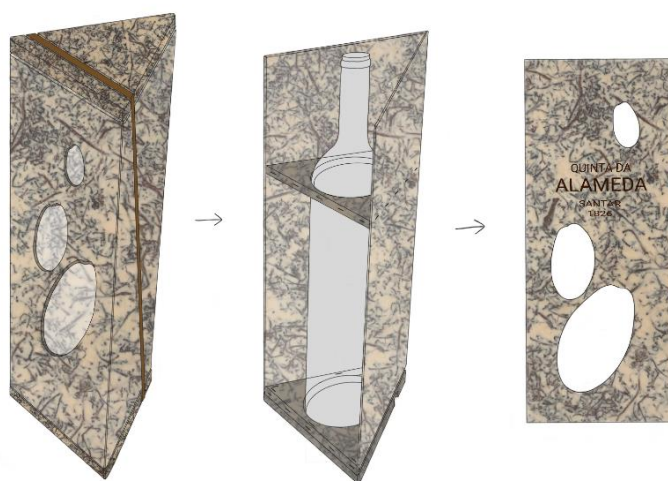


Figura 54 – Projeção final da embalagem

4.2.5. Modelação 3D

A modelação tridimensional da embalagem foi realizada com recurso ao Software de modelação 3D *SolidWorks*. Com a utilização desta ferramenta foi possível obter uma perceção tridimensional do produto. A embalagem foi dimensionada tendo em conta as medidas padronizadas de uma garrafa de vinho de 75cl, garrafa de vidro standard. Desta forma, é possível diminuir a quantidade de material ao máximo, sendo esta uma prática sustentável de desenvolvimento de produto. Foram também contabilizadas as dimensões dos moldes disponíveis para a criação do protótipo. As dimensões da garrafa estão representadas na Figura 55 e, nas Figuras 56 e 57, é possível verificar as dimensões de cada componente da embalagem. No Anexo 4 é possível consultar os desenhos técnicos de cada componente com as dimensões detalhadas.

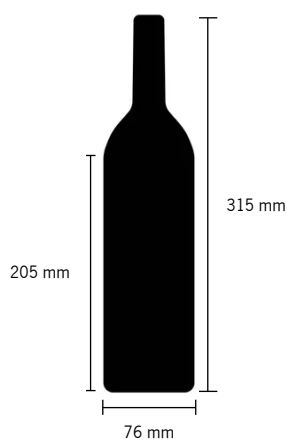
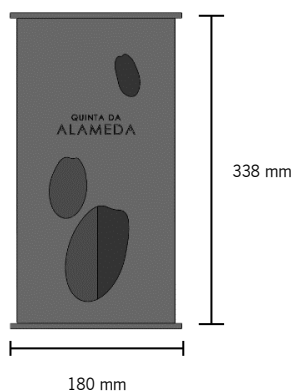


Figura 55 – Dimensões de uma garrafa de 75cl.

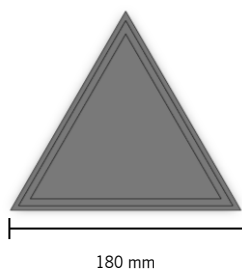


Figura 56 – Representação tridimensional da embalagem

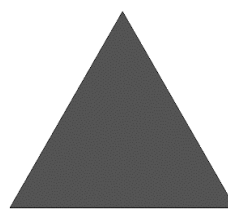
Embalagem



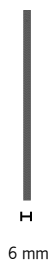
Componentes 1 e 2 – Base e Tapa



Vista de baixo

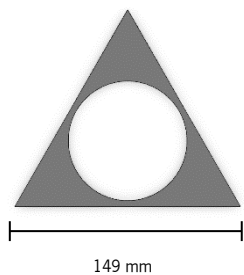


Vista de cima

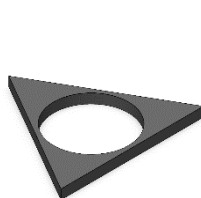


Vista lateral

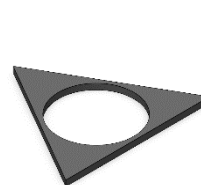
Componentes 3 e 4 – Níveis



Vista de cima

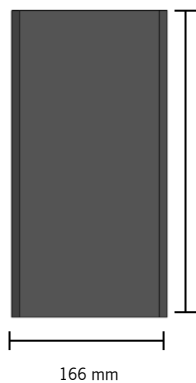


Componente 3 -
Vista lateral



Componente 4 -
Vista lateral

Componentes 5, 6 e 7 – Laterais



Componentes 5 e 6 –
Vista de frente



Componentes 7 –
Vista de frente



Vista lateral

Figura 57 – Dimensões dos componentes da embalagem

Em relação aos esboços iniciais do produto, a espessuras da tampa e da base foram diminuídas, estabelecendo-se uma espessura de 6 mm, para que tivessem menos impacto no peso total do produto. Nas duas peças de suporte (níveis) para a garrafa, para o componente 3 estabeleceu-se uma espessura de 10 mm, uma vez que este componente ajudar a suportar as laterais da embalagem, e para o componente 4 uma espessura de 6mm, uma vez que este se encontra acoplado à base, diminuindo também o impacto no peso do produto. A fita que envolve a embalagem foi retirada, uma vez que a ranhura da tampa foi pensada para entrar sob pressão nas laterais da embalagem, eliminando assim a necessidade para uma fita.

4.3. Prototipagem

Para o desenvolvimento do protótipo, foram desenvolvidas placas de compósito que, posteriormente foram cortadas e gravadas na máquina de corte a laser SK9060, a uma velocidade de corte de 10 mm/s e potência de laser de 80 W nas placas de 5 mm, e de 15 mm/s e 60 W respetivamente, nas placas de 10 mm. Para realizar a gravação recorreu-se a uma velocidade de corte de 20 mm/s e potência do laser de 50 W. Foi selecionada esta tecnologia para o corte das placas para o protótipo pelo rigor do corte do laser. Para a realização dos ângulos das placas onde será feita a união entre laterais das embalagens, recorreu-se a uma lixa de fita elétrica.

4.3.1. Produção das Placas

Para a realização do protótipo, as dimensões das placas foram adaptadas para moldes de 350x350x5 mm (Figura 58). Estas placas foram produzidas na prensa hidráulica CR Clarke & Co R30, cumprindo os parâmetros e métodos de moldação por compressão estabelecidos no capítulo 3, relacionados com a técnica de produção de placas selecionada (técnica 2). Contudo, devido ao volume do engajo e impossibilidade de prensar o mesmo, previamente, sem molde, foi adicionado apenas 20% de carga. As placas têm um peso total de 900g. Nas Figuras 60 e 61 é possível observar a formação de placas para o protótipo e os resultados obtidos, respetivamente.



Figura 58 – Prensa CR Clarke & Co R30 e molde – 350x350x5 mm

Antes da formação das placas, os engaços passaram por um processo de seleção, onde os engaços com mais espessura eram retirados (para não criarem zonas mais frágeis) e os restantes passados por uma peneira para retirar as partículas mais pequenas que ficam depositadas inevitavelmente no fundo do molde e numa das faces das placas (Figura 59).

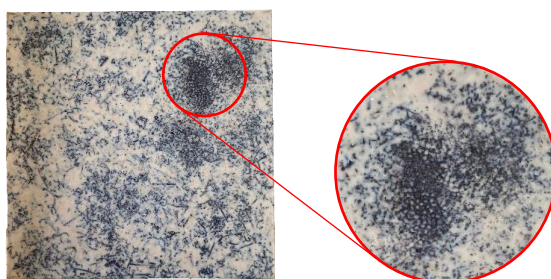


Figura 59 – Depósito de partículas numa placa teste

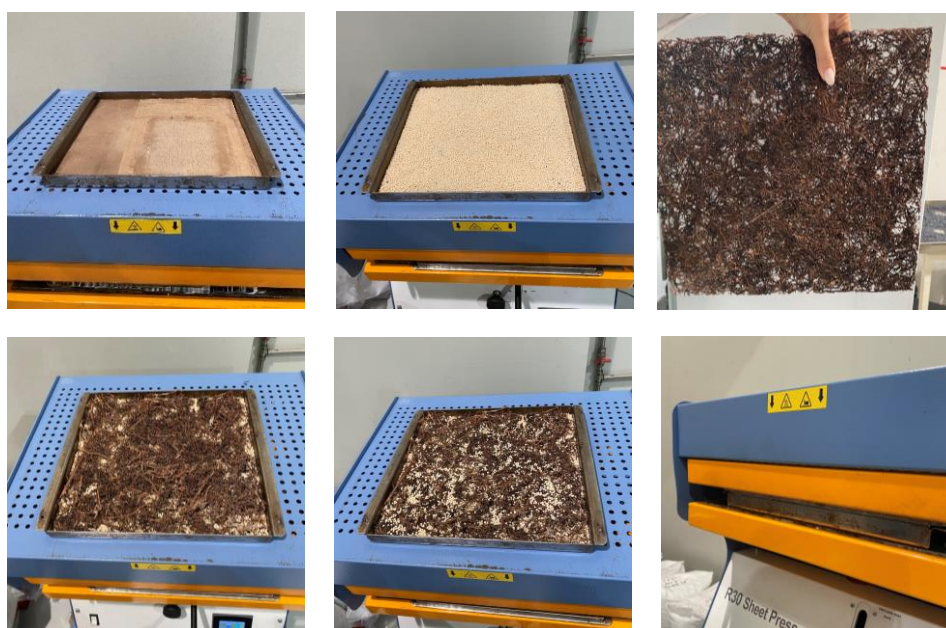


Figura 60 – Processo de formação de placas para o protótipo



Figura 61 – Resultado das placas para o protótipo

Para além das placas de maiores dimensões, foi também necessário a formação de placas com mais espessura, para a criação dos componentes 1, 2, 3 e 4. No caso, foram utilizados moldes de 200x200x10mm e 250x250x6mm (Figura 62). Estas placas foram produzidas com recurso às prensas hidráulicas e cumprindo os parâmetros e métodos de moldação por compressão estabelecidos no capítulo 3. Nas Figuras 63 e 64 é possível observar a formação de placas para o protótipo e os resultados obtidos, respetivamente.

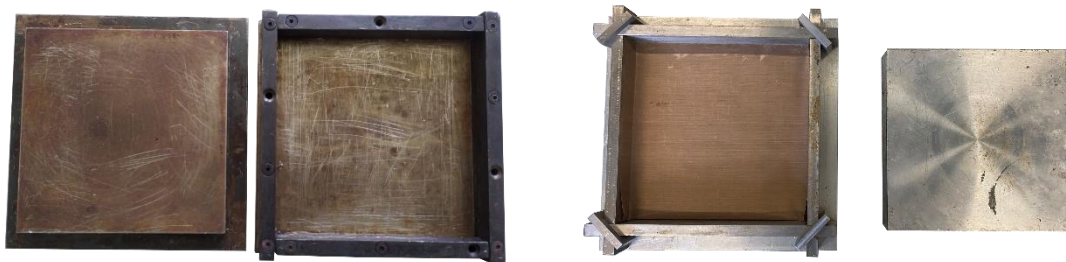


Figura 62 – Moldes – 200x200x10mm e 250x250x6mm, respetivamente



Figura 63 – Processo de formação de placas para o protótipo



Figura 64 – Resultado das placas para o protótipo

4.3.2. Protótipo

Primeiramente, foi efetuado o corte e gravação a laser dos componentes da embalagem (Figura 65). O processo decorreu sem problemas, apesar da espessura de algumas placas. Contudo, algumas placas ficaram um pouco manchadas pela passagem do laser. Mesmo com ajustes à potência do laser, as placas continuavam a manchar e, nas laterais, pelo facto do laser entrar em contacto com o engajo, criaram-se manchas queimadas. Outro fator que pode ter influenciado este desfecho foi o equipamento, uma vez que não era próprio para o corte de polímeros. Sendo assim, acredita-se que o corte a laser seria uma opção viável para o corte das placas no processo industrial, com o equipamento adequado e potência do laser ajustada.

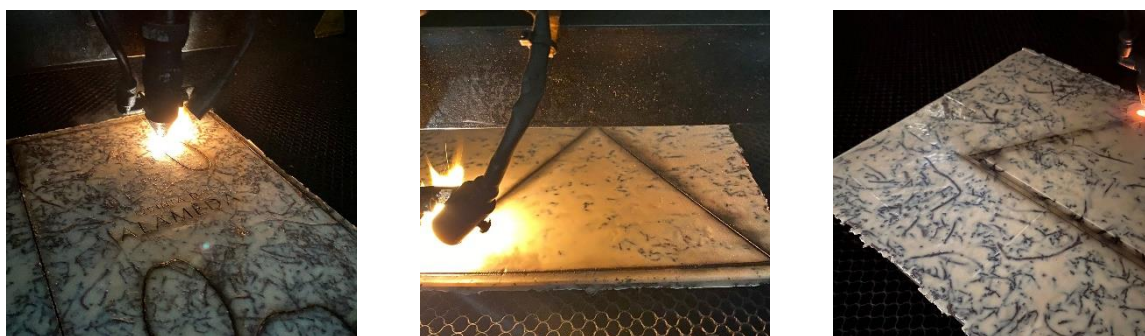


Figura 65 – Processo de corte e gravação a laser das placas de compósito

Após a obtenção dos componentes, foi necessário montar o protótipo. Como o protótipo não foi desenvolvido tendo em consideração o processo de industrialização, mas sim adaptado às possibilidades para a realização do mesmo, escolheu-se o método de agramos para a montagem. Dentro das soluções que poderiam ser consideradas, optou-se por esta. A Figura 66 ilustra o processo de montagem do protótipo.

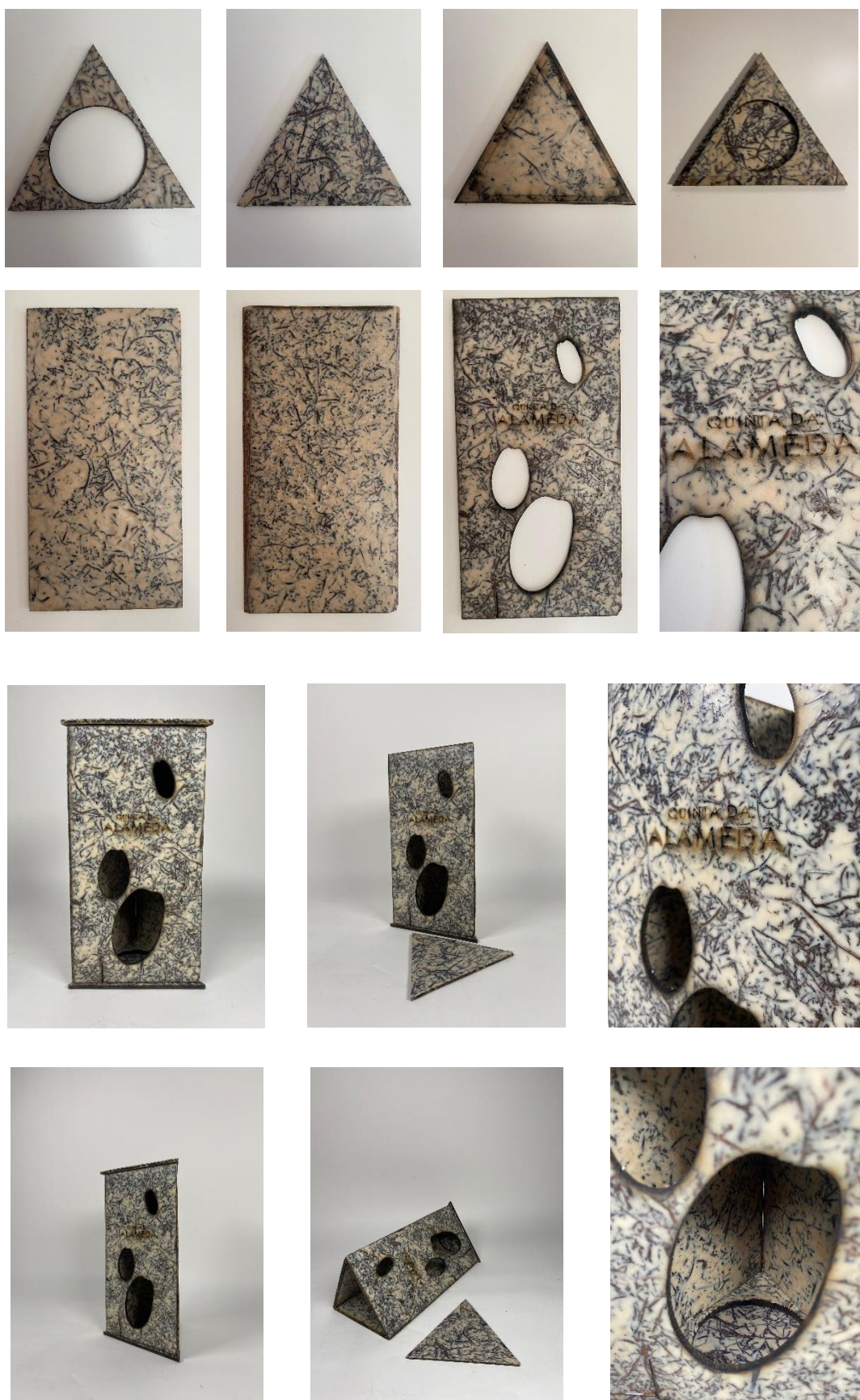


Figura 66 – Processo de montagem do protótipo

O protótipo foi desenvolvido com o intuito de validar, esteticamente, a utilização das placas aplicadas a uma embalagem. Após o desenvolvimento do protótipo, percebe-se que a geometria da embalagem precisaria, em futuras fases de prototipagem, de otimização no dimensionamento. De forma a melhorar o processo de acoplamento dos componentes, as espessuras das placas poderiam ser aumentadas para 10mm, melhorando também a resistência da embalagem. Por outro lado, essa alteração afetaria, consideravelmente, o peso da embalagem. Contudo, com o resultado do protótipo, percebeu-se que, com as devidas alterações, aplicar o compósito desenvolvido a embalagens de vinho seria viável. Os compósitos poderiam ser aplicados noutros produtos, como superfícies para mobiliário.

4.3.3. Produto num ambiente real e imagens virtuais

O protótipo desenvolvido encontra-se à escala real e, para uma melhor perceção da interação do produto com o utilizador, a inserção do produto no espaço e as funções que o mesmo desempenha, foram realizadas imagens virtuais (Figuras 67 e 68) e fotografias num ambiente real (Figuras 69 e 70) com o protótipo, que complementam com a utilização de embalagens, de forma a perceber-se a utilização do produto como garrafeira.



Figura 67 – Imagens virtuais do produto



Figura 68 – Imagens virtuais do produto



Figura 69 – Imagens do produto num espaço real



Figura 70 – Imagens do produto num espaço real

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1. Conclusão

O objetivo principal desta dissertação foi a valorização dos resíduos agroalimentares da vinicultura, e o desenvolvimento de um compósito biodegradável com o engaço de uva, com a integração de materiais complementares. Neste parâmetro, provou-se que os resíduos da produção vinícola, especificamente o engaço, são matérias de fácil valorização e conjugação com matrizes poliméricas que, no futuro, poderão oferecer uma panóplia de soluções sustentáveis para a substituição de certas matérias virgens em embalagens. Ainda, a valorização destes resíduos acrescenta valor à cadeia de produção, uma vez que deixaria de ser necessário o investimento em algumas matérias-primas virgens, aplicando, simultaneamente, o conceito de economia circular. No que toca ao desenvolvimento de produto, a embalagem resultante deste estudo prova que é possível desenvolver um produto com matérias residuais previamente desperdiçadas, quando incorporadas com outras matrizes. A simbiose, neste contexto, só resulta se a matéria conjugada com os resíduos biodegradáveis for igualmente biodegradável, obtendo um material sustentável, quer nas matérias utilizadas, na utilização do produto e no descarte do mesmo. A prática do desenvolvimento sustentável implica a criação de um produto, tendo em conta estes fatores, assim como a produção do material complementar ao resíduo e a produção do compósito. Para tal, o produto resultante deste estudo é multifuncional, garantindo assim prolongar o tempo de vida útil do produto, atribuindo outras funcionalidades para além da sua função principal: o transporte e acomodação de garrafas de vidro. Na fase de desenvolvimento do compósito foi importante perceber o comportamento da carga face ao método de produção selecionado, a moldação por compressão. Após o resultado positivo de um primeiro teste ao resíduo, percebeu-se o potencial do mesmo ao ser conjugado com um material polimérico como o biopolímero F10. Os ensaios de caracterização mecânica permitiram concluir que a adição de cargas até aos 25% terá um comportamento mecânico satisfatório. Contudo, a utilização das fibras do engaço sem recurso a trituração prévia, permite concluir que, apesar do resultado visual positivo, mecanicamente, o material compósito poderá beneficiar dessa trituração. Por fim, as limitações inerentes ao material compósito e o seu formato provaram-se desafiadoras na criação de uma embalagem. Contudo, o resultado demonstra potencial de utilização e comercialização, assim como potencial para melhoramento, nos métodos de produção e desenvolvimento do produto.

5.2. Trabalhos Futuros

Com o desenvolvimento desta dissertação percebeu-se que certos aspetos do trabalho teriam potencial para melhoramento. A trituração do engajo em fibras menores, sem perder a essência visual do resíduo, seria um ponto a explorar, permitindo depois a comparação mecânica entre os dois compósitos, de forma perceber exatamente qual o impacto, se negativo ou positivo, das fibras sem sofrerem alterações. Neste sentido, também seria interessante perceber se um tratamento químico prévio às fibras de engajo teria impacto no processo de formação do compósito e no comportamento mecânico do mesmo. Um ponto relevante para a industrialização do compósito e do produto, é o desenvolvimento de placas em prensas com maiores dimensões. Num processo industrial, as prensas hidráulicas seriam maiores para a otimização do processo. Para tal, é necessário perceber se e quais seriam as adaptações necessárias ao processo de formação do compósito. Ao mesmo tempo, seria importante testar outras espessuras de placas, de forma a avaliar outras soluções mais eficientes e sustentáveis que a solução apresentada. Por fim, seria interessante a introdução de novas técnicas para aplicar à construção das embalagens, como por exemplo a utilização de colas biodegradáveis.

6. Referências Bibliográficas

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Global Forest Resources Assessment 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en>
- [2] Parlamento Europeu. (2023). As causas da desflorestação e as medidas da União Europeia para as combater. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20221019STO44561/as-causas-da-desflorestacao-e-a-resposta-da-ue>
- [3] Comissão Europeia. (2021). Nova Estratégia da EU para as Florestas 2030. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572>
- [4] Conselho Europeu. (2024). Desflorestação. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/deforestation/>
- [5] Agri-Food Waste. (n.d.). Encyclopedia.pub. Disponível em: <https://encyclopedia.pub/entry/3650>
- [6] Ferri, M., Vannini, M., Ehrnell, M., Eliasson, L., Xanthakis, E., Monari, S., Sisti, L., Marchese, P., Celli, A., & Tassoni, A. (2020). From Winery waste to bioactive compounds and new polymeric biocomposites: A contribution to the circular economy concept. *Journal of Advanced Research*, 24, 1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.015>
- [7] General Multilingual Environmental Thesaurus (GEMET) Agricultural waste definition. Disponível em: <https://www.eionet.europa.eu/gemet/en/concept/229>
- [8] Comissão Europeia, Eurostat. (2023). Packaging waste statistics. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics
- [9] Comissão Europeia. (2022). Pacto Ecológico Europeu: Pôr termo ao desperdício das embalagens, promovendo a reutilização e a reciclagem. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/ip_22_7155?fbclid=IwAR17DTjpv2Z22Wf8tQ73xYvoQ7yjuvXVeT8kZhrYDEri9eMkrz4XJrS-eAA
- [10] Parlamento Europeu. (2023). Economia circular: definição, importância e benefícios. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20151201STO05603/economia-circular-definicao-importancia-e-beneficios>

- [11] Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (n.d.). Economia Circular. Disponível em: <https://apambiente.pt/apa/economia-circular>
- [12] Direção-Geral das Atividades Económicas (DGAE). (n.d.). Sustentabilidade Empresarial. Economia Circular. Disponível em: <https://www.dgae.gov.pt/servicos/sustentabilidade-empresarial/economia-circular.aspx>
- [13] Parlamento Europeu. (2020). Como promover um consumo sustentável. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20201119STO92005/como-promover-o-consumo-sustentavel>
- [14] Organização das Nações Unidas (ONU). (2015). Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 Objetivos para Transformar o nosso Mundo. Objetivo 12 – Produção e Consumo Sustentáveis. Disponível em: <https://unric.org/pt/objetivo-12-producao-e-consumo-sustentaveis/>
- [15] Organização das Nações Unidas (ONU). (n.d.). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- [16] International Organization of Vine and Wine (OIV). (2022). Database. Disponível em: <https://www.oiv.int/what-we-do/data-discovery-report?oiv>
- [17] Prozil, O. S., Mendes, A. J., Evtuguin, V. D., Lopes Cruz, P. L. (2013). Caracterização química e estrutural do engaço da uva e avaliação do seu potencial como matéri-prima lenhocelulósica. *Millenium*, N°44, 23-40. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4400212>
- [18] Romeu, V., Cardoso, V., Peixoto, F., (2013) Valorização integrada dos bioprodutos da indústria vitivinícola: novas oportunidades de desenvolvimento regional. *Biotecnologia*, 2013, 19-20.
- [19] Spigno, G., Pizzorno, T., De Faveri, M. D. (2008). Cellulose and hemiceluloses recovery from grape stalks. *Bioresource Technology*, Vol. 99, Issue 10, 4329-4337. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.044>
- [20] Silva, L. M. L. R., (2003). Caracterização dos subprodutos da vinificação. *RE*, 28, Outubro de 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.19/594>

- [21] Borsoi, C., Menin, C., Lavoratti, A., Zattera, J. A., (2019). Grape stalk fibers as reinforcing filler for polymer composites with a polystyrene matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 136, Issue 18. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/app.47427>
- [22] Nerantzis, E., Tataridis, P. (2006). Integrated Enology Utilization of Winery by-products into high added value products. *E-Journal of Science and Technology (e-JST)*. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237699859_Integrated_Enology_Utilization_of_winery_by-products_into_high_added_value_products
- [23] Engel, B. J., Ambrosi, A., Tessaro, C. I. (2019). Development of biodegradable strach-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 225, 1 December 2019, 115234. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115234>
- [24] Nanni, A., Messori, M. (2020). Thermo-mechanical properties and creep modelling of wine lees filled Polyamide 11 (PA11) and Polybutylene succinate (PBS) bio-composites. *Composites Science and Technology*, Vol. 188, 1 March 2020, 107974. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.107974>
- [25] El Achaby, M., El Miri, N., Hannache, H., Gmouh, S., Ben youcef, H., Aboulkas, A. (2018). Production of cellulose nanocrystals from vine shots and their use for the development of nanocomposite materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 117, 1 October 2018, 592-600. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.201>
- [26] Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M., Rafik, M., Elharfi, A. (2021) Polymer composite materials: A comprehensive review. *Composite Structures*, Vol. 262, 15 April 2021, 113640. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113640>
- [27] Hyer, W. M., White, R. S. (2009) *Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials*. DEStech Publications, Inc. Capítulo 1. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=qgTVpw_uACoC&lpg=PR13&dq=stress%20analysis%20of%20fiber-reinforced%20composite%20materials&lr&hl=pt-PT&pg=PR13#v=onepage&q=stress%20analysis%20of%20fiber-reinforced%20composite%20materials&f=false
- [28] Ishizaki, H. M., Visconte, Y. L. L., Furtado, G. R. C., Leite, M. A. C. M., Leblanc, L. J. (2006). Composição mecânica e morfológica de compósitos de polipropileno e fibras dx e coco verde: influência do teor de fibra e das condições da mistura. *Polímeros*, Vol. 6, Issue 3. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282006000300006>

- [29] Balzer, S. P., Vicente., L. L., Briesemeister, R., Becker, D., Soldi, V., Rodolfo Jr., A., Feltran., B. M. (2007). Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. *Polímeros*, Vol. 17, Issue 1. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14282007000100004>
- [30] Joseph, K., Medeiros, S. E., Carvalho, H. L., (1999) Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. *Polímeros*, Vol. 9, Issue 4. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000400023>
- [31] Gupta, M. K., Srivastava, R. K., Bisaria, H. (2015) Potential of Jute Fiber Reinforced Polymer Composites: A Review. *International Journal of Fiber and Textile Research*, ISSN 2277-7156, 30-38. Disponível em: https://kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/Potential_of_Jute_Fibre_Reinforced_Polym.pdf
- [32] Engel, J., Tessaro, C. I., (2019) Development of Cassava Starch-Based Foam Incorporated with Grape Stalks Using na Experimental Design. *Journal of Polymers and th Environment*, Vol. 27, 2853-2866. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01566-0>
- [33] Nanni, A., Cancelli, U., Montevecchi, G., Masino, F., Messori, M., Antonelli, A. (2021) Functionalization and use of grape stalks as poly(butylene succinate) (PBS) reinforcing fillers. *Waste Management*, Vol. 126, 538-548. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.050>
- [34] David, G., Vannini, M., Sisti, L., Marchese, P., Celli, A., Gontard, N., Angellier-Coussy, H. (2020) Eco-Conversion of Two Winery Lignocellulosic Waste sinto Fillers for Biocomposites: Vine Shoots and Wine Pomaces. Disponível em: 1530; <https://doi.org/10.3390/polym12071530>
- [35] Saccani, A., Sisti, L., Manzi, S., Fiorini, M., (2018) PLA composites formulated Recycling residuals of the winery industry. *Polymer Composites*, Vol. 40, 4ª Edição, 1378-1383. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pc.24870>
- [36] Park, C. H., Lee, W. I. (2012). Compression molding in polymer matrix composites. *Manufacturing Tchniques for Polyme Matrix Composites (PMCs)*, 47-94. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857096258.1.47>

- [37] Middleton, B. (2016). Composites: Manufactures and Application. Design and Manufacture of Plastic Components for Multifunctionality, 53-101. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-34061-8.00003-X>
- [38] Tatara, R. A. (2017) Compression Molding. Applied Plastics Engineering Handbook, 2ª Edição, 291-320. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00014-6>
- [39] Saravanan, P., Emami, N. (2021) Sustainable tribology: Processing and characterization of multiscale thermoplastic composites within hydropower applications. Tribology of Polymer Composites, Capítulo 13, 241-277. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819767-7.00013-X>
- [40] Wang, M., Guo, L., Sun, H. (2019) Manufacture of Biomaterials. Encyclopedia of Biomedical Engineering, Vol. 1, 116-134. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.11027-X>
- [41] Kent, R. (2018) Processing. Energy Management in Plastics Processing, 3ª Edição, Capítulo 5, 211-318. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102507-9.50005-2>
- [42] Mitschang, K., Hildebrandt, P. (2012) Polymer and composite moulding technologies for automotive applications. Advanced Materials in Automotive Engineering, 210-229. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9780857095466.210>
- [43] Simmonds, G., Spence, C., (2017) Thinking inside the box: How seeing products on, or through, the packaging influences consumer perceptions and purchase behaviour. Food Quality na Preference, Vol. 62, 340-351. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.11.010>
- [44] Ipsos (2018) Most Americans Say That the Design of a Product's Packaging Often Influences Their Purchase Decisions. Disponivem em: <https://www.ipsos.com/en-us/news-polls/Most-Americans-Say-That-the-Design-of-a-Products-Packaging-Often-Influences-Their-Purchase-Decisions>
- [45] EGGER Druck + Medien (2019) Disponível em: <https://www.eggerdruck.de/deutscher-verpackungspreis-2019.html>

7. Anexos

Anexo 1 – Ficha Técnica do Biopolímero da gama Inzea F10, da Nurel

INZEA® BIOPOLYMERS PRODUCT GRADES

FLEXIBLE GRADES

GENERAL PROPERTIES	METHOD	UNITS	F10*	F13	F10 BC50	F10 BC60	FH11	F11	F09E*	F08*
% Biobased content	ASTMD 6866	%	32	38	54	60	40	-	-	-
% Renewable content		%	40	45	58	65	40	40	25	<10
MVR (190°C/2, 16 Kg)	ISO 1133	cc/10min	<5	<3	<5	<5	<5	<5	<7	<7
Moisture content	NAPPA-032	%	<0,6	<1	<1	<1	<1	<0.6	<1	<1

MECHANICAL PROPERTIES										
Thickness	Internal	µm	20	20	12	12	12	20	20	20
Modulus	ISO 527-3	MPa	200	300	100	300	400	200	100	300
Stress at yield MD	ISO 527-3	MPa	7	8	10	10	15	8	8	10
Strain at yield MD	ISO 527-3	%	7	5	10	3	6	10	10	10
Stress at break MD	ISO 527-3	MPa	20	23	20	20	42	19	27	25
Strain at break MD	ISO 527-3	%	200 - 300	150 - 200	100 - 150	60 - 70	150 - 200	200 - 300	350 - 400	250 - 350
Tear Force TD	ISO 6383-1	N	2.2	0.8	1.4	0.4	0.7	2.1	3.3	3.5
Tear Strength TD	ISO 6383-1	N/mm	105	40	120	25	60	100	150	160
Puncture Force	ISO 14477	N	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.6	0.8	0.6
Puncture Elongation	ISO 14477	mm	2.7	2.4	1.5	1.3	0.8	2.7	3.5	2.2
Puncture Strength	ISO 14477	mJ	1.0	0.9	0.3	0.3	0.2	1.0	1.7	0.8
Haze	ASTM D1003	%	>80	>80	>80	>80	16	>80	>80	>80

COMPOSTABILITY CERTIFICATIONS										
OK Compost	EN 13432		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
HOME OK Compost			✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-
Biodegradable in Soil	EN 17033		✓	-	-	-	-	-	✓	✓

PROCESSING SUGGESTIONS										
Blown Film Extrusion			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cast & Thermoforming Extrusion			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Profiles & Filaments Extrusion			-	-	-	-	-	-	-	-
Extrusion Blow Moulding			-	-	-	-	-	-	-	-
Injection Moulding			-	-	-	-	-	-	-	-
Injection Blow Moulding			-	-	-	-	-	-	-	-

Home compost										
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo 2 – Ficha Técnica do Biopolímero da gama Inzea F38, da Nurel

INZEA® BIOPOLYMERS PRODUCT GRADES

RIGID GRADES

PHYSICAL PROPERTIES	CONDITIONS	TEST METHOD	UNIT	F58 AL30	F58 AL40	F22	F25	F38
% Renewable content			%	>30	>40	>60	>75	>70
Moisture content		NAPPA-032	%	<0.5	<0.5	<1	<1	<1
Melting Temperature (DSC)	10°C/min	ISO 3146	°C	110 - 120	110 - 120	140-155	140-155	140-155

MECHANICAL PROPERTIES (Molded amorphous with 20°C mould temperature)				
Heat Deflection Temperature (HDT)	0,45 Mpa	ISO 75-1/-2	°C	
Tensile modulus	23°C, 1mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	720
Tensile strength	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	14
Elongation at yield	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	16
Elongation at break	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	4
Flexural modulus	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	100
Flexural strength	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	650
Charpy notched impact strength	23°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	30
				3.0

MECHANICAL PROPERTIES (Molded crystalline with 100-120°C mould or cold injection+ reheating in an oven)				
Heat Deflection Temperature (HDT)	0,45 Mpa	ISO 75-1/-2	°C	
Tensile modulus	23°C, 1mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	-
Tensile strength	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	MPa	-
Elongation at yield	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	-
Elongation at break	23°C, 50mm/min	ISO 527-1/-2	%	-
Flexural modulus	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	-
Flexural strength	23°C, 2mm/min	ISO 178	MPa	-
Charpy notched impact strength	23°C	ISO 179/1eA	kJ/m²	-

COMPOSTABILITY CERTIFICATIONS				
OK Compost		EN 13432		
HOME OK Compost				
Biodegradable in Soil		EN 17033		

PROCESSING SUGGESTIONS				
Blown Film Extrusion				
Cast & Thermoforming Extrusion				
Profiles & Filaments Extrusion				
Extrusion Blow Moulding				
Injection Moulding				
Injection Blow Moulding				

F58 AL30	F58 AL40	F22	F25	F38
		60	60	60
720	970	1100	1700	2300
14	13	16	20	46
		4	2	2.7
100	20	20	3	20
650	900	1100	1600	2200
30	30	26	28	55
3.0	2.0	4.0	2.0	5.6

-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

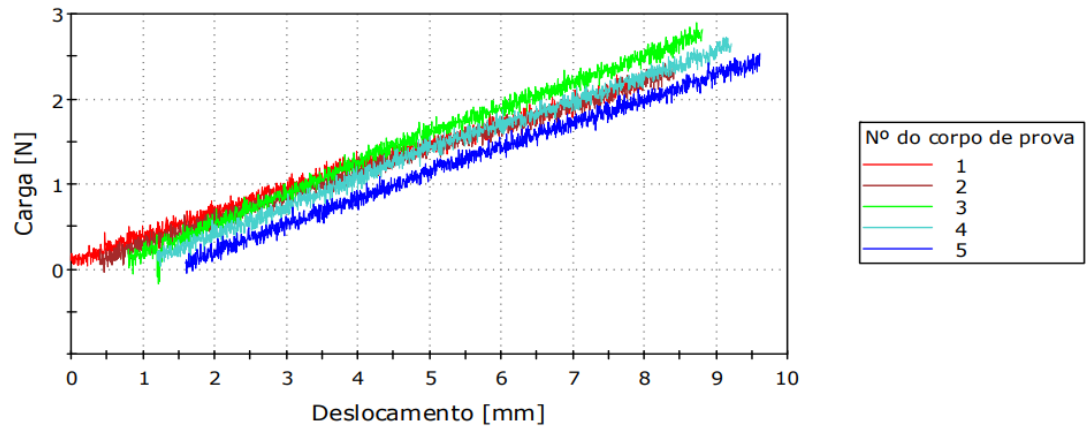
✓	✓	✓	✓	✓
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

-	-	-	-	-
✓	✓	✓	✓	✓
✓	✓	✓	✓	✓
-	-	-	-	✓
✓	✓	✓	✓	✓
-	-	-	-	✓

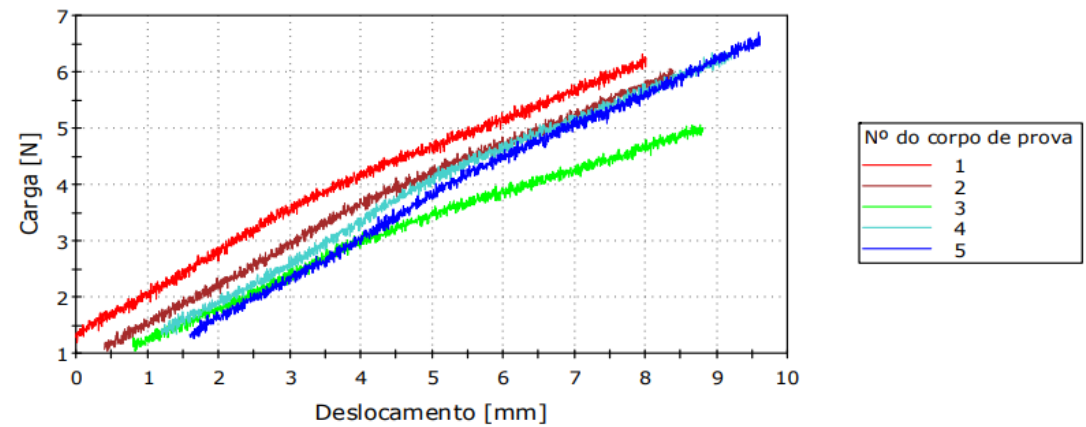
Full food contact	
-------------------	--

Anexo 3 – Curvas de Tensão – Deformação / ensaios de flexão

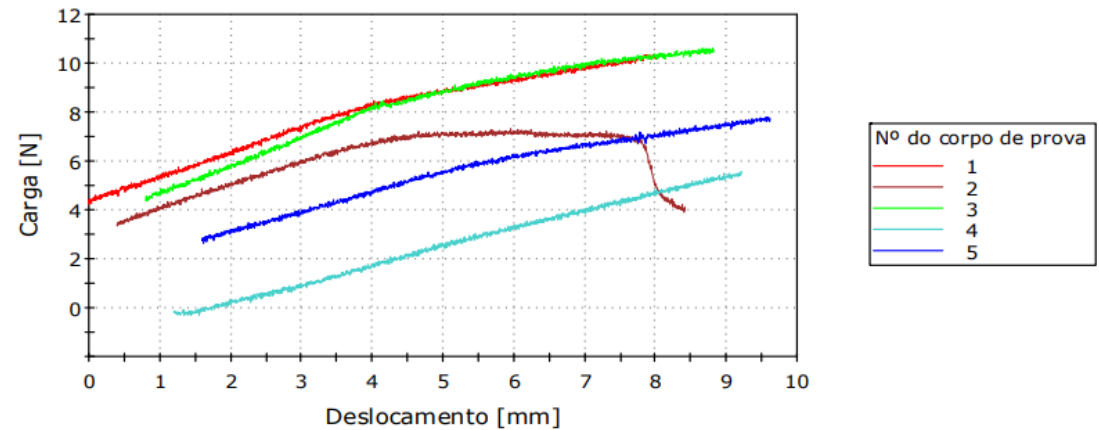
F10 – sem adição de carga



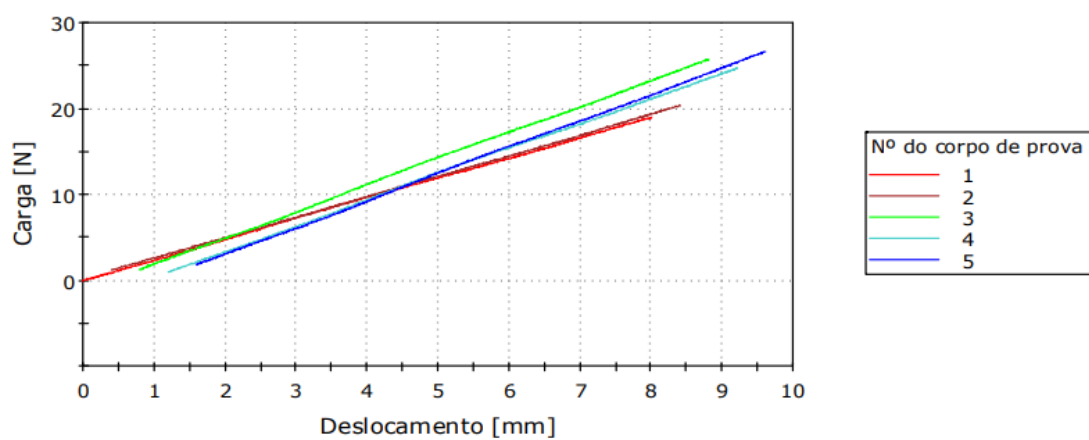
F10 – 25% de carga



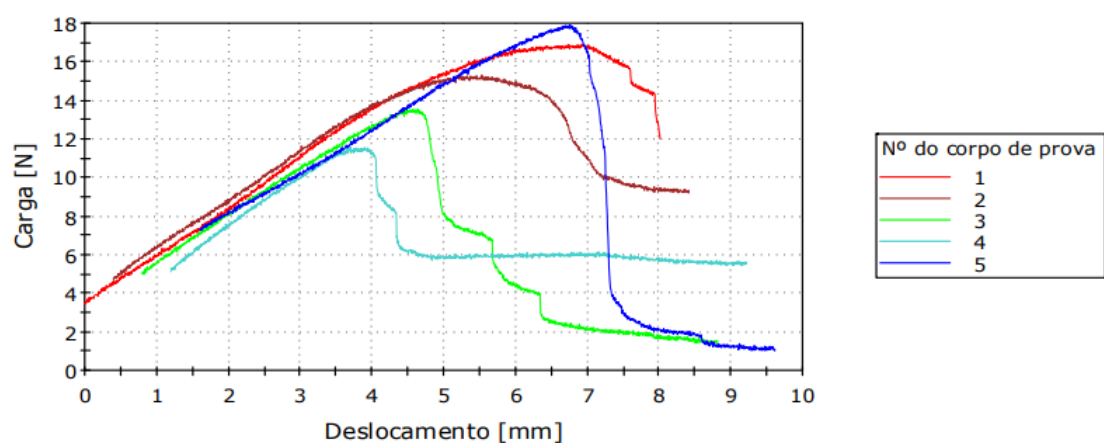
F10 – 50% de carga



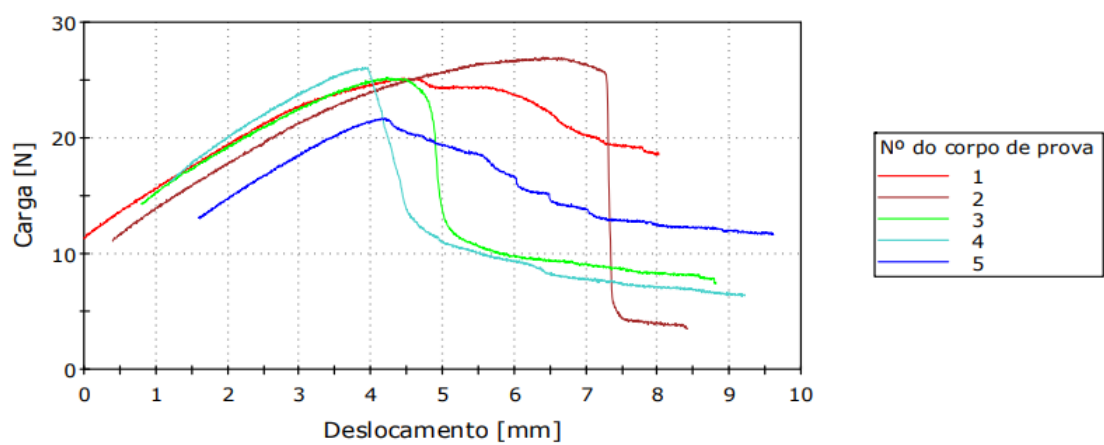
F38 – sem adição de carga



F38 – 25% de carga

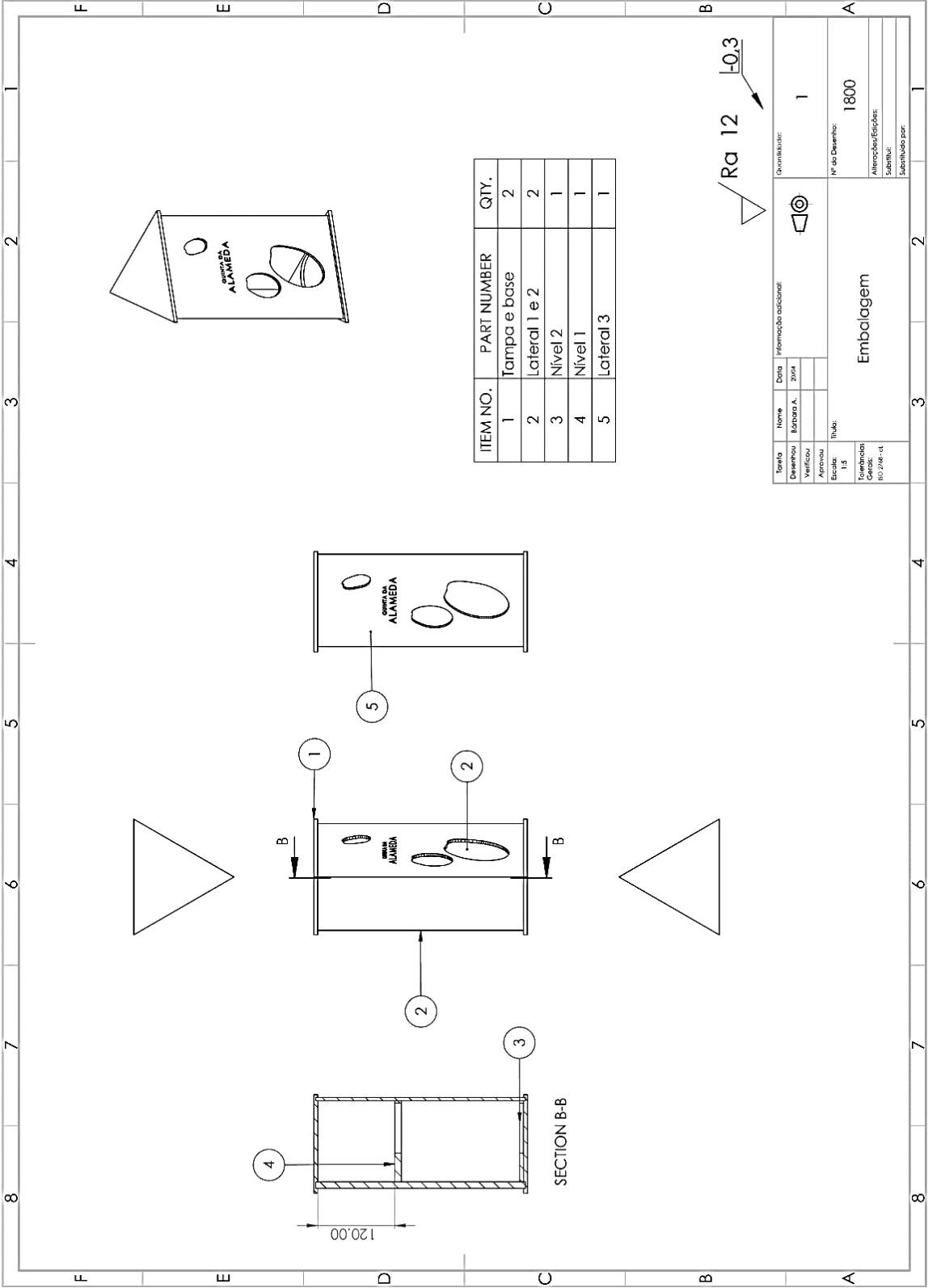


F38 – 50% de carga

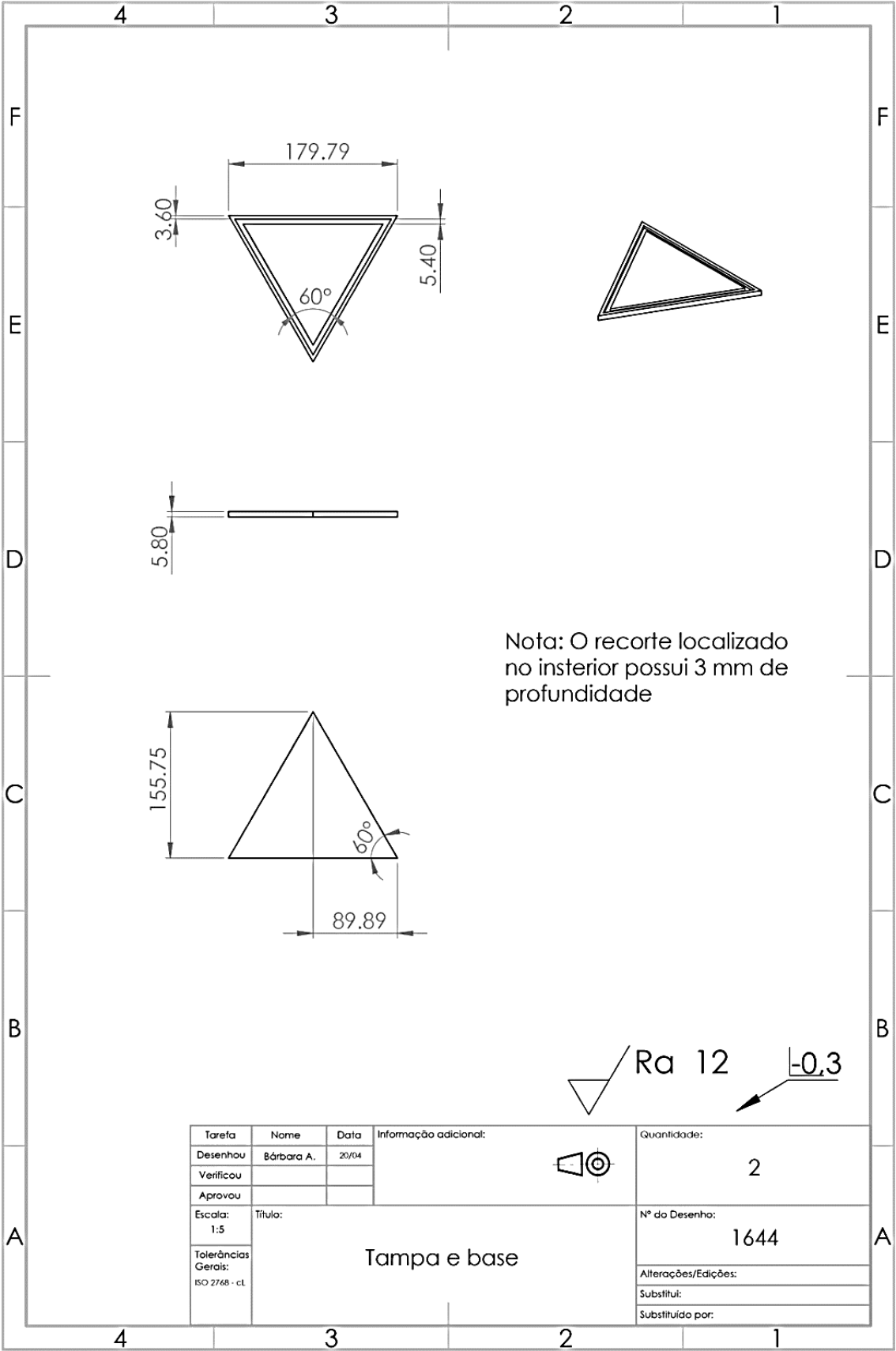


Anexo 4 – Desenhos Técnicos

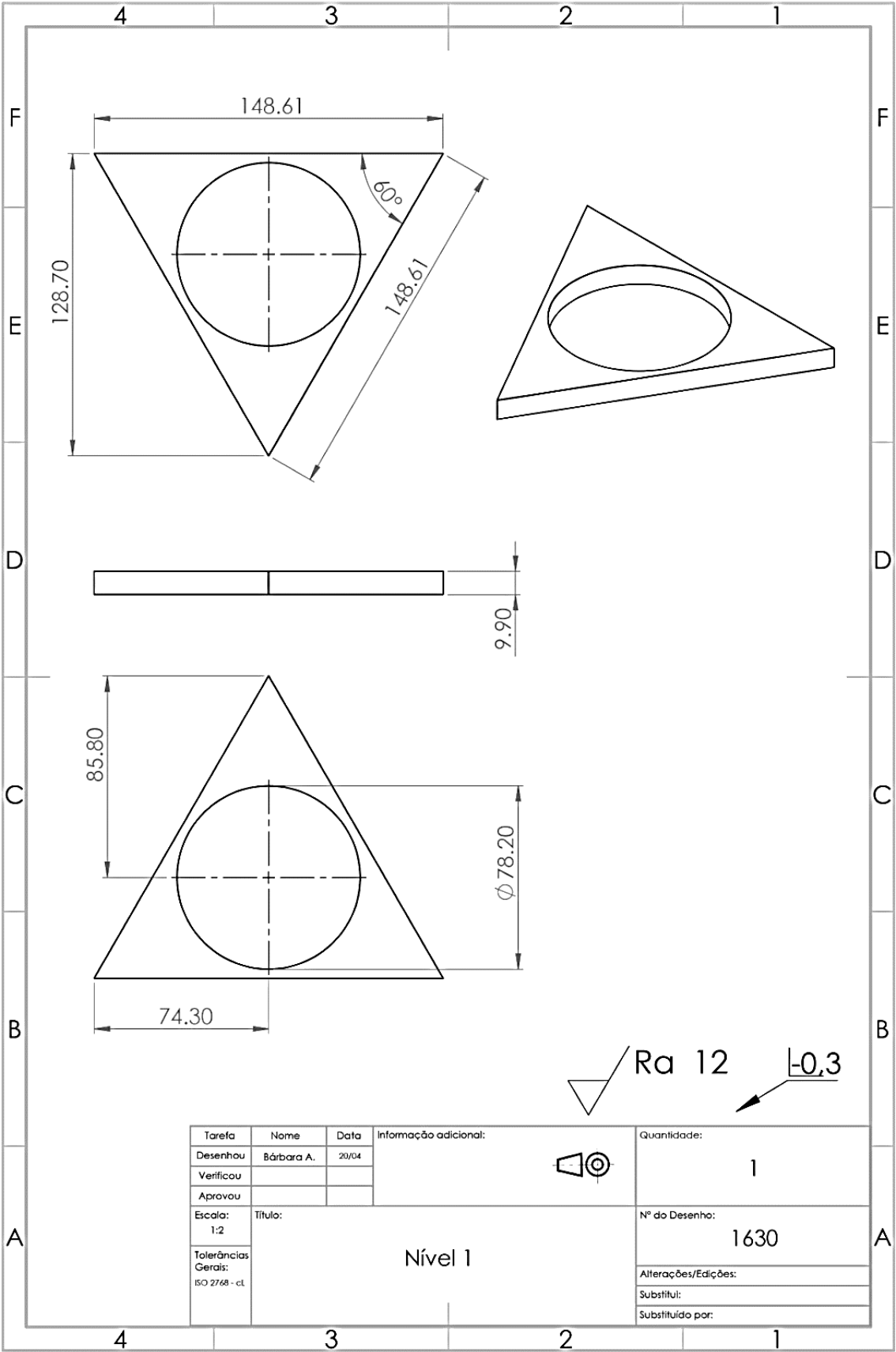
Embalagem



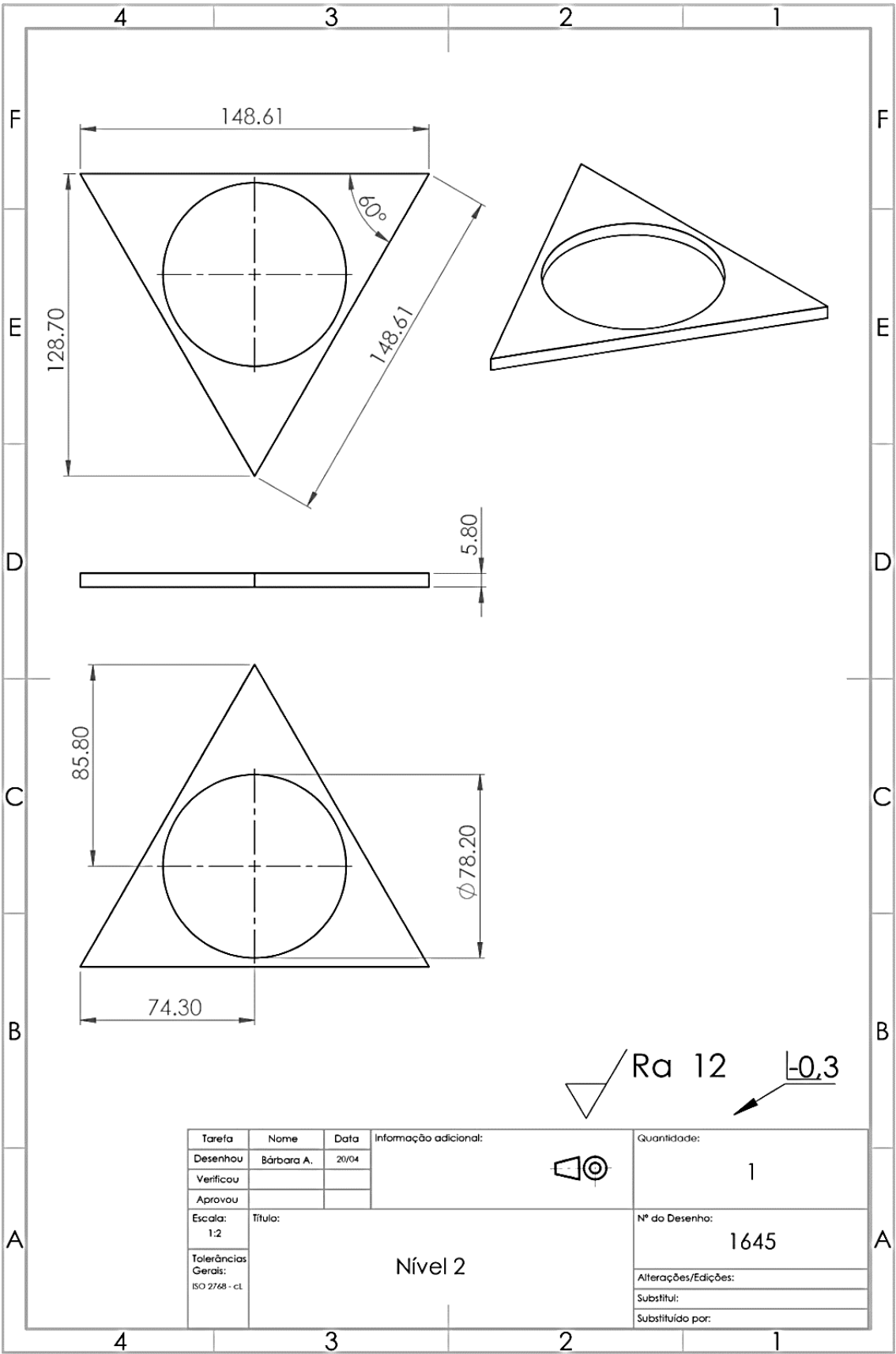
Componentes 1 e 2



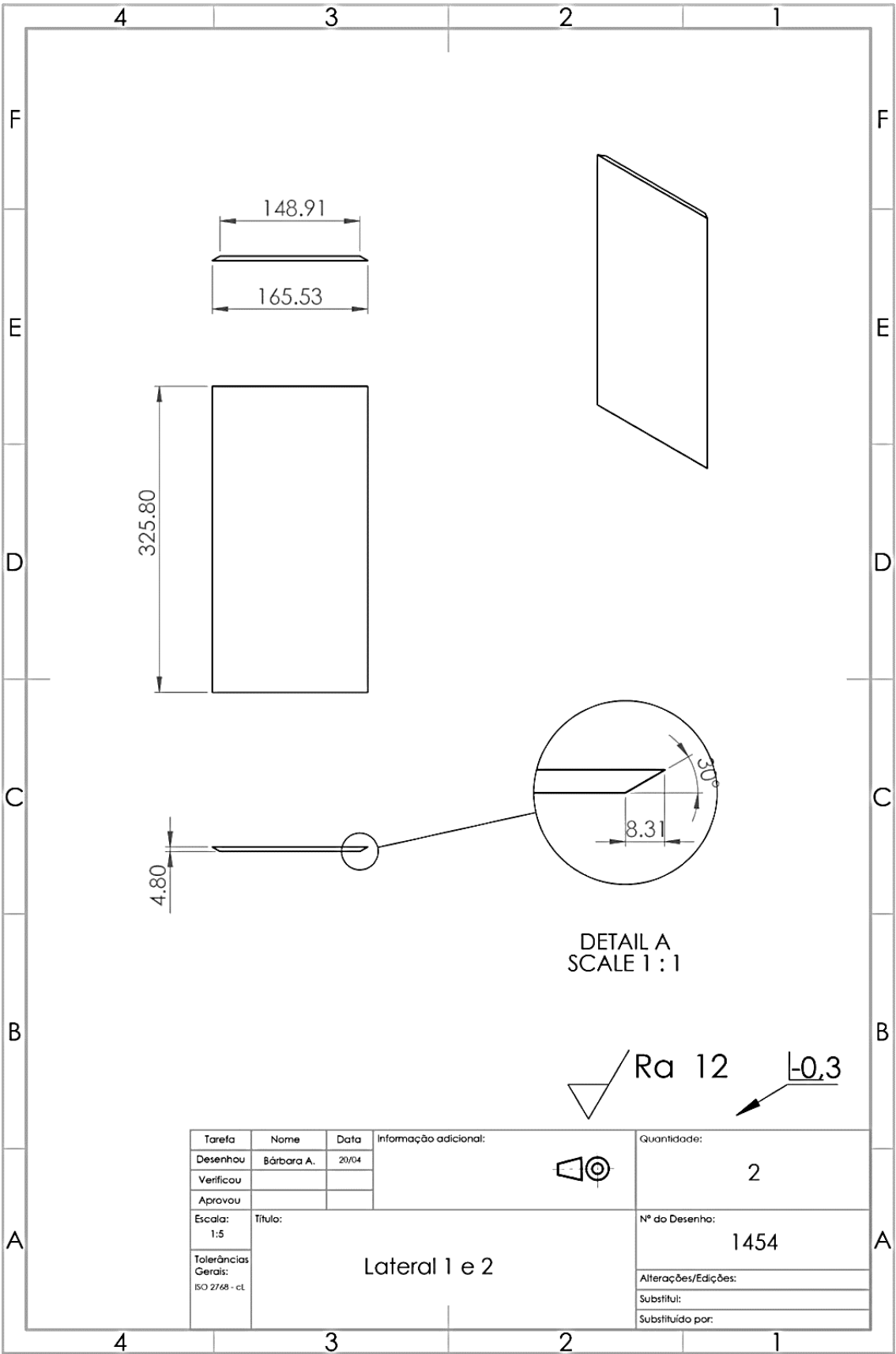
Componente 3



Componente 4



Componentes 5 e 6



Componente 7

