



Desenvolvimento de um material compósito reforçado com fibras naturais

Aplicação numa embalagem de calçado

Helena Isabel Teixeira Carvalho

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado em Design Industrial e de Produto

Orientador: Jorge Lino

Coorientador: Bárbara Rangel

Aos meus pais.

"If you can dream it, you can do it.

Always remember that this whole thing started with a dream and a mouse."

Walt Disney

Agradecimentos

É inevitável deixar aqui o meu profundo agradecimento a todos aqueles que de uma maneira ou de outra tornaram possível a concretização desta dissertação:

Ao meu orientador, Doutor Jorge Lino, pela sua permanente disponibilidade e críticas construtivas, por toda a motivação que sempre me transmitiu mesmo quando as dificuldades cresciam. Foi sem dúvida inspirador para o bom desenvolvimento desta dissertação permitindo-me deste modo estar profundamente orgulhosa de ter trabalho sob a sua orientação. O meu muito obrigado por todo o esforço e empenho dedicados.

À minha coorientadora, Doutora Bárbara Rangel, por todo o apoio demonstrado, motivação e conselhos úteis. Foi inegável ao longo de todo o percurso a importância da dedicação e do carinho com que me acompanhou.

À Doutora Núbia Santos, pelo apoio prestado logo aquando dos primeiros passos desta dissertação, nomeadamente através dos conhecimentos transmitidos em ambiente laboratorial. Um muito obrigada por toda a preocupação e disponibilidade.

À marca Walkest, em especial ao Carlos Gonçalves, pela dedicação, disponibilidade e confiança que sempre me transmitiu ao longo de todo este percurso. Um muito obrigada por todo o apoio e motivação.

Aos meus pais, o meu eterno agradecimento, por todo o apoio, compreensão e carinho demonstrados.

Resumo

Atualmente, com todos os impactos criados conscientemente por nós, enquanto utilizadores do planeta, tem vindo a aumentar a necessidade de procurar respostas mais sustentáveis e ecológicas para as diversas atividades do nosso quotidiano. Várias indústrias têm procurado respostas na criação de materiais de baixo impacto ambiental, deixando de lado materiais poluidores, como é o caso dos plásticos. Toda esta problemática levou a uma oportunidade na criação de um material que possa oferecer boas propriedades mecânicas e ao mesmo tempo ser ecológico e biodegradável.

Desta forma, consideraram-se as fibras naturais que têm sido desenvolvidas para várias aplicações e pesquisas na criação de novos materiais, enquanto recurso renovável e biodegradável. Pois, estas tornam-se numa melhor aposta para a criação de produtos mais ecológicos e simultaneamente garantem baixos custos na criação dos mesmos.

Assim, este estudo visa a criação de um material compósito, nomeadamente PLA e fibra de sisal, onde a fibra tem o papel de reforço do material com o intuito de se tornar possível a sua aplicação nas embalagens de calçado da marca Walkest, de forma a responder às necessidades que enfrentamos atualmente a nível ambiental.

Desta forma, foi elaborada uma parte experimental onde se identificou o melhor reforço, com o intuito de definir as melhores características do compósito e posteriormente criou-se uma proposta de Design para a embalagem das botas Walkest.

Palavras chave

Novos materiais, compósitos, biodegradável, ecológico, fibras naturais, design.

Abstract

Nowadays, with all the impacts consciously caused by us, as users of the planet, the need to find more sustainable and eco friendly alternatives to the various activities of our daily lives have increased. Several industries have sought answers for the creation of low environmental impacting materials, getting rid of polluting substances, like plastic. All of this discussion has led to an opportunity in the creation of a material that can offer good mechanical properties, being ecological and biodegradable at the same time.

We've considered natural fibers, that have been developed for several uses and the research on the development of new materials as a renewable and biodegradable resource. These make a better bet in the creation of more ecological products and they guarantee lower costs in their creation.

Therefore, this study aims to the creation of a composite material, namely PLA and sisal fiber, where the fiber plays the role of strengthening the material in order to make its use in footwear packaging for the Walkest brand, to meet the needs we're currently facing in environmental matters.

An experimental part was conceived, where the best reinforcement was identified, in order to define the best characteristics of the component and later give shape to a packaging design proposal created for the Walkest brand.

keywords

New materials, composites, biodegradable, ecological, natural fibers, design.

Índice

Agradecimentos	VII
Resumo	IX
Abstract	XI
Índice	XIII
Índice de figuras	XVII
Índice de tabelas	XXIII
Lista de símbolos	XXV
Lista de acrónimos	XXVII
Capítulo I	29
1. INTRODUÇÃO	31
1.1 . Enquadramento	31
1.2 Objetivos	32
1.3 Estrutura do trabalho	32
Capítulo II	35
1. O futuro dos novos materiais	36
1.1. Preocupações ambientais: O reflexo da indústria do futuro	36
1.2. Novos materiais na procura de novas soluções sustentáveis	38
2. Polímeros Biodegradáveis	42
2.1. Polímeros biodegradáveis: Características	44
2.2. Principais tipos de aplicações	47
2.2.1. Ácido polilático (PLA)	49
2.2.2- Polímeros do Amido	51
2.2.3. Polihidroxialcanoatos (PHAs)	52
2.3. Aplicações dos polímeros biodegradáveis	53
3- Fibras Naturais	56

3.1- Classificações das fibras naturais	58
3.2- Fibra de coco	59
3.3- Fibra de Sisal	60
3.4- A importância das fibras naturais no	63
4. Materiais Compósitos	65
4.1. Bio compósitos	65
5. Pasta de papel	67
5.1- Aplicações (exemplos).....	69
6. Embalagens de calçado	72
Capítulo III Trabalho experimental	75
7. Trabalho experimental: compósitos reforçados com fibras naturais	76
7.1 Introdução	76
7.2. Materiais	78
7.2.1- Características das fibras de sisal e de coco	78
7.2.2- Constituintes do compósito	78
7.3.1- O PLA como matriz.....	79
7.3.2- A pasta de papel como matriz	80
7. Métodos utilizados.....	81
7.4-Trabalho realizado.....	86
7.4.1- Fase experimental- PLA reforçado com fibras.....	86
7.5- Pasta de papel reforçada com fibras naturais	89
8. Resultados: compósitos reforçados com fibra	92
8.1. Compósito 1-PLA + Fibra de Sisal	93
8.2. compósito 2- Pasta de cartão + Fibra de Sisal.....	94
Capítulo IV	96
Caso de estudo	96
9. Walkest (caso de estudo)	97
10.1. Solução para nova embalagem	98

Capítulo V	102
Proposta de projeto	102
11- Proposta de Embalagem	103
11.1- Maquete de estudo.....	107
11.2- Dimensões gerais	108
11.3- Proposta para segunda função	111
11.4- Realização do protótipo	113
11.5- Processos de fabrico	116
Capítulo VI	122
Conclusões	122
12.1. Conclusões.....	123
12.2. Recomendações para trabalhos futuros	125
Referências bibliográficas	127
Anexos	132
Anexo I – PLA descrição CES EDUPACK 2017	133
AnexoII – Fibra de coco: descrição CES EDUPACK 2017	137
Anexo III- Fibra de Sisal: descrição CES EDUPACK 2017	139
Anexo IV	142

Índice de figuras

Figura 1- Diagrama de Venn: áreas de estudo	32
Figura 2- Fontes de Dados: Eurostat OCDE Entidades Nacionais - Questionário Conjunto sobre Resíduos Fonte: PORDATA. Última atualização: 2017-02-17.....	39
Figura 3- Garrafa biodegradavel. Acedido em 11 de janeiro de 2018. http://green-plastics.net/posts/96/what-makes-biodegradable-plastic-degrade/	42
Figura 4- Algumas aplicações dos polímeros biodegradáveis (Barros 2011)	47
Figura 5- PLA. Acedido a 9 de fevereiro de 2018 https://www.plasticsinsight.com/corbion-pla-starts-production-marketing-poly-lactic-acid-pla-polymers/	49
Figura 6- Gráfico representativo do preço de alguns polímeros. CES EduPack 2017	50
Figura 7- Toyota. Cobertura total de plástico ecológico (aprox. 80% da superfície interior). Acedido a 20 de janeiro de 2018.....	53
Figura 8 - N701i Telemóvel. Acedido a 20 de janeiro de 2018	53
Figura 9- World Art™ Hot Cups, Eco Products.Acedido a 20 de abril de 2018 https://www.ecoproducts.com/world_art_hot_cups.html	54
Figura 10- Painéis de café. PLADEC. Acedido em 10 de maio de 2018 https://materia.nl/material/coffee-panels/	55
Figura 11- Abajur impresso em 3D com PLA. Martin Zampach. Acedido a 5 de maio de 2018. http://mocoloco.com/fresh2/upload/2014/09/be3d_lamp_shades_by_martin_zampach/be3d_lamp_shades_martin_zampach_3b-thumb-468x468-70511.jpg	55
Figura 12- Elisa Quartim. 2010. Rondeel “Embalagem de ovos feita com fibra de coco. Acedido a 23 de Janeiro de 2016.	59
Figura 13- Planta de sisal. Acedido a 23 de janeiro de 2018 http://nordesterural.com.br/wp-content/uploads/2017/10/agave.jpg	60

Figura 14- Interior e modelo Eco Elise. Lotus. Acedido a 10 de fevereiro de 2018. http://www.lotuscars.com/engineering/eco-elise	62
Figura 15- Gráfico representativo do preço das fibras naturais e das fibras de vibro. CES EduPack 2017	63
Figura 16- Principais mercados da pasta de papel moldada , adaptado (Didone et al. 2017)....	67
Figura 17- Caixa de ovos original em cartão. Designer Joseph Coyle. Acedido a 20 de março de 2018 http://canadiandesignresource.ca/graphics/packaging/original-egg-carton/	67
Figura 18-Detergente para a roupa, concentrado natural. Seventh Generation . Acedido a 10 de abril de 2018. https://www.seventhgeneration.com/laundry-liquid-detergent?v=28	69
Figura 19 - Pangea Organics, embalagem. Acedido a 21 de março de 2018. https://www.pinterest.pt/pin/376824693797515789/	69
Figura 20 - Garrafa de água de papel. Acedido a 21 de março de 2018. https://paperwaterbottle.com	69
Figura 21- Newton Running Shoe Box. Acedido a 21 de março de 2018. https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/shoebbox-is-100-recycled-but-wait-theres-more.html	70
Figura 22 telha ecológica. Acedido a 22 de março de http://conexaoplaneta.com.br/wp-content/uploads/2018/01/estudantes-criam-telhas-ecologicas-conexao-planeta.jpg.pagespeed.ce.nvdyNJc0dO.jpg	70
Figura 23-Candeeiro feita de polpa de papel reciclada, Tom Mollnow. Acedido a 30 de março de 2018 https://inhabitat.com/bright-ideas-competition/recycled-pulp-task-lamp/	70
Figura 24- Candeeiro e banco. Jasna Sokolovic and Noel O’Connell. Acedido a 20 de abril de 2018. https://design-milk.com/paperscapes-recycled-paper-functional-furniture/	71
Figura 25- Clever Little Bag por Yves Béhar para Puma. Acedido a 12 de março de 2018. https://www.dezeen.com/2010/04/14/clever-little-bag-by-yves-behar-for-puma/	72
Figura 26- The Air Packaging. Ralf Schröder. Acedido a 12 de março de 2018. https://www.behance.net/gallery/6629637/The-Air-Packaging-Concept	72

Figura 27 Timberland Sustentáveis- Shoebox. Katelyn Peissig. Acedido a 12 de março. http://retaildesignblog.net/2012/02/11/timberland-sustainable-shoebox-by-katelyn-peissig/?epik=0EF95E_IWn3l0	73
Figura 28- Organigrama representativo do trabalho experimental.....	77
Figura 29- Gráfico representativo da tenacidade à fratura da fibra de coco e da fibra de sisa, CES Edupack 2017	79
Figura 30- Comparação do aspeto físico das amostras.....	87
Figura 31- Duas peças realizadas com PLA e fibra de sisal.....	88
Figura 32-Amostra produzida com desperdícios de papel de escritório e fibra de coco.....	89
Figura 33- Pasta de cartão reforçada com fibra de coco	89
Figura 34-Amostra de pasta de papel e fibra de sisal (esquerda) e amostra de pasta de papel e fibra de coco (direita).....	89
Figura 35- Amostra de pasta de papel de jornal com fibra de sisal	90
Figura 36- Amostras de pasta de papel de jornal com fibra de coco.....	90
Figura 37- Amostras de pasta de papel de jornal com fibra de sisal e de coco	90
Figura 38-Relação do preço do papel/cartão e PLA.....	92
Figura 39- Amostra de PLA com 10% de fibra de sisal	93
Figura 40- Limite de elasticidade- fibra de coco e fibra de sisal (CES EduPack 2017).....	93
Figura 41- Amostra de pasta de papel com fibra de sisal	94
Figura 42- Fibra de sisal longa	95
Figura 43- Fibra de sisal cortada	95
Figura 44- Reflorestação Walkest. Acedido a 24 de fevereiro de 2018. https://walkest.pt/pages/reflorestacao	97
Figura 45- Botas walkest. Acedido a 22 de fevereiro de 2018. https://walkest.pt/blogs/news	97

Figura 46- Embalagem atual da marca Walkest. Acedido a 21 de fevereiro de 2018 https://walkest.pt	98
Figura 47- Comprimento mínimo e máximo das botas Walkest.....	99
Figura 48- Altura mínima e máxima das botas Walkest.....	99
Figura 49- Ilustração da forma de colocação das botas na embalagem (vista de cima).....	100
Figura 50- Esboço da embalagem	103
Figura 51- Esboço da ideia para a embalagem de calçado e respetivas aplicações dos materiais	104
Figura 52- Disposição possível da embalagem.....	105
Figura 53- 3D da proposta da embalagem	105
Figura 54- Pormenor do baixo relevo aplicado na embalagem	106
Figura 55- Maquete da embalagem em escala real	107
Figura 56- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)	108
Figura 57- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)	109
Figura 58- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)	109
Figura 59- Dimensões gerais para a parte de pasta de papel com fibra de sisal (mm)	110
Figura 60- Esboço da segunda função para a tampa da embalagem	111
Figura 61- 3D da aplicação da segunda função referente à tampa da embalagem.....	112
Figura 62- 3D da aplicação para segunda função referente à parte maior da embalagem.....	112
Figura 63- Protótipo final da embalagem de calçado.	116
Figura 64- Botas Walkest e protótipo da embalagem.	116
Figura 65- Máquina de moldagem por injeção (Sreenivasulu e Ravikanth 2013)	117

Figura 66- Etapas do processo de fabrico da pasta de papel por termoformação (Didone et al. 2017) 118

Índice de tabelas

Tabela 1-Tempo de degradação de alguns polímeros (Oliveira 2006)	45
Tabela 2- Tipos de fibras (Fibrenamics 2018)	58
Tabela 3 Propriedades mecânicas das fibras (Adaptado CES EDUPACK 2016)	78
Tabela 4- Comparação entre o preço do cartão e o PLA, CES Edupack 2017	79
<i>Tabela 5- Papéis recolhidos como matéria prima para a pasta de papel</i>	<i>80</i>
Tabela 6- Processo utilizado para a experimentação de PLA com fibra de sisal e coco	81
Tabela 7- Processo utilizado para a experimentação de pasta de papel com fibra de sisal e coco	83
Tabela 8 - Quantidade de fibra de coco (%)	86
Tabela 9- Quantidade de fibra de sisal (%)	86
Tabela 10- Amostras de pasta de papel (cartão) com fibra de sisal	91
Tabela 11- Diâmetro fibra de sisal e fibra de coco, adaptado (Silva 2003).....	94
Tabela 12- Diferença entre o tamanho mínimo e máximo das botas Walkest.....	99
Tabela 13- Desenvolvimento da tampa da embalagem.....	113
Tabela 14- Desenvolvimento do protótipo do corpo da embalagem.....	115
Tabela 15- Total de material utilizado para a tampa da embalagem (valores aproximados) ..	119
Tabela 16- Preço aproximado por tampa da embalagem.....	119
Tabela 17- Total de material utilizado para o corpo da embalagem (valores aproximados) ...	120
Tabela 18- Preço aproximado do corpo da embalagem	120
Tabela 19- Preço total aproximado da embalagem.	120

Lista de símbolos

% -Percentagem

® -Marca registrada

™ - Marca comercial

MPa- Megapascal

GPa- Gigapascal

Kg- Quilogramas

cm- Centímetros

μm- Micrómetro

Lista de acrónimos

Al	Alumínio
CSC	Código das Sociedades Comerciais
EU	União Europeia
MPPs	Molded Pulp Products (produtos de polpa moldada)
PCL	Policaprolactona
PE	Polietileno
PET	Politereftalato de etilo,
PHAs	Polihidroxialcanoatos
PLA	Ácido polilático
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinilo
SSF	Processo de sacarificação e fermentação simultânea

Capítulo I

Introdução

Abordagem e sintetização dos principais objetivos da dissertação enquadrando-a e apresentando a estrutura do trabalho realizado.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O crescendo da poluição agregada aos maus hábitos no uso excessivo de poluentes que são lançados para o meio ambiente tem, desde longa data, preocupado e dado origem à necessidade de reflexão, por parte não só de cientistas e biólogos, mas também por alguns cidadãos que respondem de forma positiva aos alertas das entidades ambientais para este fenómeno.

A esta preocupação acresce a necessidade de procurar respostas ecológicas e sustentáveis para a substituição dos materiais poluentes que existem, derivados principalmente de matérias-primas não renováveis. Contudo, esta é ainda uma pequena percentagem de respostas no mundo dos materiais mas que futuramente se espera que alcance um vasto mercado (Diegues 1992).

Assim, abre-se um espaço para a exploração de materiais que se tornem não somente ecológicos, mas também biodegradáveis, a partir de produtos naturais renováveis ou até mesmo de reaproveitamento de materiais já utilizados.

As fibras naturais têm vindo a ser estudadas muitas das vezes como reforços de materiais poliméricos, pois conseguem atribuir ao material uma maior resistência mecânica, são biodegradáveis, renováveis e têm baixo custo. Estamos assim perante um novo conceito, não só ao nível dos materiais, mas também dos próprios objetos e que se conjuga com um maior detalhe a nível de texturas e é ainda mais interessante no âmbito visual, recorrendo apenas a materiais extraídos da natureza de uma forma equilibrada.

Os materiais sintéticos tornam-se assim a cada dia um problema a ser ultrapassado, com a sua substituição por materiais naturais, de forma a diminuir o impacto ambiental gerado pelos mesmos e também reduzir custos. Uma das indústrias que tem apostado em materiais resultantes de fibras naturais é a indústria automóvel, onde às

características de sustentabilidade e de biodegradabilidade acresce o facto de este reforço reduzir o peso total dos equipamentos, comparativamente ao peso das fibras sintéticas (Krobjilowski 2003).

1.2 Objetivos

Esta dissertação tem como principal objetivo desenvolver um material compósito reforçado com uma fibra natural de forma a ser implementado numa embalagem para calçado.

Assim, pretende-se proceder à elaboração de uma pesquisa avançada de modo a identificar a matriz e o reforço que em conjunto resultarão nas melhores características. Desta forma, serão realizadas pequenas amostras com o objetivo de posteriormente se realizar o protótipo de uma embalagem.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta dissertação apresenta quatro partes distintas, interligadas por três áreas de estudo (figura 1).

Assim sendo, a primeira parte começa com uma breve introdução sobre o assunto que é abordado na mesma, de forma a tornar o tema mais compreensível numa abordagem inicial.

Posteriormente, sucede-se a apresentação do enquadramento teórico onde são abordados vários assuntos relacionados com o tema da dissertação procurando estudar de forma mais aprofundada tudo o que já existe sobre o mesmo.

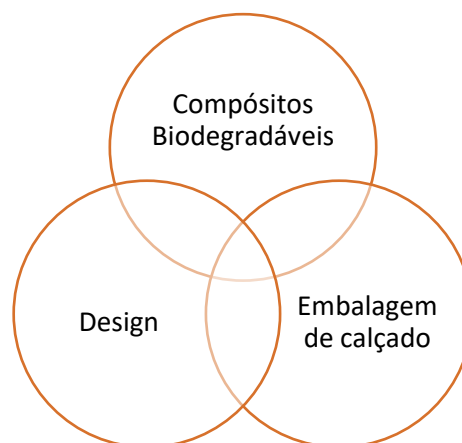


Figura 1- Diagrama de Venn: áreas de estudo

Após este estudo e reflexão inicial, a terceira parte procura fundamentar as duas primeiras, em resultados quantitativos, ou seja, na criação e desenvolvimento de um compósito biodegradável.

De seguida apresenta-se a fase experimental onde o material criado é aplicado num protótipo, mais concretamente numa embalagem para calçado, de forma a ser possível a realização de estudos e ensaios, relativamente às suas características mecânicas e térmicas.

Concluída a parte experimental foi necessário criar a embalagem para calçado de forma a conseguir a melhor aplicação possível dos materiais e assim conseguir também prosseguir a realização do protótipo do mesmo.

Por fim, de forma a concluir o trabalho realizado, a última parte reflete-se nas conclusões retiradas ao longo de todo o trabalho desenvolvido e de que forma futuramente poderá ser melhorado e complementado todo o trabalho.

Capítulo II

Enquadramento teórico

Ao longo deste capítulo são abordados alguns temas e subtemas considerados relevantes para o desenvolver da dissertação de forma a entender mais detalhadamente o assunto abordado.

1. O futuro dos novos materiais

Cada vez mais, a necessidade de novas respostas sustentáveis é transmitida nas mais pequenas criações, com o objetivo de criar impacto a nível mundial de forma a impulsionar mudanças drásticas nos comportamentos, a nível não só das indústrias, mas também dos hábitos diários de cada um de nós enquanto consumidores. Os novos materiais nascem dessa mesma preocupação, agregada à criação de uma educação sustentável, numa sociedade que maioritariamente nasceu na época do surgimento dos plásticos, um material que depende de recursos naturais não renováveis, como o petróleo, que tem vindo a esgotar-se a uma velocidade considerável (Niaounakis 2015a).

Desta forma nascem os novos materiais, mais ecológicos e muitos deles biodegradáveis, com o intuito de criar uma base educacional refletida no melhor para o meio ambiente, onde o uso dos seus recursos tem que ser pensado e medido de forma a não interferir com os ecossistemas e não esgotar muitos dos recursos naturais, que nos dias de hoje ainda conseguimos usufruir em abundância, mas que com o passar dos anos se conciliados com maus hábitos ecológicos darão lugar a um problema mundial.

1.1. Preocupações ambientais: O reflexo da indústria do futuro

Com o passar do tempo a preocupação com o meio ambiente é claramente uma imposição no seio de uma sociedade filha da industrialização, outrora emergida desta e que se apoderou de cada um de uma forma quase inconsciente e que levou a que esta não seja parte da nossa vida, mas sim a nossa vida num todo (Schmid 1996).

Desta forma, a indústria tem vindo ao longos dos séculos a reter somente uma parte económica onde não existe uma reflexão aprofundada sobre os fatores e consequências que englobam toda a produção e manufatura de produtos ou objetos. Aqui, a preocupação em abranger o maior lucro e a um ritmo acelerado na linha de produção apoderou-se das indústrias levando a que somente estes fatores importem num projeto

industrial. Obviamente, pretender um maior lucro das produções é de facto um dever dos gerentes das indústrias e ou produtos, contudo acresce a necessidade de consciencialização ambiental por parte dos mesmos, de forma a conseguir uma reflexão por parte não só dos consumidores, mas também das indústrias envolvidas (Artur Caron 2011).

A individualização do Homem enquanto ser que procura somente benefícios próprios levou a um egoísmo liderado por projeções futuras, onde normalmente o mais importante baseia-se em retirar proveitos ao nível quantitativo. Por exemplo, o plástico desde a sua criação tem vindo a ser consumido de uma forma inconsciente, sendo que entre 1950 e 2015, o consumo de plásticos e borracha cresceu em média 8,5% por ano (CSC 2016). Este tipo de pensamento faz esquecer vários fatores relativamente ao contexto que envolve as indústrias e quem as lidera. De referir ainda que esta aceleração da indústria leva a um elevado risco de esgotamento dos recursos naturais que não conseguem responder em tempo a um consumo tão desmesurado por parte dos humanos.

Em diversos setores da sociedade, o interesse na utilização de produtos de origem vegetal, principalmente dos plásticos com um carácter biodegradável tem-se sentido de forma intensa (Alessandra Luzia Da Róz 2003).

Contrariamente ao que acontece em muitos países europeus, Portugal despertou tardiamente e de forma lenta para esta necessidade de consciencialização ambiental, ao nível não só das empresas e indústrias, como também ao nível social. A falta de hábitos de formação relativamente a este assunto tem levado a um prolongamento do problema permitindo que este evolua negativamente, o que se conjuga ainda com ausência de resposta para o declínio dos ecossistemas, problema este que se tem evidenciado.

Nesta matéria, as empresas e indústrias têm o dever de desenvolver políticas e soluções que ajudem a alertar para o problema e criar hábitos no público consumista levando-o a encarar outros hábitos, no que se refere ao processo de adquirir produtos e na sua seleção, onde estarão presentes preocupações ambientais aquando da compra dos mesmos (Melo 2012).

1.2. Novos materiais na procura de novas soluções sustentáveis

A partir da década de 90 muitas empresas começaram então a incluir o meio ambiente como uma estratégia de negócio levando assim a um novo paradigma ambiental que (Varadarajan 1992) se intitulou de “enviropreneurial marketing”, definido por atividades de marketing essenciais ao nível empresarial e ao nível ambiental, que garantem não só uma real preocupação com a economia mas também com os objetivos sociais da mesma.

Este novo paradigma levou a uma procura por parte das empresas em melhorar a sua reputação ao nível das preocupações ambientais, o que conseqüentemente fez com que se tornassem mais pró-ativas utilizando este tema como elemento competitivo entre as mesmas.

A partir dos anos 90 a preocupação ambiental dentro do mundo dos negócios tornou-se muito mais que uma simples conformidade com leis e responsabilidades sociais existindo uma preocupação redobrada ao nível do ambiente, aliada a uma competitividade económica.

Inicialmente, esta preocupação era só pressionada do lado de fora das empresas mas atualmente todos os interesses supramencionados estão inseridos no seio dos ambientes económicos, políticos e sociais das mesmas (Souza 2002).

Todas estas empresas influenciam a gestão das novas empresas por surgirem como um exemplo relativamente à preocupação ambiental, aquando de uma boa gestão operacional e agregadas ainda a um sucesso económico futuro. Estes são fatores que reivindicam esta preocupação que outrora era externa e que passa a fazer parte do sistema interno de mercado pois torna-se imprescindível para os objetivos das empresas (Hoffman 2000).

Em Portugal é ainda necessário procurar respostas para os números alarmantes dos resíduos que são produzidos (figura 2). A implementação de materiais biodegradáveis em muitas das aplicações, nas diferentes áreas, seria uma mais valia para a redução dos números, conjugada com a criação de novas dinâmicas e hábitos no seio da sociedade, processo esse que a nível social é lento, sendo que teriam que ser implementadas

juntamente campanhas de alerta e sensibilização para este problema mundial que é a poluição.

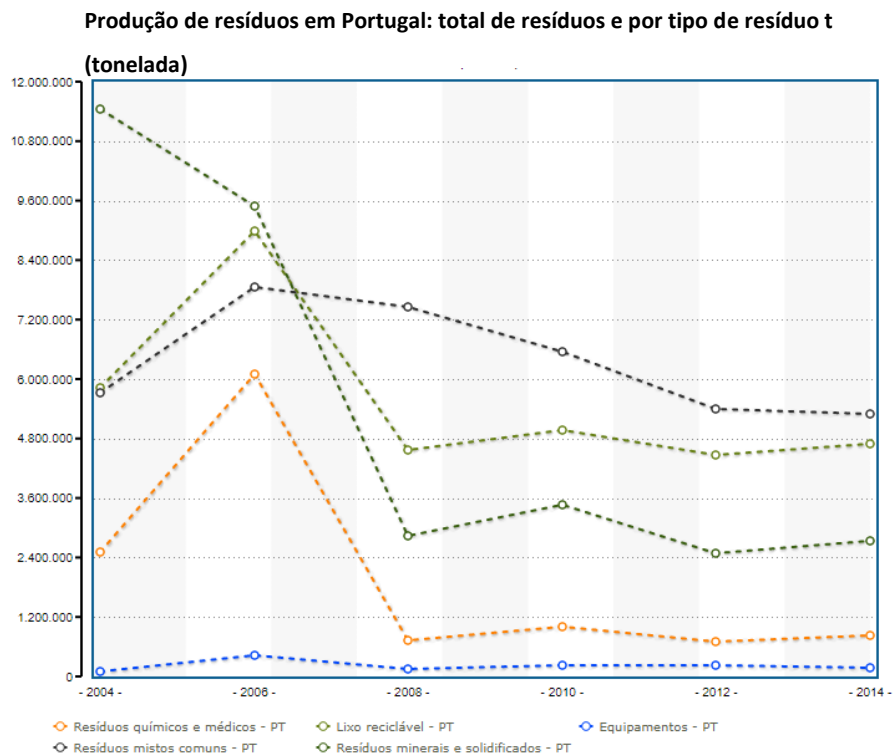


Figura 2- Fontes de Dados: Eurostat | OCDE | Entidades Nacionais - Questionário Conjunto sobre Resíduos Fonte: PORDATA. Última atualização: 2017-02-17

Atualmente, a natureza dos materiais com que lidamos e que utilizamos no nosso quotidiano, nas nossas tarefas ou atividades, representa uma grande percentagem passível de conseguir ser valorizada.

No que diz respeito ao maior número de resíduos que geramos, 35% dos mesmos são referentes a material orgânico, de seguida surge o papel e o cartão com 23,7 %, as embalagens de plástico e metal com 13,5% e por fim o vidro com 5,6% sendo que o restante é contabilizado como sendo têxteis, madeiras e outros resíduos (Figura 3).

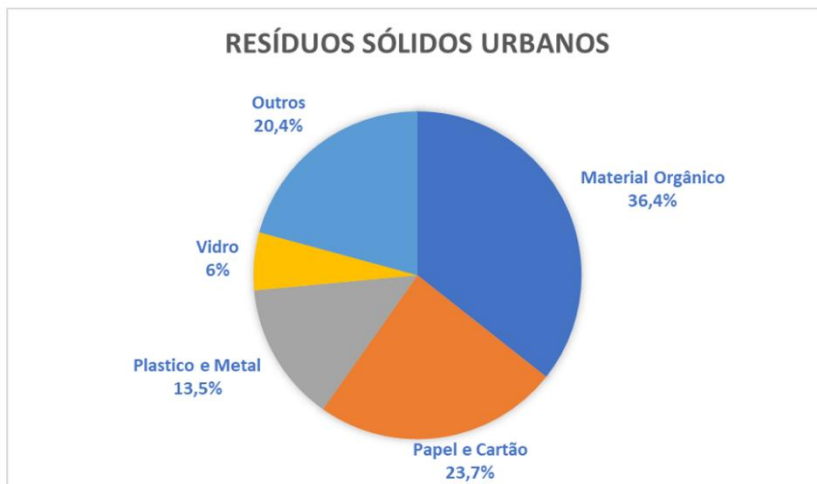


Figura 3- Adaptado de Agência Portuguesa do ambiente, Caracterização física média dos Resíduos Sólidos produzidos em Portugal em 2014

Contudo, estes valores deixam-nos alarmados quando apenas 29% dos mesmos são reciclados de forma correta. Denota-se a necessidade de procura de melhorias na preparação da população para a reciclagem dos resíduos urbanos.

Acresce ainda o problema do destino que é dado a muitos destes materiais, não terminando o seu ciclo de vida na reciclagem, muito destes resíduos acabam em aterros e outra parte considerável termina nos oceanos.

Cada vez mais, o consumo destes materiais tem apresentado perspectivas de crescimento, sendo que as preocupações ambientais e económicas relacionadas com os materiais derivados de combustíveis fósseis tem sido um problema crescente na realidade de muitos países desenvolvidos mas um dos maiores problemas é o facto de estes apresentarem uma elevada resistência à biodegradação (Chiellini e Solaro 1996).

Estes polímeros produzidos a partir de recursos renováveis têm vindo a atrair muito mais atenção devido a estes conterem uma maior compatibilidade com o meio ambiente desde a origem do material até ao fim do mesmo (Sinha Ray e Bousmina 2005).

Na procura de uma resolução para este problema têm vindo a ser desenvolvidos vários materiais biodegradáveis com o intuito de satisfazer as necessidades dos consumidores e ao mesmo tempo não causar um impacto negativo no meio ambiente, substituindo os plásticos e as suas aplicações.

A funcionalidade do material é inicialmente considerada como adquirida numa primeira abordagem comercial de um novo material, contudo nem sempre esse fator é suficiente para o sucesso comercial e para o seu uso. Este material também deve suscitar no utilizador experiências significativas enquanto decorre a sua avaliação utilitária. Isso impõe que o material seja qualificado não só pelo que é, mas também pelo que faz, o que expressa e o que isso provoca em nós.

Para a criação de produtos sustentáveis é necessário ter preocupações com alguns conceitos, como é o caso do material, numa procura de minimizar o seu impacto e implementar materiais renováveis no seu processo, minimizando também o consumo de energia durante o processo. Iguais preocupações devem ter lugar ao nível económico, sendo que o produto deve ser comparável com produtos já semelhantes e deve ter-se em consideração o custo total do mesmo durante todo o seu ciclo de vida e a sua manutenção. Ao nível do desenho este deve ser pensado para o ambiente e para o usuário do produto, bem como atender à reciclagem do mesmo. Quanto ao nível do mercado é necessário ter também em consideração as necessidades do mesmo, procurando um mercado específico e um público alvo. Relativamente à tecnologia é necessário otimizar a extração de matérias-primas, a sua produção, vida útil, bem como a funcionalidade e a qualidade do produto. Todas estas preocupações devem ter como principal conceito a ecologia de forma a eliminar as emissões de resíduos tóxicos e minimizar assim o impacto ambiental do mesmo durante todo o processo de desenvolvimento e a sua vida útil (Ljungberg 2007).

Toda esta procura constante de uma aplicação adequada e bem pensada levou a que cientistas e indústrias de materiais recorressem ao design para orientação no desenvolvimento de materiais específicos (Elvin Karana 2015).

2. Polímeros Biodegradáveis

O termo "Biodegradável" é focado na funcionalidade de um polímero, "biodegradabilidade", e refere-se a polímeros que se degradam sob a ação de microrganismos, como fungos e bactérias num período específico de tempo e dependendo do ambiente (Niaounakis 2015b).

Atualmente, os polímeros biodegradáveis ganharam várias designações sendo as mesmas mais seletivas, como polímeros biodegradáveis ou até materiais poliméricos biodegradáveis. Estes passam por vários processos aquando da sua criação, derivados somente de fontes renováveis, de origem animal, vegetal ou até mineral. Os materiais em questão têm como principal característica a facilidade de se degradarem, em condições ambientais favoráveis a esse processo (figura 4). Estes podem ser degradados por compostagem, dióxido de carbono, água ou componentes inorgânicos (Tokić, Fruk, e Jemrić 2011).



Figura 3- Garrafa biodegradável. Acedido em 11 de janeiro de 2018. <http://green-plastics.net/posts/96/what-makes-biodegradable-plastic-degrade/>

Relativamente aos polímeros biodegradáveis, como o PLA e o PHAs, têm vindo a ser estudados e testados para a possível utilização destes nas indústrias de papel e embalagens, contudo existe apenas um número restrito de estudos relacionados com as suas propriedades quando utilizados como revestimento de papel. No caso do PLA existem vários relatórios disponíveis, contudo apenas existem escassos estudos sobre a sua utilização como revestimento. Pode eventualmente ser encontrado um estudo que revela o aumento da resistência do cartão à água quando melhorado com o revestimento em PLA (Rhim e Ng 2007).

Atualmente tem surgido uma grande importância de comercialização destes materiais que surgem a partir de fontes renováveis, como o amido de cereais ou de batata, a cana-de-açúcar e a celulose.

De todos os existentes, os que têm atraído mais os consumidores são os que causam menos impacto a nível ambiental em função da sua origem e também da relação positiva de dióxido de carbono (CO₂) depois da compostagem (Avérous 2008).

Ao longo da história os polímeros biodegradáveis eram utilizados principalmente pelos humanos como alimento ou na confecção de roupas e móveis. Após o período industrial os combustíveis fósseis, como o petróleo, são a maior fonte no que diz respeito ao desenvolvimento e fabricação de quase todos os produtos industriais, sendo o plástico um dos que é utilizado em mais larga escala.

Contudo estes recursos são limitados e com isso vêm as preocupações ambientais que se debruçam sobre todos os aspetos da utilização de combustíveis fósseis, nomeadamente para a produção de energia. Assim sendo é necessário ter um papel sustentável ao longo do nosso ciclo de vida, de forma a que os recursos sejam consumidos a uma taxa que seja possível o seu restabelecimento a partir de ciclos naturais. Desta forma, os polímeros biodegradáveis levam ao renascer de um novo interesse, sendo que nos últimos 20 anos todo esse interesse em produtos sustentáveis tem vindo a impulsionar o desenvolvimento de novos polímeros biodegradáveis a partir de matérias primas renováveis.

Contudo, existe a necessidade de estes polímeros competirem com polímeros que derivam de combustíveis fósseis não só devido às suas propriedades funcionais como também ao nível dos custos do mesmo. Desta forma os polímeros biodegradáveis demonstram ser competitivos sendo que o preço do petróleo é alto e o preço de matérias primas como o amido de milho torna-se baixo comparativamente (Christophe Chassenieux 2013).

2.1. Polímeros biodegradáveis: Características

Polímeros biodegradáveis são polímeros produzidos a partir de fontes naturais e renováveis, criados a partir das mais diversas condições ambientais. Estes constituem diferentes composições de monômeros e estruturas macromoleculares e possuem diferentes propriedades físicas (Bastos 2007b). Os mesmos podem ser produzidos a partir de sistemas naturais que é o caso dos que derivam das plantas, dos animais ou dos microrganismos, ou sintetizados quimicamente utilizando materiais biológicos, como por exemplo, o açúcar, os óleos, entre outros.

A cada dia que passa cresce a preocupação em criar e desenvolver materiais que tenham um baixo impacto ambiental de forma a desenvolver novos conceitos e ideias. Este facto está interligado com o desenvolvimento tecnológico a que cresce o interesse no desenvolvimento de bens de consumo, num tipo de mercado em ascensão contínua.

Com o cenário que nos deparamos atualmente relativamente ao preço elevado dos combustíveis fósseis, torna-se ainda mais importante o desenvolvimento destas novas respostas, não só ao nível social, como também económico.

No passado os produtos de origem natural surgiam a partir de recursos de origem vegetal ou animal, a partir dos quais eram retiradas matérias-primas e energia essenciais para o desenvolvimento e subsistência da população. A partir do século XIX, com todo o desenvolvimento que acompanhava a sociedade começou aquilo que se iria tornar insuportável, o explorar dos recursos fósseis, inicialmente o carvão mineral e logo de seguida o petróleo (Bastos 2007a).

Nos polímeros biodegradáveis, a degradação resulta da ação de microrganismos naturais, como os fungos ou bactérias. Estes intervêm mais ou menos rápido dependendo de as condições estarem ou não favoráveis para a biodegradação, como a temperatura ou a humidade que são bastante determinantes neste tipo de processo. Estes polímeros podem ser originários de várias fontes renováveis e naturais, como temos o exemplo do milho, da celulose, da batata ou da cana-de-açúcar ou podem ainda

ser sintetizados com bactérias a partir de moléculas pequenas como é o caso do ácido butírico e do ácido valérico.

Todo este consumo inconsciente dos polímeros não biodegradáveis leva a uma preocupação redobrada com o futuro do planeta, sendo que uma das características mais alarmante destes é a elevada resistência dos mesmos à degradação, levando imensos anos para se decomporem, como demonstra a tabela 1.

Tabela 1-Tempo de degradação de alguns polímeros (Oliveira 2006)

Polímeros	Tempo de degradação
PET	400 a milhares de anos
PE	100 a 400 anos
PP	> 1000 anos
PLA	1 semana a 24 meses
PCL	> 24 meses
PS	> 400 anos

Nota: O PLA sendo um polímero biodegradável apresenta um tempo de degradação bastante inferior em comparação com os restantes

Como procura de resposta para este problema têm vindo a ser criadas alternativas numa busca por solucionar ou diminuir o impacto do uso destes materiais, de forma a minimizar o impacto ambiental. Desta forma, a produção de polímeros biodegradáveis surge como uma alternativa, numa tentativa de melhorar ao nível técnico estes materiais e também a sua viabilidade técnica, pois pretende-se que estas aplicações criem um grande potencial de expansão futuramente (G. F. Brito 2011).

Contudo, apesar destes conterem excelentes propriedades quando comparáveis com plásticos derivados do petróleo têm também uma grande restrição no seu processo de uso devido às fragilidades que o mesmo contém relativamente à temperatura suportada, a baixa viscosidade no ponto de fusão ou de processamento, entre outros fatores. Contudo, mesmo com estas restrições estes materiais são vistos como materiais

em ascensão que irão ser ainda mais desenvolvidos nas gerações futuras (G. F. Brito 2011).

Atualmente, na Europa e também no resto do mundo, os bioplásticos encontram-se em ascensão no mercado. Em 2013 a estimativa da UE para os bioplásticos foi de 485 milhões de euros o que representava metade da sua produção global total. Em contrapartida este fator levou a que os mercados dos biocombustíveis conseguissem alcançar uma taxa de crescimento anual de 20% entre 2008 e 2013. Desta forma espera-se assim que a Europa continue a ser dos maiores consumidores de bioplásticos até 2030. Contudo, e apesar de a Europa ter sido o maior produtor e usuário de bioplásticos em 2013 a nível global, prevê-se que o futuro dos mesmos se venha a deslocar para regiões onde as matérias-primas sejam mais abundantes e mais baratas e onde se consiga atingir um custo de produção mais baixo, como países da América Latina e ou da Ásia por exemplo (European 2014).

2.2. Principais tipos de aplicações

Os polímeros biodegradáveis na sua maioria não produzem efeitos tóxicos e são biodegradáveis, ou seja, decompõem-se rapidamente, resultado da ação de microrganismos naturais como é o caso das bactérias, fungos ou algas, tendo como fator principal as condições ambientais onde decorre todo o processo. (G. F. Brito 2011)

Posto isto, a biodegradabilidade destes materiais oferece uma vantagem específica relativamente às preocupações ambientais sobre as embalagens de uso único, nomeadamente nas indústrias alimentares, automóvel ou eletrónicas. (Johansson et al. 2012)

As aplicações dos polímeros biodegradáveis são vastas, agrupando-se assim em três grandes áreas distintas (figura 5).

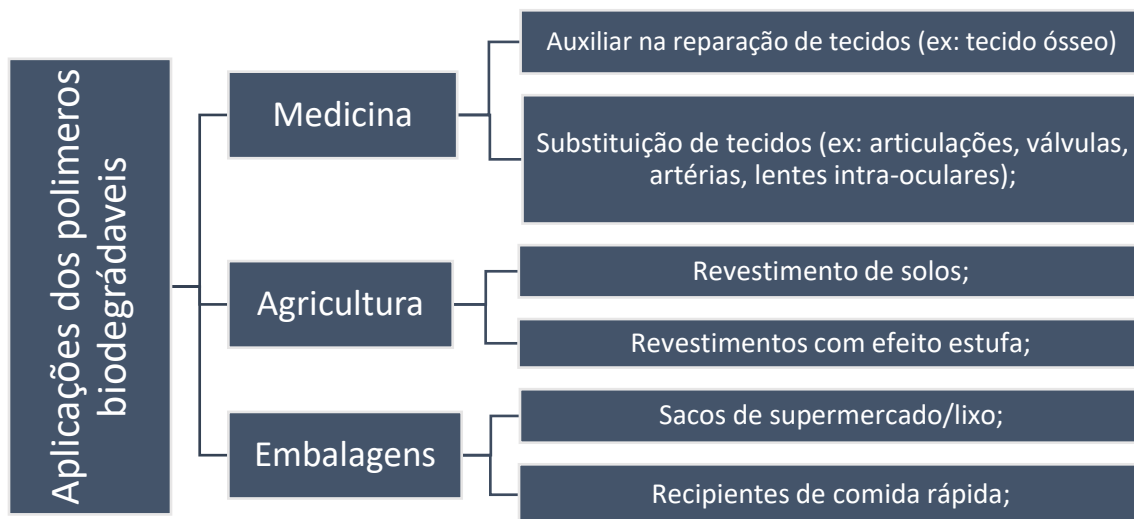


Figura 4- Algumas aplicações dos polímeros biodegradáveis (Barros 2011)

O fato destes materiais conterem características francamente positivas para o meio ambiente, bem como para nós humanos, transforma-o num dos principais materiais em competição com os derivados de matérias primas fósseis. A maioria destes polímeros biodegradáveis são biocompatíveis, ou seja, não têm efeitos tóxicos e são biodegradáveis, sendo que cerca de 90%, se decompõem no prazo aproximado de seis meses (Rosa 2002).

A partir de 2002, o mercado das embalagens biodegradáveis tem vindo a aumentar, tendo inicialmente tido mais reflexo em embalagens de alimentos orgânicos. Seguidamente começou a conquistar novos mercados sendo que este período acabou por coincidir com a expansão na produção de plantas, e relativamente aos polímeros biodegradáveis o que mais se destaca é o ácido polilático (PLA), obtido por polimerização a partir do milho ou da batata (Wellington Ricardo Sassá 2012).

2.2.1. Ácido polilático (PLA)

O PLA (figura 6) é um material conhecido já desde o século XIX, contudo só mais tarde foi possível este material entrar em rotas comerciais. É produzido a partir do ácido láctico por fermentação de açúcares seguida de purificação e polimerização (Pradella 2006).



Figura 5- PLA. Acedido a 9 de fevereiro de 2018
<https://www.plasticsinsight.com/total-corbion-pla-starts-production-marketing-poly-lactic-acid-pla-polymers/>

Este material pode ser produzido por meio indireto, via lactato ou direta a partir da polimerização por condensação (Bastos 2007a).

Processado a partir de inúmeras técnicas, este encontra-se disponível a nível comercial para produção e desenvolvimento em grande escala de vários produtos, pois este torna-se versátil e adequado para inúmeras aplicações e é um material relativamente barato. Possui, ainda, excelentes propriedades mecânicas e pode ser produzido a partir de recursos renováveis como o milho, tornando-se assim não só biodegradável como também ambientalmente amigável e aquando do processo de degradação no solo não emite nenhum componente tóxico ou nocivo. (Wenjing Guo 2013)

Sendo um material biodegradável é bastante aplicado em embalagens de curto prazo e também ao nível das aplicações biomédicas como a produção de implantes ou suturas, pois, torna-se biocompatível, com os tecidos vivos e reabsorvível (Avérous 2008).

O PLA apresenta então, propriedades mecânicas semelhantes aos polímeros provenientes de fontes fósseis, sendo elas o elevado módulo de elasticidade, a rigidez, a transparência, bem como uma boa capacidade de moldagem, característica esta que é reflexo do seu comportamento térmico (G. F. Brito 2011).

Este constitui uma boa alternativa ambiental, correta e bastante competitiva com os polímeros convencionais, sendo que contém propriedades bastante semelhantes ao

PET. O problema surge ao nível do preço do mesmo (figura 7), pois relativamente aos materiais derivados do petróleo, o seu preço é mais elevado (Nolan 2002).

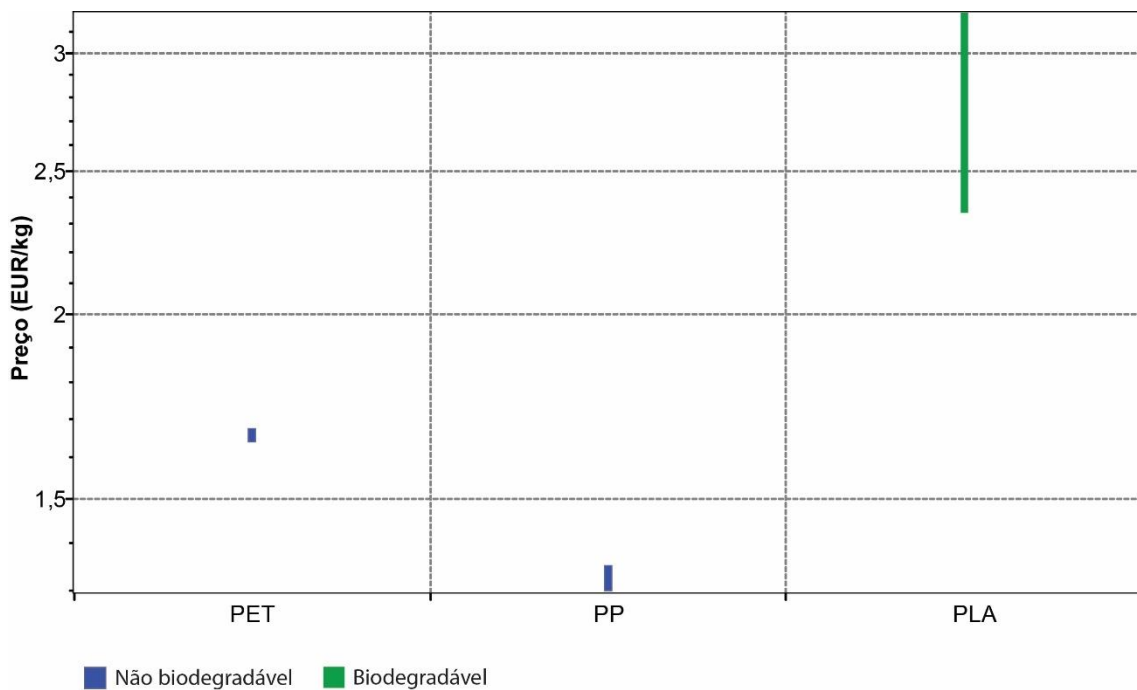


Figura 6- Gráfico representativo do preço de alguns polímeros. CES EduPack 2017

Contudo, apesar deste material ser um polímero promissor, os seus preços têm vindo a diminuir devido ao aumento da produção do mesmo. Todavia, esta diminuição é ainda bastante incerta, (Bastos 2007a) limitando muitas vezes as suas aplicações em produtos de base (Wenjing Guo 2013).

Mais informações sobre este material no anexo I deste documento.

2.2.2- Polímeros do Amido

O amido classifica-se como um polissacarídeo composto por grupos repetidos de glicose, que se localizam nas células das plantas como grânulos. Este provém de cereais, tais como o milho, o trigo ou a batata, razão pela qual existe uma grande disponibilidade do mesmo em todo o mundo derivado da sua natureza, e a sua produção mundial alcança as 57 milhões de toneladas anuais (Epobio 2006).

Os grânulos de amido demonstram visualmente um carácter semicristalino, sendo estes formados por regiões cristalinas mais densas e regiões amorfas menos densas, encontrando-se as mesmas distribuídas de forma alternada.

As suas aplicações são sobretudo em embalagens, contudo apresentam ainda problemas ao nível de processamento do mesmo (Pradella 2006).

O amido é implementado na produção de embalagens biodegradáveis, devido às características químicas, físicas e funcionais que o mesmo apresenta. Para a formação destas embalagens biodegradáveis é necessário distribuir a sua estrutura granular de forma a criar uma matriz polimérica, homogénea e amorfa. Esta aplicação pode ser obtida através de gelatinização ou fusão, sendo que nestes processos dá-se a conversão do amido em material termoplástico.

Em razão do seu baixo custo e da disponibilidade este é cada vez mais estudado de forma a ser modificado ou até mesmo misturado com outras substâncias químicas (Pradella 2006).

O interesse na utilização de matérias-primas derivadas de recursos renováveis na produção de embalagens biodegradáveis tem vindo a crescer de forma positiva, sendo que de entre os polímeros biodegradáveis mais promissores para este objetivo encontram-se os provenientes do amido. Pois estes são biodegradáveis, apresentam um baixo custo e encontram-se disponíveis em todo o mundo.

Contudo, materiais produzidos unicamente com amido tendem a apresentar limitações de desempenho, como propriedades mecânicas baixas e suscetibilidade à humidade,

quando entram em contacto com ambientes com elevada humidade relativa. Este problema pode ser ultrapassado com a aplicação de fibras naturais provenientes de resíduos agroindustriais como material de reforço às matrizes poliméricas do amido. (Mali 2012)

2.2.3. Polihidroxialcanoatos (PHAs)

Este material tem se tornado interessante ao nível comercial por possuir propriedades físicas bastante similares ao polipropileno, apesar das estruturas químicas diferenciadas, consegue conter uma característica bastante positiva, ser biodegradável, mas, contudo, o seu custo de produção é bastante elevado e acresce a este a fragilidade que contém no que diz respeito ao impacto.

O PHAs é produzido principalmente por processos de fermentação microbiana, onde um dos maiores desafios que se encontra é essencialmente a redução de custos de produção do mesmo (Nath et al. 2008). Sendo que relativamente aos custos de produção, o grande impacto do preço reflete-se na fonte de carbono, sendo que para resolver este problema o que se procura é usar resíduos e subprodutos como matéria-prima para o processo de fermentação.

Foram publicadas nos últimos anos, algumas avaliações sobre poli-hidroxialcanoatos. Contudo, a maioria delas concentram-se nos microrganismos produtores ou em possíveis aplicações, ou então é bastante especializada em determinados assuntos, como a produção a partir de culturas misturadas ou o uso como materiais de engenharia de tecidos (Salehizadeh e Van Loosdrecht 2004).

Relativamente às revisões existentes sobre este material, apenas discutem os processos de fermentação mais tradicional e não mencionam os processos SSF. Processo este proposto desde 2004. (Castilho, Mitchell, e Freire 2009)

2.3. Aplicações dos polímeros biodegradáveis

Os polímeros biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis destacam-se principalmente nas áreas das embalagens, sobretudo nas descartáveis e na construção civil. Relativamente à área das embalagens este acontece pelo facto do elevado consumo das embalagens de PE, PP e principalmente do PET, numa procura de substituição destes materiais. Relativamente à área da construção civil, estes materiais podem vir a ser aplicados em substituição de aplicações de PVC e nos seus compostos para a confeção de tubos, revestimentos ou conexões para serem implementados em cabos elétricos. Estas são as potenciais áreas para aplicação destes polímeros biodegradáveis de forma a futuramente substituírem os atuais materiais aplicados nas mesmas.

São já alguns governos que dão importância redobrada a estes materiais. A política japonesa é um exemplo da importância dada a estes materiais. Existem já algumas empresas que utilizam estes polímeros como a empresa Toyota (figura 8), que em 2013 utilizou materiais fornecidos a partir da beterraba e da cana-de-açúcar, produzindo autopeças, como por exemplo a cobertura do pneu sobressalente do modelo Raum. Outra empresa que utiliza estes materiais é a Fujitsu. Esta utiliza o PLA na carcaça da linha de netbooks FMV-BIBLO.

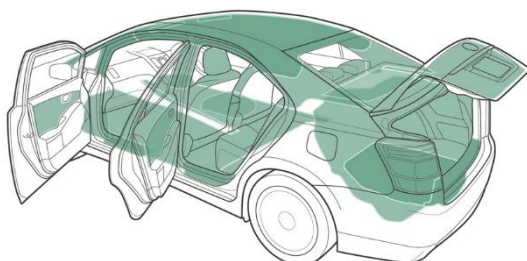


Figura 7- Toyota. Cobertura total de plástico ecológico (aprox. 80% da superfície interior). Acedido a 20 de janeiro de 2018 http://www2.toyota.co.jp/en/news/11/10/image/10_11_01_S.jpg



Figura 8 - N701i Telemóvel. Acedido a 20 de janeiro de 2018 <https://www.treehugger.com/gadgets/necatms-kenaf-and-bioplasic-n701i-eco-phone.html>

Também a NEC, uma empresa do ramo dos produtos eletrônicos, utiliza o PLA reforçado com fibras *kenaf*¹ no desenvolvimento de carcaças de telemóveis (figura 9) para a maior empresa de comunicações móveis japonesa, a NTT DoCoMo² (SECOM 2007).

Também na área alimentar muitas embalagens são produzidas com polímeros biodegradáveis. Copos descartáveis para bebidas quentes como os da *World Art* (figura 10) são exemplos de embalagens alimentares ecológicas. Estas contêm no seu interior um revestimento de PLA de forma a garantir a vedação de forma a suportar o líquido sem recorrer ao uso dos plásticos mais convencionais. A parte exterior é feita de papel onde contem a estampagem da imagem e informação acerca do produto (Eco-Products 2018).



Figura 9- World Art™ Hot Cups, Eco Products. Acedido a 20 de abril de 2018 https://www.ecoproducts.com/world_art_hot_cups.html

Numa procura de reaproveitamento de produtos que derivam do pós consumo humano, muitos polímeros biodegradáveis são também utilizados em compósitos ecológicos de forma a conceber ao material melhores propriedades mecânicas.

Sendo que o consumo de café gera bastantes resíduos e que estes não podem ser reaproveitados enquanto alimento, tem vindo a ser desenvolvidos materiais compósitos que permitem a reutilização desta matéria prima em vez de a mesma terminar no lixo comum.

¹ Planta tropical da família das *Malvaceae*. Esta pode crescer até 3 m de altura e fornece uma fibra de caule mais forte do que a juta. Esta é bastante utilizada no fabrico de cordas e sacos.

² Principal empresa de telemóveis do Japão.

Um exemplo desses compósitos são os painéis de café da PLADEC (figura 11), produzidos a partir de borras de café e PLA. Estes compósitos integram uma percentagem relativa a borra de café que varia entre os 60 % e 70% de PLA, sem adição de nenhum produto químico (B.V 2016).

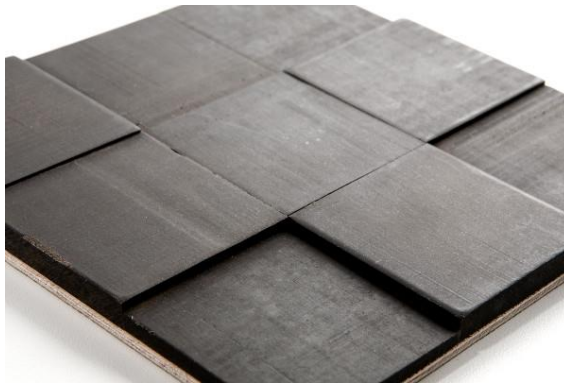


Figura 10- Painéis de café. PLADEC. Acedido em 10 de maio de 2018
<https://materia.nl/material/coffee-panels/>

Também na impressão 3D estes materiais biodegradáveis são bastante utilizados.

O designer Martin Zampach, criou uma série de abajures para candeeiros impressos a partir de filamentos de PLA (figura 12). Estes contêm uma estrutura de barbatana que lhe conferem um aspeto visualmente interessante (Harry 2014).



Figura 11- Abajur impresso em 3D com PLA. Martin Zampach. Acedido a 5 de maio de 2018.
http://mocoloco.com/fresh2/upload/2014/09/be3d_lamp_shades_by_martin_zampach/be3d_lamp_shades_martin_zampach_3b-thumb-468x468-

3- Fibras Naturais

As fibras podem ser divididas em dois grandes grupos, as fibras naturais retiradas diretamente da natureza e as fibras feitas pelo homem. As fibras naturais têm sido estudadas ao longo das décadas por serem uma boa alternativa no reaproveitamento de resíduos e por conterem um caráter ecológico provocando assim um baixo impacto no ambiente.

É exigido que estas sejam frequentemente comparadas ao nível da sua composição química e das propriedades, pois cada fibra contém propriedades diferentes sendo assim incontáveis ao nível das mesmas (Ramamoorthy, Skrifvars, e Persson 2015).

A utilização de fibras vegetais, como juta, o algodão, o sisal e ou o coco, quando utilizadas como reforço dão ao material várias vantagens, tais como a obtenção de materiais de baixa densidade, menor abrasão durante o processamento, obtenção de níveis elevados de preenchimento que resulta num aumento de rigidez do material e um aumento da sua durabilidade (Samir et al. 2004). Para além destas vantagens, o facto de as fibras naturais serem biodegradáveis e serem provenientes de fontes renováveis resulta no baixo custo das mesmas (Corradini et al. 2008).

As propriedades mecânicas são fatores importantes aquando da sua classificação de forma a este ser introduzido nas aplicações corretas. Estas propriedades dependem das propriedades das fibras e da matriz polimérica utilizada, da adesão interfacial entre ambas as matrizes, a fração peso/volume das fibras, a forma como esta é colocada e o tamanho da mesma. A maioria destes estudos envolve propriedades mecânicas do material tais como a resistência à tração, a resistência à flexão, e a resistência ao impacto em função do peso, do tamanho e da forma de empilhamento e orientação das fibras. (Sahu e Gupta 2017)

Para melhorar a estrutura da fibra utilizam-se tratamentos químicos para a modificação da mesma, tais como mercerização, silanização e acetilação, de forma a esta ser mais eficiente e também melhorar a sua conexão entre a fibra e a matriz polimérica utilizada (Sandra Regina Albinante 2013).

Desta forma são várias as vantagens que caracterizam este material sendo que uma das principais é o baixo custo que está a elas inerentes, a sua grande abundância e o facto de serem autossustentáveis, não são prejudiciais à saúde humana, contêm uma baixa densidade, conseguem conservar energia e principalmente são biodegradáveis.

Contudo, também apresentam desvantagens, tais como a instabilidade das suas propriedades, a baixa durabilidade quando usada como reforço em algumas matrizes e também a fraca adesão quando no seu estado natural a várias matrizes.

Várias fibras naturais, como o linho, o *kenaf* ou a juta têm vindo a ganhar importância no setor automóvel, no aeroespacial, nas embalagens e em matéria de compósitos reforçados com fibras naturais. Tal deve-se ao facto de estas fibras oferecerem boas propriedades mecânicas fazendo com que estas se tornem competitivas levando a que em alguns casos a sua aplicação seja ainda melhor que a utilização de fibras de vidro. (Anandjiwala 2017)

3.1- Classificações das fibras naturais

As fibras naturais são subdivididas, nas de origem vegetal, mineral e animal. A seguinte tabela representa a classificação das fibras naturais especificando cada uma.

Tabela 2- Tipos de fibras (Fibrenamics 2018)

<u>Fibras de origem vegetal</u>	As fibras vegetais podem ser agrupadas em diferentes tipos, tais como as fibras de semente (algodão), as de raiz (zacatão), as de caule (linho), as de folha (sisal) e de fruto (coco).
<u>Fibras de origem mineral</u>	As fibras de origem mineral têm a sua origem nas rochas e apresentam uma constituição à base de silicatos. Como exemplo destas fibras de origem mineral existem a fibra de basalto, a crisotila, a crocidolita e o amianto.
<u>Fibras de origem animal</u>	As fibras de origem animal podem derivar da secreção glandular de alguns insetos, como por exemplo, a seda, onde os filamentos de fibroína ³ ligam-se por sericina ou a partir de bolbos pilosos de alguns animais com uma estrutura molecular de queratina, como por exemplo, a lã extraída das ovelhas.

³ Proteína insolúvel gerada por insetos como aranhas ou o bicho-da-seda. A seda em estado bruto é composta por duas proteínas principais, a serina e a fibroína. A fibroína resume-se ao centro estrutural da seda e a serina no material pegajoso que rodeia a mesma.

3.2- Fibra de coco

Nas últimas décadas têm vindo a desenvolver-se novas formas de reaproveitamento de resíduos que são gerados nas indústrias. A fibra de coco tem sido um grande exemplo nesta procura de reaproveitamento de resíduos. Esta quando é queimada liberta substâncias poluidoras para o meio ambiente e quando colocadas no lixo comum pode atrair insetos e outros animais que podem propagar doenças, criando não só perigo para o ambiente como também para a saúde pública. Desta forma, torna-se necessário encontrar novas formas de reaproveitamento deste resíduo. A figura 13 mostra esse mesmo reaproveitamento, na aplicação desta fibra com borracha natural em embalagens de alimentos, no caso uma caixa de ovos.



Muitas aplicações desta fibra são também utilizadas na agricultura, em substratos e adubos orgânicos, sendo que estes têm grande importância agronómica devido ao facto de não apresentarem desvantagens ecológicas e de se verificar um aumento da produção e da qualidade dos alimentos. Estes fatores devem-se aos efeitos positivos desta fibra enquanto adubo orgânico, utilizado para a melhoria da qualidade, manutenção dos solos e recuperação de todas as suas características biológicas e também por conseguir reter a água por mais tempo e auxiliar na diminuição da compactação dos solos de forma a facilitar a penetração das raízes (Jerônimo 2012).

Figura 12- Elisa Quartim. 2010. Rondeel "Embalagem de ovos feita com fibra de coco. Acedido a 23 de Janeiro de 2016.

<http://embalagensustentavel.com.br/2010/11/16/embalagem-ovo-fibra-coco/>

O seu uso em reforço de matrizes poliméricas é relativamente recente, contudo tem vindo a ser desenvolvido e estudado pelas vantagens que apresenta em relação às outras fibras. No geral as fibras vegetais são um bom reforço, mas em particular a fibra de coco apresenta inúmeras vantagens quando a comparamos a outros materiais. Como é o caso das suas propriedades mecânicas elevadas, o ser biodegradável, ter uma baixa

densidade, o facto de não ser abrasiva, ter um consumo de energia relativamente baixo e preço bastante acessível (Pannirselvam et al. 2005).

Mais informações sobre este material no anexo II deste documento.

3.3- Fibra de Sisal

O Sisal é uma planta (figura 14) que contém umas folhas pontiagudas e lanceoladas bastante compridas e dispostas em forma de roseta. O seu nome “sisal” foi inspirado numa cidade portuária em Yucatan, Maya, México, que tem como significado “água fria”. As folhas do sisal têm de 8 a 10 cm de largura e de 150 a 250 cm de comprimento (Rosário et al. 2011).



Figura 13- Planta de sisal. Acedido a 23 de janeiro de 2018 <http://nordeste rural.com.br/wp-content/uploads/2017/10/agave.jpg>

A fibra de sisal é das fibras que mais resistência à tração apresenta, sendo assim uma das mais indicadas para ser utilizada como reforço em várias argamassas.

Esta fibra é das fibras naturais mais amplamente utilizada, nomeadamente como reforço em compósitos com matriz polimérica devido ao facto de estas conterem excelentes propriedades (Sahu e Gupta 2017). Esta fibra torna-se bastante variável ao nível das suas propriedades mecânicas e físicas, característica esta que também é apresentada em outras fibras de origem vegetal, sendo que existem vários fatores para isto acontecer, desde a espécie da planta, ao meio onde é produzida e desenvolvida.

O processo de extração desta fibra contém as fases de desfibramento, passando pela lavagem, secagem, batimento, prensagem e enfardamento.

Esta fibra é classificada como tendo três classes, a longa, a média e a curta.

Relativamente à longa esta refere-se ao comprimento acima de 0,90 m, à média entre 0,71 m até 0,90 m e a curta desde os 0,60 m até os 0,70 m de comprimento.

Quanto ao seu tipo superior é constituído por fibras lavadas, bem secas e escovadas, de cor creme clara, num bom estado de maturação, macia, com brilho, com resistência elevada, com uma humidade máxima de 13,5% bem soltas, isentas de impurezas, de nós, de fragmentos de folhas, entre outros defeitos.

Desta forma, o tipo superior divide-se em três tipos apresentados na tabela 3 (Rosário et al. 2011).

Tabela 3- Especificações dos tipos superiores de fibra de sisal

Tipo superior da fibra de sisal		
Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Fibras secas e bem batidas	Fibras secas e bem escovadas	Fibras secas e bem escovadas
Coloração creme claro ou amarela	Coloração amarela ou cinzenta com pequenas extensões verdes	Coloração amarela com uma parte da tonalidade verde, cinzenta ou vermelha
Bom estado de maturação	Bom estado de maturação	Bom estado de maturação
Macias e com brilho	Ligeiramente ásperas e com brilho	_____
Resistência normal	Resistência normal;	_____
Desembaraçadas	Bem soltas	Soltas
Humidade não superior a 13,5%	Humidade máxima de 13,5%	_____
Ausente de impurezas	Ausente de impurezas	Ausente de impurezas

O uso desta fibra não se aplica somente em têxteis, sendo que tem grande importância nas preocupações ambientais, em substituição do amianto e da fibra de vidro em materiais compósitos.

Desta forma tem vindo a aumentar a aplicação desta fibra na indústria automóvel. A figura 15 demonstra isso mesmo, o modelo Eco Elise da Lotus, numa aplicação da fibra de sisal para o acabamento do teto interior do automóvel e também na aplicação das tapeçarias do seu interior.



Figura 14- Interior e modelo Eco Elise. Lotus. Acedido a 10 de fevereiro de 2018.
<http://www.lotuscars.com/engineering/eco-elise>

O grau desta fibra limita o seu uso, sendo que esta divide-se em três graus, o menor, o médio e o alto. Como exemplo de indústrias que utilizam o grau menor existe a indústria do papel, devido a esta conter uma elevada porção de hemicelulose e celulose nesta variedade. O grau médio é produzido principalmente na produção de cordas e enfardadeiras sendo que estes produtos são utilizados principalmente para fins agrícolas, marítimos e ou industriais. Por fim, o terceiro grau é bastante aplicado na indústria dos tapetes, sendo que no caso das carpetes muitas das vezes são aplicadas outras fibras, como a lã por exemplo, para tornar a superfície mais suave (Fiber2fashion).

Mais informações sobre este material no anexo III deste documento.

3.4- A importância das fibras naturais no desenvolvimento de novos materiais

Atualmente, o mercado mundial é dominado fortemente pelo uso de fibras sintéticas, sendo que a cada dia tem aumentado a procura de alternativas a este material de forma a implementar opções mais ecológicas e sustentáveis (Mohanty, Misra, e Hinrichsen 2000).

Numa procura de criar materiais que não sejam agressivos para o meio ambiente, o desenvolvimento de compósitos poliméricos que envolvem fibras vegetais juntamente com polímeros naturais tem vindo a crescer cada vez mais. (Zhang et al. 2007; Bhatnagar e Sain 2005)

Nestes materiais as fibras naturais são adicionadas à matriz polimérica com o objetivo de melhorar as suas propriedades e de reduzir os custos da composição polimérica. (Leão 2001)

Desta forma, as fibras naturais têm vindo a atrair a atenção de várias indústrias dos compósitos, sendo que por exemplo estas são 5 a 10 vezes inferiores no consumo de energia em comparação à fibra de vidro e ao seu processo (Joshi et al. 2004). Outro fator para o aumento do interesse das indústrias nestas fibras é o seu baixo custo (figura 16), seguido da sua abundância e da sua fácil reposição (Taj, Munawar, e Ullah Khan 2007).

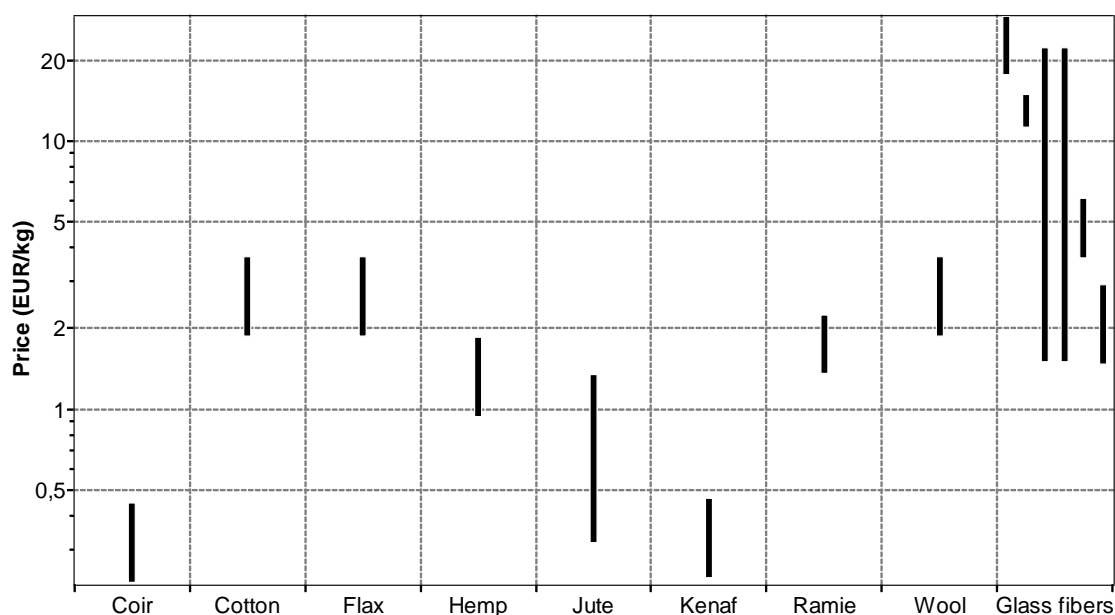


Figura 15- Gráfico representativo do preço das fibras naturais e das fibras de vidro. CES EduPack 2017

Nos dias de hoje as indústrias destacam as fibras vegetais provenientes das plantas, como sendo as que contêm maior interesse para as mesmas. Dentro destas existem as que são classificadas de primárias ou secundárias. Relativamente às primárias são classificadas como sendo as que têm como extração principal somente a fibra, enquanto que a secundária é o reaproveitamento da fibra após o consumo dos frutos que dela derivam, sendo como tal um subproduto (Faruk et al. 2012).

Assim, com toda a problemática que envolve a atualidade estes materiais tornam-se indispensáveis para o futuro das indústrias de forma a desenvolver produtos, peças e artefactos que tenham como requisito principal, o respeito pelo meio ambiente.

A embalagem de fibra moldada, que também é referida como embalagem de polpa moldada, é conhecida há pouco mais de 100 anos. Após a primeira patente datada de 1903, as embalagens de ovos eram o principal produto de nicho criado a partir da fibra moldada, contudo nas últimas décadas o desenvolvimento científico das propriedades dos materiais agregada ao desenvolvimento tecnológico tem vindo a melhorar as suas aplicações, onde o aumento da procura de soluções ambientalmente mais saudáveis torna este processo cada vez mais amplo numa variedade de aplicações (Wever e Twede 2007).

4. Materiais Compósitos

4.1. Bio compósitos

Os compósitos biodegradáveis têm sido de grande interesse, particularmente em aplicações de algumas indústrias numa procura de substituição de materiais procurando uma maior sustentabilidade. Um dos fatores que tem influenciado esta procura é também o facto dos materiais derivados de recursos fósseis estarem a esgotar-se, aliando assim estes fatores aos problemas ambientais mundiais, criando a necessidade de encontrar alternativas em novos materiais compatíveis com o ambiente.

Comparativamente aos compósitos reforçados com fibras de vidro, os compósitos reforçados com fibras naturais, tornam-se superiores em matéria ambiental devido aos fatores que se expõem seguidamente:

- A produção de fibra natural causa menor impacto ambiental comparativamente à fibra de vidro;
- Sendo que o conteúdo da fibra nos materiais compósitos é mais elevado, consegue-se reduzir o conteúdo polimérico da base mais poluente;
- Os compósitos de fibra natural tornam as peças mais leves de forma a diminuir o consumo de combustível diminuindo assim as emissões;
- O fim do material resulta em energia recuperada durante o processo de degradação;

(Joshi et al. 2004)

Relativamente às propriedades mecânicas estas indicam que os compósitos concebidos a partir da fibra modificada quimicamente apresentam um melhor desempenho, comparativamente às fibras não tratadas. A melhoria das propriedades mecânicas do compósito reflete-se na quantidade de fibra que é adicionada ao mesmo e do tipo de tratamento a que esta esteve sujeita.

Desta forma, estes compósitos mostram-se promissores do ponto de vista comercial quanto à sua produção, pois a mesma é à base de fibras naturais, principalmente aquelas que derivam de resíduos agrícola ou desperdícios (Sandra Regina Albinante 2013).

Ao longo de milhares de anos estas estruturas têm vindo a evoluir de forma a estas serem adaptadas e otimizadas para determinadas condições, de forma a obter resultados aquando da melhoria de compósitos artificiais sendo que as fibras têm demonstrado ser promissoras nestes novos desenvolvimentos (Müssig 2017).

Contudo, um dos problemas identificados na maior parte das matrizes biodegradáveis refere-se a estas conterem propriedades mecânicas inferiores aos polímeros tradicionais (Jeremias S. Macedo 2007).

Os compósitos reforçados com fibras e produzidos com polímeros biodegradáveis têm que competir com os compósitos convencionais, principalmente em relação ao comportamento mecânico dos mesmos. Compósitos biodegradáveis com reforço de fibras naturais, abriram novas possibilidades para criação e aplicação em produtos da indústria automóvel e de construção. Contudo, é necessário criar novas abordagens no seu desenvolvimento, de forma a melhorar as suas propriedades mecânicas, nomeadamente resistência à tração, flexão e impacto, de forma a conseguir chegar a um bom desempenho e competitividade ao nível comercial, competindo com produtos derivados do petróleo (Anandjiwala 2017).

5. Pasta de papel

Nos últimos anos, têm vindo a ganhar importância comercial (figura 17) as embalagens ecológicas produzidas a partir de produtos de celulose moldada (MPPs). Contudo, esta é uma área muito pouco desenvolvida ao nível da pesquisa, acrescentando uma necessidade de consolidar melhores práticas, tanto ao nível da pesquisa como também da indústria, de forma a aumentar a sua implementação (Didone et al. 2017) .



Figura 16- Principais mercados da pasta de papel moldada , adaptado (Didone et al. 2017)

Por volta de 1800, os preços relacionados com o papel caíram pelo simples facto do aumento em massa do consumo de jornais e livros, o que levou ao surgimento de novas aplicações. O primeiro método para fabricar produtos a partir da moldagem da pasta de papel remonta a 1890 (Cho et al. 2007). A primeira patente para uma máquina para fabricação de produtos de celulose foi registrada em 1903 por Martin L. Keyes, de

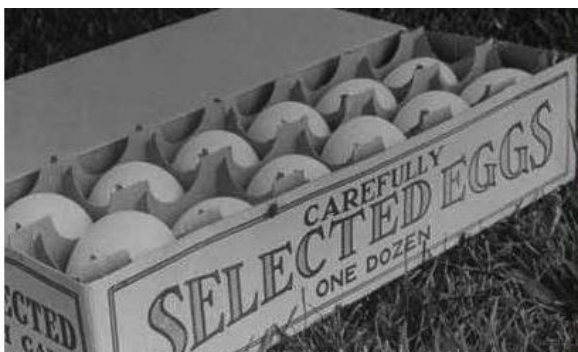


Figura 17- Caixa de ovos original em cartão. Designer Joseph Coyle. Acedido a 20 de março de 2018 <http://canadiandesignresource.ca/graphics/packaging/original-egg-carton/>

Cambridge, Massachusetts (Keyes 1903). Um ano depois, o mesmo havia registado outra patente com a melhoria estrutural da máquina. Esta pasta foi imediatamente moldada para ser utilizada na produção de embalagens de ovos, projetada e produzida pelo inventor canadense Joseph Coyle (figura

18). Contudo, esta máquina de produção só foi desenvolvida após a Primeira Guerra Mundial. A forma desta embalagem variou e foi aplicada em diferentes tipos de produtos frágeis, não só de ovos como também de lâmpadas e frutas. A patente para este pacote multiuso foi registrada em 1920 (Morris e Simon 1922).

Apesar deste material não ser novo, têm surgido usos inovadores do mesmo e estes continuam a desenvolver-se. Uma das mais valias deste material é o facto de poder ser utilizado como substituto ecológico nas aplicações de poliestireno expandido. Também a utilização de moldes aquecidos facilita as mudanças na produção deste material, tornando possível adicionar sementes ou outros elementos, com o intuito de expandir ainda mais os seus usos. Este material confere assim infinitas possibilidades na sua utilização e espera-se que as suas inovações continuem a ter lugar. (Howe 2014)

Sendo este material bom em amortecimento de choques tem sido bastante utilizado em embalagens de proteção, por ter características como: excelente resistência ao choque, à compressão ao impacto, ser antiestático, não poluente, com degradação natural e torna possível a adição de produtos pelo facto do conter menos espaço de armazenamento, sendo este especialmente utilizado em pequenos eletrodomésticos (Wang, Cai, e Jing 2012).

5.1- Aplicações (exemplos)

Atualmente, as empresas procuraram criar e desenvolver práticas que sejam mais sustentáveis, juntamente com produtos holísticos, onde frequentemente é envolvido de forma extensa o papel reciclado. A Seventh Generation™ lançou uma nova garrafa de detergente para roupa que utiliza pasta de papel moldada para a parte estrutural do recipiente (figura 19), enquanto que o próprio detergente está acondicionado com um revestimento plástico. Desta forma, a marca pretende reduzir o uso de plástico em mais da metade (Lehrer 2011).



Figura 18-Detergente para a roupa, concentrado natural. Seventh Generation. Acedido a 10 de abril de 2018. <https://www.seventhgeneration.com/laundry-liquid-detergent?v=28>

Pangea Organics® envolve o sabão numa embalagem feita de pasta de papel processada (figura 20) que contém sementes de plantas incorporadas na mesma para posteriormente dar origem a uma plantação (Howe 2014).



Figura 19 - Pangea Organics, embalagem. Acedido a 21 de março de 2018. <https://www.pinterest.pt/pin/376824693797515789/>

A Paper Water Bottle® tem um protótipo que substitui de forma ecológica as garrafas plásticas de água com um invólucro feito inteiramente de pasta moldada, que contém internamente uma barreira de forma a utilizar-se menos plástico do que nas garrafas de plástico tradicionais (figura 21).



Figura 20 - Garrafa de água de papel. Acedido a 21 de março de 2018. <https://paperwaterbottle.com>

A pasta de papel é também utilizada em outros sistemas de embalagens de produtos.



Figura 21- Newton Running Shoe Box. Acedido a 21 de março de 2018.

<https://www.treehugger.com/sustainable-product-design/shoebox-is-100-recycled-but-wait-theres-more.html>



Figura 22 telha ecológica. Acedido a 22 de março de <http://conexaoplaneta.com.br/wp-content/uploads/2018/01/estudantes-criam->

A Newton Running Shoes criou uma caixa para sapatilhas a partir da pasta de papel moldada (figura 22). Esta embalagem acompanha as curvas do contorno das sapatilhas com um design singular em comparação com as caixas de calçado retangulares padrão. Assim os espaços vazios são evitados de forma a economizar material.

A estudante Keylla Oliveira criou telhas ecológicas quando observou a quantidade de embalagens Tetra Pak que eram colocadas no lixo. Desta forma procurou desenvolver telhas com pasta de papel reciclado onde o interior de alumínio das embalagens Tetra Pak protege do calor em dias com temperaturas muito elevadas e também de dias mais frios (figura 23).

Criado principalmente a partir de conceitos como leveza, económico e com recurso a materiais provenientes do pós-consumo humano, o candeeiro de escritório “Pulp” (figura 24) de Tom Mollnow. O processo de fabrico desta peça é simples e não requer



Figura 23-Candeeiro feita de polpa de papel reciclada, Tom Mollnow. Acedido a 30 de março de 2018 <https://inhabitat.com/bright-ideas-competition/recycled-pulp-task-lamp/>

aditivos de cola, nem necessidade de cortes sendo que se trata de uma peça única moldada.

A taxa de rendimento de todo este processo é bastante elevada, devido ao facto que quando existe alguma peça defeituosa esta pode facilmente reentrar no ciclo inicial não existindo assim desperdício de matéria prima. Ao contrário das caixas de ovos que contêm uma parede fina, a pasta de papel nesta peça utiliza uma secção de parede mais espessa, o que resulta numa peça mais robusta. Sendo que no processo de moldagem existe uma falta de precisão, este fator faz resultar em partes ligeiramente diferentes, que resultam numa sensação organicamente variável. Também em relação às cores aplicadas à peça, a pasta de papel pode ser facilmente modificada de forma a produzir uma alargada gama de tons (Ideas 2011).

Também o estúdio criativo de Montreal Dear Human, criou uma forma de transformar o papel reciclado em móveis funcionais, candeeiros e azulejos com uma coleção denominada de *Paperscapes*. Fundado por Jasna Sokolovic e Noel O'Connell, o estúdio procura essencialmente, olhar de forma diferente para um objeto do nosso quotidiano, de forma a descobrir e posteriormente desenvolver todo o seu potencial em algo tangível. A coleção *Paperscapes* é o retrato disso mesmo (figura 25). A matéria prima das peças é proveniente dos resíduos oriundos da indústria local e a partir dos quais Sokolovic e O'Connell criam a pasta de papel moldável e utilizam a mesma na criação de mesas laterais e abajures para candeeiros (Tran 2016).



Figura 24- Candeeiro e banco. Jasna Sokolovic and Noel O'Connell. Acedido a 20 de abril de 2018. <https://design-milk.com/paperscapes-recycled-paper-functional-furniture/>

6. Embalagens de calçado

O mais comum entre os materiais que são aplicados nas caixas para armazenamento de calçado tem o cartão como elemento principal. Este material apesar de ser biodegradável e também reciclável, a sua matéria prima é proveniente das árvores.

Os designers têm cada vez mais deixado transparecer para as embalagens as suas ideias de forma a trazerem algo mais ao produto. Ao longo da evolução da indústria do calçado, o design da embalagem tem-se mostrado presente na mesma sendo que a indústria tem vindo a tornar-se cada vez mais segmentada, procurando oferecer respostas diferentes para os diversos públicos-alvo (Innovation 2014).

No decorrer dos últimos anos, pesquisadores e profissionais da área têm dedicado a maior parte da atenção para os problemas que englobam a sustentabilidade ambiental na indústria da moda. Contudo, e apesar da relevância deste tema denota-se a falta de uma análise estruturada do problema (Caniato et al. 2012).



Figura 25- Clever Little Bag por Yves Béhar para Puma. Acedido a 12 de março de 2018. <https://www.dezeen.com/2010/04/14/clever-little-bag-by-yves-behar-for-puma/>

Atualmente, os resíduos de embalagens é uma questão que tem levado muitos designers e pesquisadores a procurar desenvolver embalagens ecológicas e sustentáveis, no entanto existem ainda problemas de comunicação, levando a um menor impacto na consciencialização do consumidor (Pereno e Tamborrini 2013).



Figura 26- The Air Packaging. Ralf Schröder. Acedido a 12 de março de 2018. <https://www.behance.net/gallery/6629637/The-Air-Packaging-Concept>

Assim, muitas das grandes marcas da indústria de calçado têm procurado outras alternativas mais ecológicas e originais para apresentarem os seus produtos. Exemplo disso é a Puma que criou o Clever Little Bag (figura 26), uma embalagem

revolucionária criada pelo designer suíço Yves Béhar, constituída por uma pequena armação de cartão que pode ser removível e colocada no interior de um saco de pano que pode ser reutilizável para as compras ou para outra atividade do quotidiano. Esta embalagem economiza assim 65% do cartão e pretende também evitar o uso de sacas plásticas tornando-a assim reutilizável. Também a Nike utilizou *AirPack* para criar a embalagem para as *Nike Air Max* (figura 27). Criada pelo designer alemão, Ralf Schröder, esta embalagem de plástico transparente proporciona uma maior publicidade e contacto visual com o seu interior sendo que o produto fica visível, reduzindo também o uso de materiais para a mesma tornando-a mais inovadora e sustentável. (Vividbrand 2018)



Figura 27 Timberland Sustentáveis- Shoebox. Katelyn Peissig. Acedido a 12 de março. http://retaildesignblog.net/2012/02/11/timberland-sustainable-shoebox-by-katelyn-peissig/?epik=0EF95E_IWn3lQ

Katelyn Peissig, criou o projeto ecológico e sustentável para a marca Timberland Earthkeepers (figura 28), a sua embalagem de cartão representa o calçado ecológico da marca, o que levou Peissig a desenvolver uma embalagem 100% reciclável, onde a embalagem funciona ao mesmo tempo como saca, levando assim a um uso mais sustentável, em razão da diminuição de recursos e materiais (Vong 2012).

Capítulo III

Trabalho experimental

Este capítulo pretende demonstrar todo o trabalho prático desenvolvido ao longo da dissertação de forma concluir os objetivos pretendidos.

7. Trabalho experimental: compósitos reforçados com fibras naturais

7.1 Introdução

Este trabalho experimental tem como objetivo comparar a utilização de duas fibras, de forma a identificar a que melhor resulta como reforço do material compósito. Desta forma foi necessário adquirir as fibras para iniciar a experimentação, nomeadamente a fibra de coco e de sisal. Como ambas as fibras são longas, cerca de 0,60 cm, surgiu a necessidade de tornar estas mais curtas para facilitar a mistura com o PLA e posteriormente com a pasta de papel.

Desta forma, iniciou-se o desenvolvimento do trabalho experimental começando pela experimentação do PLA com fibra de sisal e de coco. Após a experimentação destes prosseguiu-se à experimentação da pasta de papel com fibra de sisal de forma a conseguir um material mais leve comparativamente à primeira experimentação de fibra de sisal e de fibra de coco com PLA.

Assim sendo, fibras descontínuas, aleatoriamente alinhadas, foram aplicadas juntamente com as matrizes selecionadas.

De forma a simplificar a apresentação da ordem dos trabalhos desenvolvidos na fase de experimentação, recorreu-se à realização de um organograma (figura 29). Neste apresenta-se o trabalho experimental dividido em duas fases.

A primeira fase aplica-se ao desenvolvimento de dois compósitos, um de PLA com fibra de sisal e outro com PLA e fibra de coco.

A segunda fase caracteriza-se pela necessidade de criar um material mais leve, recorrendo assim à pasta de papel, onde se experimentou três tipos de papéis, com reforço da fibra de sisal e de coco.

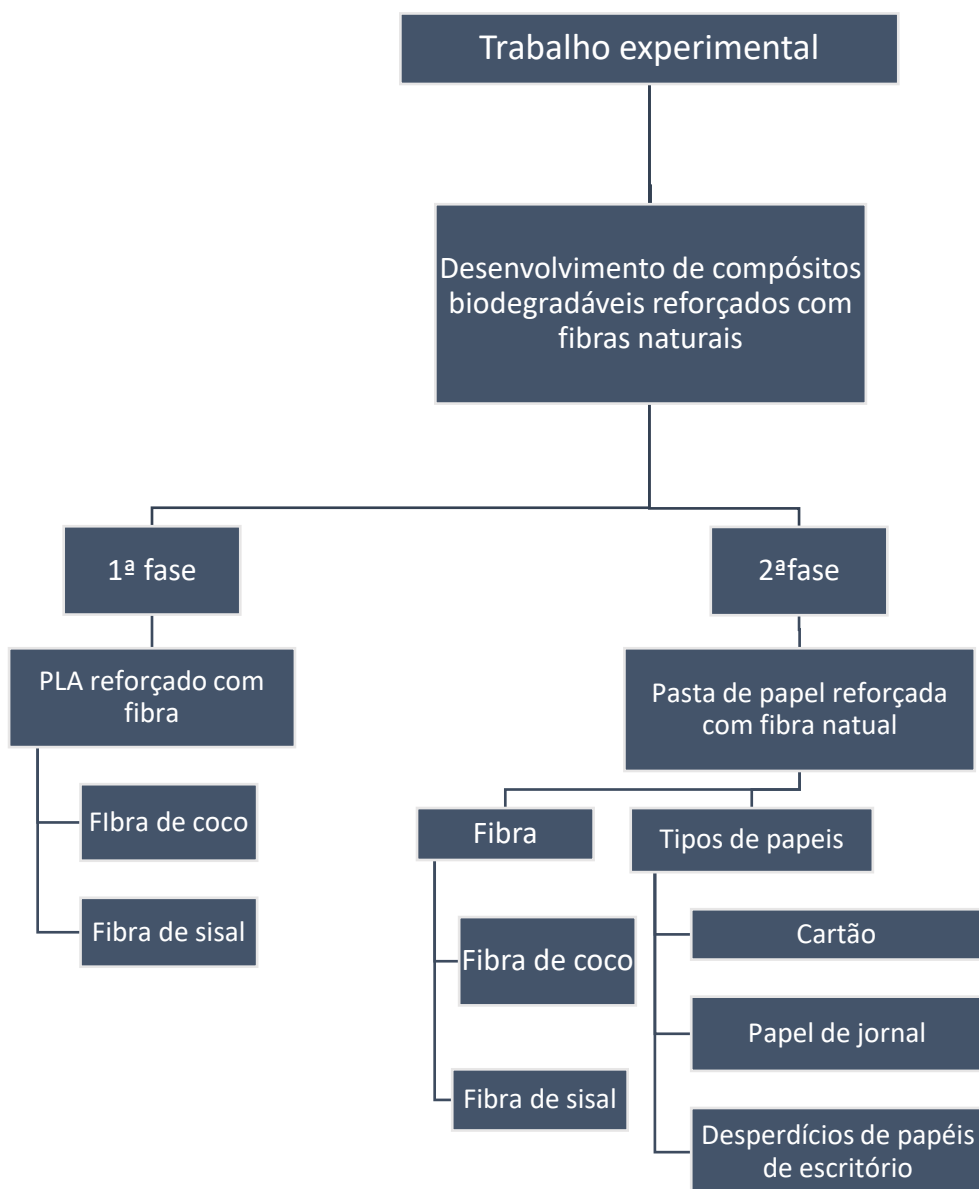


Figura 28- Organograma representativo do trabalho experimental

7.2. Materiais

7.2.1- Características das fibras de sisal e de coco

Tabela 3 Propriedades mecánicas das fibras (Adaptado CES EDUPACK 2016)

	Alongamento (%)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tensão limite de elasticidade (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Peso específico (kg/m ³)	Preço (EUR/kg)
Fibra de sisal	2-7	511-640	460-576	9,4-22	1,45e3-1,5e3	0,537-0,627
Fibra de coco	15-40	131-175	100-150	4-9	1,14e3-1,2e3	0,224-0,448

Mais informações sobre as características destes materiais no anexo II e III.

7.2.2- Constituintes do compósito

De forma a encontrar um bom material procura-se desenvolver amostras com aplicações de duas fibras vegetais, a fibra de coco e a de sisal, de forma a comparar as características de ambas. Estas possuem boas características mecánicas para serem aplicadas como reforço, juntamente com o PLA ou com a pasta de papel.

Contudo é de evidenciar que a fibra de sisal, comparativamente à fibra de coco contém uma maior tenacidade à fratura, característica esta que será tida em consideração na criação do compósito (figura 30).

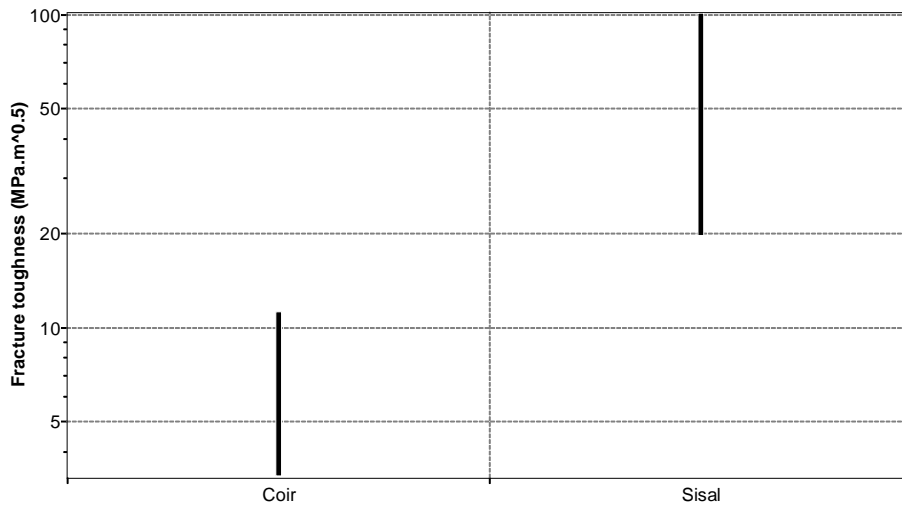


Figura 29- Gráfico representativo da tenacidade à fratura da fibra de coco e da fibra de sisal, CES Edupack 2017

7.3.1- O PLA como matriz

De entre os polímeros biodegradáveis, o PLA foi o selecionado para este estudo sendo que este é dos que apresenta melhores características. Desta forma, procurou-se trabalhar o material de forma a conseguir uma mistura bastante homogênea quando fosse aplicada a fibra no mesmo, razão pela qual existe a necessidade de derreter bem o PLA, tendo sido esta uma das prioridades para conseguir uma boa mistura.

Relativamente ao preço do PLA, este é um pouco elevado quando comparado ao cartão (tabela 4), sendo este último o material mais utilizado neste tipo de embalagens. Contudo, contém características mais elevadas tanto ao nível da resistência ao impacto, como da impermeabilidade, características estas importantes aquando do transporte do calçado.

Tabela 4- Comparação entre o preço do cartão e o PLA, CES Edupack 2017




Material	Preço
PLA	2,34 - 3,2 €/kg
Cartão	0,671 – 1,34 €/kg

7.3.2- A pasta de papel como matriz

A pasta de papel torna-se diversa em razão do tipo de papel utilizado para a mesma. Assim sendo, procurou adquirir-se três tipos de papel (tabela3) de forma a poder testar e comparar não só ao nível de resistência e propriedades mecânicas do mesmo, como também ao nível do aspeto visual, nomeadamente as texturas e as cores do mesmo.

Adquiriu-se assim uma seleção de três tipos de papéis, nomeadamente o papel de jornal, desperdícios de papel de escritório e também cartão (tabela 5). Esta seleção procurou recair sobre as atividades que geram mais desperdícios desta matéria prima, respetivamente, a imprensa, os escritórios e o embalamento de produtos. Também o facto de todos eles conterem cores diferentes tornou-se uma mais valia para esta fase experimental.

Tabela 5- Papéis recolhidos como matéria prima para a pasta de papel

Tipos de papéis utilizados como matéria-prima para a pasta de papel	Papel de Jornal	Desperdícios de papéis de escritório	Cartão
			

7. Métodos utilizados

Relativamente ao processo utilizado, para a realização do compósito, este foi realizado em laboratório e teve uma duração de cerca de 40 minutos durante todo o processo. De forma a compreender-se todos os passos desenvolvidos ao longo deste processo, elaborou-se uma tabela acompanhada de imagens de todas as fases (tabela 6).

Tabela 6- Processo utilizado para a experimentação de PLA com fibra de sisal e coco

	<p>1. Seleção dos materiais que serão utilizados para a experiência.</p>
	<p>2. Pesagem dos elementos utilizados para cada experiência.</p>
	<p>3. O PLA é colocado numa frigideira sobre a fonte de calor para derreter.</p>



4. Depois do PLA bem líquido acrescenta-se a fibra com cuidado para esta não queimar.



5. Mistura-se bem as duas matrizes de forma a conseguir a melhor mistura possível das mesmas.



6. Após a mistura criada coloca-se no molde de silicone.

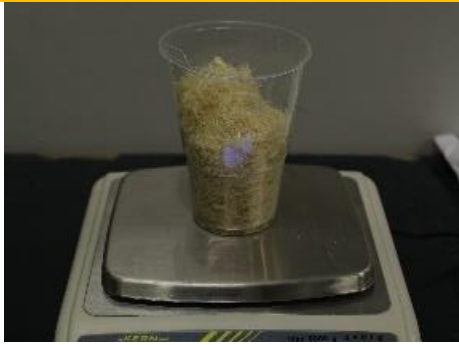


6. Processo de arrefecimento do material no molde por cerca de 15 minutos seguido do recolhimento da peça criada.

Relativamente ao processo utilizado para a realização do compósito de pasta de papel com fibra de sisal realizou-se também uma tabela ilustrativa de forma a clarificar todo o seu desenvolvimento (tabela 7). Este processo foi mais demorado que o anterior sendo que o cartão ficou em água 24h e só depois foi triturado, misturado com a fibra de sisal e colocado no molde. Após tudo isto ainda foram necessárias mais 24h para este secar a temperatura ambiente.

Tabela 7- Processo utilizado para a experimentação de pasta de papel com fibra de sisal e coco

	1. Seleção do papel/cartão cortado em pequenos pedaços.
	2. Colocação de pedaços num recipiente com água durante 12h.
	3. Trituração da pasta com auxílio de máquina elétrica.



4. Após a pasta de papel gerada, pesar a fibra para adicionar na pasta de papel.



5. Adição da fibra na pasta de papel



6. Após o composto concebido o mesmo é colocado num molde de madeira.



7. Fecha-se o molde de madeira.



8. Com o auxílio de um grampo prensa-se de forma a conseguir extrair a água que o composto contém através de uns furos que contém a base do molde.



9. Após cerca de 12h abre-se o molde e retira-se a peça concebida.

7.4-Trabalho realizado

7.4.1- Fase experimental- PLA reforçado com fibras

A tabela 8 é referente a amostras realizadas com as diferentes percentagens de fibra de coco de forma a comparar como este se comporta com o PLA e também ser possível fazer a comparação relativamente aos resultados anteriores.

A tabela 9 representa a percentagem de fibra de sisal nas várias experiências realizadas. Desta forma, foi possível perceber a forma como o material se comporta ao nível estético com as diferentes percentagens de fibra.

Tabela 8 - Quantidade de fibra de coco (%)









Amostras				
	A	B	C	D
Fibra	4%	10%	15%	20%

Tabela 9- Quantidade de fibra de sisal (%)

Amostras				
	A	B	C	D
Fibra	6%	10%	15%	20%

Polímero utilizado nas duas amostras:

- PLA - Ingeo™ Biopolymer 3251D, provided by Natureworks, Portugal

Mais informações sobre este material no anexo IV deste documento.

Durante a realização destas amostras conseguiu-se perceber a dificuldade acrescida durante a mistura das matrizes, sendo que quanto mais percentagem de fibra se acrescentava mais difícil se tornava a sua mistura.

A diferença de tons entre amostras deve-se ao tempo que o compósito esteve em contacto com a fonte de calor, onde os tons mais escuros variam entre 2 a 3 minutos e os mais claros até aproximadamente 1 minuto (figura 31). Quanto mais tempo este fica exposto mais a cor escurece e pode até mesmo queimar caso ultrapasse demasiado tempo. Este problema é recorrente aquando da mistura da fibra com o PLA já derretido. Com o aumento da quantidade de fibra torna-se mais difícil conseguir uma mistura

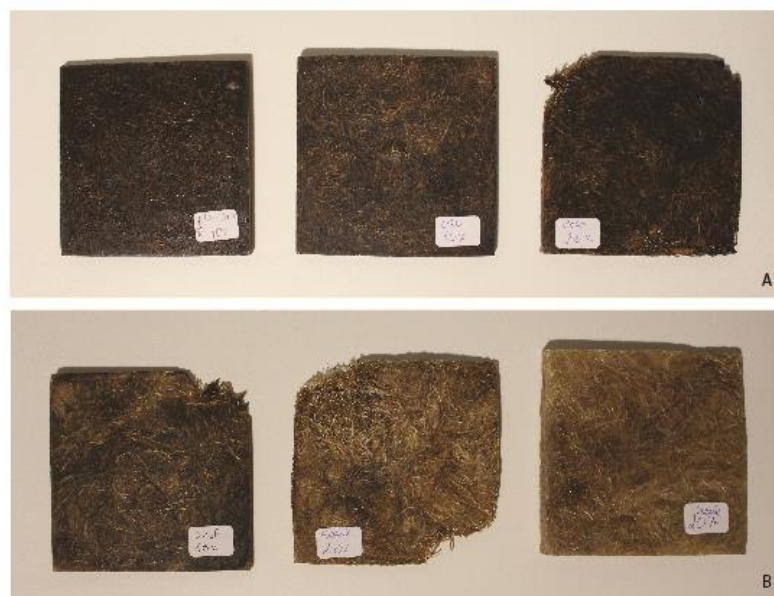


Figura 30- Comparação do aspeto físico das amostras

homogénea, o que leva muitas das vezes a que este processo seja demorado tornando o material mais escuro (figura 32).



Figura 31- Duas peças realizadas com PLA e fibra de sisal

7.5- Pasta de papel reforçada com fibras naturais

Sendo necessário procurar uma solução para o peso do material foram feitos testes com pasta de papel reforçada com fibras naturais de forma a dar ao material melhores propriedades mecânicas.

Inicialmente foram realizados testes com métodos manuais onde o pretendido era entender a potencialidade destes materiais e se justificava uma abordagem mais detalhada e pormenorizada numa abordagem posterior. Assim foram selecionados para o primeiro teste papéis de desperdícios de



Figura 32-Amostra produzida com desperdícios de papel de escritório e fibra de coco

escritório com coloração branca (figura 33) como forma de conseguir uma cor mais homogénea na amostra, o segundo teste com reaproveitamento de cartão (figura 33) e por último, com reaproveitamento de papel de jornal (figura 34).



Figura 33- Pasta de cartão reforçada com fibra de coco



Figura 34-Amostra de pasta de papel e fibra de sisal (esquerda) e amostra de pasta de papel e fibra de coco (direita)

Realizada a pasta de papel a partir da reciclagem de jornais pretendeu-se testar as duas fibras separadamente, criando uns pequenos copos de café, de forma a perceber o comportamento do material ao nível da profundidade das peças, começando por colocar os papéis em água conseguiu-se formar uma pasta onde posteriormente se adicionou a fibra de coco.



Figura 35- Amostra de pasta de papel de jornal com fibra de sisal



Figura 36- Amostras de pasta de papel de jornal com fibra de coco

Utilizando o mesmo método repetiu-se a amostra acrescentando fibra de sisal (figura 36) e depois repetiu-se o processo, mas com fibra de coco (figura 37).

Após adicionar a fibra em ambas as amostras conseguiu-se constatar a dificuldade em misturar os dois componentes apenas de forma manual, recorrendo-se assim a uma misturadora elétrica para auxiliar este processo.




Comparativamente aos resultados é de evidenciar que a fibra de sisal como reforço da matriz demonstrou ser mais fácil de misturar com a pasta de papel relativamente à fibra de coco sendo que se torna visível nas amostras (figura 38). Assim foram comparadas percentagens diferentes de fibra de sisal com pasta de cartão (tabela 9)



Figura 37- Amostras de pasta de papel de jornal com fibra de sisal e de coco

A tabela 9 é referente às amostras com percentagens diferentes de sisal, do processo realizado durante a experimentação da pasta de papel com recurso ao molde de madeira.

Tabela 10- Amostras de pasta de papel (cartão) com fibra de sisal

Amostra			
Fibra (%)	5%	10%	15%

8. Resultados: compósitos reforçados com fibra

Após o trabalho experimental, foi necessário determinar qual seria a melhor percentagem de fibra a implementar em ambos os compósitos de forma a que estes sejam aplicados no protótipo.

Desta forma recorreu-se à análise das amostras anteriormente realizadas com o intuito de determinar a maior percentagem de fibra em relação à facilidade de mistura da mesma, tanto com o PLA como com a pasta de papel.

Sendo que nos dois compósitos a fibra utilizada é em ambos a de sisal, alternou-se a segunda matriz de forma a conseguir utilizar os dois materiais e aplica-los na embalagem dando-lhe mais leveza e também procurando a redução de custos dos mesmos, sendo que o PLA contém um preço bem mais elevado que o cartão (figura 39), sendo que este último pode ser ainda reaproveitado, diminuindo assim ainda mais o preço do material.

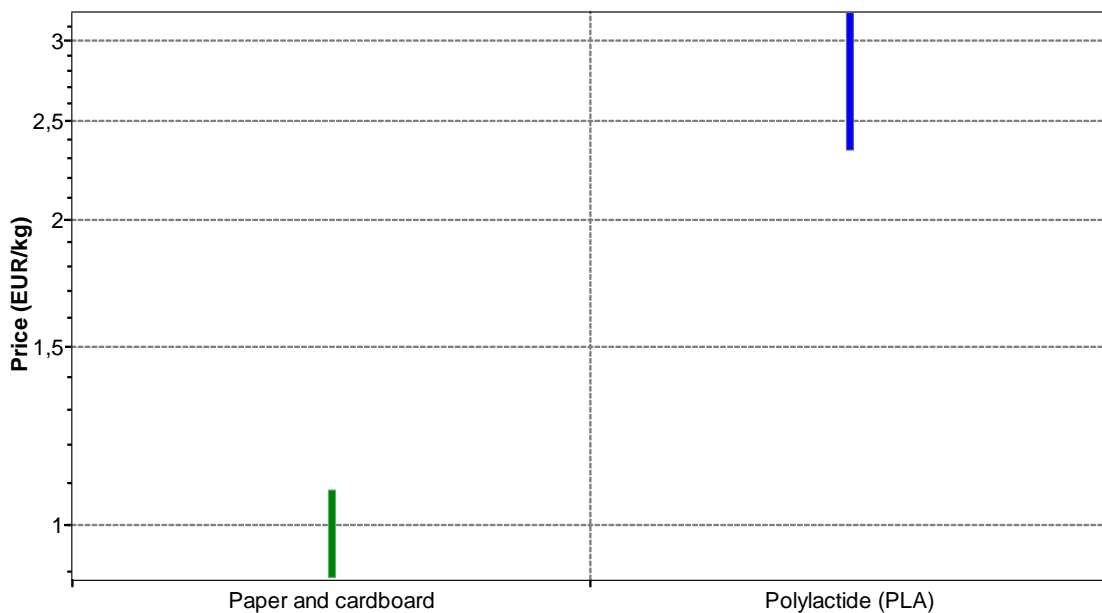


Figura 38-Relação do preço do papel/cartão e PLA

8.1. Compósito 1-PLA + Fibra de Sisal

Após toda a parte experimental realizada determinou-se que a percentagem mais elevada de fibra em relação à melhor conceção na mistura do compósito foi com 10% de fibra de sisal com PLA em relação ao peso (figura 40).



Figura 39- Amostra de PLA com 10% de fibra de sisal

Determinar a maior percentagem de fibra de sisal é um fator decisivo para conseguir que o material seja o mais leve possível de forma a tornar o produto final mais leve e ao mesmo tempo mais resistente, por conter uma maior percentagem de fibra.

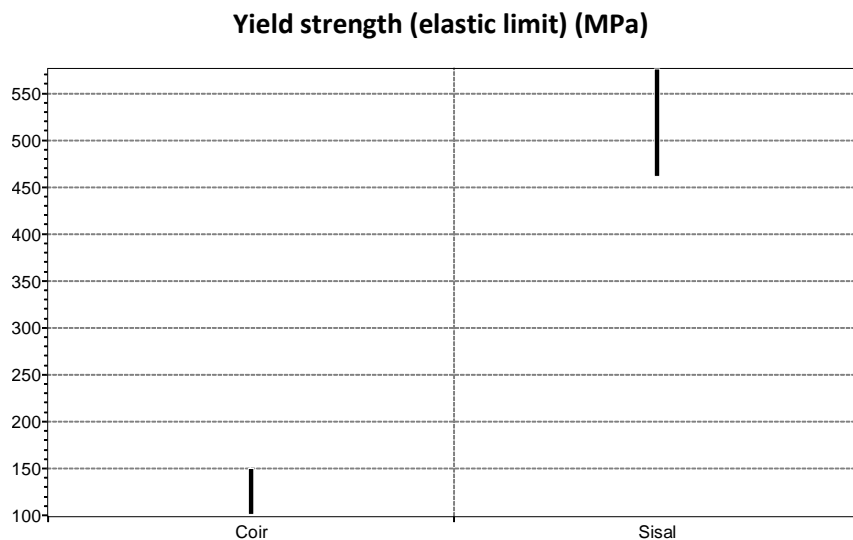


Figura 40- Limite de elasticidade- fibra de coco e fibra de sisal (CES EduPack 2017)

A escolha da fibra de sisal em vez da fibra de coco foi determinada por vários fatores, nomeadamente, a sua facilidade de utilização, a qual se verificou durante toda a parte experimental aquando a sua mistura com as duas matrizes na criação do compósito, sendo que entre as duas fibras a que demonstrou essa característica de forma mais elevada foi a fibra de sisal, pelas suas características físicas, sendo esta constituída por um diâmetro menor que a fibra de coco (tabela 11), mais regular e mais rija, tornando-a mais resistente ao calor, durante a mistura do compósito em contacto com a placa de

aquecimento levando a que este não queime tão facilmente ao invés da fibra de coco, que quando exposta ao calor durante o processo de aquecimento do compósito demonstrou mais sensibilidade à temperatura elevada. Também as propriedades mecânicas das fibras, inclusivamente o limite de elasticidade, (figura 41) foram um fator para a seleção das mesmas. Em conclusão, todos estes fatores foram determinantes para a escolha deste compósito tendo em consideração sempre o fim a que se destinava, mais concretamente, a sua aplicação numa caixa de sapatos.

Tabela 11- Diâmetro fibra de sisal e fibra de coco, adaptado (Silva 2003)

Fibra	Diâmetro (μm)
Sisal	50-300
Coco	100-450

8.2. compósito 2- Pasta de cartão + Fibra de Sisal

Depois da parte experimental realizada determinou-se que a melhor fibra para ser utilizada seria a fibra de sisal (figura 42), sendo que foi a que melhor se comportou como matriz de reforço do compósito.

Sendo esta fibra mais fina e fisicamente mais regular confere uma melhor adaptação quando misturada na pasta de papel tornando-a mais solta e facilitando todo o processo de mistura da mesma.



Figura 41- Amostra de pasta de papel com fibra de sisal

Esta fibra demonstrou também comportar-se melhor quando transformada em fibra curta sendo que esta é comercializada como fibra longa (figura 43), surge a necessidade de a tornar curta de forma a conseguir uma melhor mistura do compósito. Para isso foi necessário recorrer ao auxílio de uma tesoura e cortar a fibra com um tamanho aproximado de 1cm (figura 44).



Figura 42- Fibra de sisal longa



Figura 43- Fibra de sisal cortada

Capítulo IV

Caso de estudo

De forma a validar toda a fase experimental, procurou-se refletir sobre as necessidades e preocupações da marca Walkest de forma a conceber uma embalagem para calçado biodegradável.

9. Walkest (caso de estudo)

Walkest é uma marca que nasce conciliada com a preocupação com a natureza de um modo geral e em particular com a situação atual das nossas florestas e de que forma se pode intervir e ajudar na proteção das mesmas (figura 45). Desta forma, a marca pretende conciliar de forma harmoniosa o quotidiano da cidade com a natureza representada pelas florestas que as envolvem.



Figura 45- Botas walkest. Acedido a 22 de fevereiro de 2018. <https://walkest.pt/blogs/news>

Aquando o surgimento da grande problemática em Portugal da desflorestação, a Walkest sentiu a necessidade de implementar uma medida que contribui para o aumento do número das árvores nas florestas e também para consciencializar o



Figura 44- Reflorestação Walkest. Acedido a 24 de fevereiro de 2018. <https://walkest.pt/pages/reflorestacao>

consumidor para toda esta problemática. Assim, por cada artigo que a marca vende tem lugar a plantação de árvores autóctones em Portugal (figura 46).

No que à produção dos artigos diz respeito a Walkest também tem preocupações concretas, nomeadamente com o detalhe e primor de todas as peças dando uma elevada importância ao artesanato português, o que é visível no facto de ser contrária à produção em massa dos seus produtos, optando por criar os seus produtos manualmente, através de artesãos com mais de 50 anos de experiência na área.

Além de tudo o exposto, a preocupação com um comércio justo representa também a marca sendo que esta trabalha com os fornecedores locais com o intuito de se auxiliarem mutuamente. Tudo isto de forma a garantir que todos os envolvidos na

produção e distribuição dos seus artigos tenham um ambiente de trabalho seguro e salários justos (Walkest 2018).

10.1. Solução para nova embalagem

A Walkest pretende inovar na embalagem das suas botas de forma a conseguir o menor impacto ambiental possível sendo que agregada à identidade da marca está a reflorestação das nossas florestas.

Atualmente, a embalagem que a marca utiliza é constituída por cartão reciclado, onde são aplicadas algumas impressões, como o logo e o contacto da marca (figura 47).



Figura 46- Embalagem atual da marca Walkest.
Acedido a 21 de fevereiro de 2018 <https://walkest.pt>

As particularidades que a walkest propôs para a nova embalagem surge principalmente da preocupação com o envio do produto por correio, sendo que uma percentagem ainda significativa remete para a sua venda online, o que implica outros cuidados e preocupações com o tipo de embalagem, para permitir o transporte da mesma e também proporcionar uma maior proteção do produto, principalmente quando a distância para entrega é elevada. Desta forma é necessário ter em atenção os seguintes pontos:

- A embalagem precisa ser relativamente leve (máximo 2kg incluindo o peso das botas) de forma a não acrescentar valor nas despesas de envio;
- É necessário que esta contenha alguma resistência ao impacto e impermeabilidade de forma a proteger o produto das condições adversas (transporte/correio);
- Procurar que a embalagem contenha uma segunda função de forma a torná-la mais útil e a aumentar o seu tempo de vida;
- O preço da nova embalagem ser baixo, atendendo às características da mesma;

A tabela 12 representa o valor mínimo e máximo do tamanho das botas de forma a conseguir alcançar as medidas mais adequadas para a embalagem, de forma a consumir a menor quantidade de material possível na realização da mesma.

Tabela 12- Diferença entre o tamanho mínimo e máximo das botas Walkest

	Comprimento
Tamanho mínimo- 34	22,7 cm
Tamanho máximo-45	30 cm
Diferença entre tamanhos	7,3 cm

Desta forma pretende-se resolver um dos problemas que surge na concessão das embalagens de calçado e que se baseia no facto de a mesma embalagem não conseguir adequar-se a todos os tamanhos. Assim, a nova embalagem criada visa ajustar-se de forma a que não seja necessário recorrer a embalagens com tamanhos diferentes para embalar tamanhos diversos de botas.

Este fator facilita ainda aquando da reposição de stock para a empresa, pois resume-se a uma única embalagem.

Assim, compreende-se que a embalagem terá que ser flexível de forma a adaptar-se aos diferentes comprimentos que os vários tamanhos possuem (figura 48 e 49).



Figura 47- Comprimento mínimo e máximo das botas Walkest Figura 48- Altura mínima e máxima das botas Walkest

Estas medidas influenciam toda a embalagem, tanto ao nível da largura como da altura e onde o comprimento acompanhará o tamanho das botas que serão colocadas no seu interior. Sendo que a medida que mais altera consoante o tamanho das botas aumenta é o do comprimento da bota, o que se pretende é conceber uma embalagem que consiga adaptar-se a essa alteração de forma a que as botas fiquem devidamente protegidas e acomodadas de modo a não se danificarem aquando a movimentação da embalagem.

A figura 50 demonstra a forma tradicional da colocação das botas nas embalagens sendo que esta será a adotada para a embalagem proposta.

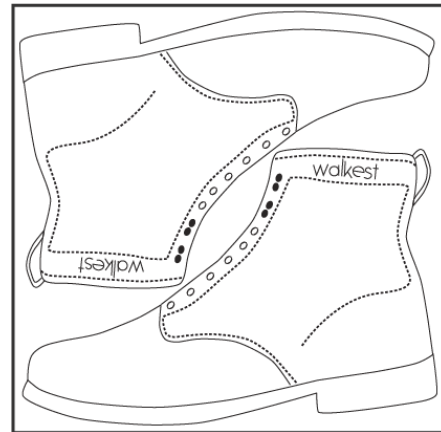


Figura 49- Ilustração da forma de colocação das botas na embalagem (vista de cima)

Capítulo V

Proposta de projeto

Este capítulo apresenta como principal objetivo demonstrar a aplicação dos materiais desenvolvidos anteriormente neste tipo de aplicação.

Desta forma este é dividido em três partes. Na primeira é demonstrada a proposta de design para a embalagem, juntamente com as dimensões da mesma. Na segunda parte é apresentada a proposta para uma segunda função da embalagem. Por fim, a terceira parte apresenta o processo de criação do protótipo da mesma.

11- Proposta de Embalagem

O principal objetivo para a criação do design da embalagem das botas Walkest foi conseguir adaptar as medidas da mesma a todos os tamanhos que a marca comercializa. Assim sendo, concluiu-se que a tampa deveria ser colocada na parte lateral da embalagem e não na parte superior como acontece na maioria das embalagens de calçado que encontramos no mercado.

Grande parte das comercializações feitas pela marca são realizadas via online, razão pela qual a questão do transporte foi também um dos elementos essenciais aquando da criação desta proposta.

Como imagem para o desenvolvimento de toda a embalagem teve-se por base a simplicidade das formas com o intuito de dar mais ênfase ao aspeto dos compósitos de forma a que estes tornassem a peça mais interessante e atrativa, pois remete para a natureza, visto que os materiais desenvolvidos têm um aspeto muito idêntico à madeira.

Assim, começou por se desenhar uma embalagem simples de forma a não se destacar mais que o produto para que é pensada. Posto isto, desenvolveu-se duas partes, um corpo principal acompanhado de uma tampa que fecha a embalagem. Sendo o corpo da embalagem simples, composto por cinco faces lisas, procurou criar-se maior detalhe na

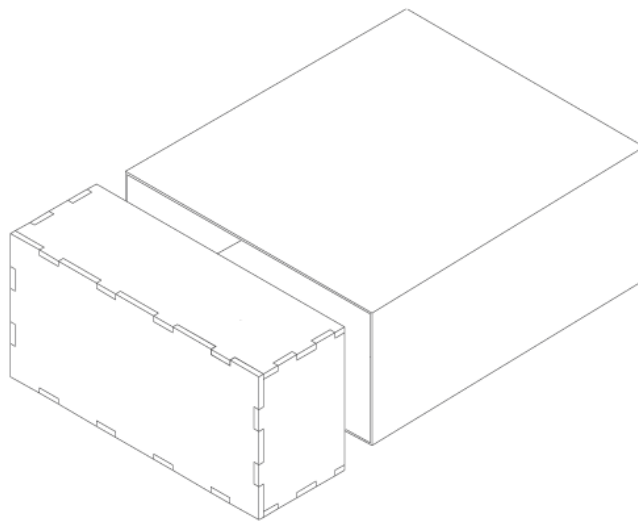


Figura 50- Esboço da embalagem

tampa da embalagem inserindo uma forma de encaixe com dentes, de modo a estes fortalecerem a estrutura da mesma (figura 51).

Uma vez que durante este estudo foram desenvolvidos dois materiais de forma a conseguir diminuir o peso da caixa chegou-se à conclusão de que na parte mais pequena da embalagem, ou seja, a tampa, seria aplicado o compósito de PLA e fibra de sisal (10%) e na parte maior da embalagem o compósito de pasta de papel com fibra de sisal (15%).

Desta forma, conseguia-se aplicar dois materiais biodegradáveis com texturas e pesos diversos e visualmente diferentes (figura 52).

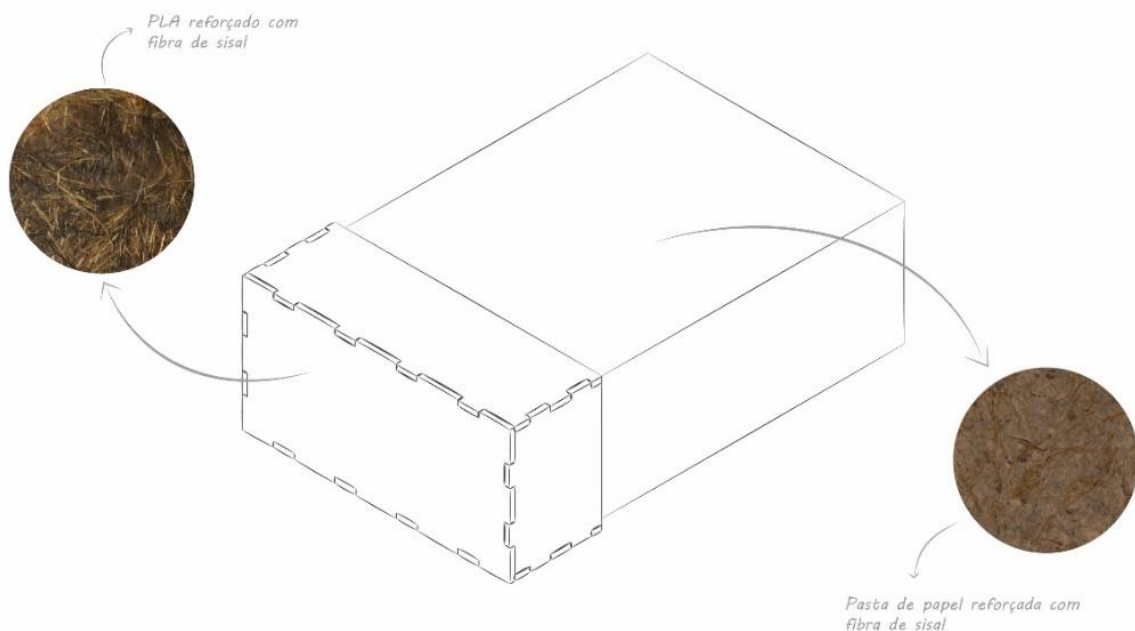


Figura 51- Esboço da ideia para a embalagem de calçado e respetivas aplicações dos materiais

Esta embalagem foi também pensada de maneira a ser apresentada nas duas formas possíveis, horizontal e vertical (figura 53), dando assim mais destaque aquando da exposição em lojas ou montras por não ser tão utilizado neste tipo de embalagens.



Figura 52- Disposição possível da embalagem



Figura 53- 3D da proposta da embalagem

Deste modo é também possível adaptar a embalagem na arrumação do stock em loja ou em armazém sendo que podem ser colocadas de duas formas distintas facilitando assim a ergonomia do espaço, não só em loja como também em casa de quem adquirir a mesma. A figura 54 demonstra o 3D da proposta para a nova embalagem.

Ainda de forma a destacar a marca recorreu-se à aplicação em baixo relevo do *logo* da marca Walkest (figura 55).

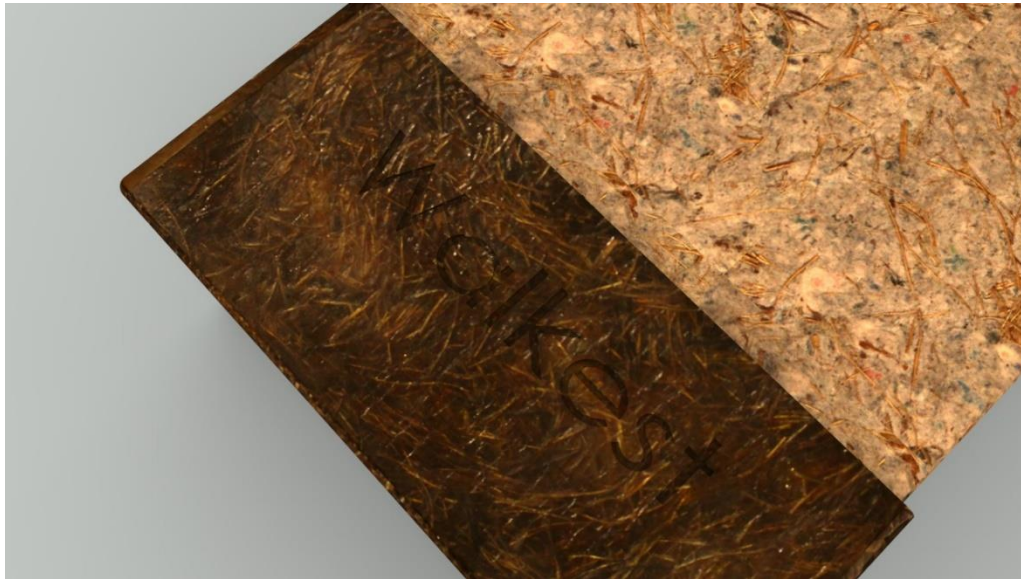


Figura 54- Pormenor do baixo relevo aplicado na embalagem

11.1- Maquete de estudo

De modo a compreender melhor a estrutura e as dimensões da proposta de design para a embalagem de calçado apresentada foi realizada uma maquete de estudo. A partir desta foi possível estabelecer uma relação inicial entre a forma da embalagem e o produto, com o intuito de entender se esta seria uma boa abordagem para a mesma.

Esta maquete de estudo foi realizada toda em K-line de 5mm (figura 56).

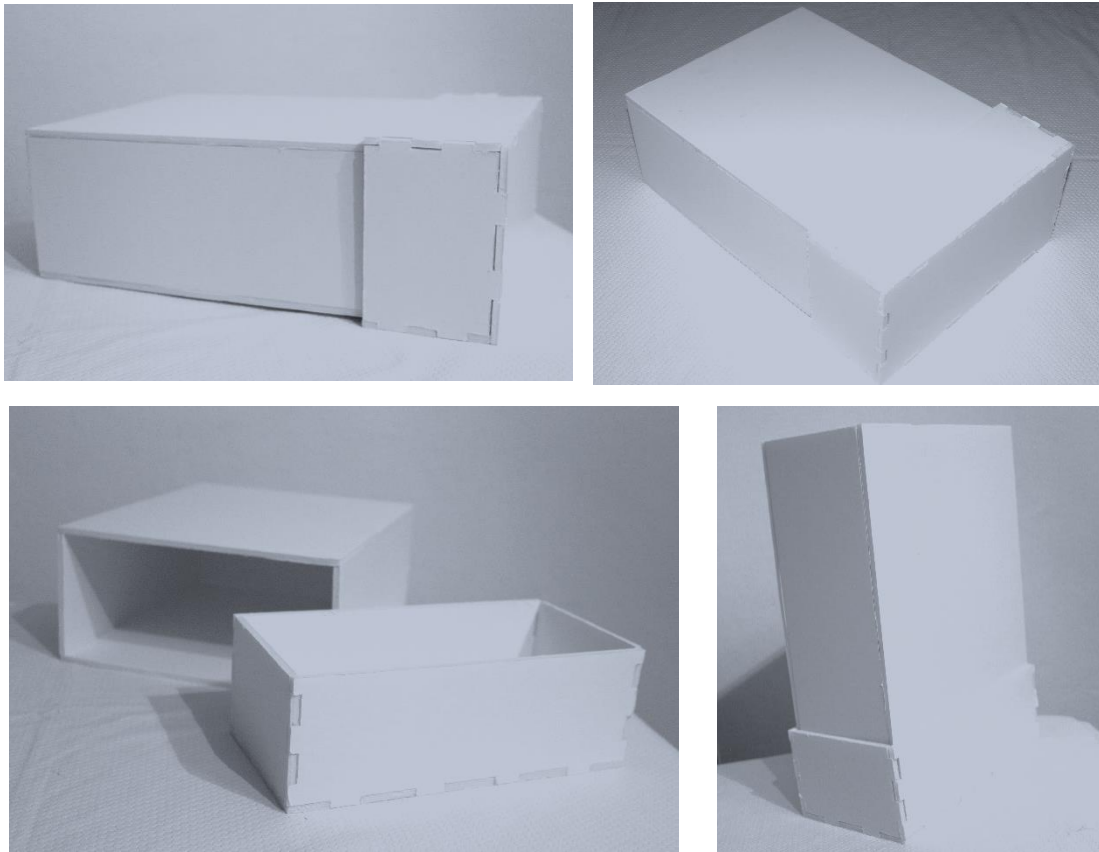


Figura 55- Maquete da embalagem em escala real

11.2- Dimensões gerais

A embalagem é composta por duas partes, um corpo principal e uma tampa. As dimensões das mesmas são apresentadas de forma separada e acompanhadas do número de peças necessárias para a embalagem.

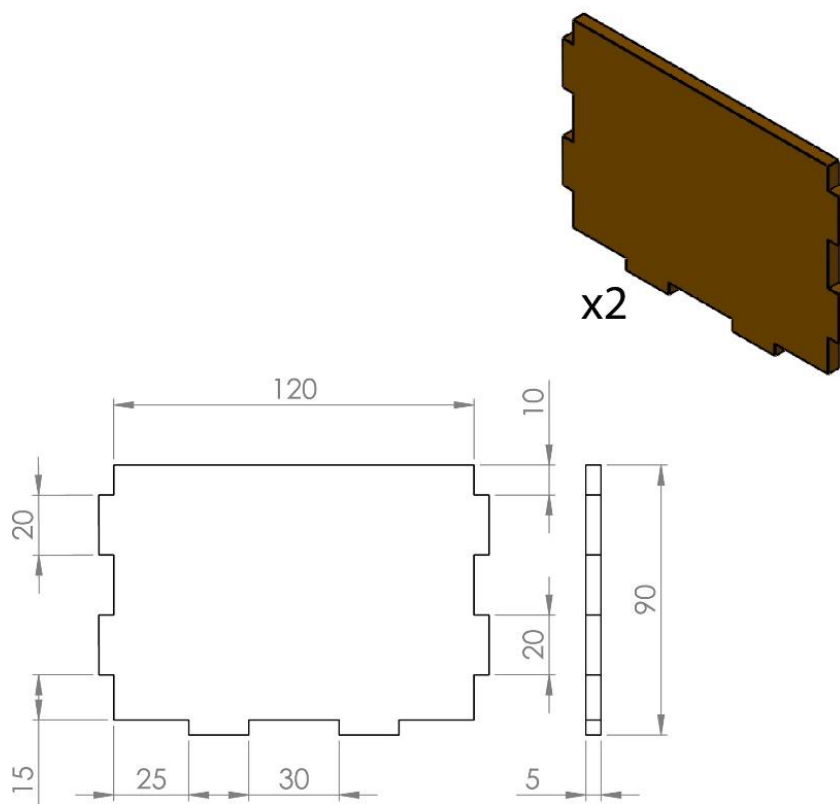


Figura 56- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)

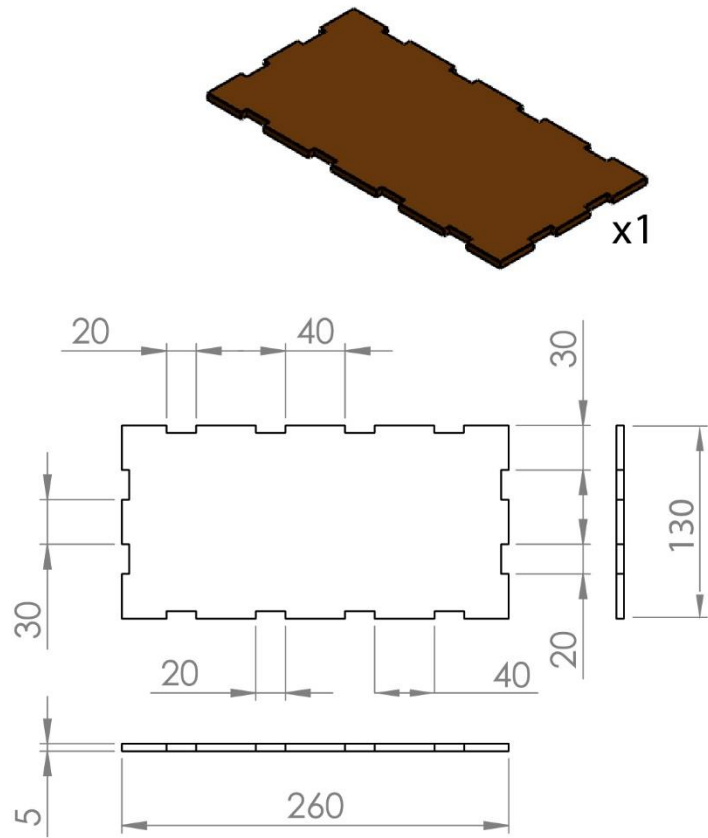


Figura 57- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)

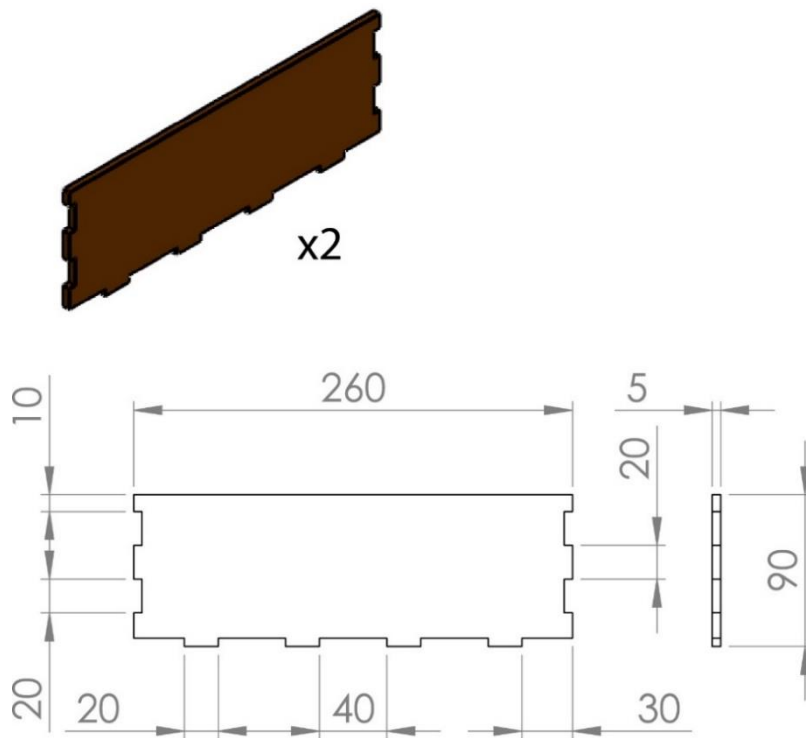


Figura 58- Dimensões gerais de uma das peças de PLA com fibra de sisal (mm)

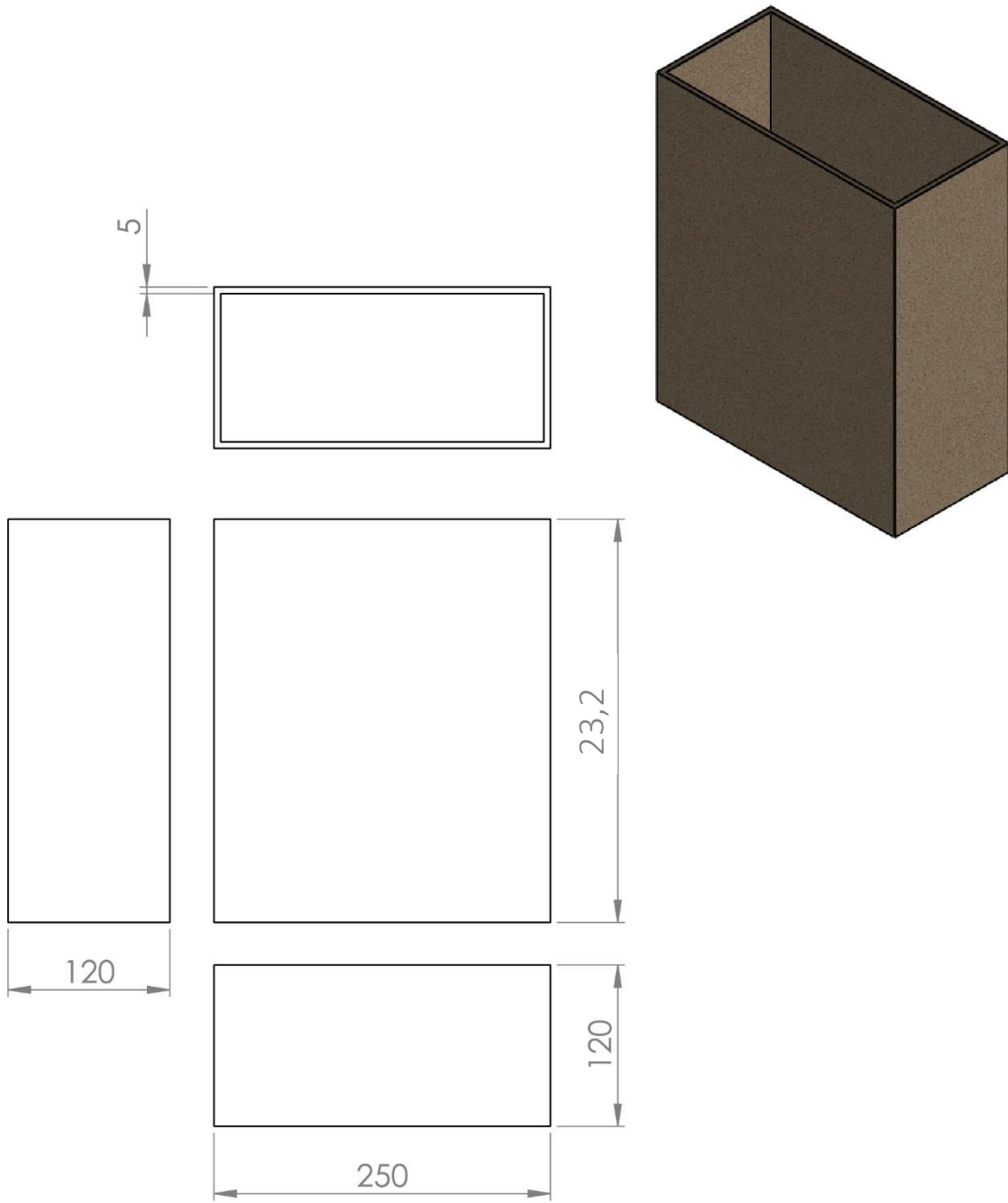


Figura 59- Dimensões gerais para a parte de pasta de papel com fibra de sisal (mm)

11.3- Proposta para segunda função

Procurando não só aplicar materiais mais amigos do ambiente, mas também atender à necessidade e vontade de dar outra função à embalagem, de maneira a que o consumidor retire o máximo proveito da mesma.

Refletindo esta preocupação da marca walkest com o ambiente e sendo que o compósito desenvolvido com PLA e fibra de sisal demonstra ser bastante resistente, determinou-se que a parte da embalagem composta pelo mesmo poderia eventualmente ser aplicada futuramente num vaso de decoração de interiores (figura 61).

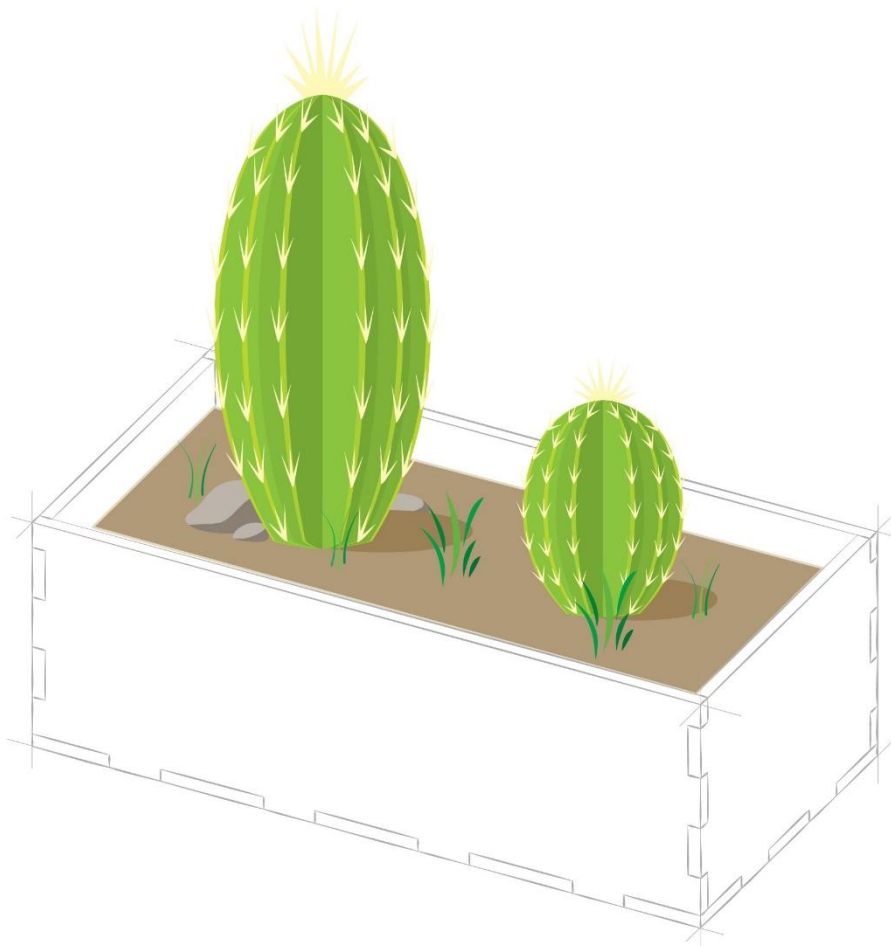


Figura 60- Esboço da segunda função para a tampa da embalagem

A figura 62 demonstra essa aplicação, sendo que pelo facto de não existir orifícios devido às questões de transporte do mesmo é aconselhável a plantação de espécies que não seja necessário regar tão regularmente de forma a não conter uma taxa de humidade muito elevada no interior da peça. Para a parte maior da embalagem propõe-se que esta seja aplicada como organizador de folhas de mesa (figura 63).



Figura 61- 3D da aplicação da segunda função referente à tampa da embalagem







Figura 62- 3D da aplicação para segunda função referente à parte maior da embalagem

11.4- Realização do protótipo

Para a realização do protótipo foram procuradas estratégias que facilitassem a concretização a um baixo custo. Assim sendo a primeira parte realizada foi a da tampa da embalagem a partir de PLA e fibra de sisal recorrendo ao mesmo processo mencionado no capítulo III. Relativamente aos moldes como os mais apropriados, em silicone, apresentavam valores muito elevados para a sua aquisição, surgiu a ideia de criar placas com a altura das peças, recorrendo-se ao laser para o recorte da forma da peça. Após o molde estar criado foi forrado com papel vegetal de forma a conseguir uma boa desmoldação da peça. Por fim retirou-se os excessos de material de forma a ficar com a peça pretendida. Este desenvolvimento é ilustrado na tabela 13.

Tabela 13- Desenvolvimento da tampa da embalagem

	1. Revestimento dos moldes com papel vegetal.
	2. Colocação do compósito no molde seguido de prensagem com auxílio de uma placa de madeira forrada também com papel vegetal.
	3. Após o material arrefecer (cerca de 20 minutos) retira-se a peça do molde.
	4. De forma a retirar os excessos recorreu-se a uma lixa de calçado.



5. Após a confecção de todas as placas estas foram coladas de forma a criar a tampa.

Após o molde se encontrar forrado colocou-se o compósito e prensou-se o material manualmente com o auxílio de uma placa de madeira forrada com papel vegetal.

Relativamente ao corpo da embalagem foi concebido a partir do processo descrito no capítulo III, começando pela criação da pasta de papel, onde neste caso se utilizou o cartão. Após a criação da pasta adicionou-se a fibra de sisal e por fim colocou-se no molde. Visto que a criação deste protótipo teve lugar de forma artesanal recorreu-se à criação de uma caixa de contraplacado, que foi toda forrada com rede de forma a que a pasta de papel não aderisse à superfície. Colocada a pasta no molde esta é prensada, de forma a retirar a maior quantidade de água possível. Ainda, para a realização do corpo da embalagem foi necessário desenvolver 4 placas e procurou-se reutilizar a água utilizada de forma a diminuir o impacto no consumo de água, por questões de poupança desta.

Concluídas todas as placas estas foram cortadas e lixadas de forma a se atingir as medidas pretendidas. A tabela 14 simplifica todo o processo com o auxílio de imagens de forma a tornar mais perceptível o modo como este protótipo foi desenvolvido.

Tabela 14- Desenvolvimento do protótipo do corpo da embalagem.

	<p>1. Pasta de papel com fibra de sisal produzida.</p>
	<p>2. Colocação de rede na superfície do molde de madeira para uma melhor desmoldagem da pasta.</p>
	<p>3. Colocação da pasta de papel reforçada com fibra de sisal.</p>
	<p>4. Secagem do material a temperatura ambiente durante 24h.</p>
	<p>5. Placa retirada do molde.</p>
	<p>6. De forma a retirar os excessos e alisar a superfície recorreu-se ao auxílio de uma lixa de calçado.</p>
	<p>7. Por fim, após todas as placas concebidas colou-se as mesmas de forma a criar a embalagem.</p>

Após ambas as partes criadas o protótipo estava desenvolvido como podemos evidenciar na figura 64.



Figura 63- Protótipo final da embalagem de calçado.

Concluiu-se assim, que a embalagem funciona tanto ao nível estrutural como ao nível estético e se relaciona com o tipo de calçado e com todo o conceito da marca Walkest ligado à natureza (figura 65)



Figura 64- Botas Walkest e protótipo da embalagem.

11.5- Processos de fabrico

Para a criação da embalagem de calçado é necessário recorrer a métodos de construção distintos, visto que os compósitos contêm características bastante díspares. Assim, propõem-se dois métodos para a construção da peça.

Relativamente à peça constituída pelo compósito 1 (PLA + fibra de sisal) é proposta a utilização do processo de moldagem por injeção. A figura 66 ilustra uma máquina de moldagem por injeção. O método de moldagem por injeção é o método mais comum na fabricação de peças de materiais termoplásticos e termoendurecíveis. Durante todo o processo, o material é colocado no funil até entrar no barril aquecido onde este é forçado a entrar na cavidade do molde e após o arrefecimento do material o mesmo endurece ganhando a forma do molde. A máquina de moldagem por injeção consiste num funil onde é colocado o material, um cilindro de injeção e uma unidade de aquecimento. O material plástico requer mais pressão de injeção de forma a preencher o molde por completo sendo que acresce a necessidade de mais força para manter o molde fechado (Sreenivasulu e Ravikanth 2013).

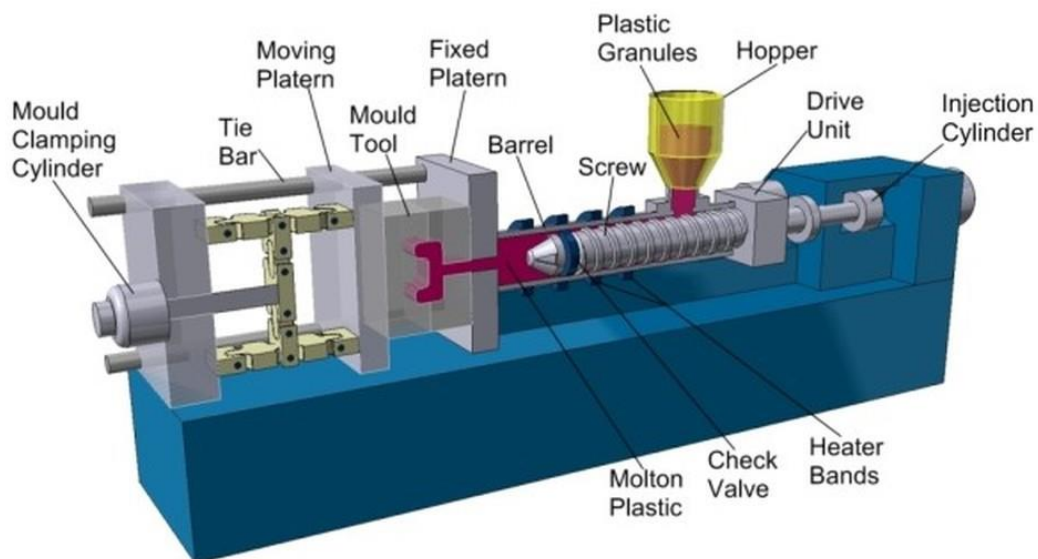


Figura 65- Máquina de moldagem por injeção (Sreenivasulu e Ravikanth 2013)

Para a peça referente ao compósito 2 (pasta de papel + fibra de sisal) é proposto o processo de termoformação (figura 67). Este processo de produção nos diferentes tipos de produtos de pasta de papel varia principalmente em relação ao método de secagem, que normalmente é realizado num forno quente. De uma forma geral, a produção de pasta de papel moldada envolve uma suspensão de fibras na água, depositando-a num molde com filtro.

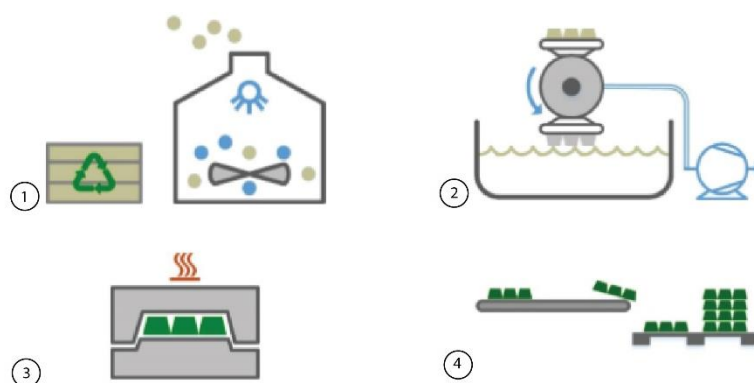


Figura 66- Etapas do processo de fabrico da pasta de papel por termoformação (Didone et al. 2017)

Relativamente à matéria-prima, esta é colocada em água e misturada até que seja alcançada a consistência desejada da pasta. Os aditivos, como por exemplo colas ou enchimentos, são introduzidos para produzir as funções necessárias, método este utilizado também na indústria de papel.(Hubbe 2007)

Quando a pasta de papel estiver formada esta estará preparada para ser moldada por ferramentas personalizadas. Estas ferramentas consistem numa rede de metal apoiada por um molde composto por perfurações. A máquina é então descida de forma a puxar a água através da rede de metal aplicando assim vácuo. Dá-se assim a sucção da água, o que ajuda a ligar as fibras.

A parte molhada é então movida para um molde aquecido, onde a peça é comprimida e seca por completa a partir de duas partes combinadas do molde. Torna-se assim a superfície relativamente lisa e alcança-se uma boa precisão dimensional. A prensagem leva assim a um melhoramento das propriedades mecânicas do produto, auxiliando também no empilhamento, para um armazenamento e transporte mais eficiente. Em

suma, a pressão é necessária para alcançar uma boa ligação entre as fibras..(Lucisano, Martinez, e STFI 2001)

Por fim, faz-se o corte e a inspeção da qualidade da peça, onde as bordas salientes são aparadas e os restos ou produtos não utilizados são devolvidos à mistura da pasta para que sejam reutilizados (SPI 2015).

Relativamente à simulação de preços foram tidos em conta os valores dos materiais utilizados durante a realização do protótipo real, tendo em conta que os valores podem variar pelo facto de muito do material se perder ao longo de todo o processo. No que diz respeito à tampa da embalagem em PLA e fibra de sisal, calculou-se o peso aproximado do material utilizado (tabela 15) chegando a um valor de custo também ele aproximado (tabela 16).

Tabela 15- Total de material utilizado para a tampa da embalagem (valores aproximados)

Materiais	Peso de material utilizado- Valores aproximados (g)
PLA	500g
Fibra de Sisal	50g

Tabela 16- Preço aproximado por tampa da embalagem

Materiais	Preço de material utilizado para a tampa da embalagem (€)
PLA	2,75 €
Fibra de Sisal	0,50 €
Total	3,25 €

Relativamente ao corpo da embalagem utilizou-se o mesmo processo para chegar a um valor aproximado de custo contudo, se o cartão for do reciclado o valor será inferior (tabela 17 e 18).

Tabela 17- Total de material utilizado para o corpo da embalagem (valores aproximados)

Materiais	Peso de material utilizado – Valores aproximados (g)
Pasta de papel (cartão)	800g
Fibra de sisal	80g

Tabela 18- Preço aproximado do corpo da embalagem

Materiais	Preço de material utilizado para o corpo da embalagem (€)
Pasta de papel (cartão)	0,70 €
Fibra de sisal	0,50 €
Total	1,20 €

Assim sendo, e tendo em consideração que nenhum dos valores são exatos, refletem somente o custo dos materiais utilizados na criação do protótipo real no qual se utilizou os materiais reais a fim de chegar a um valor próximo do custo por embalagem. Determinou-se desta forma que as quantias dos materiais utilizados refletem um valor de custo aproximado de 4,45 € (tabela 19).

Tabela 19- Preço total aproximado da embalagem.

Partes da embalagem	
Tampa da embalagem	3,25 €
Corpo da embalagem	1,20 €
Preço total aproximado	4,45 €

Capítulo VI

Conclusões

Este capítulo reflete-se sobre todo o trabalho desenvolvido de forma a analisar todo o processo e determinar as recomendações para um trabalho futuro.

12.1. Conclusões

Atualmente, encontra-se em crescendo o desenvolvimento de novos materiais biodegradáveis de forma a conseguir estabelecer um equilíbrio entre os produtos que utilizamos no nosso dia-a-dia e o meio ambiente. Equilíbrio esse que vem sendo ambicionado já desde o século passado, todavia as medidas implementadas nesse sentido são claramente insuficientes. Agregada a esta busca por novos materiais encontra-se a reciclagem ou a reutilização de matérias primas conciliada com a preocupação referente aos processos de fabrico de forma a conseguir um menor impacto ao longo de todo o processo. Pois, em boa verdade, não se poderá atingir os objetivos pretendidos, nomeadamente em matéria de prevenção e proteção do meio ambiente, se a mudança não tiver lugar precisamente no decorrer do processo de criação.

A partir do capítulo II conseguimos ter uma melhor perceção sobre toda a problemática dos novos materiais na procura de soluções sustentáveis para aplicações em produtos do nosso quotidiano. Destacam-se desde logo os polímeros biodegradáveis como grandes potenciadores alternativos aos polímeros tradicionais, pelo facto de conterem boas características mecânicas conciliadas com a preocupação ambiental. De referir ainda que com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas do material têm vindo a ser incluídos reforços na matriz destes novos materiais. Um outro ponto pertinente que se concluiu também no decorrer deste capítulo, prende-se com o facto de que as fibras naturais de origem vegetal são uma boa opção para esta aplicação. Esta é uma matéria em que o design deve ser encarado como uma oportunidade essencial para o desenvolvimento de produtos diversificados apoiados na ecologia e na preocupação com a natureza, ou não fosse esta matéria ambiental altamente preocupante desde o século XX, tendo mesmo já sido objeto de estudo nas mais diversas áreas, infelizmente quase tudo teve apenas lugar no campo teórico, sendo o design uma área privilegiada por permitir transmitir estas preocupações na criação de objetos comuns do nosso quotidiano mas de um modo mais sustentável.

No capítulo III é apresentado todo o trabalho experimental desenvolvido ao longo desta dissertação. O mesmo resulta assim no desenvolvimento de dois compósitos distintos onde foram estudadas as suas características a fim de serem utilizados em produtos reais. De mencionar que podemos concluir por um resultado positivo dos mesmos nas pequenas amostras realizadas no decorrer deste trabalho. Apesar dos processos utilizados serem todos realizados manualmente sem auxílio de instrumentos próprios para a mistura dos compósitos e para a prensagem dos mesmos, ambos os compósitos demonstraram resultar, sendo que o PLA excedeu as expectativas. Pois, além deste ser biodegradável, como é um material moldável demonstrou resultados positivos nas experiências com diferentes moldes.

Posteriormente, no desenvolvimento do protótipo da proposta para a embalagem das botas Walkest verificou-se a facilidade com que ambos os compósitos conseguiram adaptar-se à forma e aos moldes improvisados criados para o efeito.

Conclui-se assim que ambos os compósitos desenvolvidos poderão ser aplicados em diferentes produtos e que conseguirão facilmente adaptar-se a diversas formas visto que ambos são bastantes moldáveis, característica essa fundamental neste processo.

Em suma, ao longo deste processo foi possível obter resultados positivos, mas ainda mais importante foi perceber que os mesmos não se refletiram de modo ainda mais claro, na maioria das situações, por limitações decorrentes do processo se ter desenvolvido de modo quase exclusivamente manual. Assim, analisando agora todo o caminho percorrido, podemos concluir que o mesmo permitiu encontrar respostas, as quais já foram supramencionadas, bem como criar novas perspetivas quanto à forma de elaboração do projeto.

12.2. Recomendações para trabalhos futuros

No futuro, felizmente muito mais pode ser melhorado sendo que o período de tempo para o desenvolvimento dos compósitos foi relativamente curto e o facto de ter sido realizado apenas por uma pessoa levantou alguns obstáculos ao longo de todo o processo e muitas das vezes condicionou a parte experimental.

Relativamente aos compósitos seria ainda necessário realizar ensaios mecânicos a fim de identificar as suas propriedades mecânicas de forma a proceder à sua aplicação em outras áreas e em outro tipo de peças.

Também se deverá procurar aumentar o teor de fibra em ambos os compósitos com o auxílio de tecnologias, pois significaria uma franca melhoria, pois permitiria reforçar ainda mais os materiais e além disso também os tornaria ainda mais leves e baratos.

Pretende-se também despertar principalmente nas indústrias a preocupação com a escolha dos materiais que usam, de forma a existir uma preocupação com a implementação de medidas sustentáveis, nomeadamente através de uma melhor seleção da matéria prima utilizada na criação dos seus produtos.

Referências bibliográficas

- Alessandra Luzia Da Róz, Ralf Giesse. 2003. "O Futuro dos Plásticos: Biodegradáveis e Fotodegradáveis". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*.
- Anandjiwala, Rajesh. 2017. "Natural fibres for technical applications in value-added products". Comunicação apresentada em Proceedings of the 3rd International Conference on Natural Fibers - Advanced Materials for a Greener World, em Braga, Portugal.
- Artur Caron, Jairo José Drummond, Carlos Alberto Silva, Caroline Salvan. 2011. "O uso de bioplásticos no desenvolvimento de produtos sustentáveis". Comunicação apresentada em DESENHANDO O FUTURO, 1º CONGRESSO NACIONAL DE DESIGN
- Avérous, L. 2008. "Chapter 21 - Polylactic Acid: Synthesis, Properties and Applications A2 - Belgacem, Mohamed Naceur". Em *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, editado por Alessandro Gandini, 433-450. Amsterdam: Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080453163000211>.
- B.V, Materia Exhibitions. 2016. "Coffee Panels". Acedido a 29 de março. <https://materia.nl/material/coffee-panels/>.
- Barros, Ângela Maria Puga Caridade de. 2011. "Síntese e caracterização de um polímero biodegradável".
- Bastos, Valéria Delgado. 2007a. "BioPolímeros e Polímeros de matérias-Primas ReNováveis". *Revista do BNDES*, Dezembro 2007, 201-234.
- . 2007b. "Etanol, alcoolquímica e biorrefinarias". *BNDES Setorial*, março, 5-38. https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2527/1/BS%2025%20Etanol,%20Alcoolquímica%20e%20Biorrefinarias_P.pdf.
- Bhatnagar, A e M Sain. 2005. "Processing of cellulose nanofiber-reinforced composites". *Journal of Reinforced Plastics and Composites* no. 24 (12):1259-1268.
- Caniato, Federico, Maria Caridi, Luca Crippa e Antonella Moretto. 2012. "Environmental sustainability in fashion supply chains: An exploratory case based research". *International Journal of Production Economics* no. 135 (2):659-670. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527311002659>.
- Castilho, Leda R., David A. Mitchell e Denise M. G. Freire. 2009. "Production of polyhydroxyalkanoates (PHAs) from waste materials and by-products by submerged and solid-state fermentation". *Bioresource Technology* no. 100 (23):5996-6009. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409006610>.
- Chiellini, E. e R. Solaro. 1996. "Biodegradable polymeric materials". *Advanced Materials* no. 8 (4):305-313. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030125278&partnerID=40&md5=263feee31d19a002efa0080ba04ec0ea>.
- Cho, Byoung-Uk, Jeong-Yong Ryu, Benjamin Fabry e Bong-Keun Song. 2007. "Optimization of Repulping Process of Unsorted ONP for Pulp Mold (II)-Pilot trial". *Journal of Korea Technical Association of The Pulp and Paper Industry* no. 39 (5):39-44.
- Christophe Chassenieux, Dominique Durand, Parameswaranpillai Jyotishkumar, and Sabu Thomas. 2013. "Biopolymers: State of the Art, New Challenges, and Opportunities". Em *Handbook of Biopolymer-Based Materials: From Blends and Composites to Gels and Complex Networks*, editado por Wiley-VCH.
- Corradini, Elisângela, José A. M. Agnelli, Luís C. de Moraes e Luiz H. C. Mattoso. 2008. "Estudo das propriedades de compósitos biodegradáveis de amido/glúten de milho/glicerol reforçados com fibras de sisal". *Polímeros* no. 18:348-352.

- http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282008000400016&nrm=iso.
- CSC. 2016. "Plásticos – Tendências e Perspetivas". Acedido a 20 de janeiro. <https://reviplast.wordpress.com/2016/07/04/plsticos-tendncias-e-perspetivas/>.
- Didone, Mattia, Prateek Saxena, Ellen Brilhuis-Meijer, Guido Tosello, Giuliano Bissacco, Tim C Mcalooone, Daniela Cristina Antelmi Pigosso e Thomas J Howard. 2017. "Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology". *Packaging Technology and Science*.
- Diegues, Antonio Carlos S. 1992. "Desenvolvimento sustentável ou sociedades sustentáveis: da crítica dos modelos aos novos paradigmas". *São Paulo em perspectiva* no. 6 (1-2):22-29.
- Eco-Products. 2018. "World Art™ Hot Cups". Acedido a 20 de abril. https://www.ecoproducts.com/world_art_hot_cups.html.
- Elvin Karana, Bahareh Barati, Valentina Rognoli and Anouk Zeeuw van der Laan 2015. "Material Driven Design (MDD): A Method to Design for Material Experiences". *International Journal of Design* no. Volume 9.
- Epobio. 2006. "Foundation papers for each of the Flagships". Comunicação apresentada em PRODUCTS FROM PLANTS – THE BIOREFINERY FUTURE, em Wageningen International Conference Centre. http://www.agronavigator.cz/userfiles/File/Agronavigator/Kvasnickova/epobio_1_fina_lreport.pdf
- European, Union. 2014. Bio-Tic: Overcoming hurdles for innovation in industrial biotechnology in Europe. <http://mig.www.industrialbiotech-europe.eu/new/wp-content/uploads/2014/09/bioplastics-summary.pdf>.
- Faruk, Omar, Andrzej K. Bledzki, Hans-Peter Fink e Mohini Sain. 2012. "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010". *Progress in Polymer Science* no. 37 (11):1552-1596. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079670012000391>.
- Fiber2fashion. Acedido a 28 de janeiro. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/7244/sisal-fibre-the-natural-option>
- Fibrenamics. 2018. "Fibras Naturais". Acedido a 20/12/2017. <https://www.web.fibrenamics.com/pt/conhecimento/as-fibras/fibras-naturais/>.
- G. F. Brito, P. Agrawal, E. M. Araújo, T. J. A. Mélo 2011. "Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes". *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 127-139
- Harry. 2014. "Ribone Lamp Shades by Martin Zampach". [https://mocoloco.com/fresh2/2014/09/02/be3d-lamp-shades-by-martin-zampach.php?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed:+mocoloco/KGTY+\(MoCo+Loco\)](https://mocoloco.com/fresh2/2014/09/02/be3d-lamp-shades-by-martin-zampach.php?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed:+mocoloco/KGTY+(MoCo+Loco))
- Hoffman, Andrew J. 2000. "Integrating environmental and social issues into corporate practice". *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* no. 42 (5):22-33.
- Howe, Emily. 2014. "The re-invention of molded pulp". *Rochester Institute of Technology*.
- Hubbe, Martin A. 2007. "Paper's resistance to wetting—A review of internal sizing chemicals and their effects". *BioResources* no. 2 (1):106-145.
- Ideas, Bright. 2011. "Conical Task Lamp Made From Recycled Paper Pulp by Tom Mollnow". Acedido a 30 de março. <https://inhabitat.com/bright-ideas-competition/recycled-pulp-task-lamp/>
- Innovation, Packaging. 2014. "Imaginative, out of the box, shoe packaging designs". Acedido a 25 de janeiro. <https://www.packaginginnovation.com/packaging-design/creative-packaging-2/imaginative-box-shoe-packaging-designs/>.

- Jeremias S. Macedo, Marysilvia F. da Costa, Rossana M. S. M. Thiré 2007. "Compósitos Biodegradáveis: Matrizes Poliméricas Reforçadas com Resíduos do processamento de Fibras de casca de coco". Comunicação apresentada em 9º Congresso Brasileiro de Polímeros em Rio de Janeiro.
- Jerônimo, Graciana O. Silva e Carlos Enrique. 2012. "Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da Indústria de coco". *Monografias Ambientais*, 2193 – 2208.
- Johansson, Caisa, Julien Bras, Inaki Mondragon, Petronela Nechita, David Plackett, Peter Simon, Diana Gregor Svetec, Sanna Virtanen, Marco Giacinti Baschetti, Chris Breen e Susana Aucejo. 2012. *RENEWABLE FIBERS AND BIO-BASED MATERIALS FOR PACKAGING APPLICATIONS – A REVIEW OF RECENT DEVELOPMENTS*. Vol. 7, 2012.
- Joshi, S. V., L. T. Drzal, A. K. Mohanty e S. Arora. 2004. "Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* no. 35 (3):371-376.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-1042277357&doi=10.1016%2fj.compositesa.2003.09.016&partnerID=40&md5=7c7d5f983b7b718e637abedd71bfdac9>.
- Keyes, Martin L. 1903. Apparatus for making pulp articles. Google Patents.
- Krobjilowski, Dieter H. Mueller and Andreas. 2003. "New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers". *JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES* no. Volume 33.
- Leão, AL. 2001. "Fibra de Curaua: Uma Alternativa Na Producao De Termoplasticos Reforçados". *Plastico Industrial* no. 3 (31):214-229.
- Lehrer, J. 2011. "Reduced to a pulp". *Best Practices*:34-36.
- Ljungberg, Lennart Y. 2007. "Materials selection and design for development of sustainable products". *Materials & Design* no. 28 (2):466-479.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306905002633>.
- Lucisano, Marco FC, D Mark Martinez e Swedish Pulp STFI. 2001. "On the characterization of the delamination process during impulse pressing". *Nordic Pulp and Paper Research Journal* no. 16 (4):362-368.
- Mali, Flávia Debiagi; Léa Rita P.F.M. Ivano; Pedro Henrique A. Nascimento; Suzana. 2012. "Starch biodegradable packaging reinforced with lignocelulosic fibers from agroindustrial wastes ". *Biochemistry and Biotechnology Reports* 57-67.
- Melo, Marciano Almeida. 2012. "O desenvolvimento industrial e o impacto ambiental ".
- Mohanty, A. K., M. Misra e G. Hinrichsen. 2000. "Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview". *Macromolecular Materials and Engineering* no. 276-277:1-24. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0033659049&doi=10.1002%2f%28SICI%291439-2054%2820000301%29276%3a1%3c1%3a%3aAID-MAME1%3e3.0.CO%3b2-W&partnerID=40&md5=a4ea3c160bc3ab30b86ccc49bf025dd9>.
- Morris, Koppelman e Cooper Simon. 1922. Packing for fragile articles. Google Patents.
- Müssig, Jörg. 2017. "Bio-inspired and Bio-based fibre-reinforced composite". Comunicação apresentada em 3rd International Conference on natural fibers, em Braga, Portugal. junho.
- Nath, A., M. Dixit, A. Bandiya, S. Chavda e A. J. Desai. 2008. "Enhanced PHB production and scale up studies using cheese whey in fed batch culture of *Methylobacterium* sp. ZP24". *Bioresource Technology* no. 99 (13):5749-5755.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407008553>.
- Niaounakis, M. 2015a. "Definitions of Terms and Types of Biopolymers". Em *Biopolymers: Applications and Trends*, editado por Elsevier.

- Niaounakis, Michael. 2015b. "1 - Definitions of Terms and Types of Biopolymers". Em *Biopolymers: Applications and Trends*, 1-90. Oxford: William Andrew Publishing. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323353991000016>.
- Nolan, Itu Pty Ltd-. 2002. Biodegradable Plastics – Developments and Environmental Impacts. editado por Environment Australia: Prepared in association with ExcelPlas Australia. <http://www.europeanplasticfilms.eu/docs/AustralianReportonBiodegradablePlastics.pdf>
- Oliveira, Nelson Simões. 2006. "Solubilidade de gases em membranas poliméricas".
- Pannirselvam, Pangadai V, FAM Lima, BS Dantas, BHS Santiago e Fernandes MRP Ladhchumananadasivam. 2005. "Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia". *Revista Analytica* no. 15:56-62.
- Pereno, A e P Tamborrini. 2013. "Packaging as a means for promoting sustainable and aware consumption".
- Pradella, José G. C. 2006. Biopolímeros e Intermediários Químicos. Em *Relatório Técnico*. São Paulo: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos http://www.redetec.org.br/wp-content/uploads/2015/02/tr06_biopolimeros.pdf.
- Ramamoorthy, Sunil Kumar, Mikael Skrifvars e Anders Persson. 2015. "A Review of Natural Fibers Used in Biocomposites: Plant, Animal and Regenerated Cellulose Fibers". *Polymer Reviews* no. 55 (1):107-162. <https://doi.org/10.1080/15583724.2014.971124>.
- Rhim, Jong-Whan e Perry KW Ng. 2007. "Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications". *Critical reviews in food science and nutrition* no. 47 (4):411-433.
- Rosa, Derval S. 2002. "Biodegração de PHB, PHB-V e PCL em solo compostado". *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 311-317. <http://revistapolimeros.org.br/files/v12n4/v12n4a11.pdf>
- Rosário, Francisco, Wagner M. Pachekoski, Ana P. J. Silveira, Sérgio F. dos Santos, Holmer S. Júnior e Suzan Aline Casarin. 2011. "Resíduos de sisal como reforço em compósitos de polipropileno virgem e reciclado". *Polímeros* no. 21:90-97. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282011000200004&nrm=iso.
- Sahu, Parul e MK Gupta. 2017. "Sisal (Agave sisalana) fibre and its polymer-based composites: A review on current developments". *Journal of Reinforced Plastics and Composites* no. 36 (24):1759-1780. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0731684417725584>.
- Salehizadeh, H. e M. C. M. Van Loosdrecht. 2004. "Production of polyhydroxyalkanoates by mixed culture: recent trends and biotechnological importance". *Biotechnology Advances* no. 22 (3):261-279. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975003001630>.
- Samir, My Ahmed Said Azizi, Fannie Alloin, Jean-Yves Sanchez e Alain Dufresne. 2004. "Cellulose nanocrystals reinforced poly (oxyethylene)". *Polymer* no. 45 (12):4149-4157.
- Sandra Regina Albinante, Élen Beatriz Acordi Vasques Pacheco e Leila Lea Yuan Visconte 2013. "Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas". *Quim. Nova* no. vol.36 (no.1): 114-122.
- Schmid, Aida Valadas de Lima e Luísa. 1996. "Questões ambientais — conhecimentos, preocupações e sensibilidade". *Análise Social*, 205-227
- SECOM. 2007. Estudo de mercado- Bioplásticos Em *Embaixada do Brasil em Tóquio – Setor de promoção comercial*. Tóquio. <https://sistemas.mre.gov.br/kitweb/datafiles/Toquio/pt-br/file/Bioplasticos07.pdf>
- Silva, Rosana Vilarim da. 2003. "Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais", Universidade de São Paulo.

- Sinha Ray, Suprakas e Mosto Bousmina. 2005. "Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world". *Progress in Materials Science* no. 50 (8):962-1079.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642505000320>.
- Souza, Renato Santos de. 2002. "Evolução e condicionantes da gestão ambiental nas empresas". *Revista Eletrônica de Administração*, nov-dez, 2-22.
- SPI. 2015. "'Manufacturing Pulp Packaging - Sustainable Packaging Industries.'" Acedido a 22 de junho. <http://www.s-packaging.com/pulp/manufacturing-pulp-packaging/>.
- Sreenivasulu, N e D Ravikanth. 2013. "Injection moulding tool design manufacturing, estimation and comparison of L & T power box side panel using plastic materials HDPE, ABS, PP and PC". *IOSR Journal of mechanical and civil engineering* no. 8 (3):23-32.
- Taj, Saira, Munawar Munawar e Shafi Ullah Khan. 2007. *Natural fiber-reinforced polymer composites*. Vol. 44.
- Tokić, I., G. Fruk e T. Jemrić. 2011. "Biodegradable packaging for storage of fruit and other horticultural products: Materials, properties and its effect on fruit quality". *Journal of Central European Agriculture* no. 12 (1):226-238.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-80052734758&partnerID=40&md5=f70323fb445aa93cb364f793df9b82cf>.
- Tran, Vy. 2016. Paperscapes: From Recycled Paper to Functional Furniture. design milk.
<https://design-milk.com/paperscapes-recycled-paper-functional-furniture/>.
- Varadarajan, P Rajan. 1992. "Marketing's contribution to strategy: the view from a different looking glass". *Journal of the Academy of Marketing Science* no. 20 (4):335-343.
- Vividbrand. 2018. "Top 10: Ecological Packaging". Acedido a 12 de março
<http://vividbrand.com/views/ecological-packaging/>.
- Vong, Katherine. 2012. "Timberland Earthkeepers Shoebox Encourages Reuse". Acedido a 12 de março. <https://www.trendhunter.com/trends/timberland-earthkeepers-shoebox>.
- Walkest. 2018. "Walkest". Acedido a janeiro <https://walkest.pt/>.
- Wang, Zhangping, Youxing Cai e Yujie Jing. 2012. "Molded pulp material structure parameters on the performance of the buffer". *Energy Procedia* no. 17:1872-1877.
- Wellington Ricardo Sassá, Ana Paula Bilck, Juliana B. Olivato. 2012. "Embalagens e compósitos biodegradáveis: uma nova perspectiva para redução do impacto ambiental". Comunicação apresentada em 15º Encontro de Atividades Científicas da Unopar, em Londrina.
- Wenjing Guo, Fucheng Bao and Zheng Wang. 2013. "Biodegradability of wood fiber/ poly(lactic acid) composites". *JOURNAL OF COMPOSITE MATERIALS*.
- Wever, Renee e Diana Twede. 2007. "The history of molded fiber packaging; a 20th century pulp story". Comunicação apresentada em The 23rd IAPRI symposium on packaging. London.
- Zhang, Xiaoqing, My Dieu Do, Katherine Dean, Pam Hoobin e Iko M. Burgar. 2007. "Wheat-Gluten-Based Natural Polymer Nanoparticle Composites". *Biomacromolecules* no. 8 (2):345-353. <https://doi.org/10.1021/bm060929x>.

Anexos

Anexo I - PLA descrição CES EDUPACK 2017

Poly lactide (PLA)

Description

Image



Caption

1. Shopping Bag made of PLA-Blend Bio-Flex © F. Kesselring, FKUR Willich at Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0) 2. Mulch Film made of PLA-Blend Bio-Flex © F. Kesselring, FKUR Willich at Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0) 3. Blow film PLA-Blend Bio-Flex © F. Kesselring, FKUR Willich at Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

The material

Poly lactide, PLA, is a biodegradable thermoplastic derived from natural lactic acid from corn, maize or milk. It resembles clear polystyrene, provides good aesthetics (gloss and clarity), but it is stiff and brittle and needs modification using plasticizers for most practical applications. It can be processed like most thermoplastics into fibers, films, thermoformed or injection molded.

General properties

Density	1,24e3		
	kg/m ³		
Price	* 2,34	-	3,2
	EUR/kg		
Date first used	1993		

Mechanical properties

Young's modulus	3,3	-	3,6	GPa
Shear modulus	* 1,2	-	1,29	GPa
Bulk modulus	* 5,7	-	6,3	GPa
Poisson's ratio	* 0,38	-	0,4	
Yield strength (elastic limit)	55	-	72	MPa
Tensile strength	47	-	70	MPa
Compressive strength	66	-	86	MPa
Elongation strain	3	-	6	%
Hardness - Vickers	* 17	-	22	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 22,2	-	27,7	MPa
Fracture toughness	* 3	-	5	
	MPa.m ^{0.5}			
Mechanical loss coefficient (tan delta)	0,06	-	0,09	

Thermal properties

Melting point	145	-	177	°C
Glass temperature	52	-	60	°C
Maximum service temperature	* 45	-	55	°C
Minimum service temperature	-20	-	-10	°C

Thermal conductor or insulator?	Good insulator
Thermal conductivity	0,13 - 0,16
	W/m.°C
Specific heat capacity	1,18e3 - 1,21e3
	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 126 - 145
	µstrain/°C
Electrical properties	
Electrical conductor or insulator?	Good insulator
Electrical resistivity	* 3e17 - 6e17
	µohm.cm
Dielectric constant (relative permittivity)	* 3 - 3,5
Dissipation factor (dielectric loss tangent)	* 0,001 - 0,02
Dielectric strength (dielectric breakdown)	* 15 - 17
	1000000 V/m
Optical properties	
Transparency	Transparent
Refractive index	* 1,4 - 1,48
Critical Materials Risk	
High critical material risk?	No
Processability	
Moldability	4 - 5
Formability	* 4 - 5
Machinability	* 4 - 5
Weldability	* 3 - 4
Durability: water and aqueous solutions	
Water (fresh)	Acceptable
Water (salt)	Acceptable
Soils, acidic (peat)	Unacceptable
Soils, alkaline (clay)	Unacceptable
Wine	Excellent
Durability: acids	
Acetic acid (10%)	Unacceptable
Acetic acid (glacial)	Unacceptable
Citric acid (10%)	Acceptable
Hydrochloric acid (10%)	Acceptable
Hydrochloric acid (36%)	Unacceptable
Hydrofluoric acid (40%)	Unacceptable
Nitric acid (10%)	Unacceptable
Nitric acid (70%)	Unacceptable
Phosphoric acid (10%)	Acceptable
Phosphoric acid (85%)	Unacceptable
Sulfuric acid (10%)	Unacceptable
Sulfuric acid (70%)	Unacceptable
Durability: alkalis	
Sodium hydroxide (10%)	Unacceptable
Sodium hydroxide (60%)	Unacceptable
Durability: fuels, oils and solvents	
Amyl acetate	Unacceptable
Benzene	Limited use
Carbon tetrachloride	Limited use
Chloroform	Unacceptable
Crude oil	Unacceptable
Diesel oil	Acceptable
Lubricating oil	Acceptable
Paraffin oil (kerosene)	Limited use
Petrol (gasoline)	Limited use
Silicone fluids	Excellent
Toluene	Unacceptable

Turpentine	Excellent			
Vegetable oils (general)	Acceptable			
White spirit	Limited use			
Durability: alcohols, aldehydes, ketones				
Acetaldehyde	Unacceptable			
Acetone	Unacceptable			
Ethyl alcohol (ethanol)	Limited use			
Ethylene glycol	Limited use			
Formaldehyde (40%)	Unacceptable			
Glycerol	Limited use			
Methyl alcohol (methanol)	Unacceptable			
Durability: halogens and gases				
Chlorine gas (dry)	Unacceptable			
Fluorine (gas)	Unacceptable			
O2 (oxygen gas)	Unacceptable			
Sulfur dioxide (gas)	Unacceptable			
Durability: built environments				
Industrial atmosphere	Limited use			
Rural atmosphere	Acceptable			
Marine atmosphere	Acceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Durability: flammability				
Flammability	Highly flammable			
Durability: thermal environments				
Tolerance to cryogenic temperatures	Unacceptable			
Tolerance up to 150 C (302 F)	Acceptable			
Tolerance up to 250 C (482 F)	Unacceptable			
Tolerance up to 450 C (842 F)	Unacceptable			
Tolerance up to 850 C (1562 F)	Unacceptable			
Tolerance above 850 C (1562 F)	Unacceptable			
Primary material production: energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 49	-	54,2	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 3,43	-	3,79	kg/kg
Water usage	* 65,6	-	72,5	l/kg
Eco-indicator 99	278			
	millipoints/kg			
Material processing: energy				
Polymer extrusion energy	* 5,7	-	6,3	MJ/kg
Polymer molding energy	* 15,4	-	17	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0,89	-	0,983	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 4,62	-	5,11	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 8,77	-	9,69	MJ/kg
Material processing: CO2 footprint				
Polymer extrusion CO2	* 0,428	-	0,473	kg/kg
Polymer molding CO2	* 1,15	-	1,27	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,0667	-	0,0737	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,347	-	0,383	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0,657	-	0,727	kg/kg
Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction				
Recycle	True			
Embodied energy, recycling	* 34,8	-	38,5	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 2,74	-	3,02	kg/kg
Recycle fraction in current supply	* 0,5	-	1	%
Downcycle	True			
Combust for energy recovery	True			
Heat of combustion (net)	* 18,8	-	19,8	MJ/kg
Combustion CO2	* 1,79	-	1,88	kg/kg
Landfill	True			
Biodegrade	True			

Toxicity rating

Non-toxic

A renewable resource?

True

Environmental notes

Biopolymers like PLA are made from renewable resources, although the processing involves non-renewable chemicals. PLA is biodegradable. If combusted, the CO2 footprint rises to 3.45 kg/kg.

Recycle mark



Supporting information

Design guidelines

PLA is a biopolymer that can be molded, thermoformed and extruded, much like any other thermoplastic. It is transparent and has FDA approval for food packaging. PLA film and sheet can be printed and laminated. Biopolymers are, however, expensive, costing 2 to 6 times as much as commodity plastics like polypropylene.

Technical notes

PLA is a thermoplastic derived primarily from annually renewable resources (maize, corn or milk). It is available in a number of grades, designed for ease of processing. In-line drying may be needed to reduce water content for extrusion and molding. The recommended molding temperature is 165 - 170 C.

Typical uses

Injection molded: pencil sharpeners, rulers, cartridges, toys, plant pots, plastic bones and other toys for pets, plastic cutlery, hair combs.

Thermo-formed: trays for fresh food packaging, especially fruit and vegetables.

Film extrusion: shopping bags, bubble film for wrapping, plastic laminates for paper cups and plates, bags for rubbish disposal, lining for baby nappies, mulching films for horticulture, wrapping for fruit, vegetables and sanitary products .

Tradenames

NatureWorks PLA, BOPLA

Further reading

See Reference link and Producer website.

Links

Reference

Legislation and Regulations

ProcessUniverse

Producers

Values marked * are estimates.

No warranty is given for the accuracy of this data

Anexoll - Fibra de coco: descrição CES EDUPACK 2017

Coir

General information

Overview

Coir (from Malayalam kayar, cord) is a coarse fiber extracted from the fibrous outer shell of a coconut. The individual fiber cells are narrow and hollow, with thick walls made of cellulose. They are pale when immature but later become hardened and yellowed as a layer of lignin is deposited on their walls. There are two varieties of coir. White coir is harvested from the coconuts before they are ripe. The fibers are white or light brown in color and are smooth and fine. They are generally spun to make yarn that is used in mats or rope. Brown coir is harvested from fully ripened coconuts. It is thicker, stronger and has greater abrasion resistance than white coir. It is typically used in mats, brushes and sacking. The coir fiber is relatively water-proof and is one of the few natural fibers resistant to damage by salt water.

Designation

Coir

Typical uses

White coir is used in rope making and, when woven, for matting. White coir also used to make fishing nets due to its excellent resistance to salt water.

Brown coir is used in floor mats and doormats, brushes, mattresses, floor tiles and sacking and twine. Pads of brown coir pads are sprayed with rubber latex, which bonds the fibers together (rubberized coir); it is used as upholstery padding in the automobile industry.

Composition overview

Compositional summary

Cellulose (C6-H10-O5)_n

Form	Fiber		
Material family	Natural		
Base material	Cellulose		
Renewable content	100		%

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100		%
------------------	-----	--	---

Price

Price	* 0,224	-	0,448	
	EUR/kg			
Price per unit volume	* 255	-	537	
	EUR/m ³			

Physical properties

Density	1,14e3	-	1,2e3	
	kg/m ³			

Mechanical properties

Young's modulus	4	-	9	GPa
Yield strength (elastic limit)	100	-	150	MPa
Tensile strength	131	-	175	MPa
Elongation strain	15	-	40	%
Flexural modulus	* 4	-	9	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	135	-	240	MPa
Shear modulus	* 1,45	-	2,17	GPa
Poisson's ratio	* 0,383	-	0,393	
Shape factor	1			
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 54	-	96	MPa
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,0106	-	0,0139	

Impact & fracture properties

Fracture toughness	3,33	-	11,3	
	MPa.m ^{0.5}			

Thermal properties

Thermal expansion coefficient	37,4	-	49,3	
	µstrain/°C			
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical properties				
Transparency	Opaque			
Healthcare & food				
Food contact	No			
Restricted substances risk indicators				
RoHS (EU) compliant grades?	True			
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)	0			
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)	0			
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Absorption & permeability				
Water absorption @ 24 hrs	* 1,8	-	2,2	%
Water absorption @ sat	9	-	11	%
Humidity absorption @ sat	* 3	-	3,67	%
Durability				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Acceptable			
Strong alkalis	Unacceptable			
Organic solvents	Acceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 9,52	-	10,5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 1,52	-	1,68	kg/kg
NOx creation	2,57	-	2,84	g/kg
SOx creation	6,56	-	7,25	g/kg
Water usage	* 2,2e3	-	2,44e3	l/kg
Processing energy, CO2 footprint & water				
Fabric production energy	* 2,48	-	2,73	MJ/kg
Fabric production CO2	* 0,198	-	0,218	kg/kg
Fabric production water	* 1,03	-	1,55	l/kg
Recycling and end of life				
Recycle	False			
Recycle fraction in current supply	8,55	-	9,45	%
Downcycle	True			
Combust for energy recovery	True			
Heat of combustion (net)	* 14,2	-	14,9	MJ/kg
Combustion CO2	* 1,39	-	1,46	kg/kg
Landfill	True			
Biodegrade	True			
Geo-economic data for principal component				
Principal component	Coir			
Annual world production, principal component	1,05e6	-	1,16e6	tonne/yr
Main mining areas (metric tonnes per year)				
Bangladesh, Ghana, India, Malaysia, Sri Lanka, Thailand, Vietnam				
Eco-indicators for principal component				
Eco-indicator 95	6,6	millipoint/kg		
EPS value	62,7	-	69,3	

Anexo III- Fibra de Sisal: descrição CES EDUPACK 2017

Sisal

General information

Overview

Sisal fiber is derived from an agave, *Agave sisalana*. Sisal is valued for cordage use because of its strength, durability, ability to stretch, affinity for certain dyestuffs, and resistance to deterioration in saltwater.

Designation

Sisal

Typical uses

Sisal is used by industry in three grades, according to www.sisal.ws. The lower grade fiber is processed by the paper industry because of its high content of cellulose and hemicelluloses. The medium grade fiber is used in the cordage industry for making: ropes, baler and binders twine. Ropes and twines are widely employed for marine, agricultural, and general industrial use. The higher-grade fiber after treatment is converted into yarns and used by the carpet industry.

Sisal is now used as a reinforcement in polymer-matrix composites.

Composition overview

Compositional summary

Cellulose 70 wt% and lignin 12 wt %.

Form	Fiber		
Material family	Natural		
Base material	Cellulose		
Renewable content	100		%

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100		%
------------------	-----	--	---

Price

Price	* 0,537	-	0,627	
	EUR/kg			
Price per unit volume	* 776	-	940	
	EUR/m ³			

Physical properties

Density	1,45e3	-	1,5e3	
	kg/m ³			

Mechanical properties

Young's modulus	9,4	-	22	
	GPa			
Yield strength (elastic limit)	* 460	-	576	
	MPa			
Tensile strength	511	-	640	
	MPa			
Elongation strain	2	-	7	%
Flexural modulus	* 9,4	-	22	
	GPa			
Shear modulus	* 3,67	-	9,17	
	GPa			
Poisson's ratio	* 0,359	-	0,374	
Shape factor	1			
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 220	-	316	
	MPa			
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0,00407	-	0,00753	

Impact & fracture properties

Fracture toughness	19,6	-	101	
	MPa.m ^{0.5}			
Thermal properties				
Glass temperature	* 380	-	390	°C
Maximum service temperature	* 400	-	420	°C
Thermal conductivity	* 0,25	-	0,35	
	W/m.°C			
Specific heat capacity	1,2e3	-	1,22e3	
	J/kg.°C			
Thermal expansion coefficient	* 15	-	30	
	µstrain/°C			
Magnetic properties				
Magnetic type	Non-magnetic			
Optical properties				
Transparency	Opaque			
Healthcare & food				
Food contact	No			
Restricted substances risk indicators				
RoHS (EU) compliant grades?	True			
REACH Candidate List indicator (0-1, 1 = high risk)	0			
SIN List indicator (0-1, 1 = high risk)	0			
Critical materials risk				
Contains >5wt% critical elements?	No			
Absorption & permeability				
Water absorption @ 24 hrs	* 2	-	2,4	%
Water absorption @ sat	10	-	12	%
Humidity absorption @ sat	* 3,33	-	4	%
Durability				
Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Acceptable			
Strong alkalis	Unacceptable			
Organic solvents	Acceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
Primary production energy, CO2 and water				
Embodied energy, primary production	* 9,52	-	10,5	
	MJ/kg			
CO2 footprint, primary production	* 1,52	-	1,68	
	kg/kg			
NOx creation	2,57	-	2,84	
	g/kg			
SOx creation	6,56	-	7,25	
	g/kg			
Water usage	* 7,88e3	-	8,71e3	l/kg
Processing energy, CO2 footprint & water				
Fabric production energy	* 2,48	-	2,73	
	MJ/kg			
Fabric production CO2	* 0,198	-	0,218	
	kg/kg			
Fabric production water	* 1,03	-	1,55	l/kg
Recycling and end of life				
Recycle	False			
Recycle fraction in current supply	8,55	-	9,45	%
Downcycle	True			

Combust for energy recovery	True		
Heat of combustion (net)	* 19,3	-	20,2
	MJ/kg		
Combustion CO2	* 1,5	-	1,58
	kg/kg		
Landfill	True		
Biodegrade	True		

Geo-economic data for principal component

Principal component	Sisal		
Annual world production, principal component	3,62e5	-	4e5
	tonne/yr		

Main mining areas (metric tonnes per year)

Brazil, China, Haiti, Kenya, Madagascar, Mexico, Morocco, United Republic of Tanzania, Venezuela

Eco-indicators for principal component

Eco-indicator 95	6,6		
	millipoint/kg		
EPS value	62,7	-	69,3

Links

ProcessUniverse

Reference

Shape

Values marked * are estimates.

No warranty is given for the accuracy of this data



Ingeo™ Biopolymer 3251D Technical Data Sheet

Injection Molding Process Guide

Ingeo biopolymer 3251D is designed for injection molding applications. This polymer grade has a higher melt flow capability than other Ingeo resin grades currently in the marketplace. The higher flow capability allows for easier molding of thin-walled parts. It is designed for injection molding applications, both clear and opaque, requiring high gloss, UV resistance and stiffness.

Processing Information

Ingeo biopolymer 3251D can be processed on conventional injection molding equipment. The material is stable in the molten state, provided that the drying procedures are followed. Mold flow is highly dependent on melt temperature. In order to control melt temperature, it is recommended to balance screw speed, back pressure, and process temperature. Injection speed should be medium to fast.

Process Details

Startup and Shutdown

Ingeo biopolymer 3251D is not compatible with a wide variety of other resins, and special purging sequences should be followed:

1. Clean extruder and bring temperatures to steady state with low viscosity, general purpose polystyrene or polypropylene.
2. Vacuum out hopper system to avoid contamination.
3. Introduce Ingeo biopolymer into the extruder at the operating conditions used in step one.
4. Once Ingeo biopolymer has purged, reduce barrel temperatures to desired set points.
5. At shutdown, purge machine with high viscosity polystyrene or polypropylene.

Typical Material & Application Properties

Physical Properties	Ingeo 3251D	ASTM Method
Specific Gravity	1.24	D792
MFR, g/10 min (210°C, 2.16kg)	80	D1238
MFR, g/10 min (190°C, 2.16kg)	35	D1238
Relative Viscosity	2.5	
Crystalline Melt Temperature (°C)	155-170	D3418
Glass Transition Temperature (°C)	55-60	D3418
Clarity	Transparent	
Mechanical Properties		
Tensile Yield Strength, psi (MPa)	9,000 (62)	D638
Tensile Elongation, %	3.5	D638
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16)	D256
Flexural Strength (MPa)	15,700 (108)	D790
Notched Izod Impact, ft-lb/in (J/m)	0.3 (16)	D256
Heat Distortion Temperature (°C)	55	E2092

Note: These are starting points and may need to be optimized.

Processing Temperature Profile

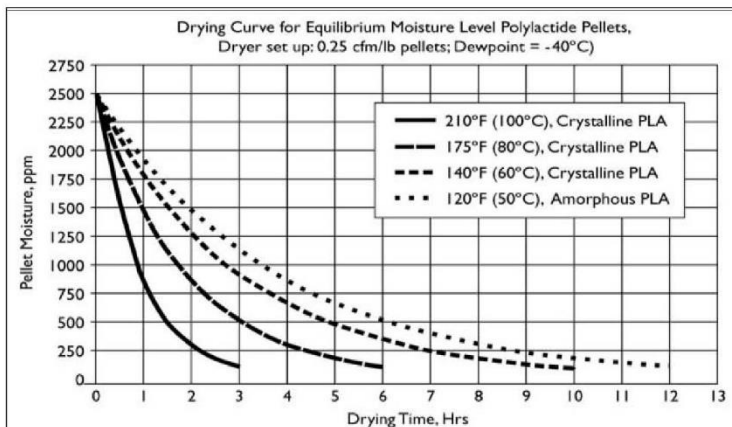
Melt Temp.	370-410°F	188-210°C
Feed Throat	70°F	20°C
Feed Temp.	330-350°F	166-177°C
Compression Section	360-380°F	182-193°C
Metering Section	370-400°F	188-205°C
Nozzle	370-400°F	188-205°C
Mold	75°F	25°C
Screw Speed	100-200 rpm	
Back Pressure	50-100 psi	
Mold Shrinkage	.004 in/in. +/- .001	

Ingeo Biopolymer 3251D Technical Data Sheet

Drying

Inline drying is recommended for Ingeo biopolymers. A moisture content of less than 0.010% (100 ppm) is recommended to prevent viscosity degradation. Polymer is supplied in foil-lined boxes or bags dried to <250 ppm. The resin should not be exposed to atmospheric conditions after drying. Keep the package sealed until ready to use and promptly dry and reseal any unused material. The drying curves for both amorphous and crystalline resins are shown to the right.

Note: Amorphous polymer must be dried below 120F (50C).



Food Packaging Status

U.S. Status

On January 3, 2002 FCN 000178 submitted by NatureWorks LLC to FDA became effective. This effective notification is part of list currently maintained on FDA's website at

<http://www.fda.gov/food/ingredientspackaginglabeling/packagingfcs/notifications/default.htm>

This grade of Ingeo biopolymer may therefore be used in food packaging materials and, as such, is a permitted component of such materials pursuant to section 201(s) of the Federal, Drug, and Cosmetic Act, and Parts 182, 184, and 186 of the Food Additive Regulations. All additives and adjuncts contained in the referenced Ingeo biopolymer formulation meet the applicable sections of the Federal Food, Drug, and Cosmetic Act. The finished polymer is approved for all food types and B-H use conditions. We urge all of our customers to perform GMP (Good Manufacturing Procedures) when constructing a package so that it is suitable for the end use.

European Status

This grade of Ingeo biopolymer complies with Plastics Regulation 10/2011 as amended. No SML's for the above referenced grade exist in Plastics Regulation 10/2011 as amended. NatureWorks LLC would like to draw your attention to the fact that the EU- Plastics Regulation 10/2011, which applies to all EU-Member States, includes a limit of 10 mg/dm² of the overall migration from finished plastic articles into food. In accordance with Plastics Regulation 10/2011 the migration should be measured on finished articles placed into contact with the foodstuff or appropriate food simulants for a period and at a temperature which are chosen by reference to the contact conditions in actual use, according to the rules laid down in Plastics Regulation 10/2011.

Please note that it is the responsibility of both the manufacturers of finished food contact articles as well as the industrial food packers to make sure that these articles in their actual use are in compliance with the imposed specific and overall migration requirements.

This grade as supplied meets European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste heavy metal content as described in Article 11.

Should you need further clarification, contact NatureWorks LLC.

Bulk Storage Recommendations

The resin silos recommended and used by NatureWorks LLC are designed to maintain dry air in the silo and to be isolated from the outside air. This design would be in contrast to an open, vented to atmosphere system that we understand to be a typical polystyrene resin silo. Key features that are added to a typical (example: polystyrene) resin silo to achieve this objective include a cyclone and rotary valve loading system and some pressure vessel relief valves. The dry air put to the system is sized to the resin flow rate out of the silo. Not too much dry air would be needed and there may be excess instrument air (-30°F dew point) available in the plant to meet the needs for dry air. Our estimate is 10 scfm for a 20,000 lb/hr rate resin usage. Typically, resin manufacturers specify aluminum or stainless steel silos for their own use and avoid epoxy-lined steel.

Ingeo Biopolymer 3251D Technical Data Sheet

Safety and Handling Considerations

Safety Data Sheets (SDS) for Ingeo biopolymers are available from NatureWorks. SDS's are provided to help customers satisfy their own handling, safety, and disposal needs, and those that may be required by locally applicable health and safety regulations. SDS's are updated regularly; therefore, please request and review the most current SDS's before handling or using any product.

The following comments apply only to Ingeo biopolymers; additives and processing aids used in fabrication and other materials used in finishing steps have their own safe-use profile and must be investigated separately.

Hazards and Handling Precautions

Ingeo biopolymers have a very low degree of toxicity and, under normal conditions of use, should pose no unusual problems from incidental ingestion or eye and skin contact. However, caution is advised when handling, storing, using, or disposing of these resins, and good housekeeping and controlling of dusts are necessary for safe handling of product. Pellets or beads may present a slipping hazard.

No other precautions other than clean, body-covering clothing should be needed for handling Ingeo biopolymers. Use gloves with insulation for thermal protection when exposure to the melt is localized. Workers should be protected from the possibility of contact with molten resin during fabrication.

Handling and fabrication of resins can result in the generation of vapors and dusts that may cause irritation to eyes and the upper respiratory tract. In dusty atmospheres, use an approved dust respirator.

Good general ventilation of the polymer processing area is recommended. At temperatures exceeding the polymer melt temperature (typically 175°C), polymer can release fumes, which may contain fragments of the polymer, creating a potential to irritate eyes and mucous membranes. Good general ventilation should be sufficient for most conditions. Local exhaust ventilation is recommended for melt operations. Use safety glasses (or goggles) to prevent exposure to particles, which could cause mechanical injury to the eye. If vapor exposure causes eye discomfort, improve localized fume exhausting methods or use a full-face respirator.

The primary thermal decomposition product of PLA is acetaldehyde, a material also produced during the thermal degradation of PET. Thermal decomposition products also include carbon monoxide and hexanal, all of which exist as gases at normal room conditions. These species are highly flammable, easily ignited by spark or flame, and can also

auto ignite. For polyesters such as PLA, thermal decomposition producing flammable vapors containing acetaldehyde and carbon monoxide can occur in almost any process equipment maintaining PLA at high temperature over longer residence times than typically experienced in extruders, fiber spinning lines, injection molding machines, accumulators, pipe lines and adapters. As a rough guideline based upon some practical experience, significant decomposition of PLA will occur if polymer residues are held at temperatures above the melting point for prolonged periods, e.g., in excess of 24 hours at 175°C, although this will vary significantly with temperature.

Combustibility

Ingeo biopolymers will burn. Clear to white smoke is produced when product burns. Toxic fumes are released under conditions of incomplete combustion. Do not permit dust to accumulate. Dust layers can be ignited by spontaneous combustion or other ignition sources. When suspended in air, dust can pose an explosion hazard. Firefighters should wear positive-pressure, self-contained breathing apparatuses and full protective equipment. Water or water fog is the preferred extinguishing medium. Foam, alcohol-resistant foam, carbon dioxide or dry chemicals may also be used. Soak thoroughly with water to cool and prevent re-ignition.

Disposal

DO NOT DUMP INTO ANY SEWERS, ON THE GROUND, OR INTO ANY BODY OF WATER. For unused or uncontaminated material, the preferred option is to recycle into the process otherwise, send to an incinerator or other thermal destruction device. For used or contaminated material, the disposal options remain the same, although additional evaluation is required. Disposal must be in compliance with Federal, State/Provincial, and local laws and regulations.

Environmental Concerns

Generally speaking, lost pellets, while undesirable, are benign in terms of their physical environmental impact, but if ingested by wildlife, they may mechanically cause adverse effects. Spills should be minimized, and they should be cleaned up when they happen. Plastics should not be discarded into the environment.

Product Stewardship

NatureWorks has a fundamental duty to all those that use our products, and for the environment in which we live. This duty is the basis for our Product Stewardship philosophy, by which we assess the health and environmental information on our products and their intended use, and then take

Ingeo Biopolymer 3251D Technical Data Sheet

appropriate steps to protect the environment and the health of our employees and the public.

Customer Notice

NatureWorks encourages its customers and potential users of its products to review their applications from the

standpoint of human health and environmental quality. To help ensure our products are not used in ways for which they were not intended or tested, our personnel will assist customers in dealing with ecological and product safety considerations. Your sales representative can arrange the proper contacts. NatureWorks literature should be consulted prior to the use of the company's products.

NOTICE:

No freedom from infringement of any patent owned by NatureWorks LLC or others is to be inferred. No information in this publication can be considered a suggestion to infringe patents.

The technical information, recommendations and other statements contained in this document are based upon tests or experience that NatureWorks believes are reliable, but the accuracy or completeness of such information is not guaranteed. Many factors beyond NatureWorks control can affect the use and performance of a NatureWorks product in a particular application, including the conditions under which the product is used and the time and environmental conditions in which the product is expected to perform. Since these factors are uniquely within the user's knowledge or control, it is essential that the user evaluate the NatureWorks product to determine whether it is fit for a particular purpose and suitable for the user's method of application. In addition, because use conditions are outside of NatureWorks control and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, Customer is solely responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace, use and disposal practices are in compliance with applicable laws and regulations. NatureWorks LLC assumes no obligation or liability for the information in this document.

NATUREWORKS MAKES NO WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING THE INFORMATION CONTAINED HEREIN OR ITS PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY WARRANTY AS TO ACCURACY OR COMPLETENESS OF INFORMATION, OR ANY IMPLIED WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

NOTICE REGARDING PROHIBITED USE RESTRICTIONS: Unless specifically agreed to in writing by NatureWorks, NatureWorks LLC will not knowingly sell or sample any product into any of the following commercial or developmental applications (i) components of or packaging for tobacco products, (ii) components of products intended for human or animal consumption, (iii) any application that is intended for any internal contact with human body fluids or body tissues, (iv) as a critical component in any medical device that supports or sustains human life, (v) in any product that is designed specifically for ingestion or internal use by pregnant women, (vi) in any application designed specifically to promote or interfere with human reproduction, (vii) in microbeads, including those used in personal care/cosmetic applications, or (viii) to manufacture bottles or bottle pre-forms in North America.

For additional information please contact NatureWorks via our [website](#) on the tab called [FAQ's](#) or by clicking [here](#).



15305 Minnetonka Blvd., Minnetonka, MN 55345