



Beatriz Gomes Pinto

Proposta de uma nova metodologia para a
reciclagem de máscaras descartáveis de não-
tecido

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Beatriz Gomes Pinto

Proposta de uma nova metodologia para a
reciclagem de máscaras descartáveis de não-
tecido

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Engenharia Têxtil

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor António Manuel Dinis Ribeiro Marques

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos. Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-Compartilhalgual
CC BY-NC-SA

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

“O mito do “outro que não eu” foi responsável por guerras, pela violação do planeta e por todas as formas e expressões da injustiça humana. Afinal de contas, quem no seu perfeito juízo faria mal a outrem se considerasse esse outrem como fazendo parte de si próprio?”

Russel E. DiCarlo
Erie, Pensilvânia, EUA
Janeiro de 1998

AGRADECIMENTOS

Estando mais uma etapa da minha existência a chegar ao seu término, não poderia deixar de expressar a minha gratidão pelas pessoas que me apoiaram e ajudaram a cumprir e concretizar todos os meus objetivos e ambições, e que tão importantes foram nesta minha jornada académica.

À minha mãe, por ter a força e a paciência que muitas das vezes eu não consegui ter e pelo amor e carinho que sempre me deu, mas em especial, durante a realização deste trabalho. Ao meu pai, por todos os dias ter insistido e acreditado neste projeto, por me ter fornecido todas as ferramentas de trabalho que precisei e por ter percorrido meio mundo (e mais um) para que tivesse todas as oportunidades na palma da minha mão. À minha irmã, por me ter chateado incessantemente durante vinte e um anos, coisa que já não sei viver sem. Espero que continues a chatear-me o resto da tua vida. E finalmente, aos meus avós, Isolina e Manuel, por terem cuidado sempre de mim, e à restante família direta por todo o apoio que me deram durante a vida toda.

Às minhas grandes amigas (Camacho, Cris, Inês Maria, Mel e Teresa), por todas as gargalhadas, lágrimas e viagens que demoram três anos a serem planeadas e por me terem ouvido a chorar, resmungar e procrastinar durante os treze anos da nossa amizade.

À Ágime, à Cátia e à Lúcia, eternas companheiras do Curso, da Dissertação e das noites académicas, pelas longas horas de Terapia.

À Reunião de Condomínio (Bea, Guida e Hugo), pela tranquilidade, diversão e noites sem fim no Púrpura.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Dinis Marques, pelo tema do projeto, por me ter aceite como orientanda e pela ajuda dada durante este ano de trabalho.

À Professora Doutora Ana Maria Rocha, pela paciência, boa vontade, generosidade e por sempre ter demonstrado disponibilidade e interesse em ajudar-me a desenvolver este projeto.

À equipa da Fibrenamics, Centro para a Valorização de Resíduos, Givaware e To Be Green, pelo fornecimento de material e disponibilização dos seus estabelecimentos. E aos técnicos de laboratório do Departamento de Engenharia Têxtil, especialmente ao Engenheiro Joaquim Jorge, por ter sempre demonstrado disponibilidade para me ajudar com aquilo que não entendia.

E por fim, mas não menos importante, ao *Spotify*, pelo fornecimento infinito de música que me acompanhou nos laboratórios e em casa, nos mais diversos humores.

Fica o sabor da saudade do que foi sentido e o entusiasmo de viver o que ainda está por vir. Realmente, *estes anos são viagem...*

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

RESUMO

Com o surgimento do vírus SARS-CoV-2, a utilização de máscaras de proteção respiratória tornou-se obrigatória, de modo que o vírus não se propagasse. Assim, a utilização de máscaras descartáveis cresceu exponencialmente, tornando-se um acessório essencial presente no dia-a-dia das populações. Apesar da evolução dos métodos de reciclagem têxtil, ainda existem lacunas na reciclagem e reaproveitamento de resíduos de aparelhos de proteção respiratória, mais especificamente, de máscaras descartáveis de não-tecidos, pois, sendo estas consideradas resíduos hospitalares, têm de ser incineradas, não podendo ser transportadas para aterros. As máscaras descartáveis que a população em geral tem usado para proteção são colocadas nos resíduos indiferenciados. Deste modo, a poluição gerada pelo descarte de máscaras impacta tanto o nível ambiental como o nível social e económico, sendo necessário estudar novas metodologias para o reaproveitamento de resíduos de máscaras descartáveis de não-tecidos, indo ao encontro das novas tendências e premissas de sustentabilidade e economia circular.

A presente dissertação estuda uma nova metodologia de reciclagem deste tipo de máscaras. Os principais materiais em análise são estruturas têxteis designadas de “tecidos não-tecidos” de polipropileno. Este material foi analisado instrumentalmente através da espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier, com o objetivo de confirmar o tipo de material em estudo, e através da calorimetria diferencial de varrimento, com o intuito de perceber qual o ponto de fusão deste termoplástico. O processo de reciclagem selecionado inicia-se pela trituração das máscaras, dando origem a dois tipos de resíduos (amostra do tipo A e amostra do tipo B), que de seguida são transformadas em placas de matriz polimérica, através do processo da termofixação. Foram produzidas 4 placas para cada tipo de resíduo, tendo sido mais tarde comparadas através de ensaios de resistência à tração e flexão, de permeabilidade ao ar e através de ensaios de resistência à radiação ultravioleta. Estes ensaios foram realizados com o intuito de perceber qual o melhor resíduo utilizado para a reciclagem e quais as capacidades que cada resíduo possui, após a reciclagem das máscaras.

De um modo geral, as placas B – produzidas com o resíduo do tipo B - foram as que obtiveram melhores resultados nos primeiros três ensaios, acima mencionados. O último ensaio, detém resultados muito similares entre as placas, sendo necessário uma melhor análise das capacidades mecânicas do material, posteriormente a ser exposto à radiação.

Palavras-chave: SARS-CoV-2; máscaras descartáveis de não-tecido; reciclagem; termofixação.

ABSTRACT

With the rising of the SARS-CoV-2 virus, the use of respiratory protection masks became mandatory, so that the virus would not spread. In this way, the usage of disposable masks has grown exponentially, becoming an essential accessory present in the daily lives of populations. Despite the evolution of textile recycling methods, there are still gaps for the recycling and reuse of respiratory protective equipment waste, more specifically, of nonwoven disposable masks. As these are classified medical waste, they must be incinerated and cannot be conveyed to landfills. The typical nonwoven disposable mask used daily by the population are considered usual waste, and therefore are disposed into unsorted waste. From this point of view, the pollution generated by the disposal of masks has an impact on the environmental, social, and economic levels, making it necessary to develop new methodologies for the reuse of surgical masks waste, to meet with the new trends and suppositions of sustainability and circular economy.

The present dissertation studies a new methodology for the recycling of these masks. The main materials under analysis are polypropylene nonwovens. The material was analyzed using Fourier transform infrared spectroscopy, to ensure the type of material under study, and differential scanning calorimetry, to understand the melting point of this thermoplastic.

The recycling process proposed for this type of material starts with mask shredding, resulting in two types of residues (type A and B sample), which are then transformed into a polymer matrix plaque, through thermosetting. Four plaques were processed for each type of sample, which were later compared through tests of tensile strength, flexural strength, air permeability and through tests of resistance to ultraviolet radiation. These tests were carried out with the aim to understand which is the best sample for recycling and which proficiencies each type of sample has.

In general, plaques B – produced with type B sample - had the best results in the first three tests, mentioned above. The last test had very similar outcomes, requiring a better analysis of the mechanical capacities of the material, after being exposed to radiation.

Keywords: SARS-CoV-2; nonwoven disposable masks; pollution; recycling; thermosetting.

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de Figuras	x
Lista de Tabelas	xii
Lista de Equações	xiii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xiv
1. Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Metodologia	3
1.4 Estrutura do trabalho	4
2. Enquadramento Teórico	5
2.1 Conceitos teóricos	5
2.1.1 Materiais e estruturas	5
2.1.1.1 Polipropileno	5
2.1.1.2 Não-tecidos	7
2.2 Aparelhos de Proteção Respiratória (APR) – máscaras	9
2.3 Projetos existentes no mercado de valorização e reciclagem	12
2.3.1 <i>Plaxtil</i>	13
2.3.2 <i>Terra Cycle</i>	13
2.3.3 <i>Canadian Vitacore</i>	13
2.3.4 Reaproveitamento de máscaras descartáveis para subcamadas de pavimento	14
2.3.5 Isolamento acústico	14
2.3.6 Produtos artísticos de mobiliário urbano	14
2.3.7 Placas	15
2.4 Métodos de valorização têxtil	15
2.4.1 Soluções de tratamento de desperdício têxtil	15

2.4.1.1.	Reutilização	16
2.4.1.2.	Reciclagem.....	17
i.	<i>Upcycling</i>	17
ii.	<i>Downcycling</i>	17
iii.	Reciclagem mecânica e química	17
2.4.1.3.	Incineração.....	18
2.4.1.4.	Aterros	18
2.4.1.5.	Diamantes.....	18
2.5	Sustentabilidade e economia circular	18
2.5.1	Sustentabilidade	19
2.5.2	Economia Circular	21
2.5.2.1.	Eliminação de desperdícios e de poluição	21
2.5.2.2.	Circulação de produtos e materiais	22
2.5.2.3.	Regeneração da Natureza.	23
3.	Materiais e procedimento experimental.....	25
3.1	Caracterização dos materiais	25
3.1.1	Caracterização do material base – máscaras.....	25
3.1.1.1.	Espetroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier com refletância total atenuada (FTIR-ATR).....	25
3.1.1.2.	Calorimetria diferencial de varrimento – DSC	27
3.2	Procedimento experimental.....	28
3.2.1	Preparação do material base.....	28
3.2.2	Produção das placas.....	30
3.2.2.1.	Caracterização básica das placas.....	36
3.2.3.1.	Caracterização mecânica	40
i.	Resistência à tração	40
ii.	Resistência à flexão.....	41
3.2.3.2.	Permeabilidade ao ar	42
3.2.3.3.	Resistência à radiação ultravioleta – envelhecimento acelerado	43
4.	Apresentação, Análise e Discussão de Resultados.....	45

4.1	Resistência à tração	45
4.2	Resistência à flexão.....	51
4.3	Permeabilidade ao ar	56
4.4	Resistência à radiação ultravioleta – envelhecimento acelerado	57
4.5	Características das placas - resumo	59
5.	Conclusão e perspectivas futuras	61
5.1	Conclusão	61
5.2	Perspetivas futuras	63
	Bibliografia	64
	Anexos	69
	Anexo 1. Valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete – Placa 1A	69
	Anexo 2. Valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete – Placa 1B	70
	Anexo 3. valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete– Placa 2A	71
	Anexo 4. valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete – Placa 2B	72
	Anexo 5. Valores obtidos nos ensaios de permeabilidade ao ar – Placa 3A e 3B.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - polimerização do propileno	6
Figura 2 – representação das camadas de uma máscara cirúrgica	8
Figura 3 - representação do processo meltblown	8
Figura 4 - representação do processo spunbound	9
Figura 5 - resumo dos tipos de aparelhos de proteção respiratória	10
Figura 6 - modelo da pirâmide [reproduzido de.....]	16
Figura 7 - diagrama do sistema da economia circular	22
Figura 8 - equipamento FTIR	26
Figura 9 - espectro obtido através da análise FTIR	26
Figura 10 - espectro padrão do polipropileno.....	26
Figura 11 - equipamento DSC	27
Figura 12 - resultado obtido no ensaio DSC	28
Figura 13 - moinho de lâminas.....	29
Figura 14 - lâminas do moinho.....	29
Figura 15 - crivo de espaçamento 2 mm	30
Figura 16 - resumo da primeira fase do processamento das placas	30
Figura 17 - resíduo do tipo A	31
Figura 18 - resíduo do tipo B.....	32
Figura 19 - prensa Fontijne	32
Figura 20 - inserção do resíduo do tipo A no molde	33
Figura 21 - inserção do resíduo do tipo B no molde	33
Figura 22 - prensa Incomef	34
Figura 23 - placa do tipo A	34
Figura 24 - placa do tipo B.....	35
Figura 25 - resumo da segunda fase do processamento das placas	35
Figura 26 - polímero que derreteu e escorreu para as bordas do molde	37
Figura 27 - polímero que escorreu para fora do molde.....	37
Figura 28 – lado côncavo (a) e convexo (b) de uma placa do tipo A	38
Figura 29 - lado côncavo (a) e convexo (b) de uma placa do tipo B.....	38
Figura 30 - ensaio de resistência à tração.....	41

Figura 31 - ensaio de resistência à flexão	42
Figura 32 - permeabilímetro	43
Figura 33 - QUV	44
Figura 34 - tangente da região linear	49
Figura 35 - resultados obtidos segundo Khan et al. (2012)	55
Figura 36 - parte da placa 3B com aspeto poroso.....	57
Figura 37 - câmara de luz	58
Figura 38 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete – placa 1A.....	69
Figura 39 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete - placa 1B.....	70
Figura 40 – valores obtidos através das curvas de tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete – placa 2A.....	71
Figura 41 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete - placa 2B.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - peso das placas.....	36
Tabela 2 - dimensões das placas.....	36
Tabela 3 - valores de massa por unidade de área de cada placa	38
Tabela 4 - valores de massa volúmica e porosidade para cada placa	39
Tabela 5 - condições de ensaio à resistência à tração	41
Tabela 6 - condições de ensaio à resistência à flexão.....	42
Tabela 7 - parâmetros de ensaio da permeabilidade ao ar	43
Tabela 8 – curvas tensão-deformação da placa 1A	47
Tabela 9 – curvas tensão-deformação da placa 1B.....	48
Tabela 10 – resultados do ensaio à resistência à tração	49
Tabela 11 – curvas tensão-deformação da placa 2A	52
Tabela 12 – curvas tensão-deformação da placa 2B.....	53
Tabela 13 - resultados do ensaio à resistência à flexão	54
Tabela 14 - resultados do ensaio à permeabilidade ao ar	56
Tabela 15 - resultados do ensaio à resistência à radiação ultravioleta após 8h de exposição a seco....	59
Tabela 16 - resumo das características das placas	60
Tabela 17 - Valores obtidos nos ensaios de permeabilidade ao ar	73

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - cálculo do volume total do molde	30
Equação 2 - conversão de mm ³ em cm ³	31
Equação 3 - cálculo da massa total de máscaras a serem utilizadas dentro do molde.....	31
Equação 4 - fórmula para o cálculo da massa volúmica	39
Equação 5 - fórmula para o cálculo da porosidade.....	39
Equação 6 - cálculo da distância entre os apoios	42
Equação 7 - fórmula para o cálculo da área da secção transversal dos provetes.....	45
Equação 8 - fórmula para o cálculo da tensão	45
Equação 9 - fórmula para o cálculo da deformação	46
Equação 10 - fórmula para o cálculo do módulo de Young [reproduzido de (Ruckert, 2022)]	49
Equação 11 - fórmula para o cálculo da área da secção transversal dos provetes.....	51
Equação 12 - fórrmula para o cálculo da tensão	51
Equação 13 - fórmula para o cálculo da deformação	51

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

APR	Aparelhos de proteção respiratória
CVR	Centro para a valorização de resíduos
DSC	Calorimetria diferencial de varrimento
Edana	<i>European disposables and nonwovens association</i>
FTIR-ATR	Espetroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier com refletância total atenuada
INDA	<i>Association of the nonwovens fabric industry</i>
MP	Microplásticos
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PP	Polipropileno
RCA	Recycled concrete aggregate
SI	Sistema Internacional
TNT	Tecido não-tecido
ρ	Densidade

1. INTRODUÇÃO

Nesta etapa introdutória serão discutidos as principais motivações e o enquadramento para a realização deste projeto, tal como os seus objetivos. Para além disto, no final do capítulo poder-se-á encontrar um subcapítulo relativo às metodologias utilizadas e um breve resumo acerca da organização deste trabalho.

1.1 Motivação

Em março de 2020, a Organização Mundial de Saúde (OMS) classificou o surto de Covid-19, que teria sido identificado como um novo coronavírus em dezembro de 2019 em Wuhan, China, como uma pandemia, tendo, até à data, infetado milhões e dizimado milhares de pessoas no planeta.

Com o surgimento do vírus SARS-CoV-2, a utilização de máscaras de proteção respiratória tornou-se obrigatória de modo que o vírus não se propagasse. Assim, a utilização de máscaras descartáveis, que eram apenas utilizadas em ambiente hospitalar e industrial ou em países já com esta cultura, como os países da Ásia Oriental (China, Mongólia, Japão, Coreia do Norte, Coreia do Sul, Taiwan, Hong Kong e Macau), cresceu exponencialmente tornando-se, assim, um acessório essencial presente no dia-a-dia das populações.

Conforme o comunicado feito pela OMS em 2020, as máscaras descartáveis não devem ser reutilizadas ou recicladas, uma vez que depois de usadas, são consideradas resíduos hospitalares, e dependendo do país, têm de ser incineradas antes de serem transportadas para aterros (WHO, 2020). Se esta indicação da OMS se aplicou no princípio da pandemia, nos momentos seguintes, a indicação das autoridades de saúde e do ambiente em Portugal recomendaram que as máscaras usadas fossem colocadas nos resíduos indiferenciados. No entanto, o descarte das máscaras nem sempre é feito corretamente, causando assim, um problema ambiental de escala mundial. Isto, porque ainda não existe uma plataforma eficiente para o descarte de equipamentos de proteção individual, devido ao alto risco de contaminação que as máscaras faciais usadas, principalmente em áreas como centros médicos, transportes e locais públicos, representam.

De acordo com Benson, Bassey, et al. (2021) estima-se que em 2021, na Europa, tenham sido utilizadas cerca de 445 milhões de máscaras descartáveis diariamente; na América do Norte, 245 milhões; na América do Sul, 380 milhões e na Oceânia, 22 milhões. Cerca de 412 milhões de EPIs foram utilizados todos os dias em África e na Ásia, cerca de 2 mil milhões de máscaras descartáveis

utilizadas quotidianamente. Em síntese, as quantidades indicadas pelos autores acima referenciados providenciam uma ideia da enorme quantidade de dispositivos usados.

Apesar de, na atualidade, em vários países da União Europeia já não ser obrigatório o uso de máscara em certas situações, o peso de quase dois anos de utilização destes equipamentos vai fazer-se sentir durante os anos vindouros.

A poluição gerada pelo descarte das máscaras é quase irreparável, tremenda e dispendiosa, podendo até causar, num futuro próximo, danos ambientais consideráveis. Como estas máscaras são produzidas principalmente a partir de polipropileno (PP), estas, quando descartadas para o meio ambiente, passam a ser uma fonte de partículas de microplásticos (MP), que poderão demorar 400 a 500 anos a decomporem-se em ambiente natural (Aragaw, 2020). E tendo em conta que neste período de pandemia, a nível global, parte das máscaras são descartadas em rios, canais, lagos, mares e oceanos, certamente estas poderão afetar ecossistemas e recursos aquáticos, pois estes MP contêm produtos químicos tóxicos que são libertados durante o período de degradação, tais como ftalato, organotinas, nonilfenol, éteres de difenila polibromados e triclosan (Aragaw, 2020; Fadare & Okoffo, 2020; Ruiz Estrada, 2020).

A poluição provocada pelos MP é fonte de várias ameaças (Aragaw, 2020):

- ⇒ Para a vida aquática, pois a fauna, nomeadamente os peixes, tende a ingerir MP despropositada e propositadamente, visto que não os distinguem da sua alimentação natural, e, pertencendo à cadeia alimentar do ser humano, poderão no futuro ser a causa da origem de doenças crónicas;
- ⇒ Para o aquecimento global, dado que as máscaras descartadas em aterros e incineradas juntamente com resíduos hospitalares também são responsáveis pelas emissões de carbono para a atmosfera, para além de poderem contaminar os lençóis de água que correm na profundidade dos terrenos;
- ⇒ Potencia o perigo de continuar a contaminação pelo vírus SARS-CoV-2 através de máscaras descartadas em espaços não adequados, uma vez que as partículas de plástico têm tendência a proliferar micróbios, podendo ser disseminados na cadeia alimentar do ser humano;
- ⇒ O impacto económico na indústria do turismo também será visível à medida que a estética costeira for modificada pela poluição, diminuindo o apelo aos espaços de lazer no litoral, impactando assim na estabilidade social e mental das pessoas e na economia do país.

1.2 Objetivos

Sendo este um projeto piloto, o presente trabalho tem como principal objetivo apresentar uma possível solução de reciclagem para o descarte de máscaras que seja tecnicamente e economicamente viável, e sustentável, potenciando a criação de novos produtos. A solução proposta recorre a métodos de reciclagem de não-tecidos de polipropileno (estrutura e material que compõem as máscaras cirúrgicas), como a trituração das máscaras e a sua posterior termofixação para a obtenção de uma placa de matriz polimérica. Este método foi processado aproveitando os recursos disponíveis no Centro para a Valorização de Resíduos (CVR) e na Fibrenamics. Para atingir este objetivo, será realizada a avaliação das propriedades mecânicas e de comportamento a diferentes fatores das diferentes placas, de forma a perceber como o processamento dos resíduos e a sua eventual posterior integração em novos produtos poderá ser equacionada. Todo o processo tem em vista a sustentabilidade, por forma a não criar qualquer tipo de resíduos, a um custo viável, de modo que vá de encontro às novas tendências da economia circular.

1.3 Metodologia

Todos os projetos de investigação seguem uma metodologia que lhes permita definir quais os procedimentos necessários para alcançar os resultados pretendidos e de forma a ser validada pelos pares da comunidade científica. A definição da metodologia mais adequada tem em conta os objetivos que se pretendem alcançar na investigação. Trabalhos de investigação e desenvolvimento podem ser desenvolvidos em duas grandes áreas: investigação fundamental – conhecimento pelo conhecimento para explicação de fenómenos – ou investigação aplicada – inovação -, dando valor societal e/ou económico ao conhecimento. As diferentes abordagens à investigação dependerão de uma multiplicidade de fatores e poderão seguir caminhos muito diversos. As estratégias de investigação descritas e explicitadas na literatura consultada são fundamentalmente as seguintes (Robert E., 2010; Saunders et al., 2009):

- ⇒ Experimentação
- ⇒ Inquéritos
- ⇒ Estudos de caso
- ⇒ Investigação/ação
- ⇒ Teoria fundamentada
- ⇒ Investigação documental

No caso do presente trabalho, seguiu-se a estratégia da experimentação, que parte de um problema identificado, seguindo-se processos de produção de amostras (placas), com a avaliação posterior das suas propriedades. O tratamento estatístico dos resultados obtidos nos diferentes ensaios foi a ferramenta que permitiu tirar conclusões. Mas, como é evidente, todo o trabalho partiu de uma pesquisa bibliográfica sobre os temas centrais da investigação, sobre os métodos de ensaios e normas aplicadas.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho reúne-se em cinco capítulos, onde estão integrados todos os pontos relevantes à realização deste estudo. Cada capítulo encontra-se dividido em subcapítulos, para facilitar a compreensão dos mesmos.

No primeiro capítulo, trata-se de uma fase introdutória, são descritos os motivos da escolha do tema da dissertação, os objetivos principais da investigação, bem como as metodologias utilizadas, e um pequeno resumo acerca da estrutura da dissertação.

O capítulo seguinte, reúne os conceitos teóricos necessários à compreensão do enquadramento do trabalho, o estado da arte e o estudo do contexto no mercado atual, assim como outros tópicos relevantes da pesquisa bibliográfica e que apoiam o tema da dissertação.

O terceiro capítulo encaixa no desenvolvimento experimental, englobando o material utilizado, tal como os métodos utilizados para a caracterização destes.

O quarto capítulo diz respeito à análise e discussão dos resultados obtidos durante a fase experimental, através da representação de gráficos e tabelas.

No quinto e último capítulo, evidenciam-se as conclusões que podem ser retiradas através dos resultados dos ensaios realizados no capítulo quatro, mencionando brevemente as perspetivas futuras.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo são enumerados os tópicos mais importantes da revisão da literatura efetuada, como os conceitos teóricos, estado da arte da oferta existente no mercado e outros tópicos relevantes da pesquisa bibliográfica que apoiam o tema da dissertação.

2.1 Conceitos teóricos

A presente dissertação centrou-se numa área específica dos materiais e processos têxteis, sendo a base do trabalho experimental as máscaras cirúrgicas de polipropileno (PP), as quais são produzidas em tecido não-tecido (TNT). Por isso, será analisado o polipropileno e a estrutura têxtil será o não-tecido.

2.1.1 Materiais e estruturas

2.1.1.1. Polipropileno

O PP é uma poliolefina, ou seja, faz parte da família das fibras olefinas que, de acordo com o *Textile Fiber Products Identification Act*, são “fibras fabricadas em que a substância que forma a fibra é qualquer cadeia longa de polímero composto por pelo menos 85% de peso de etileno, propileno ou qualquer outra unidade de olefina, exceto poliolefinas amorfas, que se qualificam na categoria (1) do parágrafo (j) da Regra 7.” (Hatch L., 1993, p. 226).

O propileno é um hidrocarboneto com três átomos de carbono e uma ligação covalente dupla que quando é polimerizado forma um polímero com um grupo metil que se estende da estrutura principal do polímero, formando o polipropileno. Durante a polimerização deste monómero, três polímeros de polipropileno com diferentes configurações são formados: o isotático, o sindiotático e o atático. Todavia, apenas a configuração isotática é utilizada para o fabrico de fibras de polipropileno comercial, uma vez que a sua configuração (todos os grupos metil estão no mesmo lado da cadeia principal, como observado na Figura 1) permite que os polímeros possam ser compactados de modo que a sua cristalização ocorra (Hatch L., 1993).

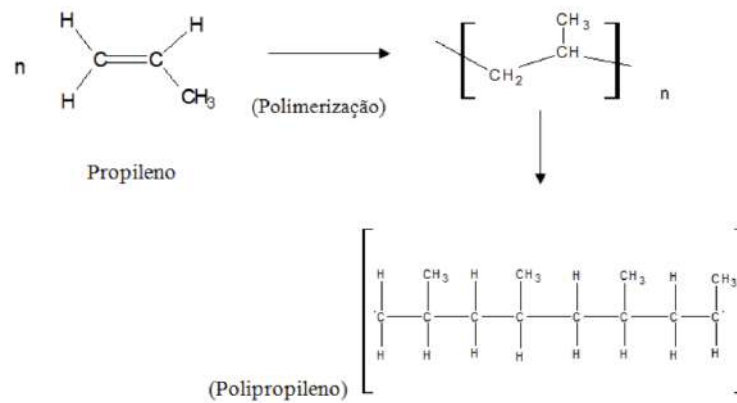


Figura 1 - polimerização do propileno [reproduzido de (da Silva Rodrigues et al., 2017)]

As propriedades das fibras de polipropileno podem ser determinadas pelo polipropileno usado na sua produção, pelos aditivos presentes na fibra e pelas suas condições de processamento.

Então, as fibras de polipropileno, genericamente, (Hatch L., 1993; Horrocks & Anand, 2017; Maier & Calafut, 1998):

- ⇒ São hidrófobas;
- ⇒ São de alta tenacidade;
- ⇒ Têm baixa condutividade térmica e baixa descarga electrostática;
- ⇒ Têm boas propriedades isolantes;
- ⇒ São altamente resistentes a ataques químicos por parte de ácidos, bases e alguns solventes orgânicos. No entanto, são bastante vulneráveis à ação da oxidação, o que pode reduzir consideravelmente a sua tenacidade;
- ⇒ São resistentes à ação da radiação ultravioleta;
- ⇒ São difíceis de tingir, sendo por isso maioritariamente utilizadas em produtos de higiene, máscaras cirúrgicas, fraldas e filtros

Sendo o PP isotático um polímero semi-cristalino com um maior grau de cristalinidade que varia entre os 40 e os 60%, o seu ponto de fusão encontra-se entre os 160° e os 170°C (Maier & Calafut, 1998; Shubhra et al., 2013).

2.1.1.2. Não-tecidos

Para ser possível entender o processo de reciclagem, é primeiro necessário perceber como as máscaras são compostas e como são produzidos os materiais que as compõem, o não-tecido de polipropileno.

Atualmente, existem duas definições para o conceito de “não-tecidos”, sendo estas consideradas as mais consensuais para a tradução do mesmo. Por um lado, a *Association of the Nonwovens Fabric Industry* (INDA) enuncia que o não-tecido é uma folha, véu ou manta de fibras/filamentos, excluindo o papel, que não foram convertidas em fios ligados entre si, por meios físicos e/ou químicos, designadamente: por adição de um adesivo; por fusão térmica levando à ocorrência da ligação das fibras/filamentos, ou adição de pós termoplásticos; por fusão das fibras, dissolvendo-as primeiro e tornando sólidas de novo as suas superfícies; por criação de emaranhados ou tufo entre as fibras; e ainda, por costura de fibras ou filamentos (INDA, n.d.). Por outro lado, a *European Disposables and Nonwovens Association* (Edana), defende que os não tecidos são a produção de folhas, véus ou mantas de fibras/filamentos, orientados direcional ou aleatoriamente, produzidas e ligadas por fricção, e/ou coesão e/ou adesão, excluindo papel ou produtos obtidos por tecelagem, tricotagem, tufagem, cosido-tricotado ou feltragem, podendo, ou não, ser adicionalmente agulhados (EDANA, n.d.). O grupo de têxteis abrangido pela denominação de “não-tecidos” é muito diversificado, daí que o significado e âmbito de utilização do termo tenha vindo a sofrer alterações.

Como já foi referido anteriormente, os não-tecidos podem ser estruturas muito diferentes, o que torna o processo de comparação de características e propriedades comuns bastante complicado. As propriedades das fibras representam um dos fatores principais na determinação das características dos não-tecidos. No entanto, as propriedades dos não-tecidos também dependem das características da manta, tais como: geometria, peso e composição, além do método de ligação/reforço da mesma, como por exemplo, as propriedades da matéria adesiva, no caso de obtenção de não-tecidos por ligação adesiva (Rocha, 2004)

Normalmente, todas as camadas de uma máscara são constituídas por não-tecidos de polipropileno, no entanto, são produzidas de maneira diferente. As camadas exterior e interior são produzidas através do processo *spunbond* e o filtro através do processo *meltblown* (Figura 2). Ambos são processos por via de fusão (Henneberry, 2020).

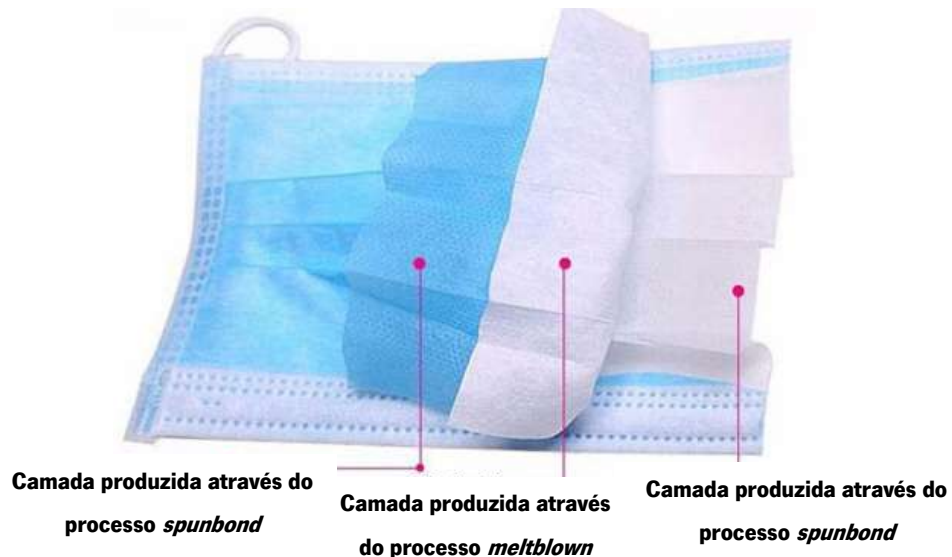


Figura 2 – representação das camadas de uma máscara cirúrgica [adaptado de (Henneberry, 2020)]

O processo *meltblown* consiste num conjunto de operações integradas, que podem ser representadas através da Figura 3. O procedimento começa com a fusão do polímero em questão (polipropileno), seguido do transporte e filtração do polímero já fundido. De seguida, o polímero é inserido na extrusora e, já na feira, formam-se os filamentos, usando ar quente. Ai, as fibras são arrefecidas com ar frio, coletadas pelo tambor para formar a manta e finalmente, a manta é bobinada (Rocha, 2004).

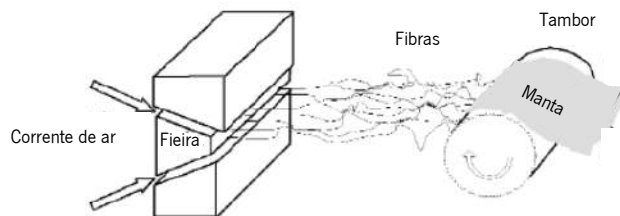


Figura 3 - representação do processo *meltblown* [adaptado de (Rocha, 2004)]

Tal como o *meltblown*, o processo *spunbond* consiste também num conjunto de operações integradas, que podem ser representadas através da Figura 4.

O procedimento começa quando os grãos de polímero são colocados no funil da extrusora. A partir daí, à medida que o polímero se move pela extrusora, este atinge o seu ponto de fusão devido ao calor e à fricção, sendo imediatamente filtrado. O polímero fundido passa através das centenas de orifícios da feira, uma componente da matriz, formando os filamentos, que são, de seguida, arrefecidos por uma corrente de ar proveniente de debaixo da feira. Posteriormente, os filamentos são extraídos da

fieira e são imediatamente depositados na correia transportadora, normalmente em camadas, formando a manta (Rocha, 2004).

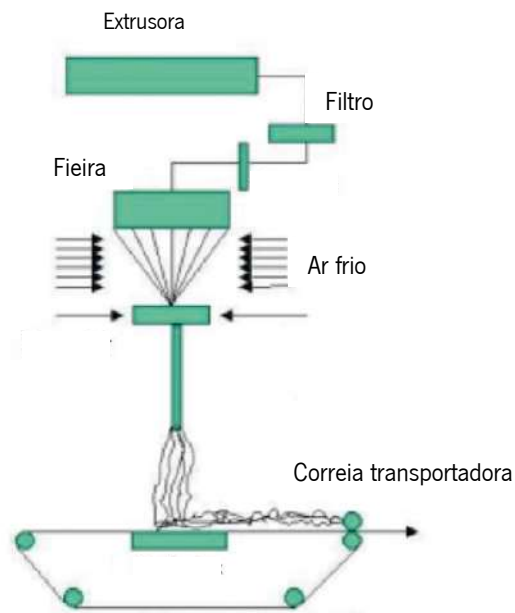


Figura 4 - representação do processo spunbound [adaptado de (Rocha, 2004)]

O grau de ligação é o fator que determina a coesão do produto, porosidade, flexibilidade, suavidade e densidade. Logo, será necessário utilizar métodos de ligação adequados ao fim pretendido para os materiais e estruturas a produzir. Geralmente, para ambos os processos, *spunbond* e *meltblown*, é usado o método de ligação térmica por calandragem (condução), onde a manta passa entre cilindros aquecidos (Rocha, 2004).

2.2 Aparelhos de Proteção Respiratória (APR) – máscaras

Os aparelhos de proteção respiratória (APR) têm como objetivo proteger as vias respiratórias do sujeito contra os diversos efeitos nocivos que a atmosfera possa causar neste. Estes podem ser de dois tipos: isolantes – fornecem ar não proveniente da atmosfera envolvente ao indivíduo – e filtrantes – filtram o ar proveniente da atmosfera, que é recebido pelo utilizador.

Opte-se como guia o seguinte esquema.

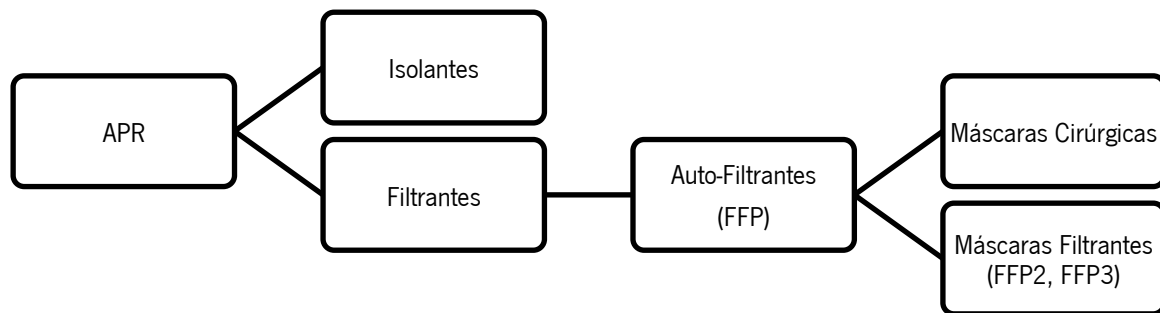


Figura 5 - resumo dos tipos de aparelhos de proteção respiratória [fonte: autor]

As máscaras de proteção enquadram-se nos aparelhos de proteção respiratória filtrantes, sendo, por isso, aparelhos auto-filtrantes, visto que o desempenho da sua função depende da atividade respiratória da pessoa que os usa (a respiração do indivíduo promove a passagem do ar pelo filtro embutido na máscara) (Fangueiro et al., 2020).

Com o surgimento do vírus SARS-CoV-2, a utilização de máscara tornou-se obrigatória de modo que o vírus não se propagasse. De acordo com a Direção Geral de Saúde (2020), estas podem-se subdividir de acordo com três níveis distintos (Direção Geral de Saúde, 2020):

- ⇒ **Nível 1:** máscaras do tipo FFP, destinadas ao uso pelos profissionais de saúde
- ⇒ **Nível 2:** máscaras cirúrgicas, destinadas ao uso por profissionais, não de saúde, mas que estão em contacto com um elevado número de indivíduos, o que torna a propagação e infeção por SARS-CoV-2 mais favorável.
- ⇒ **Nível 3:** máscaras não cirúrgicas, de uso comunitário e não certificadas, constituídas por materiais têxteis diferentes dos da composição das máscaras anteriores.

As máscaras do tipo FFP (nível 1) podem ser caracterizadas em três níveis de proteção (Fangueiro et al., 2020):

- ⇒ As de classe **FFP1**, de eficiência baixa, filtram 80% das partículas, sólidas e líquidas, tendo uma taxa de fuga para o interior de 22%. Têm fator de proteção nominal 4, o que significa que a poluição dentro da máscara é quatro vezes inferior à poluição no exterior da máscara;
- ⇒ As de classe **FFP2**, de eficiência média, têm uma eficácia de filtração de partículas de cerca de 94% e uma taxa de fuga para o interior da máscara de 8%. Têm fator de proteção nominal 12;

⇒ As de classe **FFP3**, de eficiência alta, filtram aproximadamente 99% das partículas sólidas e líquidas e possuem uma taxa de fuga de apenas 2%. Têm fator de proteção nominal 50.

As máscaras FFP dividem-se em dois grupos de acordo com a sua capacidade de filtração, as máscaras cirúrgicas e as máscaras filtrantes de partículas (FFP2 e FFP3).

As máscaras cirúrgicas são máscaras de uso único. Isto significa que, após o tempo de uso recomendado para estas máscaras, estas têm de ser descartadas. Apresentam boa permeabilidade ao ar e vapor de água, sendo eficazes na proteção contra gotículas e partículas, mas não contra aerossóis (Fangueiro et al., 2020). Normalmente, uma máscara cirúrgica vendida ao público é constituída por 3 camadas: a exterior, que necessita de ser impermeável; a camada do meio, um filtro de alta densidade, que impede germes, bactérias e vírus de passarem para o exterior; e a camada interior que está em contacto direto com a pele e que tem como função absorver a humidade libertada pela expiração. Todas as camadas são TNT, pois têm uma melhor filtragem de bactérias e permeabilidade ao ar, e são, normalmente, constituídas por polipropileno (PP), pois poderão ser também produzidas com materiais como poliéster, poliestireno, polietileno ou policarbonato (Fangueiro et al., 2020; Henneberry, 2020).

De acordo com a norma EN 14683, esta tipologia de máscara não tem como função proteger o utilizador contra os agentes patogénicos do exterior, mas sim, proteger o exterior das partículas e gotículas soltas por este. Ou seja, impedem a saída de partículas, mas não são eficazes relativamente às partículas que poderão ir na direção do indivíduo (Fangueiro et al., 2020).

Por oposição às máscaras cirúrgicas, as máscaras filtrantes de partículas (FFP2 e FFP3) protegem o indivíduo contra partículas, gotículas e aerossóis e poderão ser de uso único ou não, dependendo do processo de descontaminação destes EPIs. Apresentam níveis de proteção recomendados pela OMS.

Tal como as cirúrgicas, são constituídas por três camadas:

- ⇒ A camada protetora, hidrófoba e constituída por TNT resistentes.
- ⇒ A camada de filtração, constituída por TNT de mistura de fibras finas e grossas ou então só por fibras finas. As fibras finas, combinadas de maneira a construir uma estrutura com baixa porosidade, conferirão propriedades de filtração de micro e nano partículas.
- ⇒ A camada de suporte, semelhante à camada protetora.

Adicionalmente, é posicionado, no interior, um filtro de TNT tratado com um acabamento eletrostático, decisivo na eficiência da filtração.

Estas máscaras poderão, ainda, apresentar, ou não, uma válvula de exalação. Em comparação com as cirúrgicas, estas são mais eficientes na proteção contra agentes patogênicos do exterior (Fangueiro et al., 2020).

As máscaras de nível 3, não são compreendidas como dispositivos médicos ou como EPI, sendo por isso classificadas como artigos têxteis e máscaras de uso comunitário. São, maioritariamente, fabricadas por empresas têxteis. Isto, porque cada pessoa pode fabricar a própria máscara em casa, de acordo com os requisitos de proteção necessários.

Apesar de estes dispositivos não serem certificados, a sua utilização mostra-se eficiente na redução da dispersão do vírus e, tal como as máscaras cirúrgicas, não têm como função proteger o utilizador contra os agentes patogênicos do exterior, mas sim, proteger o exterior das partículas e gotículas soltadas por este. No entanto, apesar da próxima afirmação ser correta para as máscaras em geral, uma vez que apenas são eficazes no caso de todos as usarem, estas máscaras constituem uma sensação de falsa segurança, pois, quando mal utilizadas, podem aumentar o risco de contágio – o nível de filtração pode não ser o mais adequado (filtram menos), e não se adequam tão bem à face do utilizador (DECO PROTESTE, 2021; Peres et al., 2020).

2.3 Projetos existentes no mercado de valorização e reciclagem

Sendo este um projeto piloto, ainda existem algumas lacunas de conhecimento relativas à reciclagem de máscaras descartáveis.

Em concordância com Maderuelo-Sanz et al. (2021), existem duas vias possíveis de reciclagem: a reciclagem primária e a reciclagem secundária (ou química). A primeira baseia-se na reutilização do produto sem qualquer tipo de tratamento pós-reciclagem, preservando a sua estrutura original, como é o exemplo do estudo levado a cabo por Saberina et al. (2021), mais abaixo mencionado. A segunda, acontece quando o material é derretido e reprocessado em novos produtos, como é o caso deste projeto.

Até ao momento são conhecidos alguns estudos e projetos relativos a este tema, que serão abaixo nomeados.

2.3.1 *Plaxtil*

Neste projeto, dirigido pela *start-up* francesa *Plaxtil*, a empresa usa o sistema de reciclagem de transformação das fibras termoplásticas em blocos poliméricos, no entanto, o resultado final são outros equipamentos de proteção, como as viseiras. A empresa distribuiu pontos de recolha de máscaras cirúrgicas estrategicamente colocados em vias públicas, supermercados e farmácias. Após recolhidas, as máscaras são submetidas a uma quarentena de 4 dias (Continente, 2020; The Connexion, 2020).

Este processo de reciclagem começa por separar os substratos o mais minuciosamente possível, sendo estes triturados e novamente sujeitos a descontaminação, passando por um túnel de luz ultravioleta. De seguida, os detritos são submetidos a uma temperatura, que é diferente para todos os tipos de fibras, uma vez que dependendo da fibra, o seu ponto de fusão altera. Após derretidas, o polímero resultante pode ser reciclado vezes sem conta (The Connexion, 2020).

2.3.2 *Terra Cycle*

A multinacional de reciclagem, localizada nos Estados Unidos, recolhe máscaras, luvas descartáveis e viseiras em caixas especiais, deixa-as em quarentena durante 72 horas e depois classifica e separa os materiais.

O polipropileno é processado de modo a que se transforme num material cru para ser utilizado em outros materiais, como recipientes, tubos e mobília de exterior. Os arames são derretidos e devolvidos ao ciclo de produção. O elastano e a borracha proveniente das luvas são transformados em pó, que pode ser utilizado para a produção de revestimentos de campos de basquetebol ou pistas de atletismo (Perillo, 2021).

2.3.3 *Canadian Vitacore*

Esta empresa, para além de reciclar máscaras, recicla também ventiladores, que são recolhidos em pontos de recolha da *Vitacore*. Depois de recolhidas, as máscaras são esterilizadas a altas temperaturas, separadas por tipo, e trituradas. Mais tarde, o material triturado é preparado para ser fundido e transformado em *pellets* de polipropileno, que serão utilizados como material de construção, como por exemplo, reforço de cimento e geotêxteis (Vitacore, n.d.).

2.3.4 Reaproveitamento de máscaras descartáveis para subcamadas de pavimento

O pavimento é constituído por quatro camadas – subleito, base, sub-base e asfalto – e, normalmente, um agregado de cimento reciclado (RCA – *recycled concrete aggregate*) é utilizado nas quatro subcamadas. No entanto, no decorrer de uma investigação, realizada pelo *Royal Melbourne Institute of Technology*, foi descoberto que a adição de máscaras trituradas ao RCA melhora as propriedades deste, no sentido em que conferem uma maior rigidez e resistência ao produto final. Foi concluído que a proporção ideal é 1% de máscaras trituradas para 99% de RCA, o que é suficiente para fortalecer as ligações químicas entre as partículas que constituem o material (Perillo, 2021; Saberian et al., 2021).

É estimado que para cada quilómetro de estrada com duas vias, sejam precisos cerca de três milhões de máscaras. Em termos ambientais, isto significaria menos noventa e três toneladas de lixo enviado para aterros (Perillo, 2021; Saberian et al., 2021).

2.3.5 Isolamento acústico

Os produtos absorventes porosos de som (qualquer material fibroso ou poroso, como têxteis ou espumas), são muito utilizados na indústria automóvel, aeroespacial e de construção para o isolamento acústico. No estudo levado a cabo por Maderuelo-Sanz et al (2021), foi utilizada uma amostra de oitenta máscaras cirúrgicas da mesma marca. Para o propósito da desinfeção, estas foram introduzidas num forno de vácuo a 70°C e 80% de humidade relativa e, posteriormente, foram-lhes retirados os elásticos e os arames para a conseqüente trituração num moinho de lâminas. Os resíduos foram separados pelas densidades específicas de cada material, porosidade e espessura, que mais tarde foram analisados para uma melhor caracterização. Avaliando as propriedades não-acústicas, como a densidade agregada do conjunto, a porosidade e a sinuosidade, concluiu-se que aumentando a espessura do material, aumenta também a absorção do som em baixas frequências. Este tipo de absorvente poroso mostrou-se também eficaz na absorção de altas frequências de som. Os resultados obtidos são comparáveis aos materiais já disponíveis no mercado (Maderuelo-Sanz et al., 2021).

2.3.6 Produtos artísticos de mobiliário urbano

Um estudante da Universidade de Arte e Design de Kaywon, em Uiwang, Coreia do Sul, reutilizou as máscaras (sem os arames e os elásticos) para construir bancos com três pernas. O processo começou pela esterilização das máscaras, que, após a sua quarentena de quatro dias, foram derretidas

diretamente no molde com uma pistola de ar quente a 150°C, resultando daí os bancos de três pernas (Perillo, 2021).

2.3.7 Placas

Num projeto levado a cabo pela cadeia britânica de supermercados *Wilko*, as máscaras são recolhidas nas lojas, esterilizadas por um período de setenta e duas horas, trituradas em pedaços de cinco milímetros que são adicionados a outra mistura de plástico, que, de seguida, são derretidos a 200°C e transformados em placas que podem ser utilizadas como materiais de construção, mobília e até caixotes do lixo (IM3, 2021; ReWorked, 2021).

2.4 Métodos de valorização têxtil

A indústria têxtil é considerada extremamente poluente, sendo que a poluição abrange todos os processos, desde a fibra até ao produto final. Segundo Mendonça, “O impacto ambiental sente-se, sobretudo, a nível do consumo da água, da erosão dos solos, da emissão de CO₂ e dos resíduos e desperdícios resultantes” (Mendonça et al., 2019).

Com o aumento do poder de compra e o desenvolvimento da indústria do *fast fashion*, as coleções passaram de duas por ano para 50 a 100 mini coleções (Mendonça et al., 2019). Com isto, a necessidade do consumidor de ter e poder comprar mais torna-se inevitável, sendo que isto se poderá dever a uma necessidade ou pressão social de atender às tendências mais recentes do mundo da moda, resultando numa relação desproporcional entre a compra e o número de vezes que a roupa é usada.

2.4.1 Soluções de tratamento de desperdício têxtil

O papel do consumidor é extremamente importante na medida em que pode contribuir para uma indústria cada vez mais sustentável. Este deve adotar uma consciência menos consumista, podendo começar por reduzir o consumo de produtos de moda e apenas decidir comprar com um determinado objetivo em mente.

Com a incorporação das fibras sintéticas no vestuário, a reciclagem tornou-se ainda mais complicada, pois estas têm uma resistência superior e como as misturas de fibras se tornaram mais comuns, o processo de separação e classificação destas tornou-se ainda mais complexo (Wang et al., 2006).

A uma escala industrial, os métodos de reciclagem têxtil começam todos por um processo de separação e classificação. Inicialmente, são separados os materiais mais pesados, como casacos e cobertores, de seguida separam-se as peças de vestuário, ou seja, separam-se as calças das camisolas e das blusas. Assim que uma destas peças é recolhida, é classificada de acordo com o género, com o tipo de tecido e a qualidade do artigo (Wang et al., 2006).

A relação entre as quantidades de artigos de cada destino final e onde podem terminar, pode ser representado através do modelo da pirâmide (Figura 6):



Figura 6 - modelo da pirâmide [reproduzido de (Wang et al., 2006)]

Na base da pirâmide ficam os artigos que podem ser vendidos em lojas de segunda mão ou partilhados com outros utilizadores, incluindo doações; de seguida, nos segundos e terceiros níveis da pirâmide, os produtos que podem ser reutilizados para novas aplicações, e no quarto nível da pirâmide, os que são incinerados (com valorização energética) e os que vão para aterros, e no último nível da pirâmide, os “diamantes”.

2.4.1.1. Reutilização

A reutilização de peças de vestuário em boas condições que já não têm uso pode ser feita através da troca, partilha ou doação a amigos ou familiares que lhes poderão dar um novo uso; é possível também doar a instituições de caridade e até vender ou comprar peças de vestuário em mercados de segunda mão. Atualmente, existem *sites* e aplicações para a venda *online* de produtos de moda, como é o caso da Vinted ou do OLX. Normalmente, ao fazer doações a mercados de segunda mão, apenas uma pequena parte é vendida para novos consumidores desses mercados, sendo que o resto é exportado

para países de África, Europa de Leste, Sudeste Asiático e América do Sul, o que pode originar efeitos prejudiciais nas economias locais (McCarthy, 2018).

Ao serem exportados, estes produtos têm, normalmente, como destino países em desenvolvimento ou populações vítimas de catástrofes, sejam elas naturais ou não (Wang et al., 2006).

Caso o produto esteja em condições menos favoráveis, é sempre possível repará-lo e voltar a usá-lo.

2.4.1.2. Reciclagem

i. Upcycling

O *upcycling* é um conceito que tem vindo a ganhar reconhecimento nos últimos anos na indústria têxtil e consiste na utilização de peças de vestuário em fim de vida ou restos de tecidos, de modo a criar novas peças. O *upcycling* é considerado um método sustentável e criativo, pois apesar de reduzir os custos, também integra peças defeituosas que podem ser reaproveitadas, ao invés de serem descartadas, acrescentando-lhes valor (Kreutzfeld, n.d.).

ii. Downcycling

Tal como o *upcycling*, o *downcycling* é um conceito que tem vindo a ganhar reconhecimento nos últimos anos na indústria têxtil. Antagonicamente, o *downcycling* consiste na reciclagem de um material, cujo produto final tem um valor inferior à peça original, sendo que o objetivo é o mesmo.

Um exemplo de *downcycling* é a transformação de uma *t-shirt* num pano para limpeza.

iii. Reciclagem mecânica e química

Uma das soluções de tratamento de desperdício é também a reciclagem mecânica, que consiste na transformação de uma peça na mesma peça, ou seja, consiste na trituração (*shredding*), por exemplo, de uma *t-shirt* velha, transformando-a numa *t-shirt* nova. No entanto, a qualidade das fibras é um grande fator neste tipo de tratamento, pois estas tendem a perder qualidade e propriedades durante o uso e a lavagem, sendo que durante o *shredding* as fibras perdem comprimento (Notman, 2020).

De forma a resolver este problema, poder-se-ia misturar as fibras resultantes do *shredding* com fibras virgens, visto que estas são mais compridas, mais resistentes e têm uma maior resistência à humidade. Outra solução seria quebrar quimicamente as fibras de forma que estas se transformem nos

seus estados de blocos de construção químicos e, de seguida, reconstruí-las em novas fibras com propriedades melhores que as das fibras virgens. A reciclagem química, apesar de muito recente, é desafiante tanto a nível técnico como económico (Notman, 2020).

2.4.1.3. Incineração

A incineração é um processo de destruição térmica realizado a altas temperaturas, que consiste na decomposição térmica da porção orgânica dos resíduos, transformando-os numa fase gasosa e noutra sólida (Ferrante, 2011). “(...) 80% dos resíduos são despejados em aterros ou são incinerados, o que resulta num aumento da pegada de carbono e numa perda de energia e de matéria-prima” (Marques et al., 2020).

2.4.1.4. Aterros

O estilo de vida ocidental contribui significativamente para a acumulação de resíduos em aterros. Como foi mencionado anteriormente, 80% dos resíduos têxteis são despejados em aterros ou incinerados (Marques et al., 2020). As peças de vestuário feitas a partir de tecidos não biodegradáveis podem permanecer nesses aterros até 200 anos. À medida que os resíduos se decompõem, estes vão libertando metano, um gás de efeito de estufa com efeitos mais prejudiciais que o carbono (McCarthy, 2018).

2.4.1.5. Diamantes

Por vezes, durante o processo de separação e classificação, certos tipos de marcas ou estilos são postos de lado por serem considerados “diamantes”, devido ao seu valor em determinados mercados. São exemplos, peças de roupa *vintage*, peças da marca *Levi's*, *Tommy Hilfiger*, *Harley Davidson* e até camisolas de *bowling* dos anos 1950 (Wang et al., 2006).

2.5 Sustentabilidade e economia circular

As dimensões da sustentabilidade e da economia circular nas atividades industriais, na energia, nos transportes e no consumo têm vindo a ganhar cada vez mais importância quer para os consumidores e para a sociedade em geral quer para os políticos e decisores. Neste sentido, as políticas públicas de

incentivo à adoção das boas práticas de economia circular estão cada vez mais guiadas para o "Green Deal" e para as Agendas Verdes dos estados.

No caso concreto da indústria têxtil, em particular da designada *fast fashion*, existe um enorme impacto no consumo de recursos e na geração de resíduos, tornando-se importante analisar de que forma esta indústria pode contribuir positivamente para a resolução destes problemas. Passe-se então a fazer uma análise destas dimensões e o seu enquadramento.

2.5.1 Sustentabilidade

Entre 1760 e 1840, a Revolução Industrial desencadeou um enorme avanço tecnológico que tornou propício vários processos de manufatura, começaram a existir fábricas e produção em massa, e o carvão começou a ser utilizado como a principal fonte de energia.

Este período conduziu a vários benefícios para sociedade atual, mas também a várias desvantagens: a constante libertação de milhares de milhões de materiais tóxicos para o ar, água e solo; as enormes quantidades de lixo que são produzidas e mais tarde descartadas em aterros; a produção de materiais tão perigosos que precisam de vigilância constante e que requerem milhares de regulações complexas - não para manter as pessoas e os sistemas naturais seguros, mas sim para evitar que estes sejam contaminados; criou crescimento e aumentou a produtividade pelo uso intensivo de recursos naturais, destruindo a diversidade de espécies, práticas culturais, etc (McDonough & Braungart, 2022).

Não era intenção das pessoas por detrás da Revolução, isto é, os industriais, engenheiros, inventores etc., que tais impactos fossem as consequências que perduram no século XXI. A consciência de tais impactos foram-se revelando à medida que as mentes revolucionárias tentavam resolver problemas que iam surgindo. Deste modo, a sociedade está acostumada a pensar que a indústria e o ambiente estão em constante luta um com o outro. Se, por um lado, os ambientalistas descrevem a indústria como "má" e "inevitavelmente destrutiva" e defendem que, para o ambiente ser saudável, as empresas necessitam de ser reguladas e restringidas, por outro, os industriais costumam ver o movimento do ambientalismo como um obstáculo para a produção e para o crescimento industrial, pelo que, para que a indústria prospere, é necessário que a natureza não seja a prioridade. Duas ideias, à partida, bastante contraditórias (McDonough & Braungart, 2022).

É neste contexto que nasce o conceito de sustentabilidade. Esta é uma palavra com um peso cada vez mais importante nos dias de hoje e oriunda do latim, *sustentare*, que significa "sustentar", "apoiar", "conservar". Daqui, surge o termo desenvolvimento sustentável, que, segundo a Organização

das Nações Unidas (ONU), engloba 3 paradigmas que visam satisfazer “*as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades*”: o social, e por isso, sociopolítico; o económico e o ambiental (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Nações Unidas, 1987).

O desenvolvimento sustentável está assente, então, em três pilares:

- ⇒ A **sustentabilidade social** engloba um conjunto de ações que, quando implementadas, apontam para a melhoria da qualidade de vida das populações. Estas ações visam diminuir a desigualdade social, garantem o acesso aos serviços básicos, como a saúde e a educação, e permitem o direito à cidadania (Vallance et al., 2011).
- ⇒ A **sustentabilidade económica** implica práticas que auxiliam o crescimento económico e que não prejudicam os aspetos sociais, ambientais e culturais das comunidades (Mensah, 2019).
- ⇒ A **sustentabilidade ambiental** pode ser definida, muito resumidamente, como a interação responsável entre o ser humano e o ambiente, de modo a evitar a degradação ou o depauperamento dos recursos naturais, e garantir a qualidade ambiental a longo prazo (Mensah, 2019).

Os pilares da sustentabilidade estão interligados. As sustentabilidades sociopolítica e económica apenas existem se existir sustentabilidade ambiental, tornando o termo sustentabilidade, aquilo que Thomas Gieryn chama de *boundary term*, um em que a ciência encontra a política e a política encontra a ciência. Por exemplo, o simples ato de ir ao supermercado nos dias de hoje, já implica uma série de ações sustentáveis, como levar o próprio saco para o transporte dos bens-essenciais, a sensatez de não aderir ao consumismo exagerado e adquirir apenas aquilo que é necessário, etc. Depende muito da consciência de cada um tornar o dia-a-dia mais ou menos sustentável (Córdoba De Torresi et al., 2010; Scoones, 2007). Em suma, todas as dimensões da sustentabilidade devem trabalhar em conjunto para se atingir o resultado mais sustentável possível.

A procura da sustentabilidade é uma procura constante. Nunca se chega ao fim da procura porque à medida que se vão encontrando práticas sustentáveis de agir ou de produzir, novas ideias surgem e novas formas aparecem. Tome-se como exemplo os veículos elétricos. Estes começaram por ter baterias que fornecem uma autonomia até cerca de 150 quilómetros, contudo, hoje-em-dia, já existem viaturas com baterias que permitem uma autonomia até aos 700 km. A energia elétrica já chegou aos veículos, mas ficará por aqui? Atingiu-se a sustentabilidade no ramo automóvel? Irá a natureza produzir constantemente lítio para as baterias? Quando se esgotarem os recursos, como irão ser produzidas as

baterias? Qual irá ser a solução para substituir o lítio nas baterias elétricas? Outra solução terá de se procurar e, a partir daí, outra sustentabilidade ter-se-á de alcançar. Consequentemente, na procura do desígnio da sustentabilidade absoluta, novos conhecimentos fundamentais e aplicacionais serão necessários, gerando novos desafios às duas grandes áreas da investigação.

2.5.2 Economia Circular

No século XVIII, Antoine Lavoisier comprovou a Lei da Conservação da Massa, mais conhecida como Lei de Lavoisier. Esta lei dita que, em qualquer sistema fechado, não se cria nem se elimina matéria, apenas é possível transformá-la noutra tipo de matéria. E sendo o planeta Terra um sistema fechado, tudo dentro deste tem a capacidade de se transformar. Surge então a famosa frase “Na Natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Isto é, a Natureza não cria desperdício, pois tudo é importante nos seus processos naturais e sistemas complexos que funcionam em simbiose. O que vai de encontro ao conceito de economia circular.

Atualmente, a economia é linear, ou seja, o modelo de negócio utilizado baseia-se, por ordem, na extração dos materiais fornecidos pela Terra, na produção de artigos a partir desses materiais e descarte desses artigos. Um dos objetivos principais desta economia é a geração de lucro. Em contrapartida, o modelo seguido pela economia circular visa reaproveitar materiais e bens, de modo a diminuir ou até eliminar qualquer tipo de desperdício. (Alonso-Almeida et al., 2021; Ellen MacArthur Foundation, 2019b).

Conforme defende a Fundação Ellen MacArthur, o conceito de economia circular é estruturado nos três seguintes princípios:

2.5.2.1. Eliminação de desperdícios e de poluição

Neste parâmetro, Ellen MacArthur defende que a origem do desperdício se deve a defeitos de *design*. Ou seja, numa economia circular, o *design* pode ou não ditar se um produto pode ser circulado infinitamente ou não. Por outras palavras, o *design* do produto em si pode ser um entrave à sua reutilização e ao mesmo tempo ser a solução para isso mesmo. O segredo está no *design* do produto. Muitos produtos podem tornar-se circulares ao serem partilhados; arranjados, caso estejam estragados; reutilizados; *downcycled* ou *upcycled*, e em último recurso, talvez até reciclados. Se o desperdício é um resultado do *design*, pode-se dizer, então, que este é um conceito originado pelo ser humano, sendo que na Natureza não existem desperdícios.

2.5.2.2. Circulação de produtos e materiais

O segundo princípio defende que os produtos deveriam estar sempre em circularidade. Surgem aqui dois ciclos, que juntos compõem o “Diagrama do Sistema da Economia Circular” (Figura 7): o ciclo biológico (lado esquerdo da Figura 7) e o ciclo técnico (lado direito da Figura 7). No ciclo biológico, os nutrientes dos materiais biodegradáveis, como cascas de frutas e legumes, carnes e peixes (muito resumidamente, materiais que podem ser utilizados em compostagem), são devolvidos à Terra, fertilizando-a e regenerando-a. O ciclo técnico engloba os produtos e materiais que são mantidos em circularidade através da reutilização, da reparação, remanufatura e reciclagem. No entanto, caso a circularidade do produto não seja possível, é importante devolvê-los ao seu estado original ou o mais próximo possível, como é o caso de uma das metodologias deste trabalho (a trituração das máscaras), para que, a partir daí, se possam criar novos produtos, ou então, se possa utilizá-los como componentes, como é o caso dos carros que são vendidos a sucatas, mas que certas partes destes ainda podem ser reutilizadas em outros carros compatíveis.

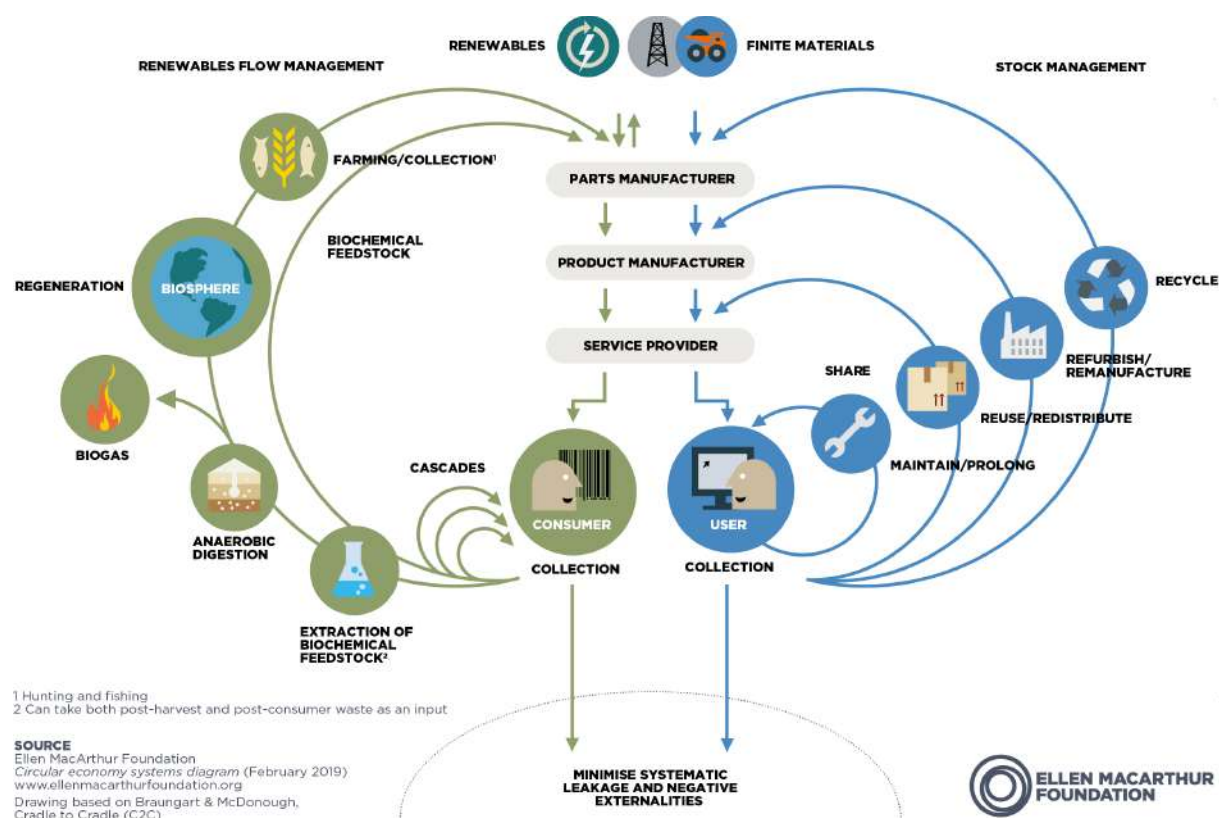


Figura 7 - diagrama do sistema da economia circular [reproduzido de (Ellen MacArthur Foundation, 2019a)]

2.5.2.3. Regeneração da Natureza.

Como mencionado anteriormente, na Natureza não existe desperdício. Uma maçã que cai da árvore, fertiliza o solo e dá origem a uma nova macieira. Isto é, ao trocar uma economia linear por uma circular, o foco muda-se da “extração” para a “regeneração”, adotando novas práticas que possibilitem a regeneração da Natureza, permitindo a construção de um novo capital natural, ou seja, a totalidade dos recursos naturais disponíveis na Natureza.

No entanto, apesar da noção de economia circular ser fácil de entender, pode afigurar-se complicado colocá-la em prática. A mudança de um modelo linear para um modelo circular acontece em 3 níveis de análise: macro, meso e micro. No nível macro, concorda-se que os acordos políticos são vitais para a fomentação de políticas públicas de incentivo à economia circular, através da inovação, com impacto claro na redução das alterações climáticas, e para o progresso da inovação em empresas e em redes industriais e tecnológicas. Para isso, torna-se necessário legislar e regulamentar para que os países implementem políticas que levem a incentivar a circularidade. No patamar meso, entram em ação as estratégias políticas que tendem a promover a inovação industrial e a procura de soluções mais limpas e de valorização, que normalmente se apoiam na exploração económica e societal do conhecimento gerado e existente no sistema académico, científico e de I&D. E finalmente, no nível micro, são aprofundados os incentivos económicos que apoiam a adoção de energias renováveis e da reciclagem nas empresas e no consumidor. Em síntese, as eco-inovações são uma boa estratégia em direção a processos de produção e negócios mais circulares, mas não são o suficiente, pois a adoção da economia circular necessita de mais do que uma estratégia, uma vez que requer mudanças radicais a todos os níveis (Alonso-Almeida et al., 2021; Florido et al., 2019).

Em Portugal, são descartadas 200 mil toneladas de têxteis por ano em aterros, o equivalente a 4% do total de resíduos produzidos no país (Capucho, 2019).

Segundo o relatório “*A New Textiles Economy: Redesigning fashion’s future*”, entre 2000 e 2015 houve um aumento da venda de vestuário, o que reflete um aumento do consumo de *fast fashion* (Ellen MacArthur Foundation, 2017). A questão torna-se preocupante, pois com o aumento exponencial da população mundial, o aumento do poder de compra em países em desenvolvimento e o estilo de vida cada vez mais orientado para o consumo, prevê-se que em 2050 as vendas totais de vestuário atinjam as 160 milhões de toneladas, ou seja, mais de três vezes a quantidade reportada em 2000. Estes dados são ainda mais críticos pelo facto de que a indústria têxtil é intensiva no uso de diversos recursos, tais

como matérias-primas, água e energia. A pegada ecológica da produção têxtil é significativa na utilização de recursos não renováveis entre eles combustíveis fósseis para produção de fibras sintéticas, pesticidas e fertilizantes para as culturas, designadamente de algodão, bem como diversos produtos químicos nos processos de tingimento e acabamento (CCDR-N, 2020).

Desta forma, o fluxo global dos têxteis, desde a produção das fibras (naturais e sintéticas) até ao seu descarte é um exemplo concreto de uma produção linear. Através deste modo de produção linear, milhões de toneladas de fibras têxteis, tanto de origem natural como sintética, são atualmente incinerados e colocados em aterros, ou passam a ter utilizações de menor valor, contribuindo para uma pegada de carbono cada vez maior (CCDR-N, 2020).

3. MATERIAIS E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Nesta parte do trabalho pretende-se caracterizar quais os materiais utilizados, bem como as metodologias adotadas para a realização das placas poliméricas produzidas a partir das máscaras cirúrgicas, tal como os testes de caracterização e análises instrumentais, que foram realizados às amostras em questão.

3.1 Caracterização dos materiais

Para a realização do presente trabalho, utilizaram-se aparelhos de proteção respiratória auto-filtrantes, as máscaras cirúrgicas de nível 2, tendo sido esta a matéria-prima principal para a condução deste estudo e para a concretização das metodologias aplicadas. As máscaras foram recolhidas nos pontos de recolha da Universidade do Minho e subsequentemente separadas manualmente de forma a eliminar outros resíduos que se encontravam misturados com as mesmas, garantindo assim uma amostra homogénea.

3.1.1 Caracterização do material base – máscaras

Foram realizados dois ensaios de caracterização instrumental. A espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier, com o objetivo de confirmar o tipo de material em estudo, e a calorimetria diferencial de varrimento, com o intuito de perceber qual o ponto de fusão deste termoplástico.

3.1.1.1. Espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier com refletância total atenuada (FTIR-ATR)

A espectroscopia de infravermelhos mede a absorção de radiação infravermelha do material amostrado em relação ao comprimento de onda. É uma técnica útil para a obtenção de espectros de absorção, emissão, fotocondutividade e até de difração de *Raman* de amostras que se encontrem tanto no estado líquido, como sólido e gasoso. O aparelho que permite obter estes espectros designa-se de espectrofotómetro FTIR. O instrumento relaciona a transmitância (neste caso específico) com o comprimento de onda e, destarte, consegue-se reconhecer os compostos presentes numa determinada amostra por correlação pico a pico, através da recolha de informação espectral. Esta técnica baseia-se no facto das ligações químicas das substâncias possuírem frequências de vibração específicas, às quais

correspondem níveis de energia da molécula - níveis vibracionais. (Mudunkotuwa et al., 2014; Sotiles, 2017).

Para a análise de FTIR, foi utilizado o equipamento IRAffinity-1S (Figura 8).



Figura 8 - equipamento FTIR [fonte: autor]

Cada espectro foi obtido em modo transmitância, com recurso a uma célula de cristal de diamante, por acumulação de 45 scans e resolução de 8 cm^{-1} , numa gama de comprimentos de onda de 400 a 4000 cm^{-1} , com o objetivo de comparar quais os grupos funcionais presentes na amostra relativamente a amostras padrão de polipropileno, e assim comprovar a natureza do substrato.

Pela análise de FTIR e após comparação do espectro obtido (Figura 9) com os espectros padrão da base de dados (Figura 10), conclui-se que a máscara cirúrgica é composta exclusivamente por PP.

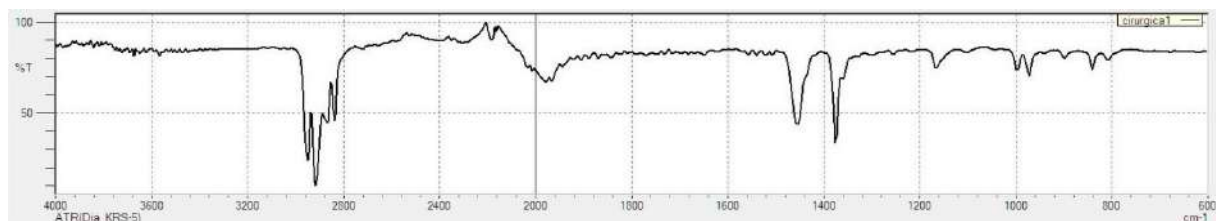


Figura 9 - espectro obtido através da análise FTIR [fonte: base de dados do FTIR]

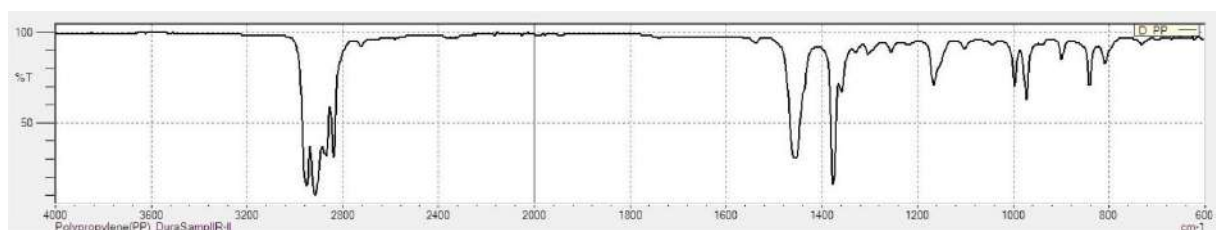


Figura 10 - espectro padrão do polipropileno [fonte: base de dados do FTIR]

3.1.1.2. Calorimetria diferencial de varrimento – DSC

A calorimetria diferencial de varrimento é uma ferramenta analítica eficaz para a caracterização das propriedades físicas e/ou químicas de um polímero. É uma técnica que determina a quantidade de energia absorvida ou libertada por uma amostra, comparativamente a um material de referência, durante uma transição de energia específica, enquanto ambos são submetidos a uma programação controlada de temperatura. Esta técnica fornece dados quantitativos e qualitativos relativos aos processos endotérmicos (absorção de energia) e exotérmicos (emissão de energia), permitindo obter informações referentes a alterações das propriedades físicas e/ou químicas como a temperatura de fusão, temperatura de cristalização e temperatura de transição vítrea, o grau de cristalinidade, estabilidade térmica e oxidativa, entalpias de transição de fase e de reação, grau de pureza e cinética de reações (Müller & Michell, 2016; Schick, 2009).

Para a realização da análise de DSC foi utilizado um calorímetro diferencial de varrimento Mettler-Toledo (Figura 11), tendo sido cada amostra sujeita a um ciclo de aquecimento de 0 a 300 °C a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min.

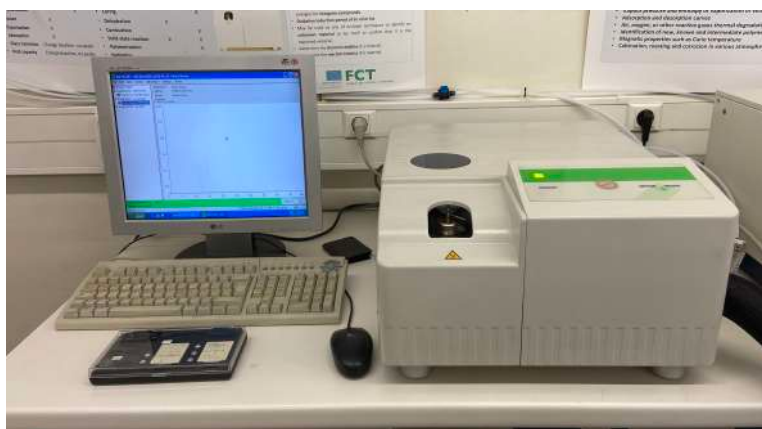


Figura 11 - equipamento DSC [fonte: autor]

De modo a se poder proceder à produção das matrizes poliméricas (placas), o teste DSC foi realizado de forma a determinar o ponto de fusão do material que constitui as máscaras. Verifica-se que está presente apenas um pico endotérmico, situado muito perto dos 165 °C (Figura 12), que corresponde ao ponto de fusão do PP, o polímero anteriormente identificado pela análise FTIR. Além disso, este valor apresentou-se como sendo mais um indicio de que o material realmente se trata de polipropileno, uma vez que se situa no intervalo de fusão atribuído ao PP, assim como mencionado no capítulo II.

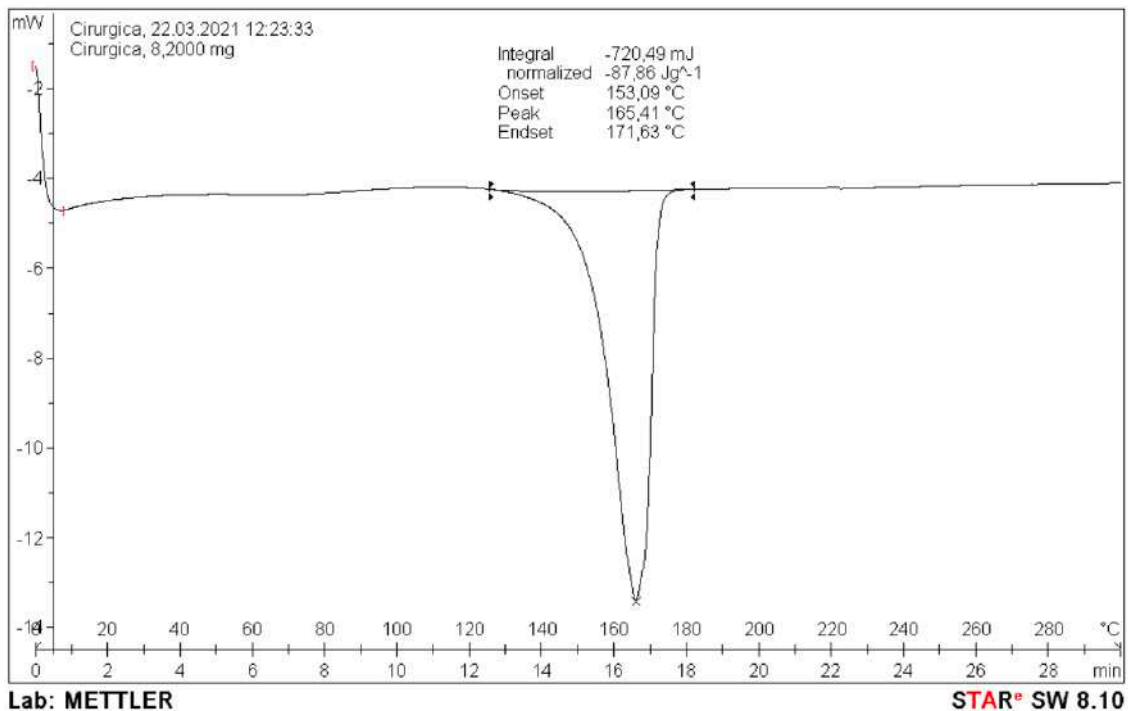


Figura 12 - resultado obtido no ensaio DSC [fonte: base de dados do DSC]

3.2 Procedimento experimental

Neste capítulo encontram-se os procedimentos para a produção das placas.

O processo tem duas fases, uma de preparação do material e a segunda, a produção das placas. Estas placas foram caracterizadas do ponto de vista de propriedades mecânicas de tração e flexão e permeabilidade ao ar. Posteriormente, realizaram-se testes exploratórios para avaliar o envelhecimento acelerado deste material, com vista a uma futura possível aplicação de mobiliário urbano. No final de cada fase, pode-se encontrar um fluxograma descritivo de cada processo.

3.2.1 Preparação do material base

Nesta parte do trabalho foram utilizados dois tipos de resíduos. O resíduo do tipo A, que são as máscaras trituradas com um menor nível de trituração, possuindo maior dimensão, e o resíduo do tipo B, que são as máscaras que foram trituradas num moinho de lâminas (Figura 13), apresentando menores dimensões.



Figura 13 - moinho de lâminas [fonte: autor]

As máscaras da amostra do tipo A foram trituradas numa trituradora, fornecida pela Preserve (antiga Ferrovial), tendo ficado com um aspeto mais inteiro, podendo, por vezes, até aparecer máscaras inteiras.

As máscaras da amostra do tipo B, foram trituradas no laboratório do Centro para a Valorização de Resíduos (CVR). Estas foram colocadas inteiras (incluindo arames e elásticos) no moinho, que, por ação mecânica das lâminas (Figura 14) e do crivo de espaçamento de 2 mm (Figura 15), são transformadas em partículas de menores dimensões.



Figura 14 - lâminas do moinho [fonte: autor]



Figura 15 - crivo de espaçamento 2 mm [fonte: autor]

O seguinte fluxograma representa, de uma maneira resumida, a primeira fase do processamento das placas: a preparação do material base.

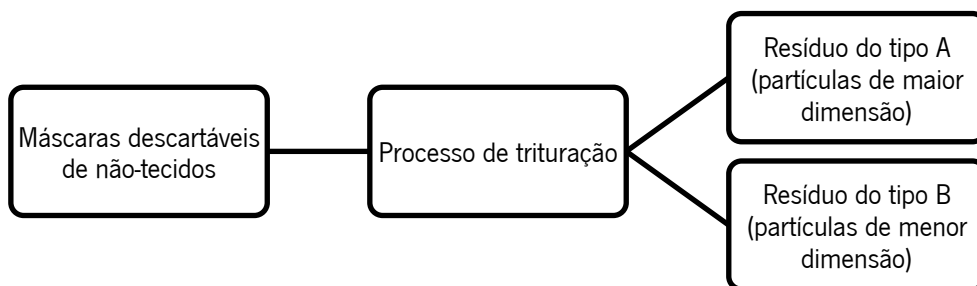


Figura 16 - resumo da primeira fase do processamento das placas [fonte: autor]

3.2.2 Produção das placas

A produção das placas baseia-se no método da termofixação, um processo que utiliza a temperatura, a pressão e o tempo, para transformar, neste caso o PP das máscaras cirúrgicas, que é um termoplástico cujo ponto de fusão se encontra nos 165,41°C, numa placa de polímero derretido, que, depois de arrefecida, se torna sólida.

Foi utilizado um molde verde de 230 mm de comprimento por 230 mm de largura por 5 mm de altura, o que dá um volume total de 264500 mm³.

$$230 \text{ mm} \times 230 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 264500 \text{ mm}^3$$

Equação 1 - cálculo do volume total do molde

Tendo em conta que a densidade (ρ) do PP é de 0,92 g/cm³ com o volume e a densidade, consegue-se retirar a massa total de máscaras que devem ser utilizadas dentro do molde para produzir a placa com a espessura desejada.

Tendo-se considerado g/cm³ como unidade de densidade, é necessário converter o volume do molde em cm³ para se poder equacionar com as unidades corretas. Então:

$$\frac{264500 \text{ mm}^3}{1000} = 264,5 \text{ cm}^3$$

Equação 2 - conversão de mm³ em cm³

Destarte:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\Leftrightarrow m = \rho \times V$$

$$\Leftrightarrow m = 0,92 \text{ g/cm}^3 \times 264,5 \text{ cm}^3$$

$$\Leftrightarrow m = 243,34 \text{ g}$$

Equação 3 - cálculo da massa total de máscaras a serem utilizadas dentro do molde

Foram utilizados dois resíduos para a fabricação das placas – tipo A e tipo B (Figura 17 e Figura 18, respetivamente). Quatro placas de cada tipo foram produzidas na prensa Fontijne.



Figura 17 - resíduo do tipo A [fonte: autor]



Figura 18 - residuo do tipo B [fonte: autor]

A prensa é composta por dois pratos, que foram pré aquecidos a 190°C. Geralmente, os pratos demoram cerca de 1h a atingir esta temperatura. Após um dos pratos atingir os 190°C e visto que a temperatura do outro prato estará muito próxima desta temperatura – cerca de 188-189°C, o molde é colocado na prensa Fontijne, entre os pratos, para ser aquecido (Figura 19) e, de seguida, é aplicada pressão até os pratos entrarem em contacto com o molde, caso contrário, apenas uma parte do molde será aquecida.



Figura 19 - prensa Fontijne [fonte: autor]

Uma vez que o molde está à temperatura ambiente, é inevitável que, aquando da sua introdução na prensa, a temperatura dos pratos diminua, logo, é necessário esperar que os pratos voltem a atingir

os 190°C para se retirar o molde e, finalmente, introduzir o material dentro deste (Figura 20 e Figura 21).



Figura 20 - inserção do resíduo do tipo A no molde [fonte: autor]



Figura 21 - inserção do resíduo do tipo B no molde [fonte: autor]

No momento antes de o material ser introduzido no molde, é necessário barrar o molde com um desmoldante denominado “*Paste Wiz*”, encontrado nas figura acima (Figura 21), para que, no final do processo, seja mais fácil remover a placa termofixada.

Após isto, o molde, já completo, volta à prensa, que volta a descer de temperatura devido à diferença de temperatura entre o molde e os pratos. Aplica-se uma pressão de cerca de 250 kN para se certificar que o molde fica bem fechado e o material bem comprimido. Espera-se que os pratos voltem a atingir os 190°C, e cronometra-se 5 minutos até o retirar para este poder arrefecer. Se esta for a única placa a ser produzida, arrefece-se a prensa com água até esta atingir os 25°C – a água entra dentro dos pratos, e, por transferência de calor por condução, estes arrefecem quase instantaneamente. Se forem

produzidas mais, o molde é transportado para outra prensa (prensa Incomef– Figura 22) que se encontra ao lado da prensa utilizada, onde fica a arrefecer durante 15min. Não que esta última seja a norma, contudo, a prensa Incomef encontra-se à temperatura ambiente e após este tempo, o molde está pronto a ser manuseado. Foi apenas um recurso utilizado para tornar o processo de produção mais eficiente quando se produz mais do que uma placa.



Figura 22 - prensa Incomef [fonte: autor]

Finalmente, o molde é aberto e a placa é retirada.

As placas resultantes do resíduo do tipo A são denominadas placas 1A, 2A, 3A e 4A (Figura 23).



Figura 23 - placa do tipo A [fonte: autor]

As placas resultantes do resíduo do tipo B são denominadas placas 1B, 2B, 3B e 4B (Figura 24)



Figura 24 - placa do tipo B [fonte: autor]

O seguinte fluxograma representa, de forma resumida, a segunda fase do processamento das placas: a produção.

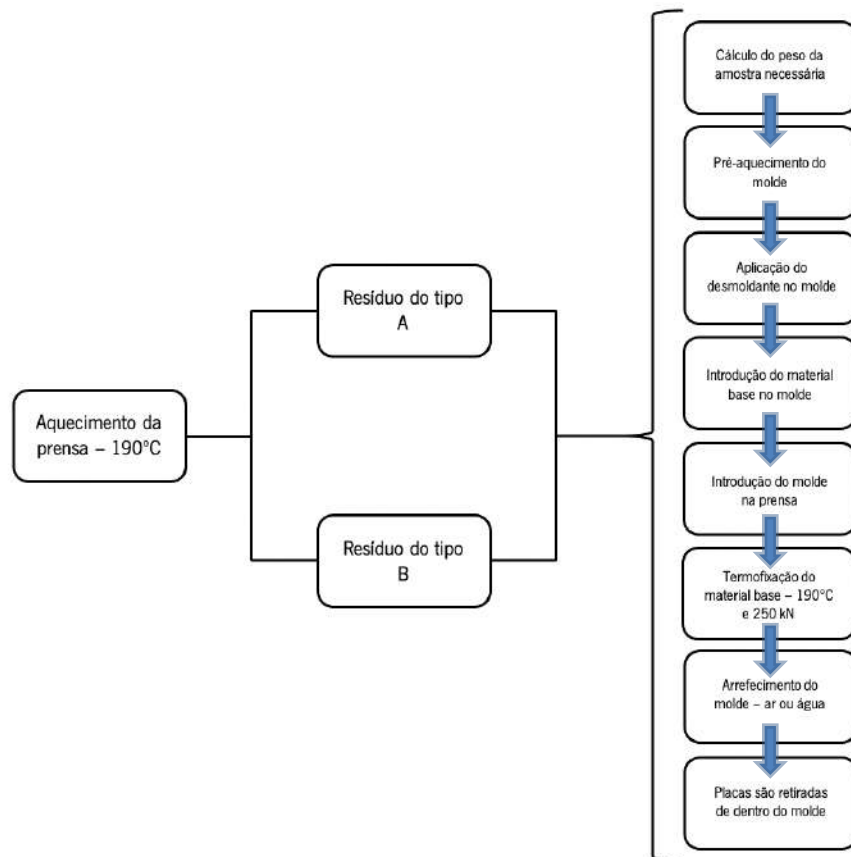


Figura 25 - resumo da segunda fase do processamento das placas [fonte: autor]

3.2.2.1. Caracterização básica das placas

Como observado na Tabela 1 e na Tabela 2, o peso final das placas não corresponde ao peso inicial do material base utilizado para a produção destas (243,34 g), nem as dimensões das placas correspondem às dimensões do molde. Isto deve-se a duas variáveis: o ponto de fusão do polímero e a pressão aplicada. Quando o polímero atinge o seu ponto de fusão, aliado à pressão de 250 kN, este sobe pelas bermas e entranha-se nas fendas do molde (Figura 26), podendo, por vezes, escorrer para fora (Figura 27).

Tabela 1 - peso das placas

Peso (g)			
Placas do tipo A		Placas do tipo B	
1	213,6 g	1	212,9 g
2	214,8 g	2	215,8 g
3	212,2 g	3	214,7 g
4	214,3 g	4	215,3 g

Tabela 2 - dimensões das placas

Dimensões (mm)							
Placas do tipo A				Placas do tipo B			
	Comprimento	Largura	Altura		Comprimento	Largura	Altura
1	227	227	4,3	1	227	228	4,3
2	227	226	4,3	2	227	227	4,3
3	224	226	4,3	3	227	228	4,3
4	228	227	4,3	4	227	228	4,3

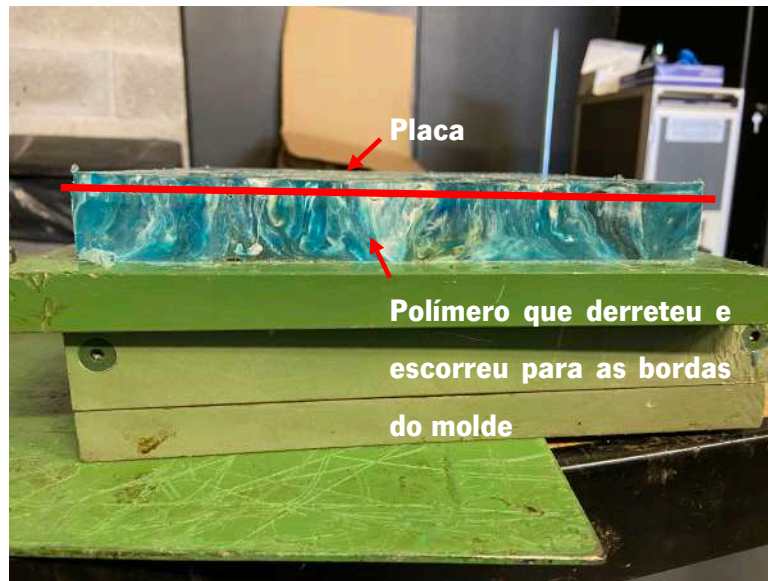


Figura 26 - polímero que derreteu e escorreu para as bordas do molde [fonte: autor]



Figura 27 - polímero que escorreu para fora do molde [fonte: autor]

Depreendeu-se que as placas saíram do molde com um efeito arqueado, isto é um lado convexo e outro côncavo (Figura 28 e Figura 29). Este defeito poderá influenciar os resultados dos testes de caracterização mecânica.



Figura 28 – lado côncavo (a) e convexo (b) de uma placa do tipo A [fonte: autor]

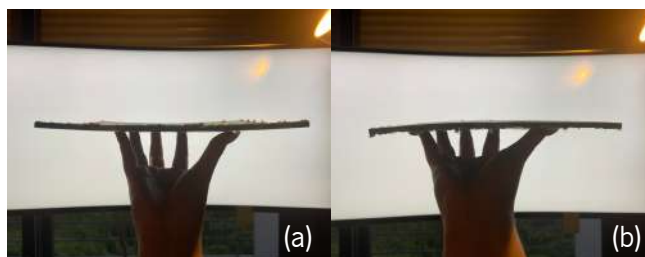


Figura 29 - lado côncavo (a) e convexo (b) de uma placa do tipo B [fonte: autor]

Posteriormente, e de modo a concluir a caracterização básica das placas, foram calculadas a massa por unidade de área, a massa volúmica (densidade específica) e a porosidade de cada placa, representadas na Tabela 3 e na Tabela 4, respetivamente.

A massa por unidade de área é expressa em g/m^2 e é calculada através do quociente entre o peso e a área da superfície da placa. Por isso, com os valores da Tabela 1 e da Tabela 2, é possível calcular este parâmetro.

Tabela 3 - valores de massa por unidade de área de cada placa

Placas	Massa (g)	Área (m^2)	Espessura (mm)	Massa por unidade de área (g/m^2)
1A	213,6	0,0515	4,3	4145,24
1B	212,9	0,0518	4,3	4113,53
2A	214,8	0,0513	4,3	4186,97
2B	215,8	0,0515	4,3	4187,93
3A	212,2	0,0506	4,3	4192,69
3B	214,7	0,0518	4,3	4148,31
4A	214,3	0,0518	4,3	4140,58
4B	215,3	0,0518	4,3	4159,90

A massa volúmica (densidade específica), expressa em g/cm³, é calculada através da razão entre o peso (g/cm²) e a espessura da placa. De acordo com a Equação 4, a massa volúmica expressa-se da seguinte maneira (Epps & Leonas, n.d.):

$$Pa \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{(g/cm}^2\text{)}}{\text{cm}}$$

Equação 4 - fórmula para o cálculo da massa volúmica

A porosidade é definida como a relação entre o espaço não preenchido pelo material e o volume total do material. Expressa-se através da seguinte equação (Epps & Leonas, n.d.):

$$P = 100 - \frac{Pa}{Pb}$$

Equação 5 - fórmula para o cálculo da porosidade

Sendo P a porosidade, Pa a massa volúmica e Pb a densidade da fibra que constitui o material.

Logo:

Tabela 4 - valores de massa volúmica e porosidade para cada placa

Placas	Pa - Massa volúmica (g/cm³)	Porosidade (%)*
1A	0,96	98,95
1B	0,96	98,95
2A	0,97	98,95
2B	0,97	98,95
3A	0,97	98,95
3B	0,96	98,95
4A	0,96	98,95
4B	0,97	98,95

Para além das placas serem constituídas por polipropileno, estas também são constituídas por arames e elásticos (ajuste facial das máscaras), o que pode ser um dos fatores que justifica a disparidade entre os valores de densidade específica registados e o valor da densidade do polipropileno. Sendo que a densidade do PP é 0,92 g/cm³ e a massa volúmica das placas varia entre os 0,96 e os 0,97 g/cm³.

* Nas estruturas têxteis de não-tecidos, estes seriam os valores normais da porosidade do material, mas tendo em conta que o material em estudo neste subcapítulo foi submetido a uma termofixação, parte dos espaços vazios (teoricamente denominado de porosidade) foram preenchidos pelo polímero fundido, logo, estes valores são elevados para o tipo de material em estudo.

3.2.3 Propriedades das placas

Foram realizados dois tipos de ensaios de resistência mecânica às placas resultantes da termofixação: a resistência à tração e a resistência à flexão, um ensaio relativo à sua permeabilidade ao ar, e outro que avalia a seu comportamento à radiação ultravioleta.

3.2.3.1. Caracterização mecânica

Os ensaios de resistência à tração e à flexão foram realizados de modo a avaliar o comportamento mecânico do material reciclado, tendo em conta o aspeto arqueado das placas.

Sendo que a estrutura em estudo é uma matriz polimérica (não pode ser considerada um têxtil nem um compósito), as dimensões do corte dos provetes e as condições de ensaio tiveram de ser adaptadas de acordo com a norma de cada teste.

Assim sendo, para estes ensaios, as placas foram cortadas com uma serra de corte em provetes retangulares de 200mm de comprimento por 20mm de largura, com a espessura estipulada de 4,3mm. Foram cortadas cinco amostras de cada placa, todas na mesma direção, que foi utilizada para estes dois ensaios.

Ambos os ensaios foram realizados no dinamómetro Hounsfield H100KS.

i. Resistência à tração

Em ensaios de tração, o provete é traccionado verticalmente pela maxila móvel, a uma velocidade constante, a fim de que este seja deformado. A carga necessária à deformação é analisada em simultâneo pela célula de medição embutida no aparelho (Figura 30).

Este ensaio foi realizado com os provetes das placas 1A e 1B, através de uma adaptação da norma EN ISO 527-4:1997, de acordo com as seguintes condições:

Tabela 5 - condições de ensaio à resistência à tração

Condições de ensaio	
Total de carga aplicada	2000 N
Distância entre maxilas	100 mm
Distância total que a maxila móvel pode percorrer	50 mm
Velocidade do ensaio	10 mm/min

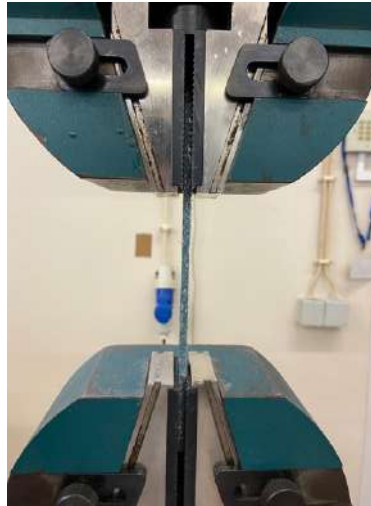


Figura 30 - ensaio de resistência à tração [fonte: autor]

ii. Resistência à flexão

Nos ensaios de resistência à flexão a 3 pontos, o provete é posicionado, com o lado convexo para cima (como constatado na Figura 31) sob os dois pontos de apoio da maxila imóvel, distanciados de acordo com a fórmula mais abaixo mencionada (Equação 6), e a maxila superior, a uma velocidade constante, aplica carga no centro geométrico entre os apoios da maxila imóvel.

Este ensaio foi realizado com os provetes das placas 2A e 2B, através de uma adaptação da norma EN ISO 178:2003, de acordo com as seguintes condições:

Tabela 6 - condições de ensaio à resistência à flexão

Condições de ensaio	
Total de carga aplicada	500 N
Distância entre apoios	68,8 mm*
Distância total que a maxila móvel pode percorrer	50 mm
Velocidade do ensaio	5 mm/min

*Este valor foi calculado através da Equação 6, que pode ser encontrada na norma:

$$L = 16h$$

$$L = 16 \times 4,3$$

$$L = 68,8 \text{ mm}$$

Equação 6 - cálculo da distância entre os apoios

Sendo “h” a espessura dos provetes – 4,3 mm.



Figura 31 - ensaio de resistência à flexão [fonte: autor]

3.2.3.2. Permeabilidade ao ar

Este ensaio foi realizado às placas 3A e 3B, tendo em vista o aspeto poroso que certas placas apresentavam, e de modo a avaliar a quantidade de ar que passa pelo material. O teste foi realizado no

permeabilímetro FX 3300 (Figura 32), com os seguintes parâmetros, com base na norma EN ISO 9237:1995:

Tabela 7 - parâmetros de ensaio da permeabilidade ao ar

Parâmetros	
Pressão	200 Pa
Área	20 cm ²



Figura 32 - permeabilímetro [fonte: autor]

Este ensaio tem por base a passagem de ar, verticalmente, através de uma determinada área do material (neste caso, 20 cm²), que é medida com uma diferença de pressão através da área de teste durante um determinado período de tempo.

3.2.3.3. Resistência à radiação ultravioleta – envelhecimento acelerado

Uma vez que as fibras de polipropileno são resistentes à radiação ultravioleta, este ensaio, apesar de ser muito exploratório, foi executado de modo a avaliar o grau de degradação deste material após a reciclagem, depois de um ciclo curto.

Este ensaio, realizado no QUV (Figura 33), usa a luz fluorescente ultravioleta para simular os efeitos da luz solar e das condições meteorológicas nos materiais, de modo a analisar a resistência destes à exposição solar e temporal.



Figura 33 - QUV [fonte: autor]

De acordo com a norma EN ISO 4892-3:2016, foi escolhido o ciclo 1 do método A com lâmpadas do tipo 1A (UVA-340). As lâmpadas UVA são, normalmente, mais utilizadas para comparar diferentes tipos de polímeros, têxteis, pigmentos e estabilizadores de radiação UV, fornecem a melhor simulação possível da luz do sol na região crítica do comprimento de onda de 365nm até ao corte solar de 295 nm. O pico de emissão destas lâmpadas está nos 340 nm. Normalmente, este nível de radiação é equivalente à exposição solar do meio-dia em tempo de verão (Q-Lab, 2019).

Foram cortados três provetes de cada placa, 4A e 4B, com as dimensões necessárias para a realização do ensaio.

4. APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo apresenta, através de gráficos e tabelas, os resultados obtidos durante a realização dos ensaios descritos no capítulo anterior. Serão analisados e discutidos: os valores obtidos para a tensão máxima, tensão de rotura e módulo de Young nos ensaios de resistência à tração; os valores obtidos para a tensão máxima, tensão de rotura e módulo de flexão nos ensaios de resistência à flexão; os valores obtidos nos ensaios de permeabilidade ao ar; e os resultados obtidos no ensaio de envelhecimento acelerado.

4.1 Resistência à tração

Neste ensaio foram avaliadas a tensão máxima, a tensão de rotura e o módulo de Young. Uma vez que o material em estudo não é uma estrutura têxtil, é necessário trabalhar com os valores das curvas de tensão-deformação.

As curvas de tensão-deformação são obtidas através da área da secção transversal do provete e da tensão. Isto é:

$$A \text{ (mm}^2\text{)} = e \text{ (mm)} \times l \text{ (mm)}$$

Equação 7 - fórmula para o cálculo da área da secção transversal dos provetes

Onde e é a espessura do provete e l a largura do provete.

E, sendo que a carga a que um espécimen quebra é diretamente proporcional à área da sua secção transversal (Saville, 2000):

$$T \text{ (MPa)} = \frac{F \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} = \frac{F}{e \times l}$$

Equação 8 - fórmula para o cálculo da tensão

Onde T é a tensão, A a área da secção transversal do provete e F a força aplicada no provete pela máquina.

A deformação de um material é expressa pela razão entre o alongamento a que este é sujeito e o comprimento original do material, em percentagem. Por isso (Saville, 2000):

$$d(\%) = \frac{a \text{ (mm)}}{c \text{ (mm)}} \times 100$$

Equação 9 - fórmula para o cálculo da deformação

Sendo que d é a deformação, a o alongamento e c o comprimento inicial do material.

Logo, para cada valor de força e alongamento aplicados, dados pela célula de leitura do dinamómetro, é possível transformar uma curva força-alongamento numa curva tensão-deformação. Estas curvas estão apresentadas na Tabela 8 e na Tabela 9

Tabela 8 – curvas tensão-deformação da placa 1A

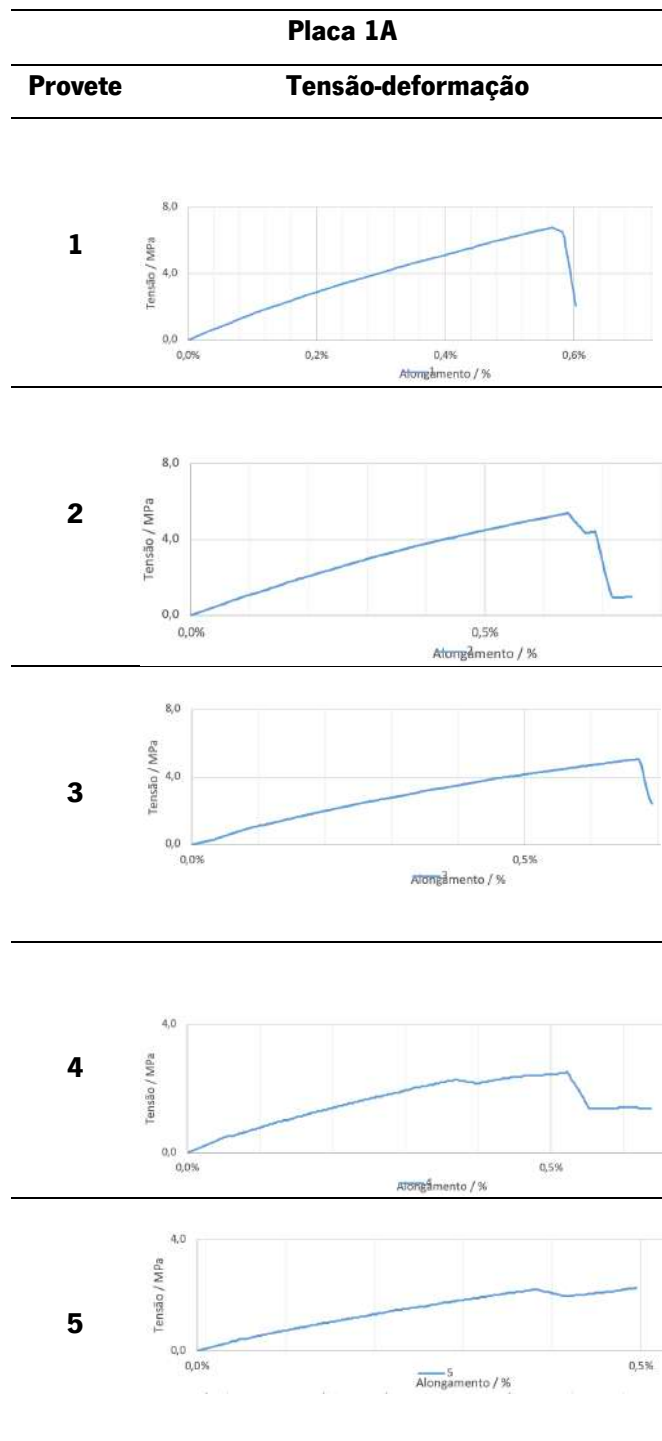


Tabela 9 – curvas tensão-deformação da placa 1B

Placa 1B	
Provete	Tensão-deformação
1	
2	
3	
4	
5	

Através das curvas de tensão-deformação, é possível retirar os valores de tensão máxima e tensão de rotura, e o módulo de Young.

A tensão máxima é a força máxima que o material suporta antes de quebrar.

A tensão de rotura é a força máxima a que o material cede.

O módulo de Young (Equação 10) é um parâmetro essencial na mecânica dos materiais sólidos e que se define como o declive da tangente da região linear mais inclinada da curva tensão-deformação,

normalmente, a zona elástica. Este critério avalia a rigidez de um material. Então, quanto maior for o módulo, mais rígido é o material (Brown et al., 1999; Saville, 2000).

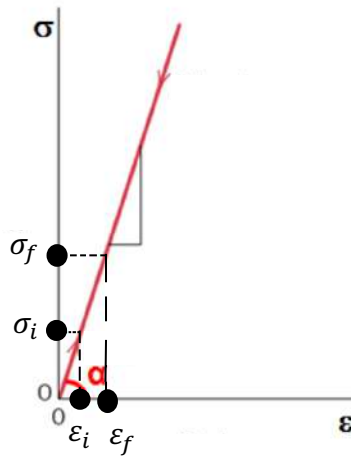


Figura 34 - tangente da região linear [adaptado de (Ruckert, 2022)]

$$tg(\alpha) = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_f - \sigma_i}{\varepsilon_f - \varepsilon_i} = E$$

Equação 10 - fórmula para o cálculo do módulo de Young [reproduzido de (Ruckert, 2022)]

Onde σ é a tensão (MPa), ε a deformação e E o módulo de Young.

Os dados da Tabela 10 foram obtidos através das curvas tensão-deformação.

Tabela 10 – resultados do ensaio à resistência à tração

	Placa 1A			Placa 1B		
	Tensão máxima (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Tensão máxima (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de Young (GPa)
Média	4,41	1,83	1,07	7,10	6,20	0,97
Desvio padrão	1,73	0,55	0,30	0,59	1,76	0,19
Coefficiente de variação	39%	30%	29%	8%	29%	20%

Os valores obtidos para cada provete em cada parâmetro apresentado na Tabela 10, podem-se encontrar nos anexos 1 e 2.

Observando a Tabela 10 e os gráficos da Tabela 8 e Tabela 9, pode-se reparar que a tensão de rotura da placa 1A (1,83 MPa) é inferior à sua tensão máxima (4,41 MPa), e o oposto se observa na placa 1B. Na placa 1B, nos provetes 1, 2, e 3 a tensão de rotura coincide com a tensão máxima e no provete 4, estas são muito similares, ou seja, a força máxima a que o material cede, corresponde à força máxima que o material consegue suportar no momento anterior à rotura (estes valores podem ser encontrados na Figura 39 do anexo 2). Por outras palavras, a placa 1B, que é constituída pelos resíduos de menor dimensão, tem melhores propriedades de ductilidade, ou seja, é mais dúctil e por isso o seu grau de deformação é superior relativamente à placa 1A, que é constituída pelos resíduos de maior dimensão. Contrariamente, comparativamente à placa 1B, a placa 1A é mais frágil.

Analisando a Tabela 10, pode-se concluir que o módulo de Young da Placa 1A (1,07 GPa) é ligeiramente superior ao da Placa 1B (0,97 GPa), o que significa que a placa 1A é ligeiramente mais rígida do que a placa 1B, isto é, é menos elástica. No entanto, a tensão de rotura da placa 1B (6,21 MPa) é quase seis vezes maior do que a placa 1A (1,83 MPa) e a sua tensão máxima também é superior (7,10 MPa > 4,41 MPa), logo, a placa 1B tem melhores propriedades de resistência à tração.

Os ensaios de resistência à tração demonstram coeficientes de variação altos. De modo a salvaguardar os resultados, isto poder-se-á dever a fatores como o arqueamento das placas, a falta de homogeneidade do material que constitui a placa, o facto de ser um material reciclado, a suspeita de existência de bolhas de ar dentro da placa, especialmente na placa A, que é a que apresenta maiores valores de coeficientes de variação e a que é produzida com os resíduos de maior dimensão. Isto leva a crer que aquando da formação desta placa, o material não foi totalmente derretido nem bem compactado, deixando pedaços de não-tecido por derreter no interior da placa, o que permite inferir sobre a porosidade e permeabilidade das placas.

4.2 Resistência à flexão

Neste ensaio foram avaliadas a tensão máxima, tensão de rotura e o módulo de flexão. Uma vez que o material em estudo não é um têxtil, é necessário trabalhar com os valores das curvas de tensão-deformação.

As curvas de tensão-deformação são obtidas através da área da secção transversal do provete e da tensão. Isto é:

$$A \text{ (mm}^2\text{)} = e \text{ (mm)} \times l \text{ (mm)}$$

Equação 11 - fórmula para o cálculo da área da secção transversal dos provetes

Onde e é a espessura do provete e l a largura do provete.

E, sendo que a carga a que um espécimen quebra é diretamente proporcional à área da sua secção transversal (Saville, 2000):

$$T \text{ (MPa)} = \frac{F \text{ (N)}}{A \text{ (mm}^2\text{)}} = \frac{F}{e \times l}$$

Equação 12 - fórmula para o cálculo da tensão

Onde T é a tensão, A a área da secção transversal do provete e F a força aplicada no provete pela máquina.

A deformação de um material é expressa pela razão entre o alongamento a que este é sujeito e o comprimento original do material, em percentagem. Por isso (Saville, 2000):

$$d(\%) = \frac{a \text{ (mm)}}{c \text{ (mm)}} \times 100$$

Equação 13 - fórmula para o cálculo da deformação

Sendo que d é a deformação, a o alongamento e c o comprimento inicial do material.

Logo, para cada valor de força e alongamento aplicados, dados pela célula de leitura do dinamómetro, é possível transformar uma curva força-alongamento numa curva tensão-deformação. Estas curvas estão apresentadas na Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11 – curvas tensão-deformação da placa 2A

Placa 2A	
Provete	Tensão-deformação
1	
2	
3	
4	
5	

Tabela 12 – curvas tensão-deformação da placa 2B

Placa 2B	
Provete	Tensão-deformação
1	
2	
3	
4	
5	

Pelas curvas de tensão-deformação, é possível retirar os valores de tensão máxima, tensão de rotura e o módulo de flexão.

Tal como o módulo de Young, o módulo de flexão define-se como o declive da tangente da região linear mais inclinada da curva tensão-deformação (a zona elástica). Este módulo calcula-se da mesma forma que o módulo de Young.

Os dados da Tabela 13 foram obtidos através da transformação das curvas tensão-deformação.

Tabela 13 - resultados do ensaio à resistência à flexão

	Placa 2A			Placa 2B		
	Tensão máxima (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de flexão (GPa)	Tensão máxima (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de flexão (GPa)
Média	20,11	15,54	1,179	24,56	13,99	1,155
Desvio padrão	10,91	12,83	0,297	9,52	15,28	0,266
Coefficiente de variação	54%	83%	25%	39%	109%	23%

Os valores obtidos para cada provete em cada parâmetro representado na Tabela 13, podem-se encontrar nos anexos 3 e 4.

Como observado nos gráficos da Tabela 11 e Tabela 12, apenas os provetes 1, 2, 3 e 4 da placa 2A atingiram o ponto de rotura. Nos restantes ensaios desta placa e da placa 2B, houve cedência do material (deflexão), contudo não houve fratura, isto é, os provetes suportam uma tensão máxima, mas não chegam de facto a atingir uma tensão de rotura. Analisando o gráfico do provete 5 da placa 2A e dos provetes da placa 2B, após o alcance da tensão máxima, os provetes cederam e a carga continuou a ser aplicada, comprovado pela tendência para 0.

Apesar de a Tabela 13 afirmar que existe uma tensão de rotura, tal não é verdade para os provetes que não romperam (proвете 5 da placa A e 1, 2, 3, 4 e 5 da B), que se encontram na Figura 41 do anexo 4. Estes provetes atingiram o limite máximo do deslocamento definido no equipamento. Neste caso, designa-se o material como dúctil. No caso dos provetes que quebraram, designa-se o material como frágil.

De acordo com a Figura 40 e a Figura 41 (apresentadas no anexo 3 e 4), o provete 5 de ambas as placas demonstra uma grande disparidade nos valores obtidos. Como o material foi todo cortado na mesma direção, a ordem crescente da numeração dos provetes corresponde ao sentido exterior-interior da placa. Isto é, o provete número 5 é o que está no extremo interior da placa, e, por isso, aquele que está mais arqueado. Sendo que este método de produção de placas ainda não é um processo

completamente afinado, a prensa poderia não ter a temperatura e a pressão controladas a 100%, o que leva a crer que poderão existir diferenças de pressão do interior para o exterior da placa.

De modo a finalizar, quanto maior for o módulo de flexão, maior é a resistência à flexão do material. Porém, apesar de o valor do módulo de flexão da placa A (1,179 GPa) ser ligeiramente superior ao da placa B (1,155 GPa), estes são muito semelhantes, logo, ambas as placas têm resistência à flexão semelhante.

Devido às condições do material e de ensaio, e ao facto de este ser um estudo ainda muito exploratório, na Tabela 13 verificam-se coeficientes de variação muito elevados. Isto poder-se-á dever a fatores como o arqueamento das placas, a heterogeneidade do material que constitui a placa, o facto de ser um material reciclado, e a origem dos resíduos, pois poderão existir máscaras fabricadas com fibras de PP de diferentes tamanhos, ou seja, existe uma variabilidade dentro da matéria prima aliada a um processo que ainda não está completamente afinado.

Segundo o artigo publicado por Khan et al. (2012), os valores obtidos para os módulos de Young e flexão, e tensão máxima para laminados de polipropileno virgem de espessura entre 0,25-0,35mm, com condições de temperatura e de ensaio semelhantes às placas deste estudo, são substancialmente superiores (Figura 35).

Material	Propriedade de tração e flexão			
	Propriedade de tração		Propriedade de flexão	
	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Tensão de rotura (MPa)	Módulo de flexão (MPa)
Polipropileno (PP)	21 ± 0.8	640 ± 14	28 ± 1.2	1040 ± 30
Comósito de fibras curtas de juta/PP	32 ± 0.3	850 ± 10	38 ± 0.3	1685 ± 23
Comósito de fibras curtas de <i>e-glass</i> /PP	31 ± 0.4	790 ± 15	36 ± 0.8	1265 ± 20

Figura 35 - resultados obtidos segundo Khan et al. (2012) [adaptado de (Khan et al., 2012)]

Em relação à placa 1B (1,83 MPa), a tensão de rotura do laminado de PP virgem (21 ± 8 MPa) é quatro vezes superior e quase vinte vezes superior à da placa 1A (6,20 MPa). Tal pode ser justificado pelo facto de o material em análise durante este projeto ser um material reciclado e as placas estarem

arqueadas, logo os provetes também estão arqueados. Contrariamente, o polipropileno reciclado utilizado neste estudo tem melhores propriedades de flexão e módulo de Young superior, ou seja, o PP virgem é mais elástico.

4.3 Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar de um material é um parâmetro que mede a quantidade de ar que este deixa passar.

Foram realizados 10 ensaios às placas 3A e 3B.

Tabela 14 - resultados do ensaio à permeabilidade ao ar

	L/m²/s	
	Placa 3A	Placa 3B
Média	63,6	25,9
Desvio padrão	23,7	13,7
Coefficiente de variação	37%	53%

Os valores obtidos para cada ensaio deste teste, podem-se encontrar na Tabela 17 do anexo 5.

O valor do ensaio 10 da placa 3B, foi retirado de uma zona da placa com aspeto poroso (Figura 36).



Figura 36 - parte da placa 3B com aspeto poroso

O teste foi realizado com o lado côncavo para baixo e o convexo para cima. O contrário também foi testado, mas descartado, pois os resultados obtidos eram extremamente altos – constatou-se que o ar passava pelos lados da placa.

Tendo por apoio a Tabela 14, pode-se observar que os valores retirados da placa 3A (63,6 L/m²/s) são superiores aos valores retirados da placa 3B (25,9 L/m²/s). Isto indica que a placa 3A é mais permeável ao ar comparativamente à placa 3B.

No entanto, conjugando os resultados obtidos neste ensaio, com os valores de porosidade e massa volúmica calculados na Tabela 4, verifica-se que, de facto, os valores de permeabilidade foram superiores na placa produzida com as partículas de maiores dimensões (placa A), contudo, os valores da porosidade e massa volúmica foram idênticos para ambas as placas. Isto pode ser justificado devido à dimensão e maneira como os poros e as partículas (resíduo triturado) estão distribuídos na placa, que neste caso é uma distribuição não uniforme. Na placa 3B poderá haver uma maior dimensão dos poros, no entanto, o arranjo das partículas é mais compacto, portanto, a permeabilidade é reduzida e, por isso, a resistência à passagem do ar é maior (Costa, 2006; Nishiyama & Yokoyama, 2017).

Em contrapartida, a permeabilidade ao ar aumenta com o tamanho das partículas e o grau de distribuição destas, logo, comprova-se que a placa 3A, que é a placa produzida com os resíduos de maior dimensão, tem maior permeabilidade ao ar (Ben et al., 2014; Costa, 2006; Nishiyama & Yokoyama, 2017).

4.4 Resistência à radiação ultravioleta – envelhecimento acelerado

A radiação ultravioleta causa envelhecimento foto-oxidativo (degradação de uma superfície polimérica, facilitada pela ação da radiação ultravioleta), que resulta na quebra das cadeias poliméricas, produz radicais livres e reduz o peso molecular dos polímeros, resultando na perda de brilho superficial e na deterioração significativa de muitas propriedades do material (Lu et al., 2018).

De uma maneira muito preliminar e apesar de o tempo de exposição ter sido relativamente baixo (8h), em termos de cor, a olho nu, não se observam grandes alterações nos provetes em comparação com o material padrão (as placas). No entanto, com base na norma ISO 105-A02, quando equiparadas com uma escala de cinzentos numa câmara de luz a simular a luz do dia (Figura 37), consegue-se notar uma subtil diferença no brilho e na cor das amostras das placas do tipo A. Algo que está entre o grau 4

e o grau 5 de contraste. É de notar que, por vezes, a fotografia não demonstra aquilo que se consegue ver com o olhar.




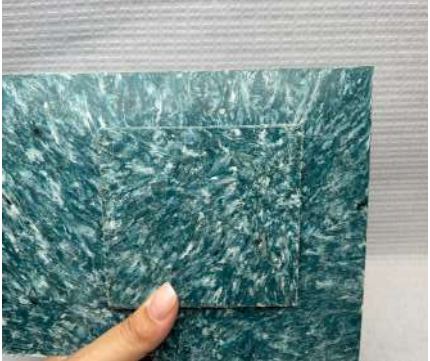
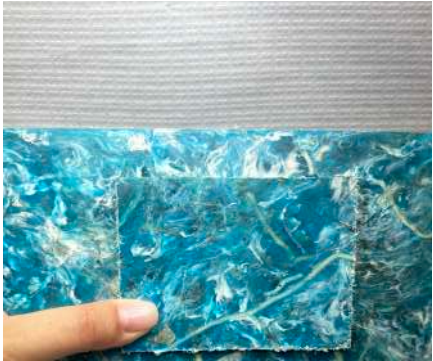
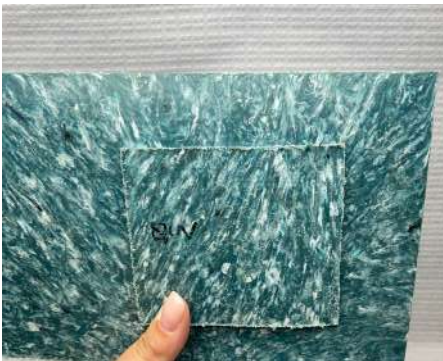

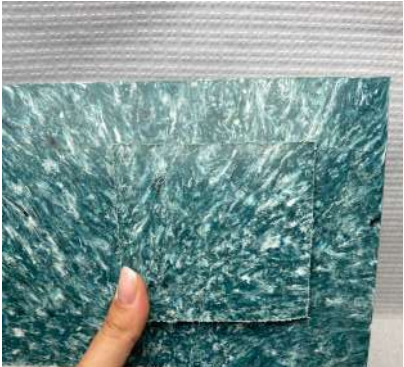
Figura 37 - câmara de luz

Observando a Tabela 15, nas amostras do tipo B nota-se uma ligeira diferença no brilho, mas não se notam diferenças de cor, sendo-lhes atribuído o grau 5 de contraste.

Relativamente às amostras do tipo A, foi bastante complicado encontrar algumas diferenças de contraste, visto que o padrão destas e da placa não é uniforme. Varia ao longo da placa, tendo espaços com azuis mais escuros e outros com azuis mais claros.

Relativamente à diminuição do brilho, seria expectável a perda desta propriedade uma vez que esta é uma das consequências da exposição à radiação ultravioleta. Contudo, poderá também dever-se a mais dois fatores: à degradação do desmoldante que se colocou aquando da introdução do material base no molde e/ou à rugosidade da superfície do provete ensaiado, isto é, após as 8h de ensaio, o provete poderá ter ficado com uma superfície mais rugosa, logo a superfície reflete menos a luz. No entanto, para comprovar este segundo fator, ter-se-ia de avaliar o coeficiente de atrito da amostra em questão.

Tabela 15 - resultados do ensaio à resistência à radiação ultravioleta após 8h de exposição a seco

Provete	Placa 4A	Placa 4B
1		
2		
3		

4.5 Características das placas - resumo

De um modo geral, as características das placas podem-se encontrar resumidas na Tabela 16.

Tabela 16 - resumo das características e propriedades das placas (valores médios)

		Placas								
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	
Caracterização básica	Massa por unidade de área (g/m²)	4145,24	4113,53	4186,97	4187,93	4192,69	4148,31	4140,58	4159,90	
	Espessura (mm)	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	
	Massa volúmica (g/cm³)	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,97	
	Porosidade (%)	98,95	98,95	98,95	98,95	98,95	98,95	98,95	98,95	
Caracterização mecânica	Resistência à tração	Tensão máxima (MPa)	4,41	7,10						
		Tensão de rotura (MPa)	1,83	6,20						
		Módulo de Young (GPa)	1,068	0,967						
	Resistência à flexão	Tensão máxima (MPa)			20,22	24,56				
		Tensão de rotura (MPa)			15,54	13,99				
		Módulo de flexão (GPa)			1,179	1,155				
		Permeabilidade ao ar (L/m²/s)					63,6	25,9		
		Envelhecimento acelerado							Diminuição do brilho	Diminuição do brilho

5. CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

5.1 Conclusão

Na procura de uma possível solução de reciclagem para o descarte de máscaras cirúrgicas que fosse tecnicamente e economicamente viável e sustentável, o presente trabalho seguiu a estratégia da experimentação, que partiu de um problema identificado, seguido do processo de produção de provetes (placas), com a avaliação posterior das suas propriedades. Portanto, de modo a aferir conclusões, foi utilizado o tratamento estatístico dos resultados obtidos nos diferentes ensaios às referidas amostras.

A obtenção de um processo completamente sustentável ainda é complexa, no entanto, ao longo deste estudo foi possível apresentar um conjunto de ações de cariz sustentável e de fácil obtenção para a reciclagem de máscaras e potencial valorização em futuras aplicações.

Todo o processo de transformação máscaras-placas pode ser considerado relativamente fácil, no entanto ainda existem limitações. O método de trituração das máscaras no moinho de lâminas necessita de ser melhorado, uma vez que as lâminas tendem a aquecer relativamente rápido devido à fricção entre estas e o material, sendo necessário limpar a máquina e deixá-la arrefecer cada vez que tal acontece. Para além disto, após o processamento do material, depreendeu-se que as placas saíram do molde com um formato arqueado. Uma das justificações para tal, pode relacionar-se com o arrefecimento que poderá ter sido muito rápido. Se este tivesse sido mais lento, estas teriam saído do molde mais planas.

Durante os ensaios de resistência à tração, verifica-se que a placa produzida com a amostra do tipo B tem melhores propriedades de resistência ao alongamento, no entanto, a placa produzida com a amostra do tipo A mostrou-se mais rígida, com um módulo de Young superior à B ($1,07 \text{ GPa} > 0,97 \text{ GPa}$). Para além disso, contrariamente à placa 1A, a placa B apresenta 3 provetes com tensões máximas e de rotura coincidentes, o que indica que a placa B tem melhores propriedades de ductilidade. Por outras palavras, os resíduos de menor dimensão conferem melhores propriedades mecânicas às placas.

Relativamente aos ensaios de resistência à flexão, verificou-se que ambas as placas têm propriedades de flexão muito semelhantes, com a placa A a apresentar valores de módulo de flexão de $1,179 \text{ GPa}$ e a placa B com valores de $1,155 \text{ GPa}$.

Durante a realização deste teste, apenas os provetes 1, 2 e 3 da placa 2A atingiram uma tensão de rotura, não sendo este o caso para os restantes provetes desta placa e os da placa 2B. Nos provetes que não atingiram uma tensão de rotura, após o alcance da tensão máxima, os provetes cederam (defletiram) e a carga continuou a ser aplicada, isto é, o material atingiu o limite máximo do deslocamento definido pelo equipamento. Então, constata-se que o material é dúctil, especialmente a placa 2B, produzida com os resíduos de menor dimensão, que foi a placa cujos provetes demonstraram a veracidade desta conclusão.

Contudo, e de modo a salvaguardar os resultados obtidos, a Tabela 10 e a Tabela 13 (resistência à tração e resistência à flexão, respetivamente) demonstram coeficientes de variação muito altos. Isto poder-se-á dever a um número de fatores como o arqueamento das placas, a falta de homogeneidade do material que constitui a placa, o facto de ser um material reciclado, a porosidade das placas e a compactação do material.

No que diz respeito à permeabilidade ao ar, seria expectável a placa 3A ($63,6 \text{ L/m}^2/\text{s}$) ser a que apresenta maior permeabilidade. Como a amostra utilizada para a produção deste tipo de placa é de maiores dimensões, suspeita-se que, aquando da formação da placa, o material não tenha sido totalmente derretido, deixando pedaços de não-tecido por derreter no interior da placa. Seria necessário o molde ter ficado sob a ação da temperatura durante mais tempo, para a placa ficar mais consolidada.

Verificou-se que os valores de permeabilidade ao ar foram superiores na placa produzida com as partículas de maiores dimensões (A) depois de conjugados os resultados obtidos neste ensaio, com os valores de porosidade e massa volúmica calculados na Tabela 4. Contudo, o valor da porosidade e massa volúmica foi idêntico para ambas as placas. Isto pode ser justificado devido à dimensão e maneira como os poros e as partículas estão distribuídas na placa (não uniforme). Na placa 3B poderá haver uma maior dimensão dos poros, no entanto o arranjo das partículas é mais compacto, logo, a permeabilidade é reduzida ($25,9 \text{ L/m}^2/\text{s}$) e, por isso, a resistência à passagem do ar é superior.

Relativamente ao envelhecimento acelerado, através da avaliação da resistência à radiação ultravioleta realizada no QUV, observou-se uma diminuição do brilho nas amostras, que para além de ser uma das consequências da exposição à radiação ultravioleta, poderá também dever-se à degradação do desmoldante que se colocou no momento da introdução do material base no molde e/ou à rugosidade da superfície do provete ensaiado.

Seria de esperar a observação de poucas alterações entre o antes e o depois do ciclo de ensaio, visto que o ensaio foi feito num ciclo curto (8h) e seriam necessários mais ciclos para se conseguir retirar conclusões mais concisas.

De um modo geral, as placas que apresentam as melhores propriedades são as placas que foram produzidas com a amostra triturada no moinho de lâminas, que produz fragmentos de máscaras moídas de menores dimensões, isto é, as placas do tipo B.

5.2 Perspetivas futuras

Visto que as placas que apresentam melhores propriedades são as placas produzidas com o resíduo B (maior grau de trituração), seria interessante poder-se apurar o processo de reciclagem para a produção destas. Seria importante produzir-se placas de maiores dimensões, de modo a obter-se um maior número de provetes e, por isso, de ensaios, e também aumentar o tempo de arrefecimento das placas, para que estas não fiquem arqueadas.

Nos ensaios de resistência à tração e flexão, seria necessário realizar mais testes com mais provetes de modo a poder-se aplicar o método da exclusão para alguns valores e diminuir os valores de coeficiente de variação.

Sendo que a ductilidade de um material está relacionada com a sua temperatura de transição vítrea, isto é, quanto mais baixa esta temperatura é, mais dúctil é o material, seria aliciante, no futuro, poder-se analisar a temperatura de transição vítrea das placas, por meio do aparelho DSC.

Relativamente aos provetes resultantes do ensaio da resistência à radiação ultravioleta, seria necessário realizar ensaios e caracterização mecânica de forma a determinar a influência da exposição à radiação ultravioleta a longo prazo nas propriedades intrínsecas do material.

Estas áreas de investigação necessitam de continuar a ser desenvolvidas e exploradas, e a partilha destes dados em conferências com outros investigadores podem contribuir para este objetivo.

A presente investigação resultou num artigo publicado na conferência CIMODE 2020+2.

BIBLIOGRAFIA

- Alonso-Almeida, M. del M., Rodriguez-Anton, J. M., Bagur-Femenías, L., & Perramon, J. (2021). Institutional entrepreneurship enablers to promote circular economy in the European Union: Impacts on transition towards a more circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 281. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124841>
- Aragaw, T. A. (2020). Surgical face masks as a potential source for microplastic pollution in the COVID-19 scenario. *Marine Pollution Bulletin*, 159(June), 111517. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111517>
- Ben, S. M., Boulanouar, A., Samaouali, A., Rahmouni, A., Boukalouch, M., Geraud, Y., & Sebbani, J. (2014). Porosity, permeability and bulk density of rocks and their relationships based on laboratory measurements Collecting Physico-mechanical properties of rock of rocks View project Medical Physics: High Energy Radiation View project Abdelaali RAHMOUNI POROZITATEA, PERMEABILITATEA ȘI DENSITATEA ÎN VRAC A ROCILOR ȘI RELAȚIILE ACESTORA BAZATE PE MĂSURĂTORI DE LABORATOR POROSITY, PERMEABILITY AND BULK DENSITY OF ROCKS AND THEIR RELATIONSHIPS BASED ON LABORATORY MEASUREMENTS. In *Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials* (Vol. 44, Issue 2). <https://www.researchgate.net/publication/289567434>
- Benson, N. U., Basse, D. E., & Palanisami, T. (2021). COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. *Heliyon*, 7(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06343>
- Brown, R., James, I., Veith, A., Ashworth, P. P., Boey, F., Hawley, S., Dick, J., Gale, M., Lewis, P., Hillier, K., Sims, G. D., Broadbent, F., Evans, B., Gearing, J., Akay, M., Hands, D., Barry, C., Paul, K., Kockott, D., & Gros, X. E. (1999). *Handbook of Polymer Testing - Physical Testing* (Brown, Roger, Ed.). Marcel Dekker.
- Capucho, J. (2019). *Portugueses deitam fora 200 mil toneladas de roupa por ano*. <https://www.dn.pt/edicao-do-dia/08-abr-2019/portugueses-deitam-fora-200-mil-toneladas-de-roupa-por-ano-10764484.html>
- CCDR-N. (2020). *Economia Circular - Têxtil, agenda regional norte*. <https://www.ccdr-n.pt/pagina/agenda-regional-para-economia-circular-no-setor-textil>
- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - Nações Unidas. (1987). *Relatório de Bundtland - "Our Common Future."*

- Continente. (2020). *Reciclar máscaras descartáveis para produzir viseiras de proteção - Plástico Responsável*. <https://plasticoresponsavel.continente.pt/reciclar-mascaras-descartaveis-para-produzir-viseiras-de-protecao/>
- Córdoba De Torresi, S. I., Pardini Vitor, V. L., Ferreira, F., & de Qn, E. (2010). O QUE É SUSTENTABILIDADE? *Quim. Nova*, 33(1).
- Costa, A. (2006). Permeability-porosity relationship: A reexamination of the Kozeny-Carman equation based on a fractal pore-space geometry assumption. *Geophysical Research Letters*, 33(2). <https://doi.org/10.1029/2005GL025134>
- da Silva Rodrigues, A. C., Mendes Moreira, J. F., Brito De Souza Filho, L., & Nunes, V. D. B. (2017). VIAS DE RECICLAGEM DOS POLÍMEROS POLIPROPILENO (PP) E POLIESTIRENO (PS): UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO. 18(3), 145–160.
- DECO PROTESTE. (2021, November 29). *Como escolher máscaras*. <https://www.deco.proteste.pt/saude/doencas/noticias/mascaras-como-escolher>
- Direção Geral de Saúde. (2020). *Especificações Técnicas Máscaras Utilização Comunitária*.
- EDANA. (n.d.). *What are nonwovens?* Retrieved November 17, 2020, from <https://www.edana.org/nw-related-industry/what-are-nonwovens>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A NEW TEXTILES ECONOMY: REDESIGNING FASHION'S FUTURE*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019a). *Circular economy principle: Circulate products and materials*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/circulate-products-and-materials>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019b). *What is a circular economy?* | Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Epps, H. H., & Leonas, K. K. (n.d.). *Pore Size and Air Permeability Of Four Nonwoven Fabrics*.
- Fadare, O. O., & Okoffo, E. D. (2020). Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. *Science of the Total Environment*, 737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>
- Fangueiro, R., Ferreira, D., Silva, C., Silva, P., & Navarro Miguel. (2020). *Máscaras de Proteção*.
- Ferrante, E. (2011, April 14). *Incineração - Uma Arma de Destruição ao MEIO AMBIENTE - Indústria Têxtil e do Vestuário - Textile Industry - Ano XII*. <https://textileindustry.ning.com/profiles/blogs/incineracao-uma-arma-de>
- Florido, C., Jacob, M., & Payeras, M. (2019). How to carry out the transition towards a more circular tourist activity in the hotel sector. The role of innovation. *Administrative Sciences*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/admsci9020047>

- Hatch L., K. (1993). *Textile Science* (M. George S. & C. Elder, Eds.). West Publishing Company.
- Henneberry, B. (2020). *How Surgical Masks are made, tested and used*.
https://www.thomasnet.com/articles/other/how-surgical-masks-are-made/#_How_are_Surgical
- Horrocks, A. R., & Anand, S. C. (2017). *Handbook of technical textiles. Volume 1, Technical textile processes*.
- IM3. (2021, March 21). *IOM3 / First UK high-street's face mask recycling scheme*.
<https://www.iom3.org/resource/first-uk-high-street-s-face-mask-recycling-scheme.html>
- INDA. (n.d.). *About Nonwovens*. Retrieved November 17, 2020, from <http://www.inda.org/about-%20nonwovens/>
- Khan, M. N., Roy, J. K., Akter, N., Zaman, H. U., Islam, T., & Khan, R. A. (2012). Production and Properties of Short Jute and Short E-Glass Fiber Reinforced Polypropylene-Based Composites. *Open Journal of Composite Materials*, 02(02), 40–47. <https://doi.org/10.4236/ojcm.2012.22006>
- Kreutzfeld, F. (n.d.). *Upcycling: o que é e seu impacto no futuro da produção – Delta*. Retrieved October 20, 2020, from <https://www.deltaequipamentos.ind.br/industria-textil/upcycling/>
- Lu, T., Solis-Ramos, E., Yi, Y., & Kumosa, M. (2018). UV degradation model for polymers and polymer matrix composites. *Polymer Degradation and Stability*, 154, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2018.06.004>
- Maderuelo-Sanz, R., Acedo-Fuentes, P., García-Cobos, F. J., Sánchez-Delgado, F. J., Mota-López, M. I., & Meneses-Rodríguez, J. M. (2021). The recycling of surgical face masks as sound porous absorbers: Preliminary evaluation. *Science of the Total Environment*, 786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147461>
- Maier, Clive., & Calafut, Teresa. (1998). *Polypropylene : the definitive user's guide and databook*. Plastics Design Library.
- Marques, A. D., Marques, A., & Ferreira, F. (2020). Homo Sustentabilis: circular economy and new business models in fashion industry. *SN Applied Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2094-8>
- McCarthy, A. (2018, January 22). *Are Our Clothes Doomed for the Landfill?* .
<https://remake.world/stories/news/are-our-clothes-doomed-for-the-landfill/>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2022). *Cradle to Cradle*. North Point Press.
- Mendonça, C., Rodrigues, C., Moutinho, V., & Robalo, R. (2019). A pegada da nossa roupa. *Público*, 1–24. <https://www.publico.pt/2019/11/29/infografia/pegada-roupa-391>

- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>
- Mudunkotuwa, I. A., Minshid, A. al, & Grassian, V. H. (2014). ATR-FTIR spectroscopy as a tool to probe surface adsorption on nanoparticles at the liquid-solid interface in environmentally and biologically relevant media. *Analyst*, 139(5), 870–881. <https://doi.org/10.1039/C3AN01684F>
- Müller, A. J., & Michell, R. M. (2016). Differential Scanning Colorimetry of Polymers. In *Polymer Morphology: Principles, Characterization, and Processing*. https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=4UFICgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA72&dq=Differential+Scanning+Calorimetry+of+Polymers+Physicas&ots=urJ4HALrfR&sig=17U2UtNHMBqdsvfpoAUzFN_tYnw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Nishiyama, N., & Yokoyama, T. (2017). Permeability of porous media: Role of the critical pore size. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(9), 6955–6971. <https://doi.org/10.1002/2016JB013793>
- Notman, N. (2020, January 27). *Recycling clothing the chemical way | Feature | Chemistry World*. <https://www.chemistryworld.com/features/recycling-clothing-the-chemical-way/4010988.article#/>
- Peres, D., Boléo-Tomé, J. P., & Santos, G. (2020). Respiratory and facial protection: Current perspectives in the context of the COVID-19 pandemic. In *Acta Medica Portuguesa* (Vol. 33, Issue 13). CELOM. <https://doi.org/10.20344/AMP.14108>
- Perillo, D. (2021, May 3). *Mask disposal: An environmental issue? | Eni*. <https://www.eni.com/en-IT/circular-economy/recycling-covid-masks.html>
- Q-Lab. (2019). *A Choice of Lamps for the QUV Accelerated Weathering Tester*.
- ReWorked. (2021). *WILKO launches the UK high-street's first face mask recycling scheme*. <https://www.reworked.com/2021/04/13/wilko-launches-the-uk-high-streets-first-face-mask-recycling-scheme/>
- Robert E., S. (2010). *Qualitative Research: studying how things work*. The Guilford Press.
- Rocha, A. M. (2004). *Têxteis Não-Tecidos: Materiais, Tecnologias e Aplicações (extractos da monografia)*.
- Ruckert, C. (2022). *Engenharia e Ciência dos Materiais I*.
- Ruiz Estrada, M. A. (2020). *THE QUANTIFICATION OF DISPOSAL MASKS POLLUTION WORLDWIDE*. <https://ssrn.com/abstract=3703185>

- Saberian, M., Li, J., Kilmartin-Lynch, S., & Boroujeni, M. (2021). Repurposing of COVID-19 single-use face masks for pavements base/subbase. *Science of the Total Environment*, 769. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145527>
- Saunders, M., Philip, L., & Thornhill, A. (2009). *Research Methods for Business Students* (5th ed.). Financial Times Prentice-Hall.
- Saville, B. P. (2000). *Physical testing of textiles*. Woodhead Publishing Limited in association with The Textile Institute.
- Schick, C. (2009). Differential scanning calorimetry (DSC) of semicrystalline polymers. In *Analytical and Bioanalytical Chemistry* (Vol. 395, Issue 6, pp. 1589–1611). <https://doi.org/10.1007/s00216-009-3169-y>
- Scoones, I. (2007). Development in Practice Sustainability. *Development in Practice*, 17, 589–596. <https://doi.org/10.1080/09614520701469609>
- Shubhra, Q. T. H., Alam, A. K. M. M., & Quaiyyum, M. A. (2013). Mechanical properties of polypropylene composites: A review. In *Journal of Thermoplastic Composite Materials* (Vol. 26, Issue 3, pp. 362–391). <https://doi.org/10.1177/0892705711428659>
- Sotiles, A. R. (2017). *UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS ESTUDO DE DIFERENTES TRATAMENTOS DA CAULINITA PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO COMO ADSORVENTE DO CORANTE TÊXTIL C.I. REACTIVE BLUE 203 Dissertação.*
- The Connexion. (2020, October 1). *French firm finds way to recycle single-use masks*. <https://www.connexionfrance.com/French-news/Coronavirus-How-to-recycle-single-use-masks>
- Vallance, S., Perkins, H. C., & Dixon, J. E. (2011). What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum*, 42(3), 342–348. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002>
- Vitacore. (n.d.). *Recycling Program*. Retrieved March 22, 2022, from <https://www.vitacore.ca/recycling-program>
- Wang, Y., Hawley, J. M., Gulich, B., Peoples, R., Realff, M., Schneider, R., Buschle-Diller, G., Langley, K. D., Kim, Y. K., George, B. R., Bockarie, A., McBride, H., Evazynajad, A., Bieak, N., Abreu, M. J., Silva, M. E., Schacher, L., Adolphe, D., & Muzzy, J. (2006). *Recycling in Textiles*.
- WHO. (2020). *Advice on the use of masks in the context of COVID-19*. <https://www.who.int/publications->

ANEXOS

ANEXO 1. VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DAS CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA CADA PROVETE – PLACA 1A

CARATERIZAÇÃO DA AMOSTRA			MATERIAIS		
ID	Placa 1A		Matriz		
Referência			Referência	polímero polipropileno	
PARÂMETROS DE ENSAIO			Reforço		
Velocidade (mm min ⁻¹)	10		Referência	%	
Distância entre amarras (mm)	100				
Número Provetes	5				
OBSERVAÇÕES:			Outros Aditivos		
EN ISO 527-4 h = 2 até 10 mm			Referência	%	
PROPRIEDADES OBTIDAS					
Provete	Espessura (mm)	Largura (mm)	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão Rotura (Mpa)	Módulo Young (Gpa)
1	4,3	19	6,77	2,08	1,650
2	4,3	20	5,39	0,97	1,069
3	4,3	19	5,06	2,41	0,839
4	4,3	19	2,53	1,39	0,952
5	4,3	20	2,29	2,29	0,828
Média			4,41	1,83	1,07
Desvio padrão			1,73	0,55	0,30
Coeficiente de Variação			39%	30,36%	28,50%

Figura 38 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete – placa 1A

ANEXO 2. VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DAS CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARA CADA PROVETE – PLACA 1B

ENSAIOS DE TRAÇÃO					
CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA			MATERIAIS		
ID	Placa 1B		Matriz		
Referência			Referência	polímero polipropileno	
PARÂMETROS DE ENSAIO			Reforço		
Velocidade (mm min ⁻¹)	10		Referência	%	
Distância entre amarras (mm)	100				
Número Provete	5				
			PROPRIEDADES OBTIDAS		
Provete	Espessura (mm)	Largura (mm)	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão Rotura (Mpa)	Módulo Young (Gpa)
1	4,3	20	7,86	7,86	0,935
2	4,3	20	6,81	6,81	0,617
3	4,3	19	6,12	6,12	0,997
4	4,3	21	7,35	7,31	1,174
5	4,3	20	7,37	2,87	1,116
Média			7,10	6,20	0,96763
Desvio padrão			0,59	1,76	0,19
Coefficiente de Variação			8%	28,37%	20%

Figura 39 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à tração para cada provete - placa 1B

ANEXO 3. VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DAS CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA CADA PROVETE– PLACA 2A

ENSAIOS DE FLEXÃO					
CARATERIZAÇÃO DA AMOSTRA			MATERIAIS		
ID	Placa 2A		Matriz		
Referência			Referência	polímero polipropileno	
PARÂMETROS DE ENSAIO			Reforço		
Velocidade (mm min ⁻¹)	5		Referência	%	
Distância entre apoios (mm)	68,8				
Número Provetes	5				
OBSERVAÇÕES:			Outros Aditivos		
EN ISO 178			Referência	%	
Distância amarras, L = 16*h					
h = espessura média provetes					
PROPRIEDADES OBTIDAS					
Provete	Espessura (mm)	Largura (mm)	Tensão Máxima (Mpa)	Tensão Rotura (Mpa)	Módulo Flexão (Gpa)
1	4,3	19	18,66	7,40	1,660
2	4,3	19	16,90	11,50	1,196
3	4,3	20	14,34	9,59	1,303
4	4,3	20	41,05	41,05	0,833
5	4,3	19	9,59	8,18	0,905
Média	4,30	19,40	20,11	15,54	1,179
Desvio padrão	0,00	0,49	10,91	12,83	0,297
Coefficiente de Variação	0%	3%	54%	83%	25%

Figura 40 – valores obtidos através das curvas de tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete – placa 2A

ANEXO 4. VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DAS CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO NOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO PARA CADA PROVETE – PLACA 2B

ENSAIOS DE FLEXÃO					
CARATERIZAÇÃO DA AMOSTRA					
ID	Placa 2B				
Referência			Referência	polímero polipropileno	
PARÂMETROS DE ENSAIO					
Velocidade (mm min ⁻¹)	5		Referência	%	
Distância entre apoios (mm)	68,8				
Número Provetes	5				
OBSERVAÇÕES:					
EN ISO 178 Distância amarras, L = 16*h h = espessura média provetes			Referência	%	
PROPRIEDADES OBTIDAS					
Provete	Espessura (mm)	Largura (mm)	Tensão Máxima (Mpa)	Deflexão (Mpa)	Módulo Flexão (Gpa)
1	4,3	19	20,97	5,93	1,121
2	4,3	20	21,25	14,73	1,254
3	4,3	19	20,91	4,36	1,525
4	4,3	19	43,27	43,27	1,175
5	4,3	19	16,42	1,67	0,702
Média	4,30	19,20	24,56	13,99	1,155
Desvio padrão	0,00	0,40	9,52	15,28	0,266
Coefficiente de Variação	0%	2%	39%	109%	23%

Figura 41 - valores obtidos através das curvas tensão-deformação nos ensaios de resistência à flexão para cada provete - placa 2B

ANEXO 5. VALORES OBTIDOS NOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE AO AR – PLACA 3A E 3B

Tabela 17 - Valores obtidos nos ensaios de permeabilidade ao ar

Ensaio	L/m²/s	
	Placa 3A	Placa 3B
1	40,0	12,6
2	34,0	14,34
3	42,0	15,08
4	55,2	42,2
5	86,6	11,2
6	49,2	43,4
7	101,8	42,0
8	81,6	26,4
9	59,0	36,0
10	86,6	15,44*