



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Filipe Lopes Carvalho

**Estudo dos efeitos da incorporação de TPE
reciclado em PC/ABS reciclado**

Estudo dos efeitos da incorporação de TPE
reciclado em PC/ABS reciclado

João Filipe Lopes Carvalho

UMinho | 2021

Março de 2021



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

João Filipe Lopes Carvalho

**Estudo dos efeitos da incorporação de TPE
reciclado em PC/ABS reciclado**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros

Trabalho efetuado sob a orientação do(a):

Professora Doutora Maria Conceição Paiva

Engenheira Inês Silva

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-SemDerivações

CC BY-NC-ND

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

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de uma forma direta e indireta contribuíram para este projeto.

Quero agradecer à Fehst Componentes, pela oportunidade da realização desta dissertação e pelas ferramentas fornecidas. Agradeço a todos os colaboradores que, em todos os momentos, se mostraram disponíveis para me auxiliar em qualquer dificuldade. Em particular, à Eng. Ana Moreira, à Eng. Vera Fernandes, ao Eng. Miguel Gomes e ao Sr. Mota por toda a ajuda, disponibilidade e conhecimento transmitidos neste caminho.

À minha orientadora da empresa, Eng. Inês Silva por toda a cooperação e pela orientação que se manifestou na valorização do projeto.

Um obrigado à Professora Maria Conceição Paiva, por toda a disponibilidade prestada, pelos conselhos, incentivos amigáveis e pela orientação científica que contribuíram para um estudo de maior valor científico.

Aos meus amigos, pela boa disposição e pelos momentos que irão ficar na memória.

À minha família por todo o apoio incondicional prestado em todo o percurso académico.

À minha namorada pelos incentivos diários, motivação e compreensão.

Não posso de deixar de referir e de agradecer ao Departamento de Polímeros da Universidade do Minho, aos professores e técnicos, pelo apoio e conhecimento transmitidos.

A todos o meu sincero obrigado.

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

O propósito deste projeto é a avaliação da possibilidade de reciclagem de componentes oriundos da moldação por injeção multimaterial, constituídos por misturas de PC/ABS e TPS e misturas de PC/ABS e TPU. Esta técnica de injeção apresenta vantagens técnicas e económicas, no entanto contribui para o desperdício de matéria prima, nomeadamente em forma de peças não conformes e do sistema de alimentação. Este estudo tem como objetivo contribuir para a circularidade dos materiais, avaliando a possibilidade de aproveitamento destes desperdícios. Para isso estudaram-se os materiais individualmente e em misturas preparadas numa gama de concentrações dos componentes, simulando-se o aproveitamento dos desperdícios do processo de injeção multimaterial. As misturas foram produzidas por extrusão de duplo fuso e as amostras para caracterização foram produzidas por moldação por injeção. O aumento de TPE na mistura originou uma redução de propriedades mecânicas, nomeadamente a ductilidade e o impacto. O índice fluidez das misturas de materiais aumenta com o aumento da fração de TPE, o que está relacionado com o índice de fluidez elevado dos TPE, mas também com a degradação termomecânica sofrida pelos materiais. Assim, verificou-se que a incorporação de TPE deve ser controlada de modo a não reduzir significativamente as propriedades das peças relativamente às de PC/ABS. Para investigar a possibilidade da integração de reciclado bimaterial foi também testada a pintura UV. Este processo é utilizado para todos os componentes produzidos, por isso a incorporação de misturas de materiais, assim como de reciclado, deve admitir o processo de pintura. Concluiu-se que as peças produzidas com reciclado e TPE passaram a avaliação do processo de pintura. Considerando a grande quantidade de desperdício produzido no processo de injeção em canais de alimentação de TPE, caracterizaram-se também as propriedades mecânicas dos TPE reprocessados. Conclui-se que estes materiais não perdem características mecânicas após 1 ciclo de reprocessamento, mostrando o seu potencial para reciclagem. Por último, sendo o TPE sobremoldado no PC/ABS, foi também avaliada a adesão dos dois TPE (TPS e TPU) ao PC/ABS, tendo-se verificado que o TPU apresenta melhores propriedades de adesão ao PC/ABS em comparação com o TPS. **PALAVRAS-CHAVE:** Degradação, Mistura, Termoplástico elastomérico, Pintura, Reciclagem

ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the possibility of recycling components from multi-material injection molding, consisting of mixtures of PC/ABS and TPS and mixtures of PC/ABS and TPU. This injection technique has technical and economic advantages, however, it contributes to the waste of raw material, namely in the form of non-conforming parts and the feeding system. This study aims to contribute to the circularity of materials, evaluating the possibility of using these wastes. For this, the materials were studied individually and in mixtures prepared in a range of concentrations of the components, simulating the use of waste from the multi-material injection process. The mixtures were produced by extrusion technique with a twin screw and the samples for characterization were produced by injection molding. Rheological, mechanical and surface characteristics of the mixtures of parts made up of virgin PC/ABS were evaluated for comparison.

The increase in TPE in the mixture resulted in a reduction of mechanical properties of the bicomponent material, namely ductility and impact. The melt flow index of the mixed materials increases with the increase in the TPE content, which is related to the high melt flow index of TPE, and possibly due the thermomechanical degradation suffered by the materials. Thus, it was found that the incorporation of TPE must be controlled so as not to significantly reduce the properties of the parts compared to those of PC/ABS. To investigate the possibility of integrating bimaterial recycled in the same process, UV paint was also tested. This process is used for all components produced, so the incorporation of mixtures of materials, as well as recycled, must admit the painting process. It was concluded that the pieces produced with recycled and TPE passed the evaluation of the painting process. Considering the large amount of waste produced in the injection process in TPE feeding channels, the mechanical properties of the reprocessed TPE were also characterized. It is concluded that these materials do not lose mechanical characteristics after 1 reprocessing cycle, showing their potential for recycling. Finally, since the TPE is overmolded in the PC/ABS, the adhesion of the two TPE (TPS and TPU) to the PC/ABS was evaluated, and it was found that the TPU has better adhesion properties to the PC/ABS compared to the TPS .

KEYWORDS: Degradation, Blends, Thermoplastic elastomeric, Paint, Recycle

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	2
RESUMO	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE.....	6
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS	14
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	1
1.2 ENQUADRAMENTO	1
1.3 OBJETIVOS	6
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	8
2. ESTADO DA ARTE	9
2.1 INTRODUÇÃO.....	9
2.2 POLÍMEROS	10
2.2.1 Termoplásticos	11
2.2.2 Elastómeros	11
2.2.3 Termoplásticos elastoméricos (TPE)	12
i. Termoplásticos elastoméricos de estireno (TPS)	13
ii. Termoplásticos elastoméricos de uretano (TPU).....	15
2.3 MISTURAS.....	17
2.3.1 Termoplástico PC/ABS	18
2.3.2 Influência das propriedades do PC/ABS com a incorporação de TPS	20
2.3.3 Influência das propriedades do PC/ABS com a incorporação de TPU	21
2.4 RECICLAGEM PRIMÁRIA	22
2.4.1 Efeitos da degradação no ABS	24
2.4.2 Efeitos da degradação no PC	24
2.4.3 Efeitos da degradação na mistura PC/ABS	25
2.4.4 Efeitos da degradação no TPS (SEBS)	26
2.4.5 Efeitos da degradação no TPU.....	26
2.5 PINTURA DE TERMOPLÁSTICOS	27
2.5.1 Desempenho do revestimento.....	31

i.	Brilho.....	31
ii.	Resistência ao risco	32
iii.	Adesão entre substrato e revestimento.....	32
iv.	Durabilidade / Envelhecimento.....	35
3.	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	37
3.1	INFORMAÇÕES DO PROJETO.....	38
3.2	MATÉRIA PRIMA.....	39
3.3	PREPARAÇÃO DE MATERIAIS E MISTURAS.....	39
3.3.1	Moldação por injeção - preparação de placas	40
3.3.2	Moldação por extrusão – preparação de mistura.....	41
3.3.3	Moldação por injeção – preparação de amostras para caraterização.....	42
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	44
3.4.1	Caracterização reológica	44
i.	Índice de fluidez.....	44
3.4.2	Caracterização mecânica	45
i.	Resistência à tração.....	45
ii.	Resistência ao impacto	46
3.4.3	Caracterização superficial.....	46
i.	Medição do ângulo de contacto.....	46
3.5	PROCESSO DE PINTURA UV	47
3.5.1	Moldação por injeção de peças de alto brilho	47
3.5.2	Processo de pintura com cura UV	47
3.5.3	Caracterização da peça de alto brilho	48
i.	Controlo visual da peça injetada de alto brilho sem pintura	49
ii.	Controlo dimensional	49
3.5.4	Avaliação visual.....	49
i.	Medição do brilho	49
ii.	Medição da cor	50
3.5.5	Avaliação de adesão	51
i.	Cross-cut.....	51
3.5.6	Avaliação mecânica	52
i.	Teste de resistência ao risco.....	52
3.5.7	Teste de resistência a cremes	53
3.5.8	Teste de hidrólise	53
3.6	ENSAIO PEEL TEST	54

3.6.1	Procedimento para a preparação de amostras para o ensaio <i>peel test</i>	54
3.6.2	Ensaio de adesão entre PC/ABS e os TPE	56
4.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	57
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E AS SUAS COMPOSIÇÕES.....	57
4.1.1	Índice de fluidez.....	57
4.1.2	Resistência à tração	59
i.	Reprocessamento PC/ABS e composições	59
ii.	Reprocessamento TPS e TPU.....	65
4.1.3	Resistência ao impacto	66
4.1.4	Medição do ângulo de contacto.....	68
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS PEÇAS DE ALTO BRILHO	70
4.2.1	Controlo visual das peças injetadas	70
4.2.2	Controlo dimensional	72
4.2.3	Medição do brilho	73
4.2.4	Medição da cor	74
4.2.5	Resistência ao risco	74
4.2.6	Teste de aderência Cross-cut	75
4.2.7	Resistência a cremes	77
4.2.8	Hidrólise.....	79
4.2.9	Sumário.....	81
4.3	PEEL TEST.....	82
4.4	VIABILIDADE DO PROCESSO.....	86
5.	CONCLUSÃO	89
6.	TRABALHOS FUTUROS	92
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
8.	ANEXO I.....	100
9.	ANEXO II – FICHAS TÉCNICAS	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logótipo da empresa Fehst Componentes Lda (retirado de [1]).....	1
Figura 2. Procura e tipo de plásticos alocado a cada segmento industrial em 2018 (retirado e adaptado de [2])	2
Figura 3. Classificação dos polímeros	10
Figura 4. Comparação dos intervalos de dureza dos TPE com os restantes polímeros (retirado e adaptado de [19])	12
Figura 5. Classificação dos termoplásticos elastoméricos comercializados (retirado e adaptado de [19][22]).....	13
Figura 6. Estrutura química dos termoplásticos elastoméricos com base de estireno (retirado e adaptado de [24][20])	14
Figura 7. Representação esquemática do TPU composto por dissocianato, cadeia longa diol e <i>chain extender</i> (retirado e adaptado de [17]).....	15
Figura 8. Estrutura química de um TPU de poliéster (retirado e adaptado de [30])	16
Figura 9. Classificação das misturas.....	18
Figura 10. Estrutura molecular do PC (retirado de [38])	19
Figura 11. Estrutura molecular do ABS (retirado e adaptado [40])	19
Figura 12. Esquema representativo da reciclagem primária (retirado e adaptado de [11])...	23
Figura 13. Pintura com cura UV e pintura com cura térmica (retirado de [64])	28
Figura 14. Variáveis relativas ao substrato a pintar.....	29
Figura 15. Ilustração dos vários níveis de molhabilidade (retirado e adaptado de [66])	30
Figura 16. Reflexão da luz em diferentes superfícies(retirado e adaptado de [63])	32
Figura 17. Tipos de falhas de adesão frequentes	33
Figura 18. Causas possíveis para a falta de adesão entre um revestimento e substrato (retirado e adaptado de [59])	34
Figura 19. Princípios de avaliação da adesão do revestimento para o teste de cross-cut (retirado e adaptado de [66]).....	35
Figura 20. Esquema referente à organização do procedimento experimental da dissertação	37

Figura 21. Informação referente à percentagem ao peso da peça e dos sistemas de alimentação em TPE	38
Figura 22. Esquema ilustrativo do procedimento experimental envolvendo a moldação por injeção e de extrusão para a conceção de amostras	40
Figura 23. Esquema ilustrativo do processo de extrusão	42
Figura 24. Grânulos dos diferentes materiais utilizados	45
Figura 25. Esquema ilustrativo do processo de pintura UV da peça de alto brilho e consequentes caracterizações	48
Figura 26. Medição de brilho com o equipamento Glossmaster Sheen Instruments de uma peça com alto brilho.....	50
Figura 27. 1ª imagem - calibração do espectrofotómetro x-rite; 2ª imagem - ponto de medição do espectrofotómetro; 3ª imagem – medição da cor de uma peça com alto brilho	50
Figura 28. Diagrama de medição de cor	51
Figura 29. Lado esquerdo – instrumento multi-corte; Lado direito – Fita adesiva “Tesa”	51
Figura 30. Etapas do teste de aderência cross-cut	52
Figura 31. Medidor de dureza Erichsen sclerometer 3092 hardness tester	52
Figura 32. Resultado obtido através do ensaio de resistência ao risco.....	53
Figura 33. Câmara climática aralab.....	54
Figura 34. Esquema ilustrativo da preparação das amostras para o ensaio peel test	55
Figura 35. Ilustração da preparação de amostras para o ensaio de adesão pelo processo de moldação por compressão.....	56
Figura 36. Representação ilustrativa do peel test a 180°	56
Figura 37. MFI dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU.....	57
Figura 38. Gráfico tensão-deformação geral para PC/ABS virgem e reciclado e para as misturas compostas com diferentes percentagens com (a) PC/ABS+TPS e (b) PC/ABS+TPU	60
Figura 39. (a) Módulo de Young, (b) Tensão de cedência, (c) Deformação de cedência dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU	61
Figura 40. (a)Tensão e (b)Deformação de rotura dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU	63

Figura 41. Gráfico tensão-deformação do TPS e TPU virgem e reciclado	65
Figura 42. Resistência ao impacto dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS+TPS e PC/ABS+TPU.....	67
Figura 43. Ângulo de contacto de um dos substratos analisados	68
Figura 44. Ângulo de contacto dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU	69
Figura 45. Defeitos encontrados nas peças de alto brilho injetadas.....	71
Figura 46. Resultados da variação do comprimento das peças antes e após pintura para os diferentes materiais	72
Figura 47. Resultados da medição do brilho para diferentes substratos	73
Figura 48. Aparência superficial de um substrato após ser colocado numa estufa no ensaio de resistência a cremes.....	77
Figura 49. Peel test PC/ABS com TPU	82
Figura 50. Gráfico Peel force x deslocamento para o material TPU com PC/ABS (a) a uma velocidade de 200 mm/min (b) a uma velocidade de 500 mm/min	83
Figura 51. Amostras após realizado o peel test em PC/ABS com TPU; 1ª imagem: velocidade 500mm/s; 2ª imagem: velocidade 200mm/s.....	84
Figura 52. Peel test PC/ABS com TPS; 2ª imagem: separação de interfaces; 3ª imagem: rotura do TPS.....	84
Figura 53. Gráfico Peel force x deslocamento para o material TPS com PC/ABS (a) a uma velocidade de 200 mm/min; (b) a uma velocidade de 500 mm/min	85
Figura 54. Amostras após realizado o peel test em PC/ABS com TPU; 1ª imagem: velocidade 200mm/s; 2ª imagem: velocidade 500mm/s.....	86
Figura 55. Esquema de estratégia de implementação da economia circular para estes componentes.....	87
Figura 56. Esquema relacionando a quantidade de peças não conformes com o seu preço para as composições escolhidas.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Energia livre de superfície de alguns substratos plásticos (retirado e adaptado [65])	30
Tabela 2. Propriedades do termoplástico amorfo PC/ABS utilizado segundo a ficha técnica	39
Tabela 3. Propriedades dos termoplásticos elastoméricos utilizados segundo as fichas técnicas	39
Tabela 4. Condições de processamento das placas por moldação por injeção de PC/ABS virgem	41
Tabela 5. Condições do processamento das placas por moldação por injeção de TPU virgem e TPS virgem	41
Tabela 6. Condições de processamento por extrusão das misturas PC/ABS+TPU e PC/ABS+TPS	42
Tabela 7. Condições de processamento da injeção dos provetes de PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS+TPU e PC/ABS+TPS	43
Tabela 8. Condições de processamento da injeção dos provetes de TPS virgem e reciclado	43
Tabela 9. Condições de processamento da injeção dos provetes de TPU virgem e reciclado	43
Tabela 10. Condições de processamento da moldação por injeção para as peças de alto brilho	47
Tabela 11. Resultados retirados do ensaio de tração para os TPE virgem e reciclado	66
Tabela 12. Resultados obtidos do teste de cor para os diferentes substratos	74
Tabela 13. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos após pintura	75
Tabela 14. Resultados obtidos do teste cross-cut após pintura para os diferentes substratos	76
Tabela 15. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos no ensaio de resistência a cremes	77
Tabela 16. Resultados obtidos do teste cross-cut no ensaio de resistência a cremes para os diferentes substratos	78

Tabela 17. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos para o ensaio de hidrólise 79

Tabela 18. Resultados obtidos do teste cross-cut no ensaio de hidrólise para os diferentes substratos..... 80

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
E	Módulo de elasticidade
HDPE	Polietileno de alta densidade
HDT	<i>Heat deflection temperature</i>
LDPE	Polietileno de baixa densidade
MFI	Melt Flow Index
PB	Polibutadieno
PC	Polycarbonato
PE	Polietileno
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinil
SAN	Copolímero estireno acronitrilo
SBC	Copolímeros em bloco de estireno
SBS	Copolímero estireno butadieno estireno
SEBS	Copolímero estireno etileno butileno estireno
SIBS	Copolímero estireno isopreno estireno
SIS	Copolímero estireno isopreno estireno
TGA	Análise Termogravimétrica
TPE	Termoplástico elastomérico
TPS	Termoplástico elastomérico de estireno
TPU	Termoplástico elastomérico de uretano
T_g	Temperatura de transição vítrea

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo é, inicialmente, apresentada a empresa onde se realizou o estágio curricular. De seguida, é apresentado o enquadramento do tema da dissertação, bem como, os objetivos e a estrutura desta.

1.1 Apresentação da empresa

A empresa Fehst Componentes, Lda. está sediada em Braga e inserida no grupo Fehst em conjunto com a Enancer Eletrónica S.A. e a Siroco (Soc. Industrial de Robótica). A Fehst é uma empresa fornecedora internacional que se dedica ao fabrico de componentes decorativos para o interior do automóvel. A empresa é especializada na injeção de componentes plásticos com valor acrescentado nomeadamente nas tecnologias pintura, laser, cromagem e montagem. Com um crescimento positivo, tem como objetivo o reconhecimento de ser um dos melhores parceiros de soluções para componentes plásticos. Focando-se, essencialmente, na satisfação das necessidades dos clientes, na gestão dos projetos e na melhoria contínua tendo em conta as normas e requisitos impostos pela indústria automóvel [1].



Figura 1. Logótipo da empresa Fehst Componentes Lda (retirado de [1])

1.2 Enquadramento

No século XX, sobretudo na segunda metade, com o aparecimento dos plásticos e das borrachas, em pouco tempo, este material presenciou um crescimento exponencial com um valor de 359 milhões de toneladas em 2018 devido às suas características únicas e de excelência, superando em volume os diferentes materiais existentes no mercado [2]. Contribuindo para um estilo de vida melhorado em vários pontos de vista, oferece funcionalidades e vantagens económicas que não são facilmente substituídas por outros materiais. De facto, hoje em dia, o grande número de investigações, permite que os polímeros disponham de uma rede de variadas estruturas químicas e com um número desconcertante

de propriedades, tornando-se cada vez mais versáteis, leves, com propriedades termomecânicas melhoradas e com uma elevada durabilidade comparativamente aos restantes materiais [3]. Além disso, os polímeros são misturados de modo a desenvolver materiais com propriedades específicas e melhoradas e, paralelamente, reduzindo custos.

Com propriedades melhoradas e versáteis, estes materiais começaram a divergir-se em diferentes segmentos industriais e o seu consumo alargou-se e intensificou-se. Particularmente, uma das áreas que está em constante amplificação na utilização do plástico é a área automóvel. A substituição destes materiais por metal induz vantagens, nomeadamente, na redução do consumo de combustível e equitativamente a poluição ambiental durante o ciclo de vida do automóvel (CO_2) [4]. O automóvel comum em 2010 continha 16% do seu peso total em plástico e é expectável alcançar os 18% em 2020 [5]. Vários são os segmentos industriais que utilizam plástico nos seus produtos, na Europa, singularmente, o setor automóvel está posicionado com um consumo de 9,9% em 51,2 milhões de toneladas de plástico, direcionada a maior fração para a fabricação de peças para interior de automóveis e componentes [4]. A maior fatia de termoplásticos utilizados são por exemplo o polipropileno (PP), polietileno (PE), policloreto de vinilo (PVC) e acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), e o termoendurecível poliuretano (PU), representada na Figura 2.

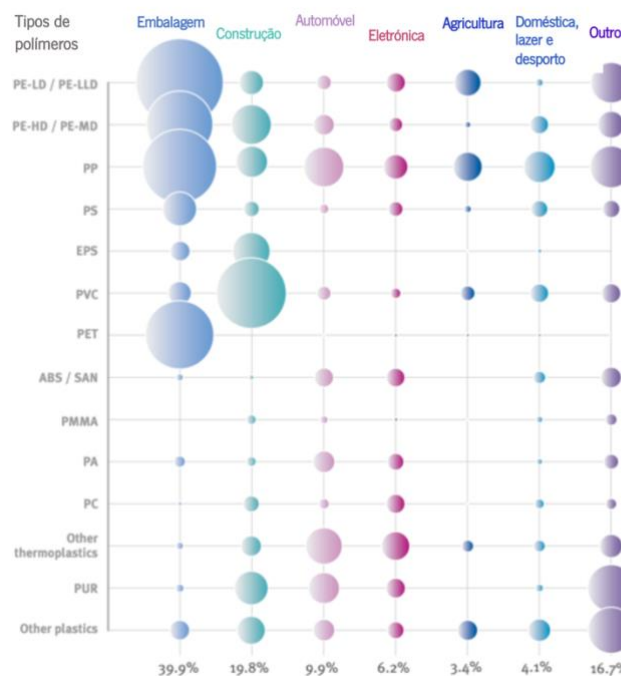


Figura 2. Procura e tipo de plásticos alocado a cada segmento industrial em 2018 (retirado e adaptado de [2])

Como referido, o plástico foi progressivamente melhorado em relação à propriedade da durabilidade. Incrementando esta propriedade, a sua capacidade de se degradar naturalmente, variando de polímero para polímero, pode ser de menos de 1 ano até 500 anos ou mais [2]. Face ao aumento do seu consumo e à possibilidade de serem descartáveis, estes materiais tornam-se inimigos para o meio ambiente, tanto para os animais como para o ser humano [6][7].

De acordo com a sua estrutura molecular, os polímeros são classificados como termoendurecíveis, elastómeros e termoplásticos. Destes, apenas os termoplásticos conseguem ser submetidos a vários ciclos de aquecimento, fusão e arrefecimento sucessivos, permitindo o seu reprocessamento, enquanto que, os elastómeros e os termoendurecíveis apresentam uma reciclabilidade complexa e limitada não sendo diretamente reprocessáveis [8]. Assim, para combinar as características dos elastómeros com a processabilidade dos termoplásticos, surgiram na indústria dos plásticos, os termoplásticos elastoméricos (TPE). Este material também tem tido um rápido crescimento devido às suas características físicas e mecânicas interessantes.

Pretendendo a mitigação do impacto nocivo que os plásticos possuem no ambiente, estratégias de sustentabilidade têm sido discutidas [9]. Uma das estratégias é a conversão de uma economia linear para uma circular, onde o material depois de utilizado é, consoante a sua distinção – tipo de polímero, grau de contaminação, degradação, homogeneização e de mistura - tratado e processado e, posteriormente, utilizado num novo produto.

Com a criação de novos produtos, apostando em materiais recicláveis e na utilização da estratégia de *ecodesign*, é traçado um caminho sustentável e económico uma vez que existe a redução da matéria prima virgem tal como a energia alocada. Desta forma, é necessário o desenvolvimento de tecnologias e estratégias por parte das empresas para acompanhar o crescimento do mercado dos plásticos. Algumas empresas já definem metas/objetivos, como a DANONE, a UNILEVER, entre outras, como por exemplo a produção de embalagens 100% recicláveis até 2025 [10].

Na estratégia referida, a conversão para uma economia circular, a reciclagem é o método mais aceitável e vantajoso de gestão de recursos, mostrando ser economicamente e ambientalmente a melhor solução. Assim, considera-se como reciclagem qualquer das quatro seguintes abordagens:

Reciclagem primária ou reprocessamento, também conhecida como reciclagem em ciclo fechado “*closed-loop recycling*” é a utilização direta de material desperdiçado, não contaminado ou de grau de contaminação baixo, resultante do próprio processo de transformação (sistemas de alimentação, peças não conformes, rebarbas, entre outros) convertendo em produtos com propriedades semelhantes ao material virgem. É um dos processos de reciclagem mais utilizados uma vez que se fundamenta principalmente por questões económicas bem como, claramente, por questões ambientais [11].

Reciclagem secundária ou mecânica, representa o aproveitamento de diferentes materiais a partir de resíduos sólidos urbanos convertendo-os em novos produtos. Os resíduos são gerados de vários setores, podendo conter graus diferenciados de contaminação, degradação, homogeneização e de mistura. No caso do plástico, podem apenas ser sujeitos a este tipo, os polímeros termoplásticos [7]. Assim, estes resíduos são sujeitos a vários processos e tratamentos, transformando-os em novos produtos, porém com menor exigência comparativamente aos produtos com polímero virgem.

Reciclagem terciária ou química, também conhecida como “*feedstock recycling*” é definida, no caso dos plásticos, como o processo que induz à despolimerização dos monómeros, oligómeros e outras substâncias químicas, podendo passar por um novo processamento, industrialização e utilização. Estes resíduos, através deste processo, são transformados em agentes químicos de valor e em novos polímeros. É uma tecnologia menos desenvolvida e mais complexa que a reciclagem de materiais, porém pode constituir um complemento ou alternativa aos outros tipos de reciclagem, visto que, o tipo de materiais poliméricos utilizados é restrito e o investimento inicial desta tecnologia é elevado [8].

Reciclagem quaternária ou recuperação de energia é definida como a utilização de materiais para incineração, recuperando a sua energia. Este processo é utilizado em último recurso, quando os polímeros apresentam grandes graus de contaminação e os processos anteriores não são viáveis [12]. Como os polímeros derivam do petróleo são boas fontes de combustível quando queimadas, onde a quantidade de energia depende do valor calorífico do material. É um método utilizado para a redução do volume de resíduos, porém existem preocupações a nível de poluição ambiental (libertação de gases nocivos).

Na Europa em 2018, foram recolhidas 29,1 milhões de toneladas de resíduos pós-consumo feitos de plástico onde 32,5% foi reciclado, 42,6% foi incinerado com recuperação

de energia e 24,9% foi colocado em aterros. Como visto, a percentagem de material reciclado é menor do que o incinerado, porém é expectável que exista um aumento de produtos de plástico pós-consumo direcionados para a reciclagem, uma vez que desde 2006 há um tendência linear crescente neste comportamento [2]. Esta atitude leva a uma conservação de recursos naturais, favorecendo a diminuição do uso de energia e da quantidade de material virgem por unidade de produção [2]. Paralelamente, favorece a saúde pública com a redução da quantidade de resíduos em aterros responsáveis pela contaminação do solo, ar e água [7].

Posto isto, foram assim referidas e descritas algumas estratégias sustentáveis para a criação de novos produtos. Relativamente aos polímeros abordados apenas os termoplásticos são os materiais mais adequados para este propósito, visto que contêm a especificidade de suportar vários ciclos térmicos. Porém, se um produto termoplástico for multimaterial (com mais que um material na sua constituição) e for descartado e sujeito ao reprocessamento para ser reaproveitado, geralmente espera-se maus resultados. Isto pode acontecer porque como o material é granulado e misturado de forma a serem concebidos novos componentes, como possuem diferentes materiais com composições químicas distintas, podem provocar o efeito de afastamento das moléculas poliméricas em vez das sua mistura devido à incompatibilidade química dos polímeros na mistura ou a diferenças em algumas propriedades físicas [8]. Esta é uma desvantagem que muitas vezes se encontra nos produtos pós-consumo, resultando num produto com fracas propriedades. Uma solução para este problema pode ser a separação dos materiais, reprocessando apenas, individualmente, cada material. Contudo, muitas das vezes, este processo não é economicamente viável ou possível.

Nas últimas décadas, vários processos de moldação por injeção multimaterial têm surgido e concebido produtos com mais que um material e, atualmente, em quase todas as indústrias (automóvel, brinquedos, eletrónica, bens consumíveis, lazer) o uso da tradicional moldação por injeção com apenas um material está a ser substituído por estas variáveis. Por muitos anos, este processo foi alvo de extensas investigações e tornou-se cada vez mais estabelecido na indústria de plásticos, surgindo variantes especiais e conduzindo a uma maior atenção por parte da indústria [13]. Assim, o interesse e a crescente utilização da tecnologia de moldação por injeção multimaterial são justificados em virtude das vantagens que fornece, nomeadamente, no decréscimo significativo de operações de montagem e de produção (tempos de ciclo), consequência das operações de fabricação dos componentes que se

efetuem dentro dos moldes. Adicionalmente, a qualidade do produto pode ser melhorada e a possibilidade de defeitos e custos de manufatura podem ser reduzidos. Os diferentes materiais que compõem estes produtos são sequencialmente injetados dentro do molde para a sua respetiva cavidade, onde as divisões do molde que não são preenchidas durante esse estágio são temporariamente bloqueadas, continuando com o processo até os produtos multimaterial serem obtidos [13].

Adicionalmente, com a visão da melhoria contínua dos processos e dos produtos, devido à indústria automóvel ser competitiva, rigorosa e exigente, o uso dos revestimentos é uma vantagem. Além de fornecer mais interesse e benefícios aos produtos que se submeteram a este método, proporciona à empresa que utiliza mais visibilidade, destacando-se de outros concorrentes, alavancando a sua posição no mercado. Assim, a pintura UV, é uma tecnologia de alto valor que a empresa Fehst Componentes possui destinando-se a revestir os componentes plásticos com tinta curável por UV, no qual torna um produto mais apelativo e com boa qualidade superficial, concedendo adicionalmente, melhores propriedades químicas e/ou propriedades mecânicas à peça.

Este estudo pretende avaliar o impacto da reciclagem nos materiais e a influência da incorporação de TPE reciclados no PC/ABS reciclado e, por fim, a viabilidade de pintar estes substratos sujeitando-os a testes específicos do setor automóvel.

1.3 Objetivos

Este projeto surgiu com a necessidade de aproveitar o material desperdiçado resultante da moldação por injeção multimaterial, designadamente, os sistemas de alimentação e as peças não conformes, pretendendo avaliar a possibilidade de utilização deste desperdício para outros componentes. Os componentes são constituídos na sua maior parte por PC/ABS e, numa pequena percentagem do peso total, com termoplástico elastomérico de uretano (TPU) e de estireno (TPS), sendo impossível a remoção destes últimos na peça. Assim, promovendo a circularidade dos materiais, a poupança de energia e a maximização de lucros na empresa, este estudo enuncia e demonstra, com bases experimentais, os efeitos que o reprocessamento e a mistura destes materiais exibem nas suas propriedades mecânicas, reológicas e superficiais conjuntamente com a avaliação do substrato quando é sujeito ao processo da pintura UV.

Assim, para o aproveitamento dos sistemas de alimentação, estudou-se o reprocessamento em 1 ciclo dos materiais PC/ABS, TPS e TPU. Para o PC/ABS, foram estudadas propriedades reológicas, mecânicas e de análise de superfície, enquanto que para os TPE apenas foi realizado o ensaio de tração. Relativamente aos componentes não conformes provenientes da moldação multimaterial, todos os materiais individuais foram injetados e granulados para a obtenção de material reciclado e realizou-se a preparação de diferentes composições com os diferentes materiais, nomeadamente, usando como base o PC/ABS reciclado e incorporando 1%; 2,5%; 5% e 10% de TPS assim como de TPU reciclados, de modo a simular as peças multimaterial não conformes granuladas. Posteriormente, para uma mistura de qualidade, recorreu-se à moldação por extrusão. Obtendo as diferentes composições, procedeu-se a caracterizações para avaliar os efeitos que a incorporação de diferentes termoplásticos elastoméricos reciclados impõem nas propriedades do PC/ABS reciclado.

Numa segunda etapa, como todos os componentes produzidos deste processo de moldação multimaterial são sujeitos à pintura, selecionaram-se duas composições recicladas designadamente a de PC/ABS+2,5% TPS e a de PC/ABS+2,5% TPU. Esta etapa serve para verificar a exequibilidade da pintura nestes substratos, ou seja, se os substratos são pintados com sucesso, possibilitando o aproveitamento das peças não conformes para outros componentes. Para isso, utilizou-se um molde de uma peça de alto brilho da empresa Fehst Componentes para a injeção dos componentes. Com as peças pintadas, estas foram sujeitas a testes para avaliar a relação entre revestimento e o substrato.

Por fim, uma vez que os componentes estudados são processados a partir da moldação multimaterial procedeu-se ao ensaio *peel test* para avaliar a resistência da adesão entre o PC/ABS com os respetivos TPE, com o propósito de selecionar o TPE com melhores propriedades de adesão.

Explicada a metodologia, os objetivos desta dissertação foram:

- Compreensão dos efeitos que o TPS e o TPU estabelecem no PC/ABS;
- Análise da possibilidade do aproveitamento dos sistemas de alimentação de PC/ABS, TPS e TPU para outros componentes;
- Análise da possibilidade do aproveitamento das peças não conformes multimaterial para outros componentes;

- Apresentação das misturas com melhores resultados;
- Submeter os substratos reciclados à pintura UV e a realização dos ensaios com as normas propostas relativas ao setor automóvel dos substratos pintados;
- Avaliação da adesão entre o PC/ABS com o TPS e o PC/ABS com o TPU.

1.4 Organização da dissertação

O primeiro capítulo, Introdução, apresenta um enquadramento abrangendo assuntos relacionados com o tema da dissertação. Adicionalmente, contem uma breve descrição da empresa e os objetivos que se delinearam.

O segundo capítulo, Estado da arte, compreende a revisão da literatura necessária para o tema da dissertação designadamente, os tipos de polímeros utilizados, as misturas, o reprocessamento e a pintura.

O terceiro capítulo, Procedimento Experimental, documenta o procedimento experimental onde estão descritas as metodologias para a preparação das amostras e para a caracterização das mesmas.

No quarto capítulo, Análise e discussão de resultados, são discutidos os resultados obtidos através das caracterizações realizadas.

No quinto e último capítulo, Conclusão, encontra-se o remate final dos resultados obtidos tanto como os trabalhos futuros propostos, sendo uma sugestão de complementaridade deste estudo.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo engloba vários assuntos que serão necessários para o desenvolvimento deste projeto. Inicia-se com uma introdução aos polímeros, englobando os TPE e dentro destes, o TPS e o TPU. De seguida, aborda-se as misturas PC/ABS, e a mistura de PC/ABS com os TPE e, os efeitos do reprocessamento dos materiais estudados. Por fim, é exposta a tecnologia da pintura nos polímeros, abordando algumas propriedades que os polímeros devem possuir para o sucesso da aplicação e alguns ensaios que são realizados para testar a qualidade dos substratos pintados.

2.1 Introdução

A indústria automóvel é um segmento altamente competitivo, correspondendo a um dos maiores setores económicos de produção e, por isso, tem a responsabilidade de se enquadrar na perspetiva do desenvolvimento sustentável e contribuir para uma economia circular. Para esse propósito, um importante passo para a transição da sustentabilidade é o uso eficiente de recursos e o desenvolvimento, em alguns casos, da otimização de uma economia circular onde o desperdício é utilizado como um recurso. Com o passar do tempo, de modo a reduzir tempos de montagem, de produção, custos e defeitos de componentes plásticos e, devido às tendências atuais onde os carros são cada vez mais customizados, levando a uma maior diversidade de referências para o mesmo carro, é indispensável a utilização de novas tecnologias e metodologias, existindo a necessidade de o setor automóvel ter de ser impreterivelmente flexível, organizado, criativo e competitivo.

Dependendo dos componentes produzidos, a moldação multimaterial por injeção é uma tecnologia que existe em várias indústrias, sendo a automóvel uma delas, que além de poder oferecer as reduções e benefícios referidos anteriormente, pode promover nomeadamente, a melhoria de funcionalidades e de performance dos produtos e, do mesmo modo, conceber geometrias complexas, e permite a redução de peças num componente [13]. Porém, quando os produtos resultam da moldação multimaterial, os respetivos desperdícios são complexos, uma vez que, contêm mais que um material na sua composição e não é possível a sua separação. Estes materiais desperdiçados, ao serem reaproveitados, podem induzir no

produto resultante más propriedades, porque ao misturar os materiais, dependendo da percentagem das concentrações encontradas, os polímeros podem ser incompatíveis entre si, afetando negativamente as propriedades mecânicas. Além da incompatibilidade dos materiais, a matéria prima termoplástica ao sujeitar-se a mais que um processamento, inevitavelmente irá sofrer degradação das propriedades, devido à degradação térmica, mecânica e oxidativa induzida pelo processo [11]. Com esta degradação, as propriedades mecânicas são minoradas, provoca alterações na viscosidade do fundido, na morfologia, na superfície, entre outras. Conjuntamente com todas estas modificações negativas nas propriedades e na sua estrutura, os materiais e misturas recicladas podem ter características que não são apropriadas para a pintura, podendo comportar-se de maneira distinta relativamente aos materiais virgens.

2.2 Polímeros

Neste tópico são apresentadas informações gerais sobre alguns tipos de materiais poliméricos. Inicia-se com os termoplásticos, divididos entre amorfos e semi-cristalinos, os únicos que podem ser processados repetidamente e reciclados. Também se abordam os elastómeros, materiais poliméricos que apresentam um elevado grau de flexibilidade. Por último, são descritas algumas características dos termoplásticos elastoméricos (TPE), que como o próprio nome indica, são materiais que apresentam características comuns aos dois tipos de materiais referidos anteriormente. Existem vários tipos de TPE, todavia apenas se aborda mais em detalhe, o termoplástico elastomérico de estireno (TPS) e o de uretano (TPU). Na Figura 3 é apresentado um esquema dos diferentes tipos de polímeros existentes, incluindo também, os TPE.

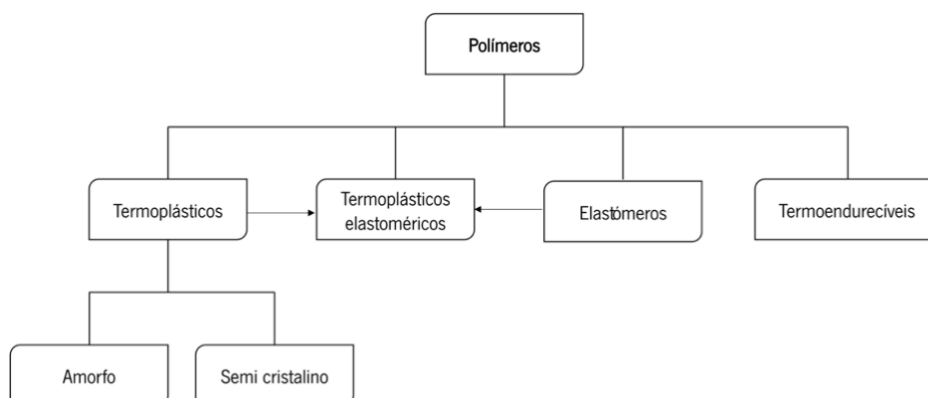


Figura 3. Classificação dos polímeros

2.2.1 Termoplásticos

Os termoplásticos são constituídos por macromoléculas de cadeia linear ou ramificada que fundem quando aquecidos acima do seu ponto de fusão, no caso de polímeros semi-cristalinos, ou amolecem até líquido viscoso, no caso de polímeros amorfos, solidificando de novo quando arrefecidos. Possuem a possibilidade de suportar vários ciclos térmicos, podendo ser reaquecidos, fundidos e arrefecidos para solidificar de novo. Com isto, os termoplásticos podem ser processados repetidamente, podendo ser reciclados para obter novos produtos. De notar que pode haver degradação de propriedades com este processo [14].

Os termoplásticos amorfos são constituídos por macromoléculas distribuídas aleatoriamente no espaço, sem organização molecular. No estado sólido apresentam estabilidade dimensional, sendo relativamente pouco suscetíveis a fenómenos viscoelásticos, como fluência ou a relaxação de tensões. Os termoplásticos semi-cristalinos apresentam duas fases, uma fase amorfa constituída por moléculas distribuídas aleatoriamente, combinada com uma fase cristalina constituída por regiões de organização molecular, as esferulites. Quanto maior a organização molecular do polímero, maior o seu grau de cristalinidade [15].

2.2.2 Elastómeros

Os elastómeros, também conhecidos como borrachas, são materiais que são constituídos por cadeias poliméricas longas ligadas entre si por ligações covalentes, com baixa densidade de reticulação. Ao serem sintetizados, estes polímeros são fundamentalmente um líquido com uma massa molecular elevada, com baixa elasticidade e deformáveis. Estes materiais são sujeitos a um processo denominado de vulcanização ou cura, no qual são formadas ligações covalentes entre as cadeias de polímeros, formando uma rede, transformando o material viscoso num material elástico e sólido. Com este processo, os elastómeros têm características únicas como o elevado grau de flexibilidade, mostrando uma elevada deformabilidade quando sujeito a uma tensão externa, recuperando a sua forma original após libertado da tensão [16][17].

2.2.3 Termoplásticos elastoméricos (TPE)

Os TPE foram introduzidos no mercado para resolver alguns problemas das borrachas vulcanizadas convencionais, nomeadamente, no seu processamento (mais eficiente e simplificado, exequível em diferentes tipos de moldação, menores tempos de ciclo, reprodutibilidade com maiores velocidades de automação), na capacidade de reprocessamento e na repetibilidade das tolerâncias dimensionais [16]. Porém, estes materiais também apresentam algumas desvantagens como o custo/investimento económico do próprio material e dos seus equipamentos e a necessidade de secagem da maioria destes polímeros. Podem ser categorizados através de propriedades como a dureza, a resistência à abrasão, o desgaste, entre outros. A dureza é a medida convencional, classificada em Shore A ou Shore D [18]. A Figura 4, compara esta propriedade dos TPE comerciais com os termoplásticos e as borrachas convencionais.

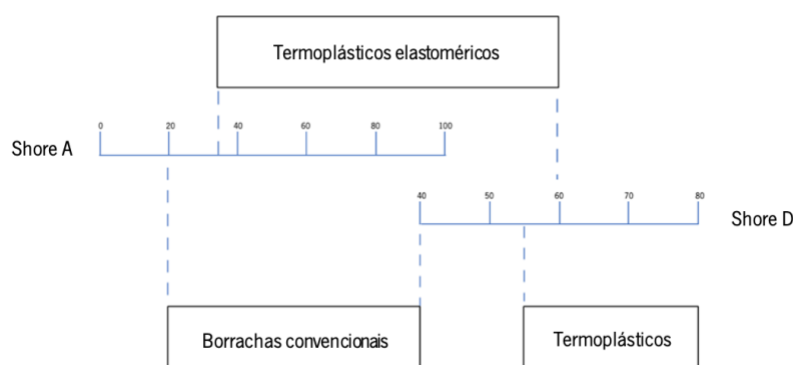


Figura 4. Comparação dos intervalos de dureza dos TPE com os restantes polímeros (retirado e adaptado de [19])

A Figura 5 representa esquematicamente a classificação dos termoplásticos elastoméricos comerciais. A variedade de categorias desta matéria-prima é dividida, simplificada, em duas partes: em copolímeros em blocos, ilustrada no lado esquerdo da figura, exibindo no estado sólido uma morfologia baseada em segmentos rígidos (domínio termoplástico) e segmentos flexíveis (domínio elastomérico) que se interpenetram; e em combinações poliméricas termoplásticas/elastoméricas, ilustrada no lado direito, exibindo neste caso, uma morfologia que facilmente se distingue duas fases distintas: a termoplástica e a elastomérica. A morfologia e a estrutura química dos TPE definem a sua classificação, afetando criticamente a sua processabilidade, as suas propriedades e a sua performance funcional [19].

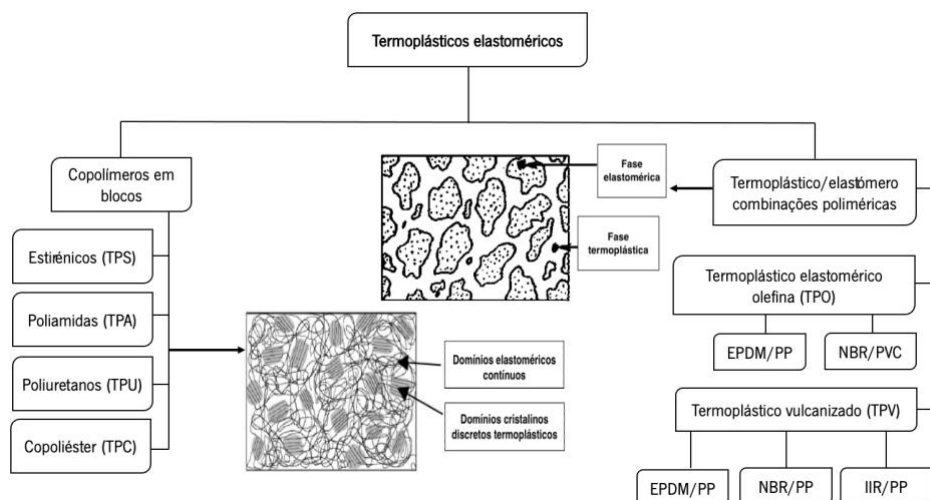


Figura 5. Classificação dos termoplásticos elastoméricos comercializados (retirado e adaptado de [19][20])

O crescimento de utilização deste material é notável. As aplicações que usufruem das características deste polímero são vastas e são poucas as indústrias que atualmente não utilizam este tipo de material [20]. Acerca dos processos de produção, os TPE podem ser utilizados em aplicações que requerem a junção de componentes com várias partes não metálicas, incluindo outros termoplásticos no molde, obtendo partes moldadas combinando componentes rígidos e componentes flexíveis. Usualmente, o substrato rígido (parte moldada) é moldado primeiro e, consecutivamente, é injetado um componente flexível. Os fatores para uma boa adesão destas partes são a afinidade química (adesão), a existência de uma potencial ancoragem mecânica ao substrato e a ordem de processamento dos diferentes materiais. Adicionalmente, os TPE podem ser utilizados como aditivo em polímeros, sendo um segundo conceito da sua utilização. No geral, têm de ser quimicamente compatíveis ou modificados de modo a exibir a característica de compatibilidade. Podem oferecer atributos de melhoria de características no material modificado nomeadamente na dureza, adesão, resistência mecânica e térmica, entre outros [20].

i. Termoplásticos elastoméricos de estireno (TPS)

O consumo global dos termoplásticos elastoméricos com base de estireno está em crescimento, e de todos os tipos de TPE, estes são os mais requisitados. Versatilidade, bons e variados valores de intervalos de dureza, altos valores de tensão e módulo, baixo custo são algumas das vantagens deste material [21][22]. Singularmente, este tipo de TPE são conhecidos SBC (copolímeros em blocos com base em estireno). Contêm, nos blocos laterais, o termoplástico estireno (uma maior proporção de estireno torna o copolímero mais rígido)

[16] e, nos blocos centrais, a unidade de polidieno, que concede as propriedades elastoméricas.

Na Figura 6, estão representadas as estruturas químicas comercialmente mais comuns. É importante realçar que a estrutura química do TPS utilizada neste estudo foi o bloco de estireno etileno butileno (SEBS).

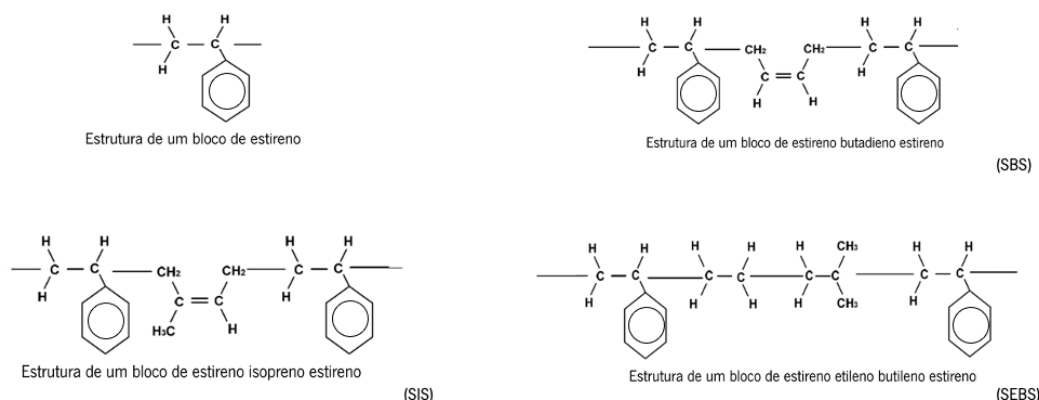


Figura 6. Estrutura química dos termoplásticos elastoméricos com base de estireno (retirado e adaptado de [23][21])

A morfologia deste tipo de TPE inclui dois domínios – o termoplástico sendo a base em estireno, com uma temperatura de transição vítrea de 90°C e o domínio elastomérico, como o butadieno, isopreno e o etileno butileno. No que concerne aos blocos de butadieno (SBS) e isopreno (SIS), estes copolímeros são insaturados contendo uma ligação dupla em cada unidade repetitiva, tornando a porção de borracha suscetível a oxidação e a ataques de ozono. Isto limita a utilização destes polímeros para aplicações onde se utilizam temperaturas de processamento abaixo de 70°C [20].

Por outro lado, os copolímeros de etileno butileno (SEBS), são obtidos pela hidrogenação do SBS, no qual este processo retira a insaturação típica dos componentes de butadieno (ligações duplas carbono carbono são saturados com hidrogénio). Com isto, surge efeitos positivos na resistência térmica, radiação UV e degradação ambiental, mantendo o comportamento termoplástico. Além disso, permite o seu processamento a temperaturas mais elevadas e origina produtos com maior resistência à tração que o SBS [16][24]. Por causa da hidrogenação do SEBS, também exibe uma maior resistência à degradação, porém demonstra degradação à oxidação e consequentemente a cisão de moléculas [25].

A adesão é uma propriedade importante quando os termoplásticos elastoméricos são sobremoldados a um substrato ou quando existem dois materiais numa só peça.

Particularmente, os TPE estirénicos têm excelente adesão nos casos em que a polaridade do substrato é semelhante [20].

As aplicações deste tipo de materiais são diferenciadas pelo tipo de polidieno. No caso do SBS é utilizado em cabos de escova de dentes, objetos de desporto, etc. No caso do SEBS, em conetores elétricos, em isolamento de cabos, a proteção do airbag, acabamentos interiores e exteriores de automóveis, cabos de ferramentas, entre outros [20].

ii. Termoplásticos elastoméricos de uretano (TPU)

Os TPU são classificados como copolímeros lineares segmentados em blocos alternados em segmentos rígidos (HS) e segmentos flexíveis (SS), como é apresentada na Figura 7.

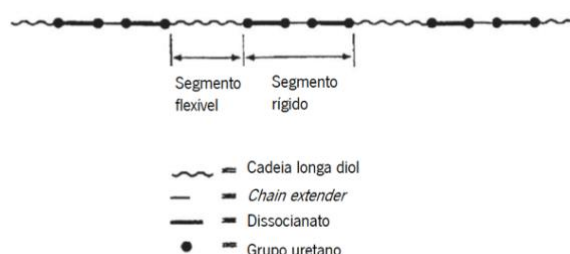


Figura 7. Representação esquemática do TPU composto por dissocianato, cadeia longa diol e *chain extender* (retirado e adaptado de [16])

O HS é formado com a adição de um *chain extender*, tal como um 1,4 butanodiol (BDO) com um dissocianato. Fundamentalmente, este tipo de TPE é resultado de uma reação exotérmica entre poliisocianatos com moléculas contendo polioliol (grupos hidroxilo, -OH). Os dissocianatos são moléculas que contêm dois grupos isocianato. Na produção de poliuretanos são maioritariamente utilizados dois tipos, nomeadamente, os aromáticos e os alifáticos. Os mais requisitados e utilizados para este tipo de TPE são os isocianatos aromáticos (contêm anéis aromáticos na sua estrutura química), nomeadamente, o 4,4' metileno difenil dissocianato (MDI) e o tolueno dissocianato (TDI) [26]. Este segmento é o fator que determina a maioria das propriedades no poliuretano resultante, tal como a dureza, o módulo, a resistência ao rasgo e no uso de maiores temperaturas de processamento.

O SS consiste numa cadeia flexível de poliéster ou de poliéter que liga aos dois segmentos rígidos, onde a proporção deste segmento no TPU determina a elasticidade do material e as propriedades a baixa temperatura [16]. Boa resistência à hidrólise, elevada resiliência e boas propriedades a baixas temperaturas são as características principais dos

poliéteres. A outra classe, a cadeia flexível de poliéster, exibe boa resistência a óleos e solventes, elevada resistência à abrasão, corte e rasgamento [19].

Na Figura 8, encontra-se a estrutura química de um TPU poliéster contendo ácido adípico, onde são ligados os polióis poliésteres e com o *chain extender* (1,4 BDO), e na parte rígida, o isocianato aromático (MDI) com o *chain extender* (1,4, BDO). Ou seja, os termoplásticos elastoméricos de uretano são usualmente produzidos com MDI reagindo com o poliéter ou o poliéster linear diol e com um *chain extender* diol de baixo peso molecular [27]. Entre os segmentos rígidos (HS) observa-se a formação de pontes de hidrogénio que mantêm a coesão das moléculas do polímero, proporcionando desempenhos mecânicos similares a elastómeros vulcanizados [28].

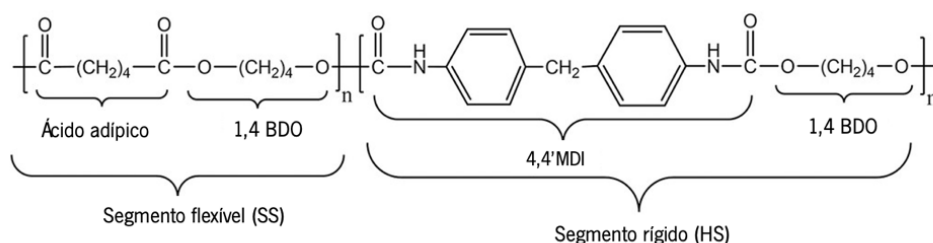


Figura 8. Estrutura química de um TPU de poliéster (retirado e adaptado de [29])

Geralmente, estes materiais em uretano, exibem elevada resistência à tração e deformação, uma excecional resistência ao rasgamento e abrasão, boa resistência à oxidação, ao ozono e à degradação ambiental, onde as propriedades de cada material são dependentes do rácio HS/SS e do tipo de SS [16].

Conforme Xie *et al.* [30] os poliuretanos apresentam elevada resistência à hidrólise, porém quando a humidade penetra no TPU, esta decompõe o segmento flexível, reduzindo as propriedades físicas e mecânicas, nomeadamente, a resistência à tração, deformação e módulo de Young, comprometendo o seu desempenho.

Os TPU são utilizados em várias indústrias e em várias aplicações como em tubos pneumáticos para passagem de ar comprimido [31], painéis de instrumentos de automóveis, em equipamentos médicos, em calçado, entre outras. Relativamente à adesão, os TPE têm que ter uma boa afinidade química para aderir aos diferentes materiais, sendo que o TPU apresenta uma boa adesão a vários termoplásticos incluindo o PC, PC/ABS, ABS, PVC, excluindo as poliolefinas [16], exibindo a possibilidade de ser sujeito a pintura [31].

No Anexo I, encontram-se em tabela comparações em intervalos gerais de algumas propriedades e parâmetros de moldação por injeção, respetivamente, dos termoplásticos elastoméricos de estireno e de uretano.

2.3 Misturas

Os polímeros podem ser misturados com aditivos e reforços, de modo a aumentar um conjunto de propriedades na mistura final. Outro método para obter compósitos finais com propriedades alargadas e melhoradas é a mistura de diferentes polímeros. Esta última é uma prática realizada há vários anos, sendo uma área de grande investigação e de grande ímpeto comercial, visto que são várias as possibilidades de combinação devido à diversidade de materiais que é possível combinar. A mistura de polímeros distintos é a forma mais barata e versátil de obtenção de novos compósitos/misturas, uma vez que a síntese de novos polímeros é um processo caro e difícil [32], obtendo assim materiais de acordo com as características requeridas.

Relativamente à mistura em si, a combinação dos materiais é realizada quando estes estão no estado fundido [33]. Com o recurso a uma extrusora duplo fuso, impõe à mistura uma melhor homogeneização, onde os fusos duplos giram na mesma direção ou em direções opostas, causando tensões de corte baixas durante a plasticização [23]. Durante a mistura dos polímeros fundidos o efeito alcançado pode ser o de mistura dispersiva e/ou de mistura distributiva. O primeiro tipo, define-se na redução de aglomerados líquidos ou sólidos, sujeitando-se a tensões de corte, de modo a serem reduzidos. Na mistura distributiva, permite aumentar a aleatoriedade da distribuição espacial sem reduzir o tamanho das partículas [34]. Fundamentalmente com estes dois tipos bem-sucedidos - uma melhor aleatoriedade na mistura e aglomerados reduzidos - a homogeneidade é alcançada. De notar que, uma má homogeneização resulta em más propriedades, reduzindo características mecânicas e qualidade superficial.

Quanto à sua classificação [15], representada na Figura 9, esta depende das interações entre os polímeros que se misturam. As misturas imiscíveis apresentam valores de T_g referentes a cada polímero individual, apresentando mais que uma fase e não há mistura entre componentes, podendo ser dispersa em matriz contínua ou em matriz co contínua. Contrariamente, se a mistura for miscível, o valor de T_g é único, apresentando uma única fase

[35]. Uma mistura compatível é imiscível exibindo macroscopicamente boas propriedades físicas. Estas propriedades são causadas por interações suficiente fortes entre os componentes poliméricos. A miscibilidade é diferenciada pelo valor da entalpia da mistura, onde o comportamento da mistura é diferente para cada polímero. As interações dos componentes são as responsáveis pelos diferentes comportamentos, podendo ser de natureza distinta, tais como as interações dipolo-dipolo, iónicas ou ligações de hidrogénio [36].

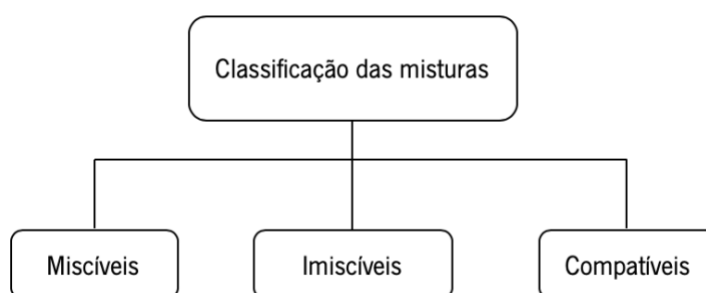


Figura 9. Classificação das misturas

Além da miscibilidade, outra propriedade é a compatibilidade que é definida pela magnitude da tensão interfacial (das duas fases moleculares) entre os dois materiais. Idealmente, quando a tensão interfacial é zero, os dois polímeros dissolvem-se entre eles e quando a tensão aumenta, os dois materiais tornam-se imiscíveis, num senso termodinâmico. Relativamente à polaridade, quanto maior for a diferença desta característica nas unidades repetitivas maior é tensão interfacial.

Dentro deste tópico, apresentam-se algumas características da mistura de dois materiais amorfos o PC e o ABS, comparando as propriedades com estes materiais em separado. Além disso, discutem-se os efeitos em algumas propriedades do PC/ABS quando é incorporado pequenas percentagens de TPS e de TPU.

2.3.1 Termoplástico PC/ABS

Um exemplo de uma mistura bem-sucedida é a junção do polycarbonato com o copolímero de ABS. Relativamente às propriedades individuais destes termoplásticos de engenharia, o PC, apresentada a estrutura molecular indicada na Figura 10, é caracterizado

pela elevada resistência ao impacto, estabilidade dimensional e pelo módulo de elasticidade elevado porém é difícil de processar [32].

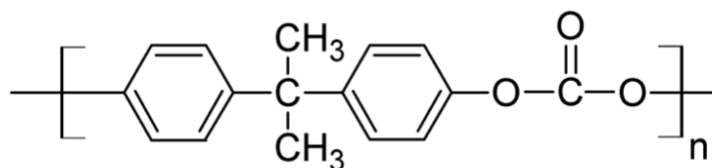


Figura 10. Estrutura molecular do PC (retirado de [37])

O ABS, com a estrutura química representada na Figura 11, é também um termoplástico de engenharia amorfo que, além de ter custo relativamente baixo, apresenta um grande leque de propriedades interessantes. É constituído por butadieno, que fornece uma boa absorção da energia de impacto, por acrolonitrilo (AN), com elevada resistência mecânica e excelente brilho, e a componente estirénica que o converte num material fácil de processar e rígido devido à sua baixa contração. O copolímero constituído por estireno e AN, vulgarmente denominado por SAN, é também um copolímero comum e com excelentes propriedades [15][38].

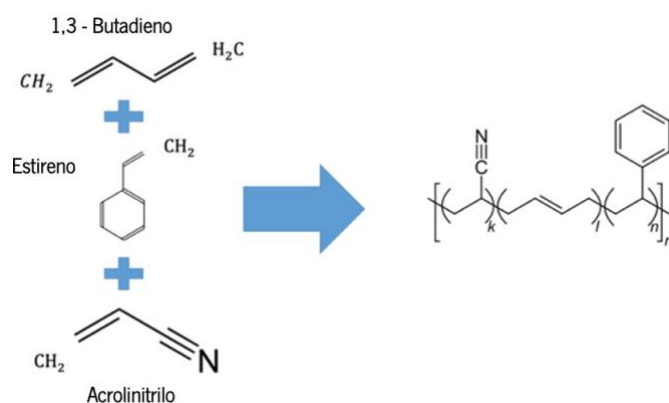


Figura 11. Estrutura molecular do ABS (retirado e adaptado [39])

Assim, ao misturar estes dois polímeros, ultrapassa-se o difícil processamento do PC, obtendo um material fácil de processar, com elevada resistência ao impacto mesmo a baixas temperaturas, elevada *HDT* (*heat deflection temperature*), elevada rigidez, elevada estabilidade dimensional proveniente do PC, ótima resistência a solventes e químicos e uma excelente deposição (*plating*) derivado ao butadieno do ABS [32]. Porém, nem tudo é positivo, uma vez que com a adição de ABS no PC, algumas propriedades mecânicas decaem, especialmente a deformação e o impacto, comparando os valores da mistura com os polímeros individuais. Este decréscimo pode ser atribuído à baixa adesão das fases

poliméricas, revelando uma incompatibilidade do PC/ABS [40]. Esta baixa adesão resulta do facto da mistura ser imiscível ou apenas parcialmente miscível, [36] onde as duas fases se segregam mutuamente. Por isso, observam-se dois valores de T_g distintos, com o aumento da percentagem de PC [35].

Esta mistura polimérica é muito utilizada e encontra-se em vários produtos de várias indústrias, nomeadamente, no setor automóvel, elétrico, em aplicações domésticas e de lazer. As suas aplicações vão desde os vários objetos que se encontram no interior de automóveis como os painéis de instrumentos, sistemas de ventilação e emblemas, a outras aplicações como revestimentos de colunas, caixas de primeiros socorros, aspiradores de pó, etc. [32].

2.3.2 Influência das propriedades do PC/ABS com a incorporação de TPS

Uma das características dos TPE é a sua utilização como aditivo em polímeros, exercendo os papéis de modificador de impacto e/ou de compatibilizador [23]. Assim, os copolímeros em bloco de base de estireno (SBC), podem ser utilizados em formulações para melhorar a resistência ao impacto e propriedades de adesão dos polímeros, como componente menor na mistura [41]. Geralmente, as propriedades mecânicas dos polímeros imiscíveis, sem compatibilizadores são fracas, pelo facto de existir baixa adesão, uma vez que a tensão interfacial é elevada. Assim, ao serem misturados com outros polímeros, os SBC podem ser utilizados como compatibilizadores, podendo melhorar a adesão entre dois polímeros incompatíveis [16] e, uma vez que a mistura PC/ABS é parcialmente miscível, foram conduzidos alguns estudos com diferentes compatibilizadores.

Como explicado no ponto 2.2.3i.), a unidade repetitiva do TPS é de estireno, nos blocos laterais, e a unidade de polidieno nos blocos centrais. Quando os TPS são misturados no PC/ABS são verificadas modificações nas propriedades nos polímeros resultantes. *M. Taşdemir and Ş. Karatop* [42] verificaram que a mistura com um TPS com blocos centrais de isopreno (SIS), reduziram propriedades mecânicas, porém a resistência ao impacto e os valores de deformação aumentaram. Outro estudo, *M. Taşdemir* [43] verificou que a junção de PC/ABS com um TPS com blocos centrais de butileno (SBS), os polímeros resultantes apresentaram um comportamento cada vez mais elástico, ou seja, com a crescente adição destes materiais no PC/ABS o material tornou-se mais deformável [43]. Relativamente à unidade repetitiva de etileno-butileno (SEBS) mas para a mistura PC/SAN [44], a deformação

e a resistência ao impacto também aumentaram com a crescente adição deste copolímero (valor máximo quando a mistura continha 7%), porém, tal como nos outros casos, a resistência à tração diminuiu. Além disso, nos ensaios térmicos é referido que a T_g do PC diminuía, sugerindo uma pior compatibilidade com o aumento de SEBS.

Para o caso da mistura de SEBS com PC/ABS [40], os resultados gerais são semelhantes aos referidos anteriormente, concluindo que o valor de 1% apresenta melhores resultados. Isto porque, com conteúdo em massa acima de 1% do copolímero na mistura, a resistência à tração e o módulo de Young diminuíram devido ao baixo módulo e a grande deformabilidade do SEBS; com 1% e 3% do copolímero, a deformação é significativamente melhorada, porém com 5% a propriedade decai, presumindo que, como se utiliza uma quantidade maior de SEBS, este separa-se da interface formando outra interface, atuando como um concentrador de tensão; relativamente à resistência ao impacto, os resultados são melhorados com a incorporação de 1%, todavia, não se sucede para percentagens maiores.

2.3.3 Influência das propriedades do PC/ABS com a incorporação de TPU

A mistura de polímeros com outros polímeros é um método útil e os TPU são cada vez mais utilizados como modificadores em diferentes termoplásticos e elastómeros. A mistura de TPU com ABS é comercializada e foi produzida no sentido de fornecer características dos dois materiais num só, como a dureza, a capacidade de pintar associada ao TPU, a sua resistência de impacto a baixa temperatura e a adequada HDT do ABS. A característica principal desta mistura é a resistência ao impacto até aos -40°C . O TPU melhora propriedades relativas à resistência à abrasão, resistência química e rigidez. Além disso, a mistura apresenta boa processabilidade, dureza intermédia (entre o TPU e o ABS), elevada flexibilidade, excelente aparência, elevada resistência química, entre outros. [45].

Analogamente, o outro termoplástico a referir é o policarbonato (PC), um importante plástico de engenharia. A junção em baixos teores de TPU (3-25%) em PC, pode funcionar como modificador de impacto, melhorando esta propriedade. Além disso, a adição de TPU neste termoplástico exibiu excelentes propriedades de processamento, com interesse para aplicações do setor automóvel [45]. Até 10% de teor de TPU [46], a mistura apresentou apenas uma fase simples, evidenciando a sua miscibilidade e reduziu a temperatura de transição vítrea do PC até 30°C . Esta miscibilidade pode resultar das fortes interações dos seus

constituintes, provavelmente da formação de ligações de hidrogénio entre os grupos de carbonato e de uretano. Abordando as propriedades mecânicas [47], com o aumento de 10% a 30% de TPU, a resistência à tração, o módulo de Young, a resistência e o módulo à flexão, a dureza, a resistência a abrasão e o HDT diminuíram. A deformação foi a propriedade mecânica que foi estudada que aumentou. Termicamente, a temperatura transição vítrea também diminuiu.

Por fim, *D. N. de Almeida et al.* estudaram a incorporação de TPU em PC/ABS reciclado [31]. No ensaio da medição do índice de fluidez das composições resultantes, observou-se uma diminuição da viscosidade com a incorporação, (resposta do carácter elastomérico do TPU) prejudicando a dureza do PC/ABS, ou seja, com o a diminuição da viscosidade, resulta em piores resultados na dureza. Relativamente às propriedades mecânicas, o módulo de elasticidade, a elongação e a resistência à tração mantiveram-se constantes com o aumento de incorporação de TPU até 8%, porém a deformação à rotura, exibiu um máximo nos 3%. Adicionalmente, a resistência ao impacto aumentou, obtendo um máximo nos 5%. Termicamente, resultados provenientes do DSC, mostraram que com o aumento do teor do TPU, a temperatura de transição vítrea (T_g) diminui.

2.4 Reciclagem Primária

Com o intuito de estruturar uma economia circular é indispensável a incorporação da reciclagem em todos os processos que o permitam. Em particular para o processo de moldação por injeção esta ação acrescenta lucros, uma vez que aproveita o desperdício proveniente deste processo, nomeadamente o aproveitamento do jito e do sistema de alimentação de um sistema multi cavidade, que pode representar mais de 50% do material utilizado [11]. Ao integrar esta estratégia preserva-se o ambiente, reduzindo o consumo de matéria prima virgem e a produção de resíduos.

Embora existam diferentes tipos de reciclagem que pode ser realizada dentro de quatro tipologias genéricas, já tendo sido mencionados anteriormente, o primeiro alvo de investigação é a reciclagem primária/mecânica, representada esquematicamente na Figura 12. Este tipo de reciclagem aproveita materiais não contaminados e não misturados, oriundos de desperdícios causados dos processos da indústria transformadora. Reunidas estas

combinações, pode-se produzir produtos com qualidade equivalente a produtos originados de material virgem [8].

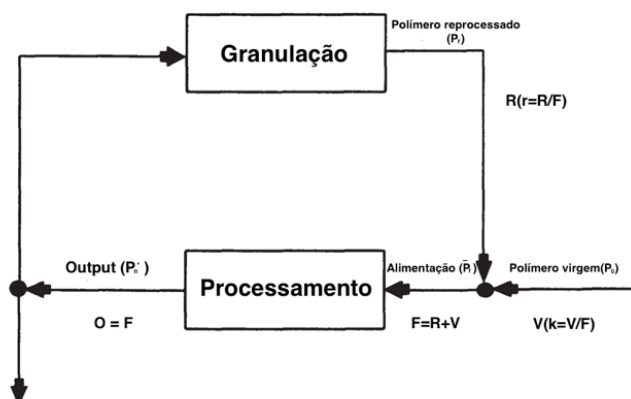


Figura 12. Esquema representativo da reciclagem primária (retirado e adaptado de [11])

A Figura 12 é uma representação de um ciclo contínuo de reciclagem e da constituição do material reprocessado com o número de ciclos que o material é processado e granulado, como também as suas características. Na Figura 12 as letras R, V, F e O representam, respetivamente, o material reprocessado, o material virgem, o fluxo de alimentação e de saída e as letras P_r , P_o , $\bar{P}_n$ e P_n^* as propriedades correspondentes. As frações $k = V/F$ e $r = R/F$ são frações de material virgem e reprocessado, respetivamente, associadas através do balanço material $F = R + V$ [11].

Os processos contínuos de transformação do plástico, como a moldação por injeção, transformam a matéria prima num produto replicado pelas cavidades do molde. Para isso, sujeita os termoplásticos no estado fundido a processos de deformação a temperatura relativamente elevada, a transferências de calor, a modificações na sua estrutura molecular e, simultaneamente, nas suas propriedades. Ou seja, quando os termoplásticos se sujeitam a vários ciclos de processamento, inevitavelmente sofrem degradação das propriedades provenientes da repetição de fenómenos térmicos, mecânicos e oxidativos [11]. Consequentemente, o polímero pode manifestar alterações na morfologia, propriedades mecânicas reduzidas, a tonalidade/cor do plástico e a alterações na sua viscosidade.

Assim, é de interesse para este estudo conhecer os efeitos do reprocessamento sobre as propriedades dos polímeros, tanto da mistura PC/ABS como dos seus componentes individuais e dos termoplásticos elastoméricos de estireno e de uretano, com os sucessivos ciclos de reprocessamento.

2.4.1 Efeitos da degradação no ABS

O ABS é um polímero comumente utilizado em várias indústrias pelo facto de aliar um bom preço para as suas características, tornando este polímero muito requisitado. Todavia, a sua grande utilização em diferentes mercados, inevitavelmente cria desperdícios e, com conhecimento, pode ser reaproveitado e utilizado nas mesmas ou em outras aplicações.

É sabido que alterações na estrutura química dos polímeros podem resultar em alterações na massa molecular, grau de cristalinidade e propriedades mecânicas [48]. Muitos autores referem que uma das principais causas da degradação do ABS pode estar relacionada com o componente polibutadieno [35][49][50]. Adicionalmente, outro fator para a degradação pode ser a perda de moléculas mais pequenas e mais voláteis [49]. O butadieno é o componente responsável por fornecer ao ABS a resistência do impacto. Porém, sendo também o componente mais afetado pelo reprocessamento, a propriedade do impacto é a que mais se deteriora [41]–[45].

O ABS é suscetível a degradação termo-oxidativa quando sujeito a temperaturas elevadas, esforços mecânicos e radiação UV ou ionização na presença de oxigénio, devido à formação de radicais livres ou hidroperóxidos. O polímero pode tornar-se mais escuro devido à degradação oxidativa do polibutadieno [54]–[58].

Para transformar o ABS reciclado em material para aplicações de alto valor, duas estratégias são recorrentemente utilizadas: a adição de aditivos de impacto para melhorar as propriedades mecânicas e a adição de percentagens adequadas de material reciclado ao material virgem para obter uma mistura com propriedades semelhantes ao polímero virgem [48].

2.4.2 Efeitos da degradação no PC

O aproveitamento do policarbonato é viável porque inclui um leque de características variadas a custos moderados. Este polímero é altamente sensível à presença de água e oxigénio, onde sofre degradação termo-oxidativa e química. Como consequência, o peso molecular diminui [44]–[47][54] indicando que, predominantemente, existe cisão de moléculas levando a uma deterioração de propriedades como a resistência à tração [51] e de impacto [51][55]. Este processo torna-se mais severo com os sucessivos reprocessamentos [53].

Num estudo do reprocessamento do PC até 10 ciclos [56], observou-se uma pequena redução da temperatura de transição vítrea e da temperatura de degradação inicial. Relativamente aos ensaios mecânicos, o módulo de elasticidade e a resistência à tração não foram afetados até ao sétimo ciclo, porém a resistência ao impacto diminuiu acentuadamente. Estas reduções podem ser respondidas pelas reações de quebra de cadeias originadas pelas tensões de corte e degradação térmica.

Bernardo et al. [53] mostraram que o peso molecular do PC desumidificado diminui com o número de ciclos, afetando as propriedades mecânicas. Adicionalmente, este estudo foi conduzido com a presença de fibras de reforço o que se conclui que aumenta a degradação molecular com o reprocessamento.

De modo a combater a perda de propriedades, é recorrida à adição de aditivos específicos ou de material virgem dependendo da aplicação do produto e da especificidade das propriedades.

2.4.3 Efeitos da degradação na mistura PC/ABS

A mistura PC/ABS é largamente utilizada em várias aplicações, nomeadamente, em indústrias como a automóvel, a eletrónica, entre outras. De facto, esta mistura é cada vez mais utilizada em diferentes produtos e em larga escala e, por isso, reciclar e reutilizar este material desperdiçado é vantajoso numa perspetiva económica e ambiental.

Como previamente referido, quando o PC e o ABS são sujeitos a sucessivos ciclos de processamento podem sofrer reduções no peso molecular (cisão molecular), logo visíveis com 1 ciclo de processamento [51] [57] e consequentemente, a redução e alteração das suas propriedades. Nesta mistura, a componente elastomérica do ABS, o butadieno, é a mais sensível ao processo termo-oxidativo, promovendo o decréscimo das características mecânicas [35]. A resistência ao impacto é uma das propriedades a que o butadieno é sensível e, ao sofrer oxidação, os valores decrescem com o aumento do número de ciclos[51][57]. Porém, em [51], esta propriedade manteve-se inalterada até ao 3º ciclo. Além disso, as propriedades da ductilidade e da tensão de rotura são alteradas negativamente, reduzindo os seus valores com o aumento do número de ciclos [51] [57].

De modo a manter as propriedades do material reciclado é usual e vantajoso a adição de material virgem. *Medon* [54] estudou o reprocessamento do PC/ABS com a adição de 25%

de material reciclado. Com 25% de PC/ABS reciclado, as propriedades óticas (brilho), as propriedades mecânicas (resistência à tração e impacto) e MFI mantiveram-se inalteradas quando comparadas com o PC/ABS virgem.

2.4.4 Efeitos da degradação no TPS (SEBS)

Os termoplásticos elastoméricos são materiais que pelo facto de serem recicláveis, superam em alguns pontos as borrachas termoendurecíveis convencionais em vantagens económicas e principalmente ambientais. Isto acontece, uma vez que a reciclabilidade das borrachas convencionais é difícil, sendo normalmente tratadas como resíduo no seu fim de vida [20]. Dito isto, os TPE têm previsões de crescimento progressivo ao longo do tempo, principalmente os termoplásticos elastoméricos de estireno, pelo facto de serem mais baratos e de exibirem um leque de propriedades interessantes. Por isso, é necessário investigar a reciclabilidade destes materiais, visto que, são muito utilizados e altamente recicláveis. A fase elastomérica é considerada mais propensa a degradar, uma vez que a baixa T_g promove permeabilidade à difusão do oxigénio. Comparativamente aos outros SBC, os SEBS têm uma maior resistência face aos processos de degradação.

Juarez et al. [58] estudaram o reproprocessamento SEBS em cinco ciclos de processamento. Concluíram que o módulo de elasticidade e a resistência à tração (tensão e deformação) variou minimamente com tendência decrescente. Adicionalmente, a resistência ao impacto raramente variou.

Como já referido, uma das estratégias para manter o polímero com propriedades semelhantes ao polímero virgem é misturar uma certa percentagem de virgem no reciclado. Este valor é alterado consoante a morfologia do polímero, das condições de processamento a que foi sujeito e do nível das características pretendidas. Para os copolímeros estirénicos, um valor utilizado é de 25%. De notar que, tal como nos polímeros virgens, o material reciclado de copolímeros estirénicos têm de ser secos propriamente antes de serem processados [41].

2.4.5 Efeitos da degradação no TPU

O crescimento de mercado deste polímero é atribuído à ampliação do consumo e da procura de materiais de alta performance. Existe uma grande procura nos mercados automobilísticos e médicos lado a lado com países como o China, Índia, entre outros. A

dimensão de mercado do TPU é estimado em 2.5 mil milhões de dólares em 2019 e é projetado um aumento em 3.5 mil milhões para 2024 [59].

Por um lado, vem o crescimento e, por outro, o desperdício. Assim, com as características excelentes que este material proporciona às suas aplicações é indispensável ter conhecimento das características quando este é sujeito ao reprocessamento, implementando a circulação deste material.

Relativamente à degradação [28], [30], o TPU é suscetível à degradação por mecanismos de oxidação, hidrólise, solicitações mecânicas, variação térmica, entre outros. Estes mecanismos desenrolam reações que levam à perda de propriedades como elasticidade[60], resistência à tração[60], tensão de rotura[60] e cor. Além disso, temperaturas elevadas, exposições acentuadas à radiação UV e exigências mecânicas podem alterar as estruturas químicas do TPU. Com 1 ciclo de reprocessamento, as propriedades mecânicas não variaram significativamente [60], porém ao ser reprocessado 4 vezes a deformação foi a propriedade que teve uma maior queda. Não obstante, as propriedades restantes do ensaio de tração também diminuiram.

De igual modo, comparado com os termoplásticos e o TPS, o TPU pode ser misturado com material virgem para manter propriedades. A percentagem recomendada pelo fornecedor, de modo a manter as mesmas propriedades, é a mistura de 30% de reciclado ao material virgem [61]. Como os SBC, os TPU têm de ser secos antes da sua utilização.

2.5 Pintura de termoplásticos

A pintura é um processo que está alocado na indústria dos plásticos agindo como um agente de diferenciação de produtos, principalmente por razões estéticas (confere cor, brilho e/ou qualidade de superfície) apresentando peças em plástico com um melhor acabamento. Paralelamente, a adição de um revestimento, modifica as características da superfície servindo como uma barreira protetora, melhorando a resistência mecânica e química, a durabilidade e a abrasão. Do mesmo modo, com a pintura, os produtos ultrapassam algumas imperfeições provenientes da moldação por injeção, nomeadamente as linhas de soldadura, manchas da extração, pontos de ataque, etc.

Os processos de pintura que são utilizados na indústria dos revestimentos é a cura por radiação UV e o processo de pintura com cura térmica, sendo esta última a mais convencional.

A principal vantagem da cura UV comparativamente à cura térmica, é a redução das emissões dos compostos orgânicos voláteis (VOC's). É um processo complexo devido à existência de diversas variáveis inerentes ao processo, influenciando a aparência final do revestimento, designadamente fatores alusivos ao equipamento de aplicação, aos parâmetros de aplicação, ao *flash off* e cura, à tinta e ao substrato [62]. De notar que, o desempenho do revestimento e do substrato estão interligados, onde a escolha da formulação da tinta deve ser adequada a cada tipo de aplicação e, ao mesmo tempo, a escolha do polímero [63].

Na Figura 13 é exibida a diferença entre estes dois processos. Na cura térmica os componentes são secos termicamente em fornos de cura. As tintas deste processo são de água ou de base de solvente e, em altas temperaturas, estes componentes são evaporados formando um filme. Para o processo da pintura com cura UV, a cura da tinta é ocorrida em segundos, permitindo uma maior velocidade do processo. A tinta é endurecida quando exposta à radiação UV e a técnica fornece melhores propriedades ao produto final como a dureza, resistência química e ao risco, entre outras [63].

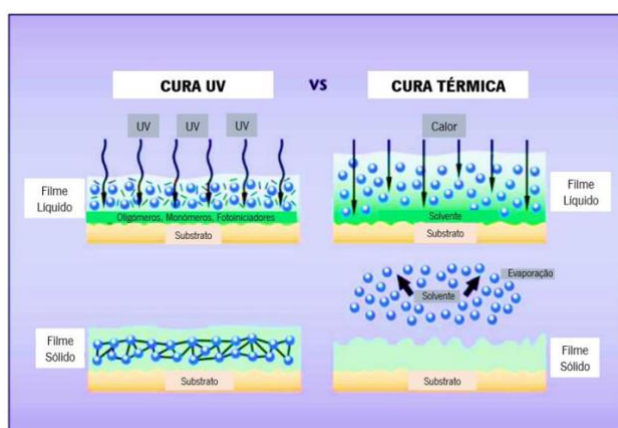


Figura 13. Pintura com cura UV e pintura com cura térmica (retirado de [63])

O processo de pintura com cura UV, requer tintas com formulações distintas das ditas convencionais, uma vez que contêm oligómeros, monómeros, fotoiniciadores e aditivos na sua constituição. Os oligómeros, contêm a maior expressão na formulação da tinta e são responsáveis pelas propriedades do filme. Os monómeros controlam a viscosidade da tinta, funcionando como diluente reativo. Os monómeros funcionais, além de controlar a viscosidade, promovem a reticulação, afetando as propriedades finais. Os fotoiniciadores são moléculas que absorvem a radiação UV, formando radicais livres, iniciando a reação de polimerização [63].

Posteriormente, apenas se abordará os fatores relacionados com o substrato, dado que é a única condição mutável no procedimento experimental desta dissertação, no que diz respeito à pintura. Assim sendo, na Figura 14 estão representadas as causas que podem influenciar a aparência final relativamente ao substrato.

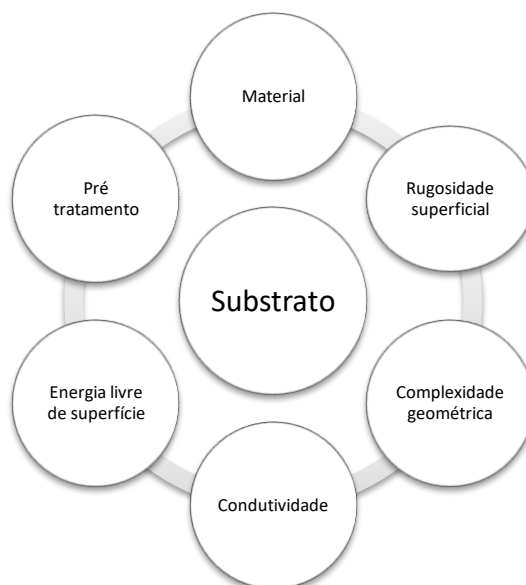


Figura 14. Variáveis relativas ao substrato a pintar

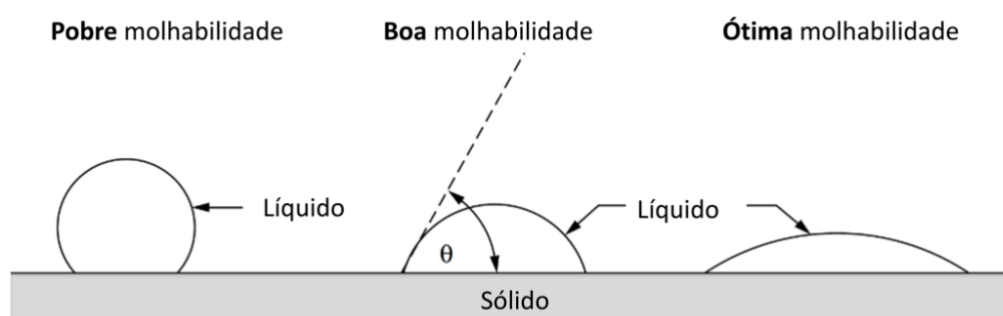
As características físico-químicas dos polímeros influenciam a qualidade da superfície designadamente as propriedades térmicas, a solubilidade, a estrutura e a polaridade. Estas propriedades podem não ser reconhecidas no momento de seleção de um material para pintar, resultando num produto resultante defeituoso. Além disso, fatores referentes ao processo da peça, nomeadamente, a marcas e linhas de fluxo, contaminações, agentes desmoldantes, cargas electrostáticas, entre outros, podem influenciar negativamente a qualidade superficial da peça [62].

Por vezes, os plásticos são direccionados para tratamento antes de serem pintados, eliminando contaminações. Paralelamente, os tratamentos têm como objetivo ativar a superfície do plástico, e dessa forma aumentar a intensidade das forças intermoleculares [54], aumentando a energia livre de superfície dos polímeros sólidos. Assim, visto que a adequabilidade dos materiais para serem revestidos é relacionada com o seu peso molecular e, fundamentalmente, com o valor da sua energia livre de superfície, alguns polímeros apresentam maior facilidade para serem revestidos que outros. Na Tabela 1 apresentam-se alguns valores de energia livre de superfície para diferentes substratos poliméricos.

Tabela 1. Energia livre de superfície de alguns substratos plásticos (retirado e adaptado [64])

Polímeros	Energia livre de superfície (mN/m)
ABS	34-38
PC	35
PS	33
LDPE	30
PP	28
PTFE	20

Idealmente, o substrato deve possuir uma elevada energia livre de superfície determinada pela intensidade das forças intermoleculares, possuir rugosidade superficial e uma boa compatibilidade química com o revestimento, de forma a promover a adesão [63]. Estas características podem ser traduzidas pela molhabilidade, representada na Figura 15. Esta representa a capacidade que um líquido possui para molhar a superfície, sendo uma característica diretamente relacionada com a energia livre de superfície onde a energia do sólido tem que ser maior que a do revestimento, ou seja, o ângulo de contacto tem que ser o menor possível, isto é, próximo do zero [63].

**Figura 15.** Ilustração dos vários níveis de molhabilidade (retirado e adaptado de [65])

A mistura PC/ABS apresenta uma elevada energia livre de superfície comparativamente a outros polímeros e, geralmente, uma boa compatibilidade com os revestimentos, evidenciando ser um material adequado para o processo de pintura. Sujeitando-se ao processo de reprocessamento, é de esperar que a massa molecular diminua com o número de ciclos. Com isto, a capacidade de ser molhado pela tinta é reduzida. *Medon* [54] estudou o reprocessamento do PC/ABS e do PC. Com a adição de 25% reciclado, o valor do ângulo de

contacto do PC/ABS aumentou 20%, porém com o recurso a testes apropriados com as normas do setor automóvel, revelou que as propriedades de adesão se mantiveram inalteradas. Concluiu que o aumento do ângulo de contacto do PC/ABS pode ser derivado à alteração da massa molecular.

2.5.1 Desempenho do revestimento

Como já mencionado, a indústria automóvel é um setor competitivo com normas rigorosas que garantem a manutenção da qualidade dos seus produtos para os clientes. Para evitar futuras falhas, são realizados testes representativos de condições de serviço e, neste caso, relativamente aos requisitos impostos ao processo da pintura. São divididos em duas partes, os requisitos visuais, como o brilho e a cor, e os requisitos mecânicos, como a resistência ao risco, diretamente definidos pelas camadas altas do revestimento. A outra parte é a avaliação da adesão entre revestimento e o substrato, sendo este último definido pelas camadas mais próximas do substrato, ou seja, a camada da interface.

i. Brilho

As propriedades óticas, tais como o brilho, têm um papel importante na peça uma vez que influencia a estética e a sua observação. Essencialmente, esta impressão visual é o resultado da luz ao atingir o revestimento da superfície, sem outras interações de outros constituintes do revestimento, para o olho do observador [62].

Esta propriedade resulta da capacidade de uma superfície refletir mais luz em numas direções do que noutras, ou seja, esta variação depende da rugosidade da superfície. Esta propriedade está ilustrada na Figura 16. Se a superfície for muito lisa, o acabamento será de alto brilho, comportando-se como um espelho, sendo a maior parte da luz refletida com o mesmo ângulo de incidência. Por outro lado, se a superfície for mais rugosa, a luz é difusa e é refletida em todas as direções, resultando num menor brilho [62]. Temperaturas inapropriadas de processamento ou regimes de arrefecimento, aditivos mal dispersos, acabamento do molde, entre outros, são alguns dos fatores que podem resultar em pobres acabamentos de superfície [23].

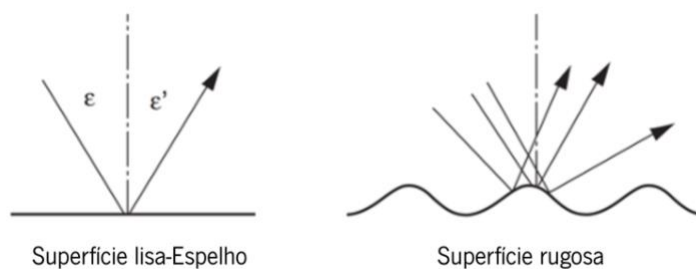


Figura 16. Reflexão da luz em diferentes superfícies (retirado e adaptado de [62])

ii. Resistência ao risco

Na prática, danos mecânicos no revestimento acontecem localmente na forma de riscos ou deformação resultante do impacto. Como consequência, as propriedades do revestimento podem ser deterioradas. Além disso, a adesão pode também ser perdida se a intensidade das forças externas transferidas ao longo do filme forem elevadas o suficiente [66].

De modo a quantificar a dureza do revestimento, o teste mais simples e facilmente realizado em ambiente industrial é a resistência ao risco. Consiste fundamentalmente, em riscar a superfície do componente contra a caneta “*Erichsen*” analisando se existiu a remoção de tinta.

iii. Adesão entre substrato e revestimento

A adesão é um fenômeno complexo dominado por efeitos físicos e reações químicas na interface, sendo regida por diversos mecanismos, designadamente a ligação mecânica, relacionada com rugosidade superficial, na qual explica que as moléculas da superfície do revestimento penetram em micro cavidades presentes na superfície do material polimérico; a atração eletrostática, que inclui a interação magnética entre o revestimento e o substrato; absorção física, onde as partículas presentes na superfície do revestimento são absorvidas pelo material polimérico; a interdifusão, que explica que as partículas da superfície dos revestimentos são difundidas por materiais poliméricos que contêm grupos polares reativos; e por ligações químicas, que como o próprio nome indica se refere à ligação química entre o substrato e o revestimento [65][67].

Procura-se, em várias aplicações de materiais poliméricos, a união de dois ou mais elementos para a criação de um produto final. A pintura e a adesão de revestimentos são algumas das aplicações que são necessárias para que este fenômeno seja bem sucedido.

Considerando um cenário onde o revestimento não possui adesão suficiente no substrato, a peça não terá boa qualidade. Assim sendo, é uma propriedade significativa no que toca a revestimentos, visto que, independentemente das características excelentes do revestimento, sem adesão adequada, as restantes propriedades são supérfluas [66].

Um revestimento, na sua essência, é um polímero com macromoléculas mais ou menos reticuladas com uma certa quantidade de pigmentos e cargas. Se o revestimento possuir uma rigidez e resistência menor que o substrato, uma fratura pode ocorrer no revestimento pela ação de uma força externa com intensidade suficiente. Uma falha coesiva pode ser consequente quando a fissura continuar até ao substrato, resultando na falha da adesão, definindo uma separação entre o substrato e o revestimento [66]. Uma falha coesiva pode ser de dois tipos, no revestimento ou no polímero. O primeiro caso ocorre quando a ligação entre os dois é mais forte do que a resistência do próprio revestimento. O outro caso, é quando a falha demonstra uma boa adesão entre o revestimento e o substrato, porém a matriz do polímero apresenta uma fraca resistência mecânica [67]. Este tipo de falhas está representado na Figura 17.

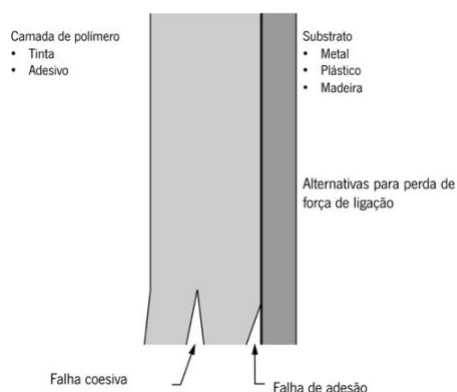


Figura 17. Tipos de falhas de adesão frequentes

Adicionalmente, a ligação entre substrato e revestimento pode falhar, por meio de fatores externos, que podem atuar em conjunto ou individualmente [66]. Na Figura 18, estão representados os três fatores possíveis para a falha da ligação podendo ser causas mecânicas, térmicas e químicas.

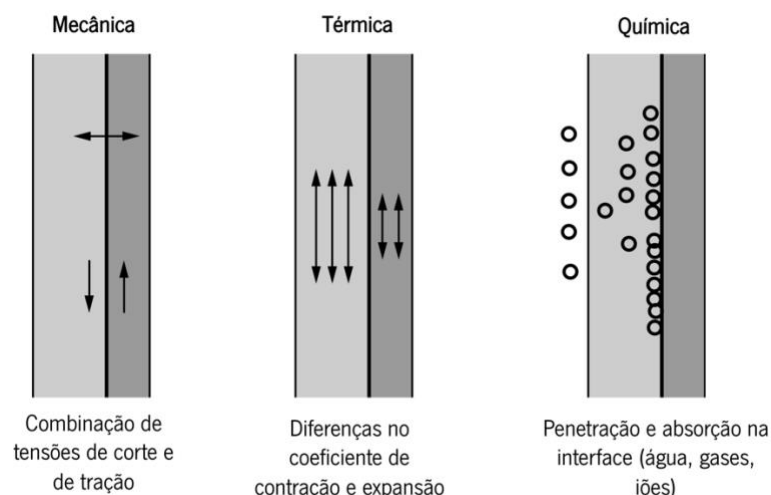


Figura 18. Causas possíveis para a falta de adesão entre um revestimento e substrato (retirado e adaptado de [59])

Relativamente às causas mecânicas, estas podem ser derivadas das condições do processo de transformação do substrato e do processo de pintura. Termicamente, na presença de mudanças de temperatura, por vezes, rapidamente, as diferenças no coeficiente de expansão do plástico e do recobrimento podem resultar em tensões na interface perdendo a força de ligação. Adicionalmente, uma das causas é a absorção de elementos químicos na interface [66].

De modo a avaliar a força de ligação e adesão dos revestimentos, um método fácil e rápido é com o recurso ao teste de *cross-cut*. É um método avaliado visualmente e qualitativamente, ou seja, é classificado por comparação de imagens. Com a utilização de uma ferramenta multi-corte, realizam-se um conjunto de cortes como representado na Figura 19 e, com recurso a uma fita adesiva “Tesa”, é analisado o descolamento, ou seja, a quantidade de flocos de tinta que se separam do substrato quando esta é retirada. Relativamente à indústria automóvel, como possui normas rígidas, é apenas aceite uma classificação até ao nível Gt1, ou seja, é aceite a remoção de lascas de tinta até 5% da área intersetada como se pode analisar na Figura 19.

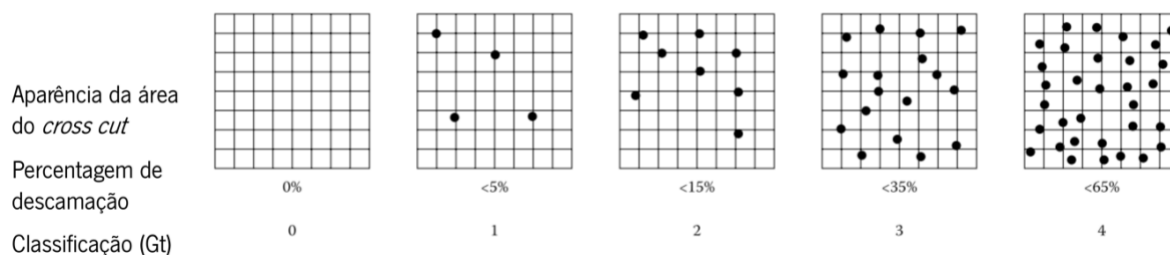


Figura 19. Princípios de avaliação da adesão do revestimento para o teste de *cross-cut* (retirado e adaptado de [65])

iv. Durabilidade / Envelhecimento

A durabilidade pode ser definida como a capacidade de um revestimento manter constantes as suas propriedades (ou a alteração destas num intervalo pré definido) quando é sujeito a fatores ambientais, químicos ou físicos, de curta ou de longa duração. As variáveis ambientais têm um efeito significativo na durabilidade da peça [68].

Assim, os testes servem para monitorizar a performance do sistema revestimento/substrato, de modo a simular as condições de serviço aquando o seu uso. Essencialmente, os testes podem ser executados para todos os tipos de tinta e as condições de serviço são definidas para que o processo de degradação do componente seja acelerado. Uma vez definidas, o teste prevê modos de falha possíveis, intensificando os efeitos de degradação num curto espaço de tempo.

Deste modo, os processos de degradação mais impactantes no revestimento são a exposição à radiação UV, humidade e temperatura. Estes processos resultam em alterações na estrutura molecular – oxidação, cisão molecular – e em efeitos das tensões mecânicas [68].

Como referido, os fenómenos de envelhecimento exibem alterações na estrutura molecular consoante a estrutura do polímero e do recobrimento, e a sua composição química. Assim sendo, a degradação pode ocorrer por cisão, ou reticulação de moléculas, ou formação de produtos de oxidação. Quimicamente, a degradação ocorre pela ação de grupos, monómeros e fotoiniciadores residuais, reações de hidrólise e oxidação. Fisicamente, os fatores estão interligados com as tensões internas, adesão inadequada, permeabilidade ao oxigénio e humidade, degradação térmica e mecânica [69].

Consequentemente, o próprio componente pode exibir características negativas designadamente a perda de adesão entre o substrato e o revestimento, a redução do brilho, o amarelecimento, o aumento da permeabilidade à humidade e ao oxigénio, a divergência na

dureza, a variação dimensional e perda de flexibilidade [63]. Sumariamente, para caracterizar a resistência da pintura nos fatores mencionados, é utilizado um equipamento designado de hidrólise, no qual acelera os processos de degradação de uma peça num curto espaço de tempo, relativamente à duração normal que o componente teria que ser sujeito.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste terceiro capítulo é abordado o procedimento para a preparação das amostras, tal como os ensaios efetuados para a caracterização destas. Está organizado e dividido em cinco tópicos, nomeadamente:

- a descrição de informações referentes aos projetos nas quais a dissertação está inserida;
- a descrição de propriedades dos materiais utilizados;
- as etapas da preparação das amostras com as composições selecionadas (moldação por injeção e extrusão) e respetiva caracterização;
- a descrição do processo da pintura UV e caracterização dos substratos pintados;
- a descrição do teste da adesão dos TPE ao PC/ABS (dado que as peças são produzidas por moldação multimaterial) e descrição da preparação das amostras para este teste.

Na Figura 20, segue-se em forma de esquema, o procedimento passo-a-passo referente à parte experimental desta dissertação.

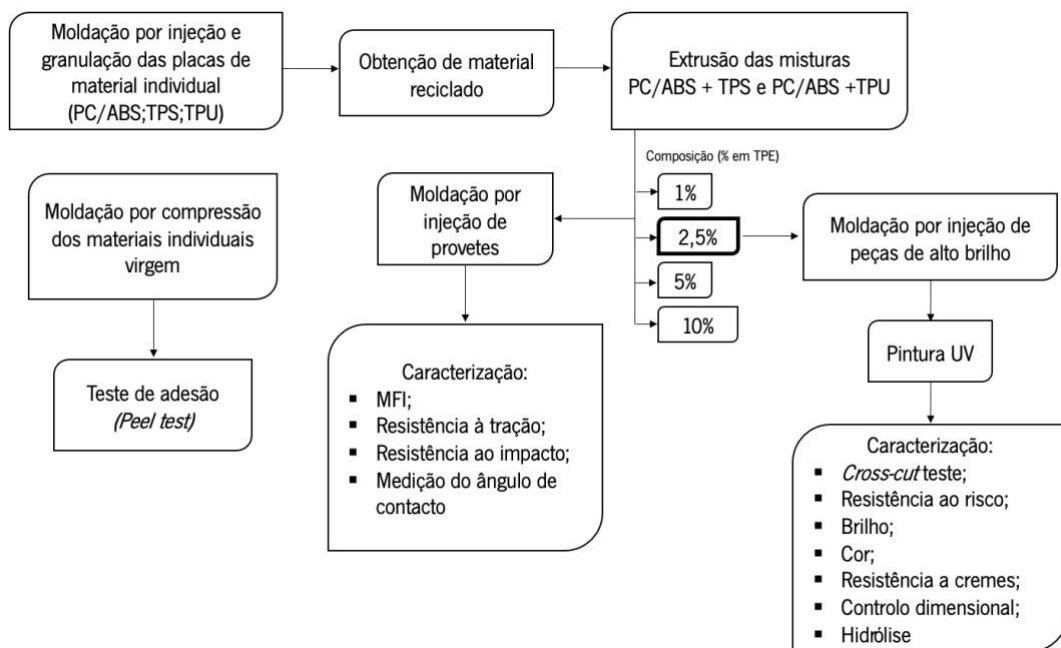


Figura 20. Esquema referente à organização do procedimento experimental da dissertação

3.1 Informações do projeto

A dissertação foi elaborada no sentido de estudar a possibilidade da implementação de uma economia circular na produção dos componentes derivados da moldação por injeção multimaterial, ou seja, a possibilidade do reaproveitamento dos sistemas de alimentação e das peças defeituosas. Os componentes são produzidos na Fehst Componentes, sendo constituídos por PC/ABS, e sobremoldados, na parte interior, com pequenas tiras em TPU ou TPS. O papel dos TPE nos componentes é a absorção de vibração e consequente redução do ruído aquando a sua montagem no automóvel. Na Figura 21, estão apresentados dados relativos às percentagens mássicas em TPE que cada um dos 5 componentes em estudo possui e dos seus respetivos sistemas de alimentação.

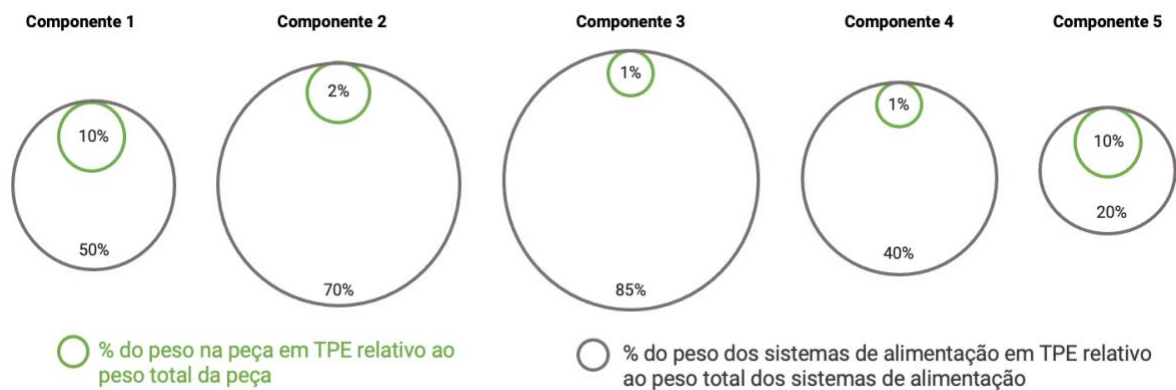


Figura 21. Informação referente à percentagem ao peso da peça e dos sistemas de alimentação em TPE

Como se pode observar, os componentes têm na sua constituição valores entre 1% a 10% de TPE relativamente ao peso total da peça e o restante do peso total em PC/ABS. Com estes valores propõem-se composições de PC/ABS e de TPE, simulando assim as peças defeituosas provenientes do processo multimaterial. Portanto, os valores escolhidos para as composições a preparar foram 1%, 2,5%, 5% e 10% de TPE em PC/ABS. Além disso, foram selecionadas uma mistura de TPS e PC/ABS e de TPU e PC/ABS para serem sujeitas no processo de pintura UV. Caso os resultados sejam positivos, verifica-se a possibilidade de pintar estes substratos reciclados com TPE e, consequentemente, é exequível o aproveitamento das peças não conformes para outros componentes que, porventura, também sejam pintados.

Além disso, a Figura 21, mostra também que são desperdiçadas grandes quantidades de material em sistemas de alimentação para a moldação das tiras em TPE nos componentes. Por

esta razão, surgiu a necessidade de estudar o efeito do reprocessamento deste material para que possa ser reaproveitado.

3.2 Matéria prima

Os materiais utilizados neste projeto são polímeros disponíveis no mercado em forma de grânulo. A Tabela 2 inclui algumas das propriedades do PC/ABS utilizado. Analogamente, na Tabela 3 são apresentadas algumas propriedades do TPS e do TPU. As fichas técnicas dos materiais referidos estão no Anexo II – Fichas técnicas.

Tabela 2. Propriedades do termoplástico amorfo PC/ABS utilizado segundo a ficha técnica

Propriedades	Valores
Índice de Fluidez, MFI (260°C/5kg) (g/10min)	21
Deformação à rotura (%)	28
Resistência à tração (MPa)	50
Resistência ao impacto (KJ/m^2) (23°C)	51
Módulo de elasticidade (MPa)	2320
Temperatura de processamento (°C)	260

Tabela 3. Propriedades dos termoplásticos elastoméricos utilizados segundo as fichas técnicas

Propriedades	Valores	
	TPS	TPU
Dureza (Shore A)	60	63
MFI (g/10min)	190°C - 40N: 14 230°C - 21: 52	-
Resistência ao rasgamento (N/mm)	40	40
Resistência à tração (MPa)	10	35
Deformação à rotura (%)	950	1000

3.3 Preparação de materiais e misturas

Na Figura 22 está ilustrado o procedimento da preparação das misturas de PC/ABS com os dois TPE. Como observado, inicia-se pela injeção de placas dos diferentes materiais e, de seguida, as placas e os seus sistemas de alimentação são moídos com a ajuda de um moinho. Este processo serve para obter TPE e PC/ABS reciclado/granulado. Posteriormente, efetua-se

a composição manual com as diferentes percentagens de polímero, já mencionadas, de PC/ABS+TPU e PC/ABS+TPS e recorreu-se à extrusora duplo fuso, de modo a alcançar uma mistura homogênea, com a melhor distribuição possível de TPU ou TPS no PC/ABS. Na fase seguinte, recorreu-se novamente à moldação por injeção para a preparação de provetes tanto de material virgem como de reciclado, assim como das misturas efetuadas, para a avaliação das características destes materiais com o recurso a ensaios reológicos, mecânicos e de análise de superfície.

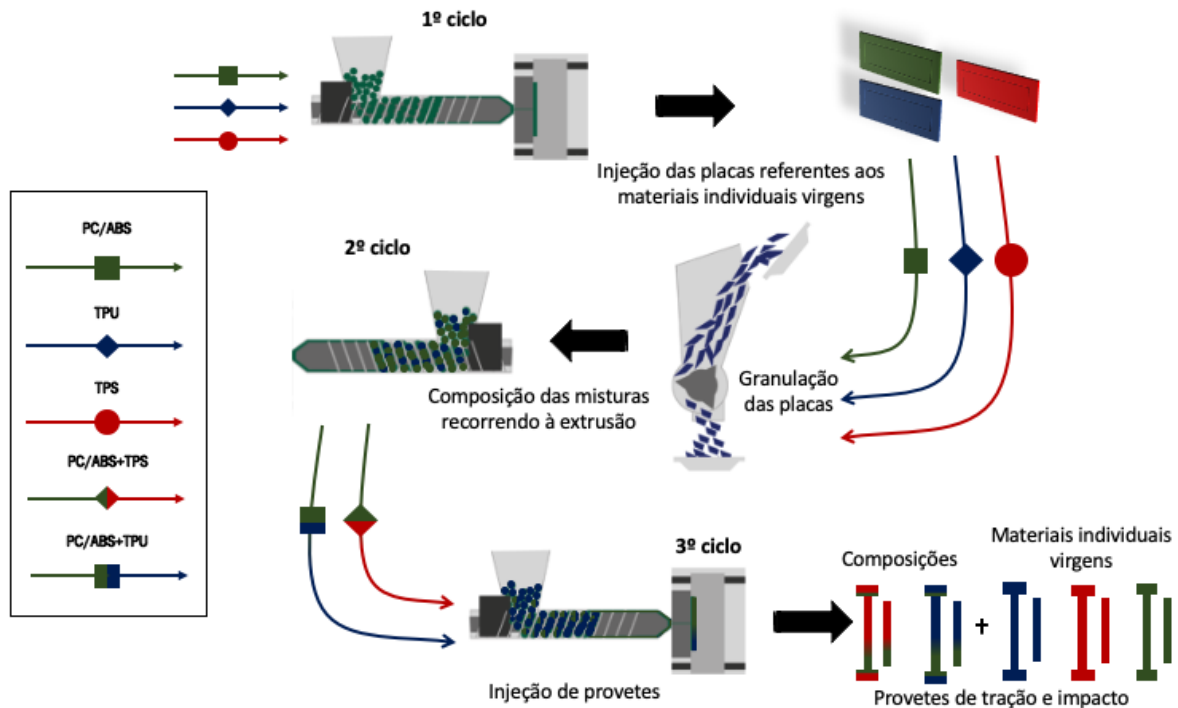


Figura 22. Esquema ilustrativo do procedimento experimental envolvendo a moldação por injeção e de extrusão para a concepção de amostras

De notar que, previamente a todas as moldações referidas nos tópicos abaixo, todos os materiais foram secos de modo a retirar toda a humidade do material, uma vez que a presença de água no material resulta em anomalias e defeitos no seu processamento. Assim, com o recurso à estufa, os materiais foram secos a uma temperatura de 80°C durante 4 horas.

3.3.1 Moldação por injeção - preparação de placas

A injeção de placas e consequente granulação (1º ciclo da Figura 22) serviu fundamentalmente para obter material reciclado. Para injetar as placas dos materiais virgens, utilizou-se a máquina de injeção *ARBURG ALLROUNDER 520C* com uma força de fecho de 20 kN e um cilindro de diâmetro 50 mm. Nas tabelas seguintes, Tabela 4 e Tabela 5, apresenta-

se as condições de processamento para cada tipo de material. As placas e os respetivos sistemas de alimentação foram conduzidos para um moinho, *Rapid 1521-V*, permitindo a obtenção de grânulos com dimensão aproximada ao material virgem. Em anexo é apresentada uma tabela com parâmetros gerais para os materiais TPS e TPU.

Tabela 4. Condições de processamento das placas por moldação por injeção de PC/ABS virgem

	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Perfil de temperaturas (°C)	265	260	255	250	245	240	240
Pressão de injeção (bar)	160						
Temperatura do molde (°C)	80						
Velocidade de injeção (mm/s)	50						

Tabela 5. Condições do processamento das placas por moldação por injeção de TPU virgem e TPS virgem

	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Perfil de temperaturas (°C)	200	190	180	180	180	170	160
Pressão de injeção (bar)	50						
Temperatura do molde (°C)	37						
Velocidade de injeção (mm/s)	30						

3.3.2 Moldação por extrusão – preparação de mistura

Com os grânulos resultantes da primeira injeção, misturou-se manualmente as composições PC/ABS com o TPU e PC/ABS com o TPS com as diferentes percentagens mássicas. Finalizada esta técnica, recorreu-se ao processo de extrusão para a preparação de misturas homogêneas dos materiais (2º ciclo da Figura 22).

A metodologia usada no processo de extrusão está apresentada num esquema ilustrativo abaixo, na Figura 23, representando a linha de processo até ao produto final. Iniciou-se com a utilização de um alimentador, com o débito controlado de 3,75kg/h de material, conduzido para a extrusora duplo fuso co rotativa *Collin Compounder ZK 25 P x 48 D*. Os módulos do parafuso da extrusora foram montados com a relação ideal para uma mistura de qualidade. Após a mistura na extrusora, o filamento extrudido passou pelos

rolamentos mergulhados em água a temperatura ambiente, passando pela secagem e finalmente, conduzido para o granulador onde se produziram os pellets.

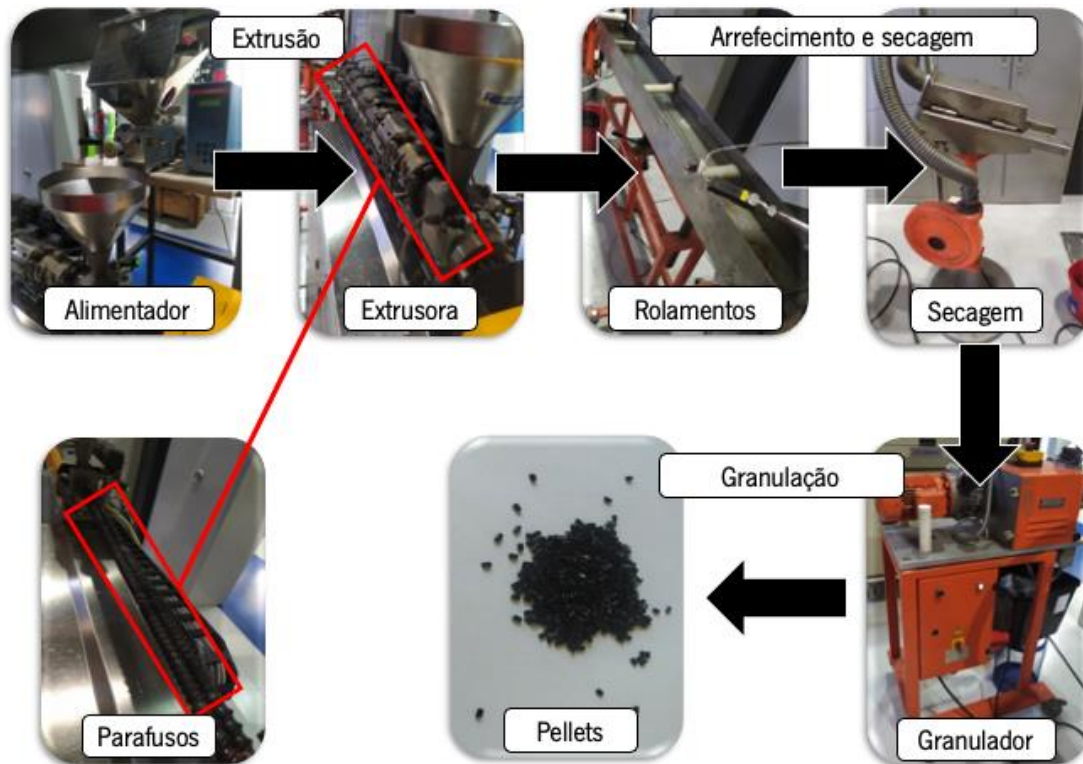


Figura 23. Esquema ilustrativo do processo de extrusão

Na Tabela 6, estão apresentadas as condições de processamento utilizadas na extrusão. As temperaturas de extrusão diferenciam-se da 1ª injeção, diminuindo-se 10°C em cada zona, uma vez que este material não é próprio do processo de extrusão, apresentando um valor de MFI elevado.

Tabela 6. Condições de processamento por extrusão das misturas PC/ABS+TPU e PC/ABS+TPS

Perfil de temperaturas (°C)	Fieira	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7	Zona 8	Zona 9
	250	250	250	250	250	240	240	230	120	40
Velocidade do parafuso (rpm)	150									
Pressão (bar)	25									

3.3.3 Moldação por injeção – preparação de amostras para caracterização

Ao obter os materiais reciclados na forma de grânulos (os grânulos provenientes da primeira injeção e os pellets das misturas provenientes do processo de extrusão) recorreu-se

novamente à moldação por injeção, para a produção de provetes para os ensaios de caracterização. Para isso, utilizou-se um molde de provetes normalizados (tração e de impacto para o PC/ABS e para as misturas e apenas de tração para os TPE) e o equipamento, a injetora *ENGEL SPEX VICTORY 50*, com uma força de fecho de 50kN possuindo um cilindro de diâmetro de 30 mm. Na Tabela 7 expõem-se as condições de processamento para a moldação dos provetes de PC/ABS virgem, reciclado e das misturas com TPE. Na Tabela 8 são exibidas as condições de injeção do TPS virgem e reciclado e na Tabela 9 as condições para o TPU virgem e reciclado.

Tabela 7. Condições de processamento da injeção dos provetes de PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS+TPU e PC/ABS+TPS

Perfil de temperaturas (°C)	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Alimentação
	265	265	260	240	40
Pressão de injeção (bar)	1000				
Temperatura do molde (°C)	75				
Velocidade de injeção (cm^3/s)	100				

Tabela 8. Condições de processamento da injeção dos provetes de TPS virgem e reciclado

Perfil de temperaturas (°C)	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Alimentação
	200	200	200	190	30
Pressão de injeção (bar)	350				
Temperatura do molde (°C)	26				
Velocidade de injeção (cm^3/s)	60				

Tabela 9. Condições de processamento da injeção dos provetes de TPU virgem e reciclado

Perfil de temperaturas (°C)	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Alimentação
	200	195	195	185	30
Pressão de injeção (bar)	800				
Temperatura do molde (°C)	26				
Velocidade de injeção (cm^3/s)	75				

3.4 Caracterização das amostras

Nesta fase, posteriormente à obtenção dos provetes injetados com materiais virgens, reciclados e misturas de PC/ABS+TPS e PC/ABS+TPU procedeu-se à caracterização reológica, mecânica e de superfície para avaliar o impacto dos efeitos da reciclagem nos materiais utilizados e das misturas de TPE com PC/ABS nas propriedades.

3.4.1 Caracterização reológica

i. Índice de fluidez

A medição do índice de fluidez (MFI) é um ensaio que permite obter informação reológica sobre o material, e que permite correlacionar com o peso molecular do polímero. O ensaio realiza-se num plastómetro de extrusão sob condições específicas de temperatura, carga e geometria de escoamento consoante o material em estudo. Após determinado um intervalo de tempo, denominado tempo de corte, o material fundido que passa através de uma fieira de dimensões normalizadas é recolhido e pesado, normalizado para o número de gramas que são extrudidas em 10 minutos, visto que as unidades de índice de fluidez são normalmente gramas por dez minutos (g/10 min). Assim, o valor do MFI de um material correlaciona com o seu peso molecular: quando o MFI é baixo significa que o polímero deve ter massa molecular elevada, e vice versa.

O equipamento utilizado foi um plastómetro de extrusão designado por *CEAST 6841.000* e o ensaio realizado segundo a norma *ASTM D1238-10, Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer*. Na Figura 24, estão apresentadas imagens dos grânulos dos materiais testados, sendo visível a diferença geométrica e dimensional entre os grânulos virgens e reciclados. As condições deste ensaio utilizadas, para o PC/ABS virgem, reciclado e para as misturas, foram uma temperatura de 260°C e à carga de 5kg. Após cada ensaio, as diferentes amostras foram pesadas numa balança *Dhaus GT 4800*.

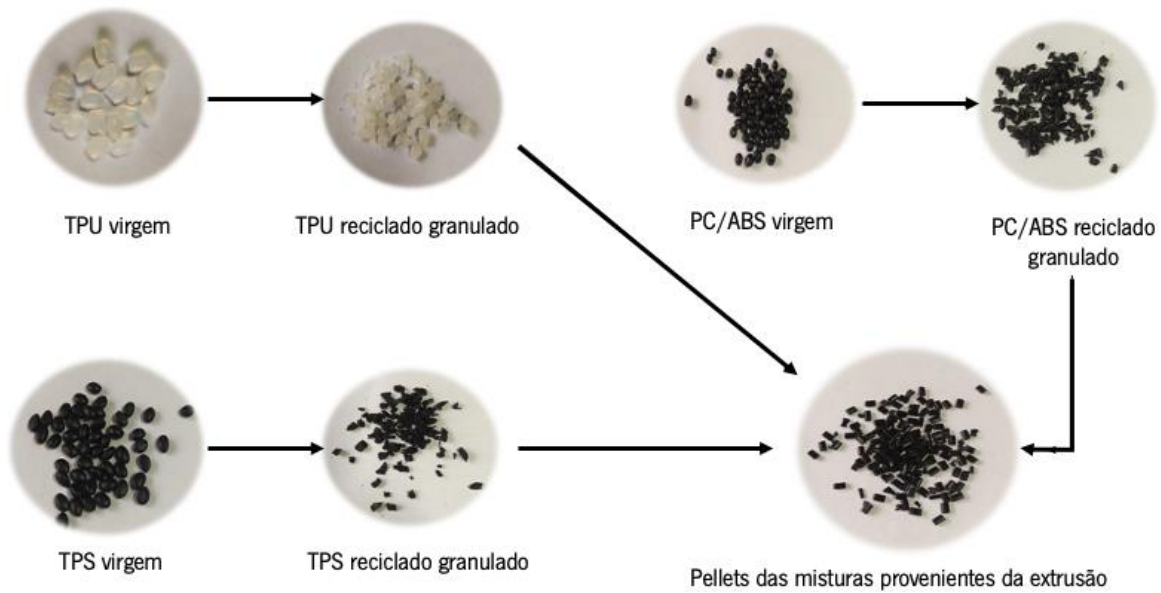


Figura 24. Grânulos dos diferentes materiais utilizados

3.4.2 Caracterização mecânica

i. Resistência à tração

O ensaio de tração uniaxial é um ensaio fundamental para a caracterização mecânica dos materiais. Uma amostra com geometria normalizada é submetida a uma deformação uniaxial a velocidade constante até à sua ruptura e são registados os valores da força aplicada em função do alongamento. A temperatura do ensaio, o tipo de provete, o tipo de material e a velocidade de deformação são algumas variáveis com influência no comportamento da curva retirada deste ensaio.

Os ensaios deste tipo foram realizados seguindo a norma *ASTM D638-03, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, à temperatura ambiente (23°C), utilizaram-se 10 provetes para cada material virgem, reciclado e as suas composições, usando o equipamento *INSTRON 5969*. A distância entre amarras foi de 110 cm, realizando o ensaio a uma velocidade constante de 50 mm/min no caso do PC/ABS virgem, reciclado e das misturas. As propriedades mecânicas analisadas a partir deste ensaio foram nomeadamente a tensão de cedência e de ruptura tal como as respetivas deformações e o módulo de Young determinados a partir dos gráficos tensão-deformação. Para o caso dos TPE os ensaios foram realizados a uma velocidade de 500mm/min. Como estes materiais se comportam como elastómeros, estes não

apresentam tensão de cedência e continuam a deformar até à rotura. Assim, apenas se comparou os valores da tensão a deformações fixas de 100, 200 e 300%.

ii. Resistência ao impacto

O ensaio relativo à resistência ao impacto seguiu a norma *ASTM D6110-04, Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics*. Ensaíram-se 10 provetes para cada material e as suas composições, com recurso do equipamento *CEAST 6545/000*. Os provetes foram colocados na horizontal e submetidos a uma carga aplicada por um pêndulo de energia potencial (queda livre). Quando o pêndulo embate na amostra e origina a sua quebra, o equipamento indica o valor da energia absorvida nesse processo. Os provetes ensaiados tinham um entalhe de aproximadamente 2,54mm, servindo como ponto de iniciação de rotura. O entalhe foi feito com o recurso a um entalhador da mesma marca.

3.4.3 Caracterização superficial

i. Medição do ângulo de contacto

De forma a se proceder à caracterização da superfície, realizou-se o ensaio de medição do ângulo de contacto seguindo a norma *ASTM D7334- Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement*. Este ensaio avalia o ângulo de contacto de um líquido específico sobre uma superfície de um sólido, estando este valor relacionado com a molhabilidade do sólido por esse líquido, possibilitando a observação de semelhanças ou diferenças de energia de superfície entre o PC/ABS e as misturas.

Ao colocar uma gota de um solvente sobre o substrato (o plástico a analisar), o substrato é molhado pelo líquido (ângulo $< 90^\circ$) quando a superfície tem semelhança química com o líquido de teste, ou seja, energia de superfície do sólido é próxima da tensão superficial do líquido. Relativamente ao ângulo de contacto, quanto menor for o ângulo, maior é a molhabilidade do sólido por esse líquido.

As medidas do ângulo de contacto foram realizadas no equipamento *Data Physics Contact Angle System OCA20*, recorrendo ao método Laplace-Young, usando água pura como líquido de teste. O volume de cada gota foi de 1 μ l e a deposição foi realizada à velocidade de 0,50 μ l/s. Foram realizadas 10 medições ao longo do comprimento de 3 provetes para cada

amostra/condição, de forma a determinar o ângulo de contacto, para posteriormente comparar a influência da incorporação das diferentes percentagens dos TPE na matriz PC/ABS.

3.5 Processo de pintura UV

Neste tópico são apresentadas as condições de processamento para a injeção das peças de alto brilho, uma breve descrição do processo de pintura UV e os ensaios posteriores para as suas devidas caracterizações. De lembrar que este processo foi investigado para verificar a viabilidade nas peças recicladas.

3.5.1 Moldação por injeção de peças de alto brilho

Para verificar os efeitos da pintura nos substratos com a mistura PC/ABS com TPE, escolheu-se apenas as composições 2,5% de TPS e de TPU. Estas amostras foram as selecionadas uma vez que, 2,5% era um valor mediano do leque das composições estudadas e os resultados obtidos das caracterizações mecânicas indicavam que, comparativamente, as composições com menor incorporação de TPE obtinham melhores resultados. Posto isto, com os grânulos provenientes da moldação por extrusão, recorreu-se à injeção de um componente de alto brilho da Fehst Componentes. A injeção desse componente realizou-se na máquina de injeção *ARBURG ALLROUNDER 520C* com uma força de fecho de 20 kN e um cilindro de diâmetro 50 mm. As condições de processamento são apresentadas na Tabela 10.**Error! Reference source not found.**

Tabela 10. Condições de processamento da moldação por injeção para as peças de alto brilho

Perfil de temperaturas (°C)	Bico	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
	270	265	265	260	255	250	240
Pressão de injeção (bar)	120						
Temperatura do molde (°C)	90						
Velocidade de injeção (mm/s)	20						

3.5.2 Processo de pintura com cura UV

Posteriormente à injeção, as peças foram colocadas em tabuleiros e direcionadas para a linha de pintura com cura UV. A linha de pintura é constituída em 4 fases: o pré tratamento, a pintura, o *flash off* e a cura UV. Num esquema meramente ilustrativo na Figura 25,

apresenta-se a metodologia que se aplicou desde a injeção das peças de alto brilho até às suas caracterizações. De notar que, após a injeção até à pintura as peças são acondicionadas num período de 48h e igualmente da pintura para as caracterizações efetuadas.

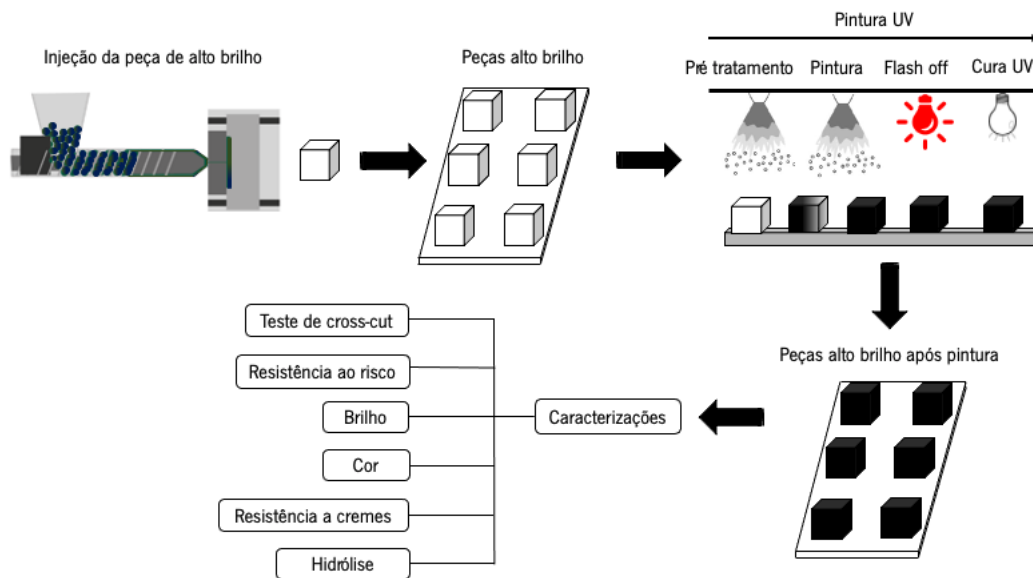


Figura 25. Esquema ilustrativo do processo de pintura UV da peça de alto brilho e consequentes caracterizações

Na etapa da pintura UV, as peças são colocadas num tabuleiro e são conduzidas para um pré tratamento, no qual todas as contaminações que possam existir na superfície das peças são eliminadas, para que não comprometa a aderência entre revestimento e o substrato e a mitigação de possíveis defeitos. Esta fase é composta por duas estações, uma com CO_2 , eliminando poeiras e gorduras, e a segunda sendo uma estação da ionização na qual neutraliza cargas, ou seja, elimina a atração entre a superfície da peça de todo o tipo de partículas. Adiante, as peças são transportadas para a cabine de pintura, onde através da pulverização, o revestimento é aplicado. De seguida, na etapa *flash off* a superfície é sujeita à radiação com luz infravermelha para que o espalhamento do revestimento sobre a peça seja gradual e uniforme. O último passo, segue-se na cura UV no qual o revestimento líquido é endurecido numa atmosfera inerte aumentando o potencial de cura [65].

3.5.3 Caracterização da peça de alto brilho

Para avaliar o impacto das misturas de PC/ABS com TPE no processo da pintura UV, além das peças de alto brilho das composições referidas, recorreu-se à injeção de peças de alto brilho de PC/ABS virgem e reciclado. Para os ensaios após pintura, foram utilizadas 3 peças para cada tipo de material, seguindo a instrução de trabalhos da indústria automóvel. As

caracterizações das peças de alto brilho foram, designadamente, o controlo dimensional, a aderência entre o revestimento e o substrato em diferentes condições, o brilho e a cor da peça pintada.

i. Controlo visual da peça injetada de alto brilho sem pintura

Após a injeção dos diferentes materiais realizou-se a inspeção visual das peças para que se pudesse comparar e examinar a existência de alterações, uma vez que a existência de alguns defeitos provenientes da moldação por injeção pode ter efeito no produto final após pintura.

ii. Controlo dimensional

Durante o ciclo de moldação por injeção o material sofre uma expansão térmica (mudança de fase) quando aquecido e exibe contração quando arrefecido, ou seja, quando arrefecido, o volume do material plástico é alterado. O controlo da variação dimensional das peças serve para validar a estabilidade do processo, tanto no arranque como ao longo da produção. Para este caso, este ensaio foi realizado no sentido de comparar se existem alterações nas dimensões dos materiais reciclados quando comparados com o PC/ABS virgem, utilizando o gabarito específico para o componente moldado, seguindo-se a instrução de controlo definida pela Fehst. As amostras utilizadas foram componentes sem pintura e com pintura UV, com intervalos de 48 horas após a injeção e após pintura. Foram realizadas medições para todas as peças existentes, 10 peças no total para cada condição, num gabarito próprio da peça, no qual a peça era fixa com patilhas laterais e com grampos superiores e inferiores utilizando um medidor para avaliar a sua variação de comprimento dos componentes.

3.5.4 Avaliação visual

i. Medição do brilho

Para determinar o brilho de um componente é utilizado um medidor de brilho, no qual se seleciona um de três ângulos base de incidência, preferindo-se 85° para superfícies do tipo *mate*, 60° para superfícies com brilho médio e 20° para peças de alto brilho. Neste caso, foi utilizado um ângulo de 60° porque é o ângulo de entrada de luz que o dispositivo utilizado permite para realizar a medição do brilho e além disso, geralmente é o ângulo mais utilizado

na indústria. Assim sendo, para a medição do brilho utilizou-se o dispositivo *Glossmaster Sheen Instruments*, apresentado na Figura 26, no qual se seguiu a instrução de trabalho da empresa. Realizaram-se 3 medições para cada substrato. O intuito deste ensaio é determinar se com a incorporação de TPE e de reciclado na matriz o brilho é alterado.



Figura 26. Medição de brilho com o equipamento *Glossmaster Sheen Instruments* de uma peça com alto brilho

ii. Medição da cor

A cor é definida como uma modificação física da luz por um objeto que é observado pelo olho humano e interpretado pelo cérebro, ou seja, esta propriedade é relacionada primariamente com a resposta visual, porém, existem equipamentos que fazem medições numéricas denominados como espectrofotômetro, como apresentada na Figura 27. Para utilizar este equipamento, numa primeira instância calibrou-se com as cores de referência, branco e preto. Posteriormente, foram realizadas 3 medições em 3 peças em 3 locais distintos.



Figura 27. 1ª imagem - calibração do espectrofotômetro *x-rite*; 2ª imagem - ponto de medição do espectrofotômetro; 3ª imagem – medição da cor de uma peça com alto brilho

O espectrofotômetro converte a cor em informação numérica, ou seja, em coordenadas “L”, “a” e “b” como exibida na 3ª imagem da Figura 28. Estas coordenadas são interpretadas através de um diagrama como o da Figura 28. O “L” indica a luminosidade, onde L=0 é preto e L=100 é branco, o eixo do “a” é a coordenada vermelho/verde, no caso do eixo do “b” a coordenada azul/amarelo.

Este ensaio serviu essencialmente para compreender se os materiais reciclados e as misturas têm influência na cor do revestimento.

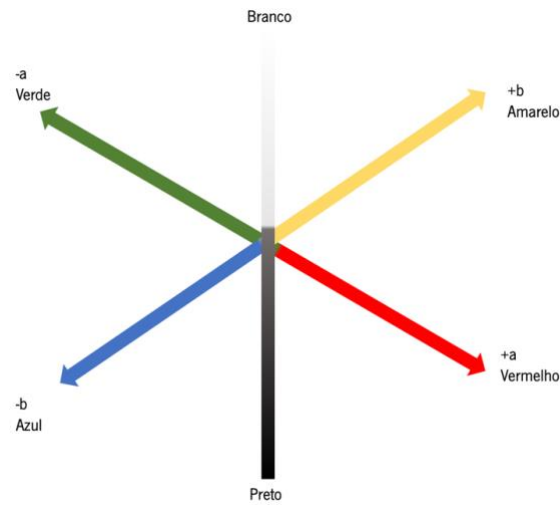


Figura 28. Diagrama de medição de cor

3.5.5 Avaliação de adesão

i. Cross-cut

O teste *cross-cut* é utilizado para avaliar a aderência de um revestimento no substrato. Para isso, foi utilizado um instrumento multi-corte, como se pode ver na Figura 29, no qual é pressionado na peça, criando dois conjuntos de cortes longitudinais e paralelos atingindo e penetrando o substrato. Foram realizadas 3 medições, ou seja, foram utilizadas 3 peças para cada amostra.



Figura 29. Lado esquerdo – instrumento multi-corte; Lado direito – Fita adesiva “Tesa”

Um dos conjuntos é perpendicular ao outro, onde o resultado final são vários quadrados designados como *cross-cuts* como se pode observar o processo na Figura 30. Após realizado cada conjunto, pode ocorrer destacamentos e/ou quebra de fragmentos no revestimento, nos quais são limpos com um pano antes da sua avaliação. Posto isto, após realizada a área de corte do revestimento na peça pintada, é sobreposta fita adesiva “Tesa”. Posteriormente, a

fita adesiva é removida, avaliando a quantidade de revestimento que possa ter sido arrancado. Como já referido no estado da arte, a escala de remoção de tinta vai desde Gt0 até Gt4, ou seja, pintura não saltou em nenhum quadrado e a pintura saltou total ou parcialmente (65%), respetivamente. Esta é uma avaliação qualitativa e dá-se por comparação visual, aceitando-se, nesta indústria, um valor até Gt1 seguindo-se assim as imagens padrão existentes na Fehst componentes, similar à Figura 19.



Figura 30. Etapas do teste de aderência cross-cut

3.5.6 Avaliação mecânica

i. Teste de resistência ao risco

Os ensaios relativos à resistência ao risco são realizados com recurso a um medidor *Erichsen sclerometer 3092 hardness tester*, como exibida na Figura 31, exequível tanto em superfícies planas de revestimento como curvas tendo como intuito compreender se o substrato resiste a uma força mecânica.



Figura 31. Medidor de dureza *Erichsen sclerometer 3092 hardness tester*

Seguindo-se uma instrução de trabalho existente na Fehst Componentes, foi utilizada uma tensão/carga de 10N para realizar estes testes. Utilizaram-se três amostras pintadas para cada condição, executando um risco em duas zonas distintas para cada amostra. Para isso, o medidor é colocado verticalmente à peça e a ponteira é pressionada contra a superfície do componente, riscando-a, no qual é permitido o vestígio da indentação causada pela carga, porém não é admissível a remoção de tinta, como exibido na Figura 32.

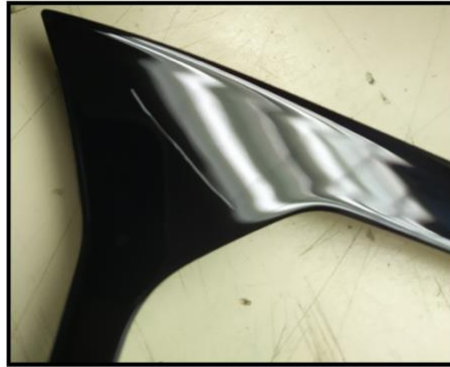


Figura 32. Resultado obtido através do ensaio de resistência ao risco

3.5.7 Teste de resistência a cremes

Este ensaio foi realizado uma vez que, os componentes são componentes decorativos para o interior do automóvel e há a possibilidade de estarem em contacto com cremes. O objetivo deste ensaio nos diferentes materiais é determinar o comportamento do revestimento sob influência dos cremes, averiguando se existe a alteração nas características táteis, visuais, de aderência e a resistência ao risco. Para isso, utilizaram-se dois tipos de creme, creme A e B, sendo colocados sobre gazes em diferentes locais dos componentes. Após a aplicação dos cremes, o componente é armazenado numa estufa de ar circulante durante 24h a uma temperatura de 80°C. De seguida, as gazes são removidas e o restante do creme é limpo com um pano embebido com água destilada. Antes da avaliação da superfície, os componentes são acondicionados durante 4 horas à temperatura ambiente.

3.5.8 Teste de hidrólise

O teste de hidrólise simula condições de serviço aquando o seu uso, no qual os componentes são colocados numa câmara climática, Figura 33, em condições de temperatura e humidade extremas. Este ensaio, num curto espaço de tempo, intensifica efeitos de degradação, uma vez que estas condições podem alterar a estrutura molecular (oxidação) e efeitos das tensões mecânicas. Assim, realizou-se este teste para avaliar as propriedades superficiais, as propriedades de aderência entre o substrato e o revestimento e as propriedades de dureza.



Figura 33. Câmara climática *aralab*

Dito isto, para simular o envelhecimento das peças, a câmara foi programada a uma temperatura de 90°C e a 95% de humidade durante 72 horas. Para este ensaio, seguiu-se a norma automóvel, utilizando 3 peças para cada condição e, após as 72 horas, as peças foram armazenadas durante 24 horas para a sua estabilização antes de serem realizados os testes.

3.6 Ensaio *peel test*

Os componentes em estudo são constituídos em PC/ABS e, alocada a uma pequena percentagem do peso total do componente, tiras de TPE sobremoldadas para reduzir o ruído aquando a sua montagem no automóvel. Uma vez que, o TPE tem de possuir boas propriedades de adesão no PC/ABS para a obtenção de um componente de qualidade, o ensaio de resistência de adesão, *peel test*, foi realizado com o intuito de verificar quais dos TPE, entre o TPS e o TPU, obtinha melhores resultados na adesão com o PC/ABS.

3.6.1 Procedimento para a preparação de amostras para o ensaio *peel test*

A utilização da moldação por compressão foi fundamentalmente para a preparação de amostras para o *peel test*, para determinar a adesão entre o PC/ABS e os diferentes TPE. A moldação por compressão consiste na colocação do material num molde colocado entre duas placas de aço e com a aplicação de calor e de pressão, o material funde e adquire a forma do molde. As amostras foram preparadas usando uma prensa *Geo. E. Moore & Son (Bham.) Ltd*, tendo-se preparado placas com a dimensão de 115 x 120 mm com espessuras de 0,8 mm para

o PC/ABS virgem, a uma temperatura de 260°C aplicando uma pressão de 20 Kg/cm^3 . Para o caso do TPS e do TPU prepararam-se provetes retangulares do material virgem com as mesmas dimensões, porém com uma espessura de 0,5 mm, usando uma temperatura de moldação de 200°C . Para todos os casos usou-se uma fase de pré-aquecimento com a duração de 3 minutos, onde se retirou o ar com aplicação de pressão de 10 kg/cm^3 retirando a pressão durante 5 segundos e aplicando de novo, repetindo 2 vezes o processo, e finalmente aplicou-se uma compressão com a duração de 5 minutos. O arrefecimento foi realizado sob pressão até atingir a temperatura de 140°C para o PC/ABS e 80°C para os TPE.

Na Figura 34 é ilustrado um esquema para a obtenção das placas poliméricas para o teste de adesão (*peel test*). Colocou-se uma folha de teflon a separar metade das placas, a uma temperatura de 200°C e a uma pressão de 10 kg/cm^3 , de modo a fundir apenas o TPE e a existir junção dos dois materiais, simulando o processo de sobremoldação.

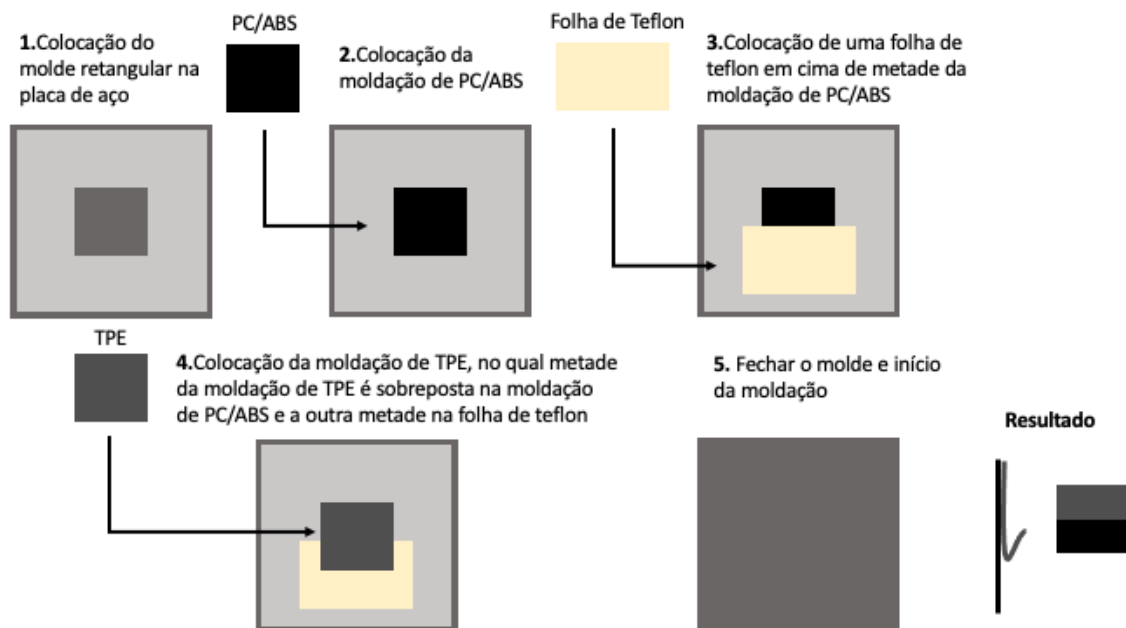


Figura 34. Esquema ilustrativo da preparação das amostras para o ensaio *peel test*

Na Figura 35, mostram-se fotografias das placas moldadas, com os materiais individuais, assim como, a sua junção por compressão a quente. Destas placas cortaram-se amostras com 15mm de largura que, posteriormente, são utilizadas no equipamento de ensaios mecânicos para avaliar a força de adesão entre os materiais.

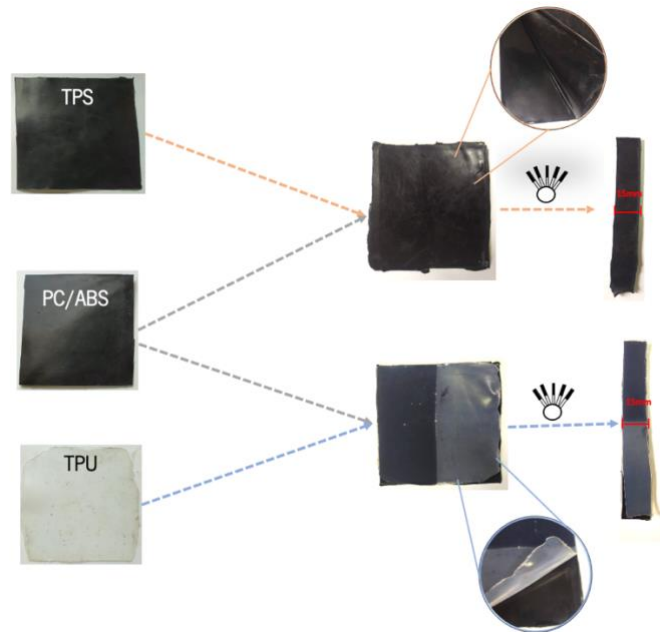


Figura 35. Ilustração da preparação de amostras para o ensaio de adesão pelo processo de moldação por compressão

3.6.2 Ensaio de adesão entre PC/ABS e os TPE

Os materiais testados foram o polímero rígido, PC/ABS, e os materiais flexíveis, TPU e TPS, recorrendo ao equipamento de ensaios mecânicos universal, *INSTRON 5969*, usando as placas preparadas como indicado em 3.6.1. No ensaio, a parte rígida da amostra foi amarrada na amarra inferior do equipamento, e a placa flexível na amarra superior, como ilustrado na Figura 36. As amostras foram submetidas ao ensaio de tração a duas velocidades, nomeadamente 200 e a 500 mm/min, segundo a norma *D6862 – 11, Standard Test Method for 90 Degree Peel Resistance of Adhesives*.

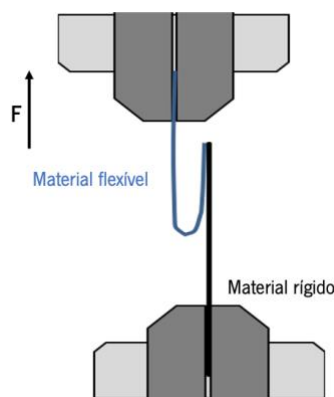


Figura 36. Representação ilustrativa do *peel test* a 180°

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O capítulo 4 está dividido em quatro partes, a primeira foca a caracterização das moldações sem pintura, a segunda sobre a caracterização das peças submetidas ao processo de pintura, a terceira sobre os resultados do ensaio de adesão entre TPE e PC/ABS e, finalmente, a última parte apresenta a discussão da viabilidade do processo, ou seja, o balanço económico, caso seja aplicada a reciclagem de peças defeituosas provenientes da moldação multimaterial e o aproveitamento do sistema de alimentação dos componentes.

4.1 Caracterização dos materiais e as suas composições

Neste tópico são discutidos e analisados os resultados das caracterizações das composições (simulações dos componentes não conformes) e dos materiais reprocessados (sistemas de alimentação) comparando-as com as propriedades do PC/ABS virgem. De notar que, relativamente aos materiais reprocessados, o PC/ABS é incluído nas análises das caracterizações das composições e para os TPE, à parte, apenas no ensaio de tração.

4.1.1 Índice de fluidez

Na Figura 37 são apresentados os dados obtidos para o ensaio de medição de índice de fluidez (MFI) das diferentes misturas dos materiais e do reprocessamento do PC/ABS e, para referência, o valor da ficha técnica do PC/ABS.

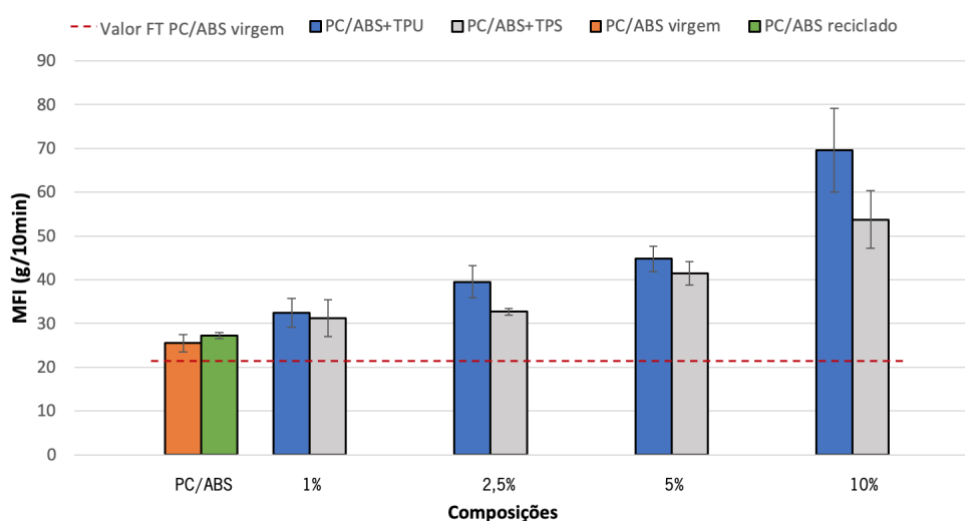


Figura 37. MFI dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU

Ao analisar o gráfico, a variação no valor de MFI ao comparar o PC/ABS virgem com o reciclado (1 ciclo) é mínima. A ligeira subida deste valor é insignificante atendendo ao desvio padrão medido, no entanto o aumento do MFI à medida que se realizam sucessivos reprocessamentos pode resultar da degradação termo-oxidativa do butadieno, componente mais sensível ao processo de degradação, que conduz à quebra de cadeias do terpolímero, resultando num aumento do MFI. Além disso, com o aumento de ciclos tanto no PC [44]-[47][54], ABS [49] e PC/ABS [51][57] existe uma tendência para o aumento de MFI, resultado da diminuição do peso molecular, diminuindo a sua viscosidade, existindo provavelmente cisão molecular resultante do processo [35][51]. Ainda nos processos de degradação, agora relativamente aos grânulos das misturas, as composições foram preparadas por extrusão, usando uma extrusora de duplo fuso, ou seja, os provetes foram submetidos a dois ciclos de processamento, existindo a possibilidade de sofrerem degradação termo-oxidativa e mecânica, consequente do processo. Ao analisar estes processos, o TPU é suscetível à degradação por mecanismos de termo-oxidação, por solicitações mecânicas e por temperaturas elevadas podendo estes processos alterar a sua estrutura química. No caso do TPS, por causa da hidrogenação do SEBS, exibe uma maior resistência à degradação do que outros SBC, todavia demonstra degradação à oxidação e, consequente a cisão de moléculas [25]. Assim, por causa do processo da extrusão, podem existir desde logo fatores que alteram a estrutura química dos materiais, afetando respetivamente o seu MFI.

Adicionalmente, é notável a redução da viscosidade do fundido das composições com o aumento de percentagem de TPE reciclado. Isto deve-se à massa molecular reduzida dos TPE, que com o seu incremento percentual no termoplástico rígido, induz uma diminuição do MFI, tornando a mistura mais fácil de processar. Estes resultados também são verificados no artigo *D.N de Almeida et al.* [31] no qual é verificado o aumento deste índice com o aumento do teor percentual de TPU no PC/ABS reciclado. Também é verificado o mesmo efeito com *Tasdemir* [43] no caso da incorporação de SBS em PC/ABS.

Com estes resultados, de acordo com esta tendência, conclui-se que quanto maior for a percentagem de TPE misturada no PC/ABS, o índice de fluidez é cada vez maior. É observado que o maior aumento acontece quando é incorporado 10% de TPE, principalmente no caso do TPU, uma subida de 35%, um aumento de 45g/10min para 70g/10min. As composições que se aproximam dos valores de MFI do PC/ABS, são as composições com 1% e 2,5% de TPS e a

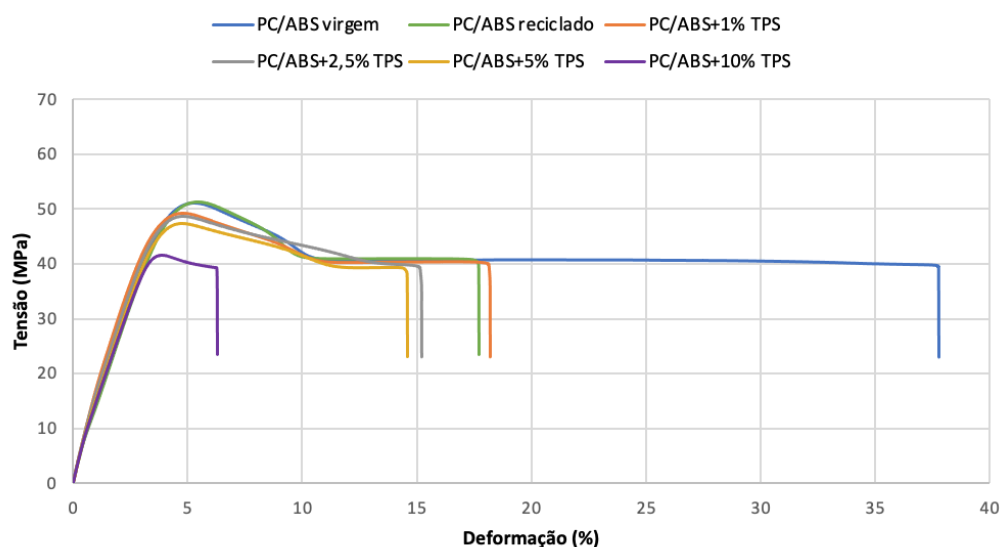
composição com 1% de TPU. É observado que as composições com TPU, apresentam um maior aumento de MFI quando comparadas com as de TPS.

4.1.2 Resistência à tração

Neste ponto abordam-se as propriedades mecânicas retiradas do ensaio de tração, designadamente o módulo de Young, a tensão e a deformação de cedência e a tensão e a deformação de rotura.

i. Reprocessamento PC/ABS e composições

Nesta parte são apresentados os resultados retirados do ensaio de tração para as composições e para o reprocessamento do PC/ABS. Em baixo, na Figura 38 apresentam-se as curvas tensão-deformação representativas para cada material e composição. Repara-se desde logo que a deformação à rotura é a propriedade que é mais reduzida. Na Tabela iii no Anexo I encontram-se apresentados os valores médios e desvios padrão relativos às propriedades mecânicas relevantes obtidas a partir do ensaio de tração. Estes resultados são apresentados em forma gráfica e discutidos em detalhe de seguida.



(a)

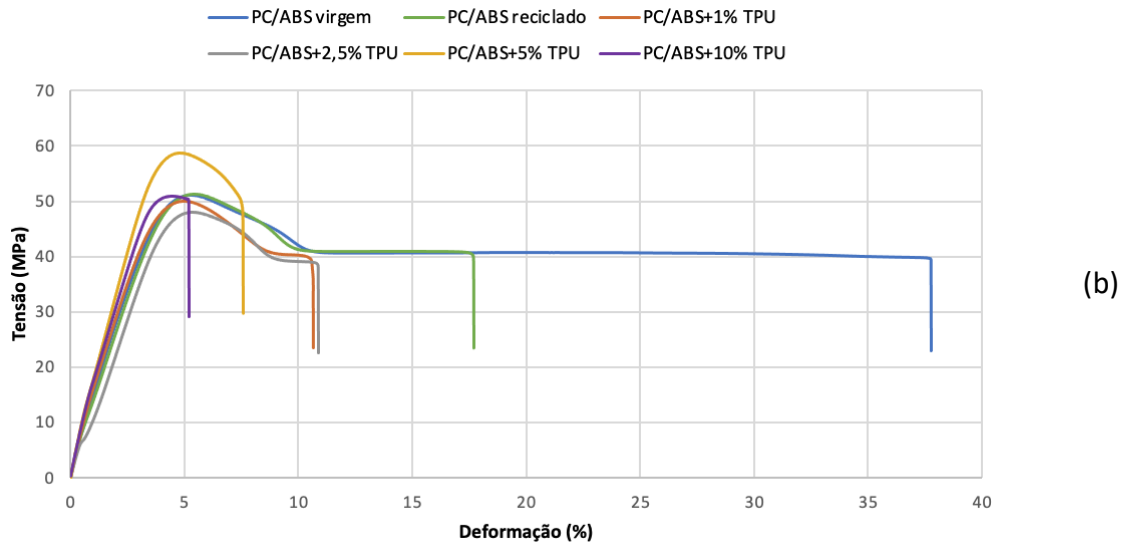


Figura 38. Gráfico tensão-deformação geral para PC/ABS virgem e reciclado e para as misturas compostas com diferentes percentagens com (a) PC/ABS+TPS e (b) PC/ABS+TPU

- **Módulo de Young, tensão e deformação de cedência**

Na Figura 39, estão apresentados os resultados das propriedades que estão relacionadas a partir do momento em que o material atravessa do carácter elástico para o plástico, impondo a sua deformação como permanente, ou seja, não consegue voltar ao seu estado inicial nomeadamente a tensão e a deformação de cedência. Além disso, também é apresentado o módulo de Young sendo a propriedade que indica a rigidez de um material sólido, expondo a relação entre a tensão e a deformação no regime de elasticidade linear face a uma deformação uniaxial.

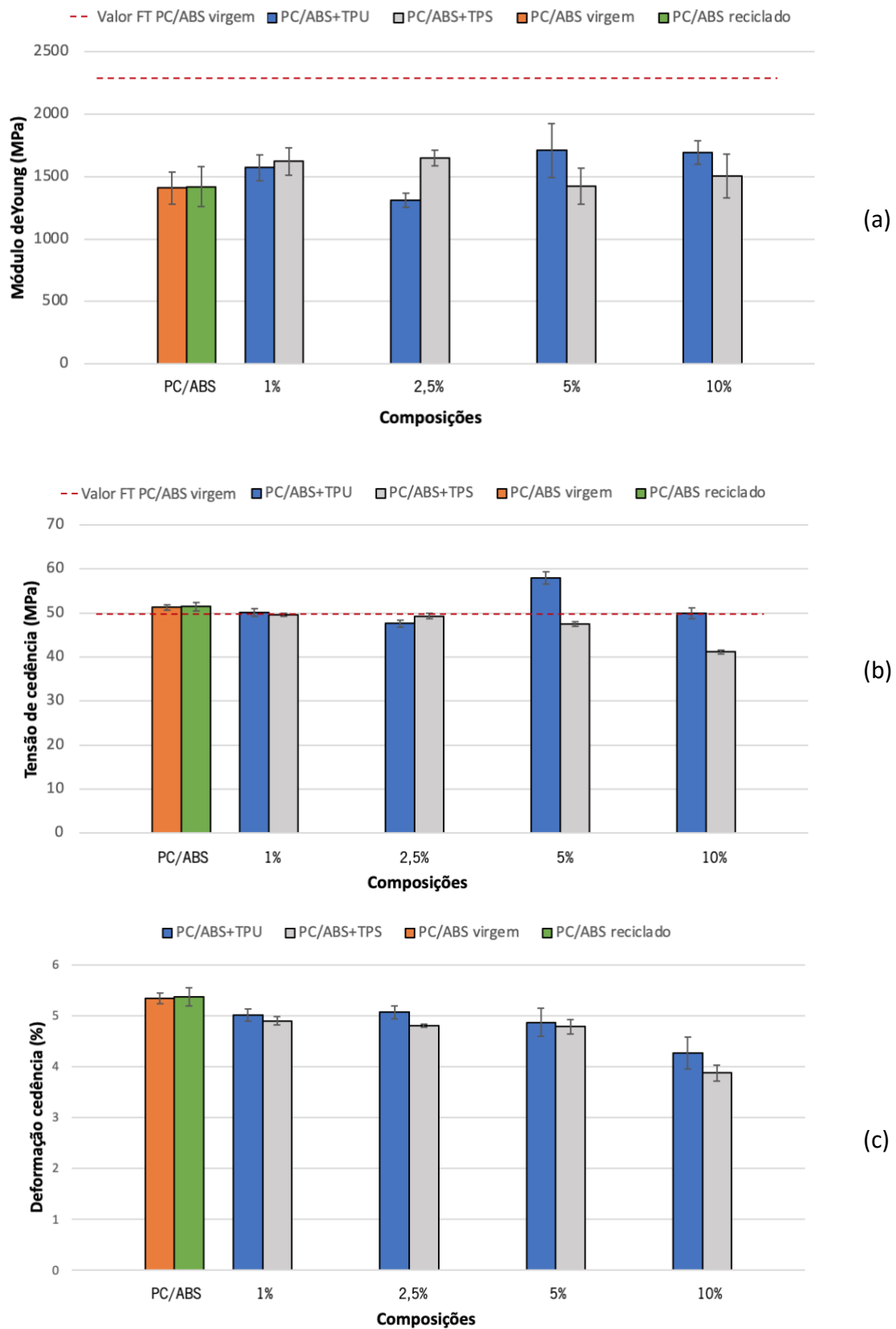


Figura 39. (a) Módulo de Young, (b) Tensão de cedência, (c) Deformação de cedência dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU

Inicialmente, efetuou-se a comparação entre o PC/ABS virgem e o reciclado (Figura 39), onde se pode concluir que não apresentam diferenças em nenhuma destas propriedades. Estes resultados estão em conformidade com [56], no qual descreve que com 7 ciclos de reprocessamento do PC, o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são afetados.

De seguida, a comparação do PC/ABS reciclado com as diferentes composições com TPU mostra que os valores do módulo de Young e da tensão de cedência variam de igual forma, mantendo-se sensivelmente semelhantes ao PC/ABS reciclado, exceto para a composição com 5% TPU, em que se verifica um incremento, tal como verificado pelos autores *D.N de Almeida et al.* [31]. *G. M. Shashidhara et al.*, mostraram que a tensão de cedência diminuiu com uma incorporação de 10% a 30% de TPU na matriz de PC [47]. Relativamente à deformação de cedência, os valores mantêm-se semelhantes ao PC/ABS até aos 5%, porém, quando o teor é de 10% de TPU é observada uma diminuição. Na Figura 37 (gráfico do MFI) é verificado um aumento significativo do MFI dos 5% para os 10% de TPU. Ou seja, com a maior incorporação de TPU na matriz, maior será a fluidez do fundido, indicando um aumento significativo de polímero com menor massa molecular. Esta maior heterogeneidade molecular da mistura sólida pode ser responsável pela menor deformação necessária para que o material ultrapasse o regime elástico para o plástico.

Analisando e comparando os resultados obtidos para as composições de TPS com PC/ABS, verifica-se que os valores do módulo de elasticidade não variam significativamente. Correlacionando com os valores de tensão de cedência, estes também se mantêm semelhantes até aos 5% de TPS, porém, aos 10% é apresentada uma diminuição. Esta tendência de diminuição com o aumento de SEBS/TPS foi equivalente no caso do PC/SAN [44] e em ABS [70]. *Debbah et al.* [40] explica que o SEBS pode ter influência na promoção de interações entre as fases da mistura, porém, com o aumento da incorporação, esta interação diminuía. Com aumentos acima de 1% no PC/ABS, o baixo módulo e a grande deformabilidade do SEBS alteram negativamente a tensão de cedência na mistura. Relativamente à deformação de cedência, comparando os valores com o do PC/ABS, verifica-se uma ligeira diminuição dos 1% até aos 5%, com a exceção dos 10%, em que se observa uma diminuição significativa. Como mencionado anteriormente, uma vez que a fluidez está diretamente relacionada com a deformação de cedência e analisando a Figura 37 (gráfico do MFI) conclui-

se que nesta composição há um aumento significativo da fluidez e, consequentemente, uma diminuição na deformação.

- **Tensão e deformação de rotura**

Na Figura 40 estão apresentados os resultados das propriedades no ponto de rotura, ou seja, no final da zona plástica. A tensão de rotura é caracterizada pela tensão do material no momento da rotura. A deformação de rotura apresenta o alongamento alcançado, consoante a velocidade do ensaio, em percentagem, para que o material sofra rotura.

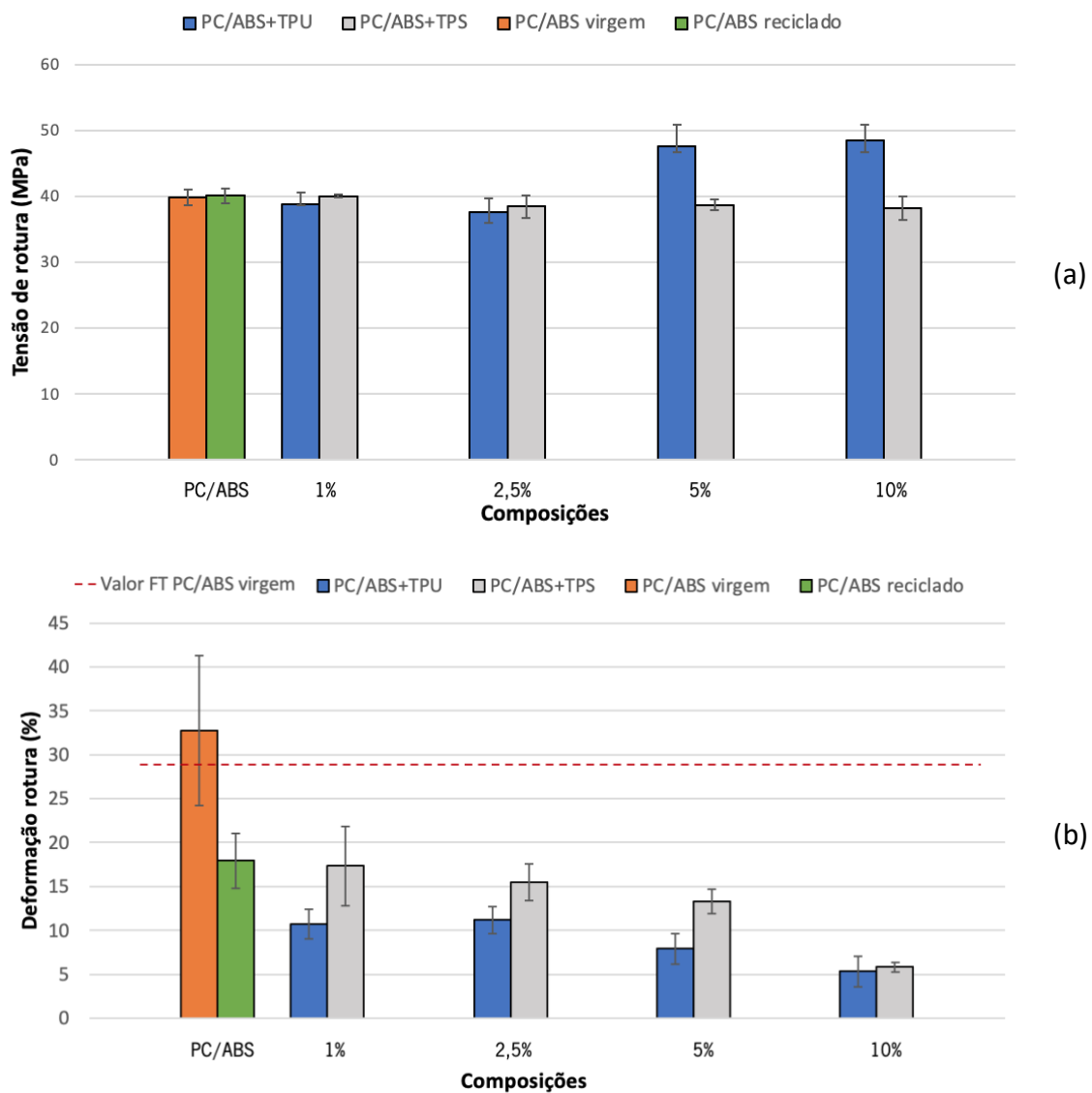


Figura 40. (a)Tensão e (b)Deformação de rotura dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU

A comparação entre o PC/ABS virgem com o reciclado mostra que não há diferenças assinaláveis nos valores de tensão de rotura. *Eguiazabal et al.* [51] concluíram que esta propriedade se manteve constante até ao 2º ciclo. De seguida, comparando o PC/ABS reciclado com as diferentes composições com TPU, é evidenciado um incremento na tensão de rotura a partir de 5% de incorporação, mantendo-se ligeiramente constante nos 10%. Por outro lado, comparando com as composições com TPS os valores de tensão de rotura mantêm-se sensivelmente constantes.

Relativamente à deformação à rotura, comparando os resultados do PC/ABS virgem com reciclado é verificada uma redução, ou seja, uma perda de ductilidade possivelmente devido à quebra de cadeias e consequente redução de massa molecular (em concordância com a variação observada para o MFI), e tal como foi observado pelos autores [51][57], no entanto, a diminuição é mais significativa a partir do 2º ciclo [51]. A componente mais sensível nesta mistura e, possivelmente a responsável pela perda de ductilidade, é a componente elastomérica do ABS, o butadieno, sensível ao processo termo oxidativo [35][49][50].

Comparando com o PC/ABS reciclado, relativamente às composições com TPU, é verificado desde logo uma redução, mantendo-se constante até aos 2,5%. Além disso, é observado a diminuição nos valores desta propriedade com o aumento do teor de TPU, com o pior valor registado nos 10%. No caso das composições com TPS, as composições até 2,5% apresentam sensivelmente os mesmos valores que o PC/ABS reciclado, reduzindo os valores desta propriedade com o aumento do teor de TPS.

Posto isto, observa-se uma maior fragilidade dos materiais com o aumento de TPE, ou seja, a ductilidade dos materiais é reduzida, esta redução estando relacionada com o maior MFI dos TPE relativamente ao PC/ABS, podendo ainda estar relacionada com incompatibilidade entre os materiais. Na Figura 37 é demonstrado que o MFI aumenta com a maior incorporação de TPE nas misturas sendo o efeito superior para o TPU, com consequente efeito sobre a deformação de rotura.

Além desta explicação, segundo *Debbah et al.* [40] que estudou os efeitos de SEBS-g-MAH (SEBS com anidrido maleico) na mistura PC/ABS, mostrou que com 5% de incorporação a deformação à rotura decai, presumindo que como se utiliza uma quantia maior de SEBS, este forma uma fase separada, atuando como um concentrador de tensão.

Ao comparar os diferentes materiais, as composições com 5% e 10% de TPU exibem maiores valores de rigidez (módulo de Young), de tensão de cedência e de rotura enquanto que as composições com TPS apresentam maiores valores na deformação de rotura. Assim, de um modo geral, analisadas todas as propriedades anteriormente mencionadas, retiradas do ensaio de tração, a utilização das composições com TPU e com TPS são consideradas opções interessantes dependendo da aplicação.

ii. Reprocessamento TPS e TPU

Nas informações apresentadas em 3.1 é dito que para a moldação dos componentes multimaterial são utilizadas grandes quantidades de material para os sistemas de alimentação. Para avaliar a possibilidade de reciclar este material, estudou-se o comportamento mecânico dos TPS e do TPU virgens e reciclados. Na Figura 41 está representado o gráfico tensão deformação dos materiais.

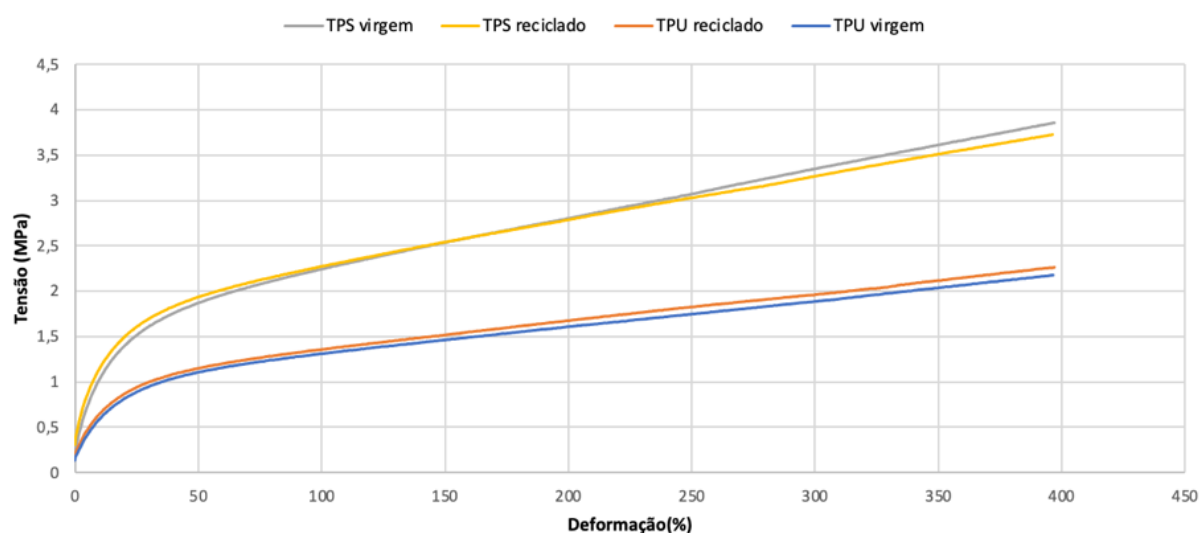


Figura 41. Gráfico tensão-deformação do TPS e TPU virgem e reciclado

Pelo gráfico é demonstrado que estes materiais se comportam como elastómeros, com baixo valor de módulo de Young e elevada deformabilidade. Observa-se que os provetes não atingiram a rotura dado que 400% de deformação é o valor máximo que o equipamento de tração utilizado atinge e, como os provetes não romperam, sabe-se que o valor da deformação destes materiais é acima desse valor. Por isso, as propriedades que se analisaram foram a tensão a 100%, 200% e 300% de deformação, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados retirados do ensaio de tração para os TPE virgem e reciclado

Material	Tensão (100%) (MPa)	Tensão (200%) (MPa)	Tensão (300%) (MPa)
TPS	2,259 ± 0,03	2,826 ± 0,05	3,363 ± 0,07
TPS reciclado	2,258 ± 0,07	2,785 ± 0,11	3,285 ± 0,16
TPU	1,298 ± 0,09	1,659 ± 0,03	1,939 ± 0,04
TPU reciclado	1,335 ± 0,03	1,6435 ± 0,03	1,9314 ± 0,05

Verifica-se pela análise da Tabela 11, que não existem alterações significativas nesta propriedade com o reproprocessamento. Assim, conclui-se que as propriedades de tensão e módulo não foram alteradas negativamente com o reproprocessamento. Também é verificado que, comparativamente, o material TPS apresenta maiores valores de tensão que o TPU. Estes resultados foram verificados num estudo do reproprocessamento do SEBS em cinco ciclos [58] em que as propriedades variaram minimamente com tendência decrescente. Do mesmo modo, no caso do reproprocessamento do TPU em 1 ciclo as propriedades mecânicas pouco se alteraram [60].

Com estes resultados e em conformidade com a literatura, pode-se concluir que os TPE estudados são recicláveis e que os canais de alimentação podem ser granulados e utilizados em outras aplicações com a mínima perda de propriedades mecânicas.

4.1.3 Resistência ao impacto

Em baixo, na Figura 42, estão apresentados os valores relativos ao ensaio de impacto para os diferentes materiais. Os valores em detalhe encontram-se na Tabela iv no Anexo I.

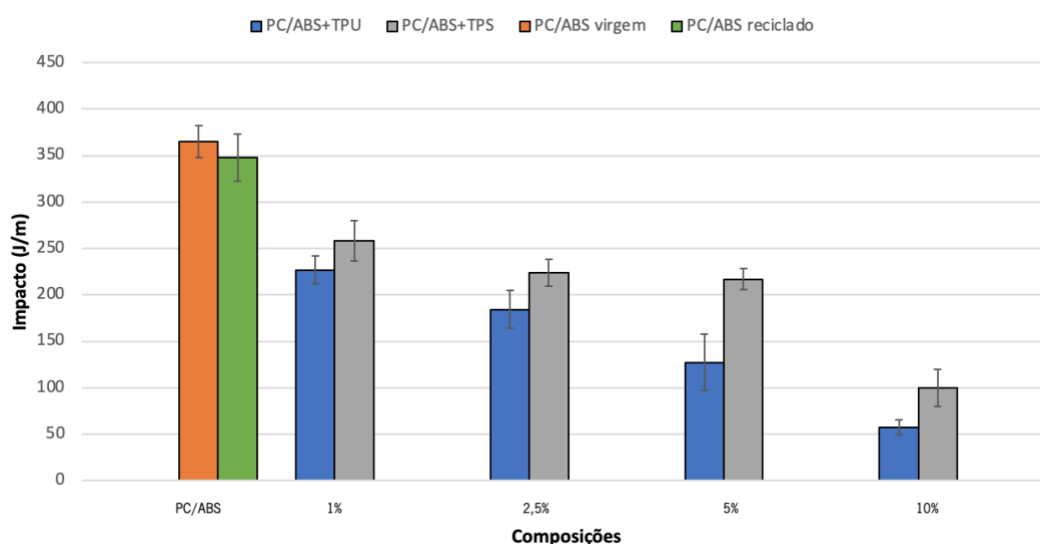


Figura 42. Resistência ao impacto dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS+TPS e PC/ABS+TPU

Comparando as características do PC/ABS virgem com o reprocessado, os valores são semelhantes atendendo ao desvio padrão medido. A ligeira descida verificada nesta propriedade, pode ter sido principalmente pela degradação do componente butadieno do ABS, uma vez que é responsável por fornecer a resistência ao impacto ao ABS e é a componente mais afetada do PC/ABS no reprocessamento [41]–[45]. Além disso, uma vez que estes materiais sofrem degradação causada pelo processo, o PC sofre a cisão de moléculas e, consequentemente, o seu peso molecular é reduzido [51][55]. Na Figura 37 observa-se um aumento insignificante do valor do MFI para o PC/ABS reciclado, indicando que este efeito de degradação do PC não deve ser importante. Segundo *Eguiazabal et al.* [51], que estudaram o reprocessamento do PC/ABS em 5 ciclos, concluíram que a resistência ao impacto se manteve inalterada até ao 3º ciclo.

Relativamente às composições de TPS e de TPU, repara-se que os valores de impacto diminuem com o aumento das suas percentagens na matriz de PC/ABS. Esta diminuição pode ser relacionada com o MFI, Figura 37, onde é demonstrado o aumento da fluidez com o aumento do teor de TPE nas composições. Esta relação explica que com o aumento da fluidez, menores os valores da resistência de impacto. Além disso, as composições com TPU apresentam uma menor resistência ao impacto, quando comparadas com as composições com TPS, uma vez que apresentam maiores valores de fluidez. Paralelamente, as misturas que contêm 10% de TPE são as que apresentam uma maior queda de valores neste ensaio. Como analisado na Figura 37, repara-se que o maior aumento de fluidez é verificado das

composições com 5% para as composições com 10%. Assim, conclui-se que, para maiores valores MFI, menores valores de resistência ao impacto.

Continuando com as composições, reparou-se nos resultados do ensaio de tração, designadamente na deformação à rotura, que os materiais perderam ductilidade com o aumento de teor de TPS e de TPU, o que pode resultar da redução da massa molecular e da incompatibilidade entre materiais. Este comportamento frágil cada vez mais evidente com o aumento de TPE, causa inevitavelmente a uma redução das propriedades mecânicas como o impacto, necessitando assim, de cada vez menos energia absorvida para o provete partir.

Para finalizar, como verificado no gráfico, a redução desta propriedade é logo notada com incorporações de 1%, embora de forma pouco significativa, com piores resultados na composição de TPU. Conclui-se que a incorporação de TPS e de TPU no PC/ABS afeta negativamente a propriedade de resistência ao impacto mesmo para incorporações baixas. Comparando as diferentes composições, conclui-se que, a composição de PC/ABS com 1% de TPS é a que possui melhores valores nesta propriedade e a composição de 2,5% de TPS apresenta sensivelmente os mesmos valores que a composição de 1% de TPU.

4.1.4 Medição do ângulo de contacto

Na Figura 43 está representada a imagem da deposição de uma micro-gota de água sobre a superfície de uma das misturas analisadas, para medição dos ângulos de contacto. Na Figura 44 encontram-se os valores médios do ângulo de contacto obtidos para os diferentes materiais, medidos em 3 amostras. Todas as amostras foram limpas devidamente com álcool etílico. Paralelamente, no Anexo I estão os valores individuais obtidos para todas as amostras, para este ensaio.

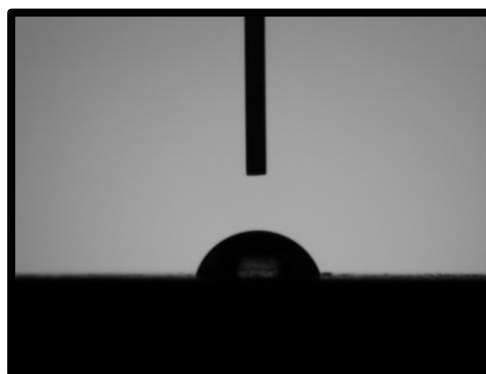


Figura 43. Ângulo de contacto de um dos substratos analisados

Na preparação das amostras analisadas usou-se o mesmo equipamento de moldação por injeção e o mesmo molde, sendo as condições de processamento iguais para todas as amostras. Assim, a variável com maior impacto nos resultados é o material, ou seja, a composição química do substrato, já que as variáveis do processo são muito semelhantes. Adicionalmente, é sabido que os defeitos derivados da moldação por injeção, o acabamento do molde, entre outros [23], influenciam significativamente as propriedades superficiais da peça. O molde utilizado para a produção das amostras tem a forma de haltere, usado para produzir provetes para avaliação das propriedades mecânicas, não possuindo um acabamento superficial especial. Assim sendo, as variações dos valores obtidos para os ângulos de contacto são grandes, todavia, servem para comparação entre os materiais. Apenas se realizou a medição do ângulo de contacto com um líquido polar, a água, por esse motivo apenas se compara a molhabilidade da superfície das peças, sendo que um menor ângulo de contacto corresponde a uma maior molhabilidade por este líquido, ou seja, espera-se que a adesão entre o revestimento (pintura) e o polímero apresente melhores resultados. De lembrar que a medição foi realizada ao longo do comprimento de três provetes de tração para cada mistura.

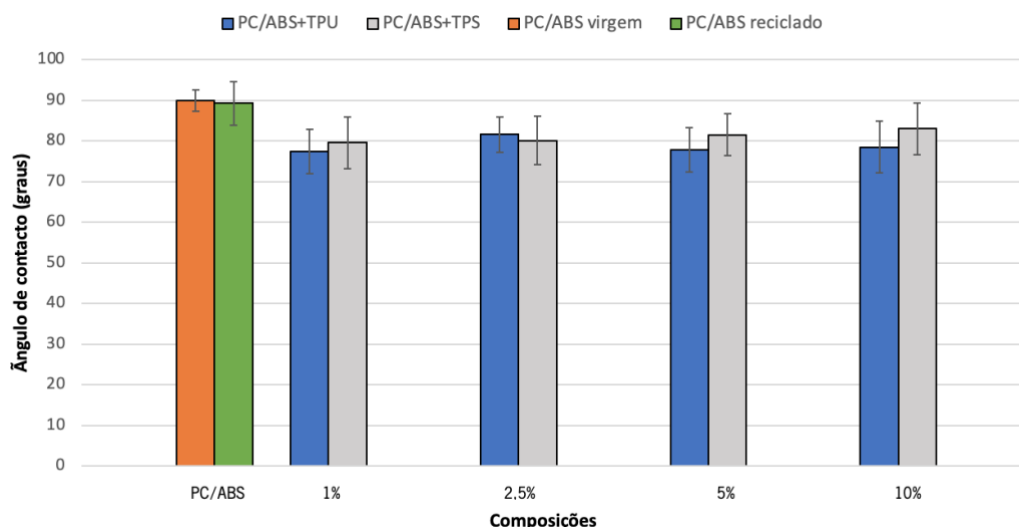


Figura 44. Ângulo de contacto dos materiais PC/ABS virgem e reciclado e das misturas PC/ABS/TPS e PC/ABS/TPU

Iniciando com a comparação entre o PC/ABS virgem e reciclado, a média do ângulo de contacto não variou, porém, o desvio padrão é alterado. No caso do desvio padrão do PC/ABS virgem é baixo, o que pode significar que a capacidade da molhabilidade ao longo do comprimento da peça é sensivelmente a mesma (maior homogeneidade do material). Ou seja,

o revestimento do substrato reciclado pode resultar em piores resultados caso a molhabilidade não seja uniforme ao longo da peça.

Para as composições contendo TPE, os valores do ângulo de contacto são menores quando se compara com o PC/ABS. Porém, os desvios padrão de todas as composições variam entre 4,3 e 6,5, da mesma ordem de grandeza do desvio padrão do PC/ABS reciclado. Assim, a estabilidade da pintura na superfície dos materiais reciclados e das misturas deve ser avaliada, para averiguar se estas variações encontradas na medição do ângulo de contacto se traduzem em algum efeito negativo ou não.

Ao comparar as composições, não existem alterações nos valores do ângulo de contacto com o aumento de TPE na matriz de PC/ABS.

Com estes resultados, conclui-se que independentemente da incorporação de TPE, entre 1% a 10%, o ângulo de contacto com a água é menor que para o PC/ABS o que pode indicar melhores propriedades de molhabilidade.

4.2 Caracterização das peças de alto brilho

Posteriormente às caracterizações dos materiais reprocessados e composições, iniciou-se a etapa da pintura para verificar se os componentes com as composições de PC/ABS e TPE reciclado são revestidos com tinta curada por UV com sucesso. Além disso, foram realizados ensaios, seguindo as normas do setor automóvel, para estes componentes. Assim, nesta etapa recorreu-se à moldação por injeção de um componente de alto brilho com as composições de 2,5% de TPS e de TPU e dos materiais PC/ABS virgem e reciclado.

4.2.1 Controlo visual das peças injetadas

Recorreu-se à moldação por injeção dos componentes com os diferentes materiais com as condições de processamento exibidas em 3.5.1. Posteriormente, à moldação dos componentes de alto brilho com as composições de 2,5% de TPE e de PC/ABS, os componentes foram inspecionados. Infelizmente, a peça como apresenta alto brilho foi impossibilitada a captação detalhada da superfície em fotografia. Na Figura 45, observam-se alguns defeitos provenientes da injeção.

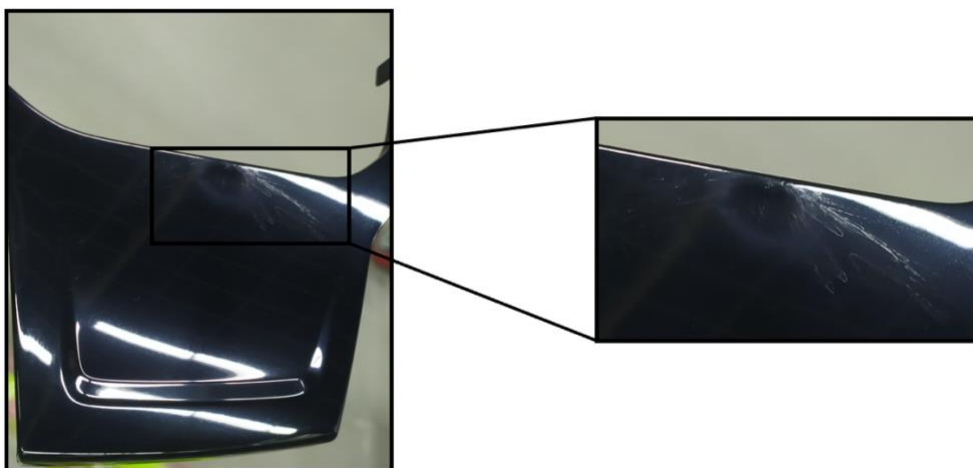


Figura 45. Defeitos encontrados nas peças de alto brilho injetadas

Como se pode observar na figura são exibidos dois defeitos, uma auréola/marca no ponto de injeção juntamente, na mesma área/zona, um espírrado. Adicionalmente, existem alguns brilhos que são observados pela peça quando esta é analisada minuciosamente (este defeito não é visível na figura uma vez que não foi conseguido ser capturado em fotografia). O componente de alto brilho utilizado tem como ponto crítico o ponto de injeção, sendo o sistema de alimentação de canais quentes e, como tal, é onde, geralmente, são exibidos mais defeitos.

Depois da injeção, os componentes são transportados para a pintura, onde alguns defeitos são realçados, outros mitigados e outros são ocultos. Felizmente, os defeitos demonstrados na figura podem ser corrigidos. A marca do ponto de injeção, é um defeito que desaparece após pintura, todavia, por exemplo, alterando a velocidade de injeção ou a temperatura do canal quente, ou seja, otimizando os parâmetros de injeção, o defeito é corrigido.

A humidade do material é a causa provável para o aparecimento dos outros dois defeitos, os traços esbranquiçados na direção do fluxo do material, denominado como espírrado e os brilhos ao longo da peça (uns pontos apenas visíveis com a luz). A humidade sujeita às temperaturas elevadas do processo é transformada em vapor de água e com a velocidade e a pressão de injeção é empurrado para as superfícies do molde. Esse gás é comprimido e são formados defeitos, uma vez que as bolhas são evaporadas, devido ao processo, e congelam na parede do molde. No caso do espírrado, como a pressão e a temperatura são maiores no ponto de injeção são evidenciados os traços de fluxo e no caso

dos brilhos é vapor de água exibido como “pontinhos” ao longo da peça. Todavia, todos os materiais foram secos durante 4 horas a 80°C, colocados em diferentes sacos na mesma estufa.

Paralelamente, foi feita uma observação no qual o defeito do espirrado foi menos realçado nos componentes com PC/ABS reciclado do que nas misturas porque, provavelmente, como existia mais material reciclado nos respectivos sacos do que nas misturas, surgiu uma deficiência no processo de retirar humidade, principalmente nas misturas. Para apoiar esta causa provável, quando se purgou o material foram observadas bolhas de ar. Além disso, este defeito é apenas evidenciado apenas no ponto de injeção não sendo realçado ou manifestado em outro local da peça.

4.2.2 Controlo dimensional

Este ensaio foi realizado com o objetivo de verificar se as composições tinham influência na dimensão dos componentes antes e após pintura. Assim, com as peças de PC/ABS virgem como amostras de referência comparou-se as peças com PC/ABS reciclado e as peças com PC/ABS+TPE verificando se estas últimas mencionadas exibem variações no comprimento das peças. Na Figura 46, observa-se essa variabilidade antes e após pintura nos diferentes materiais.

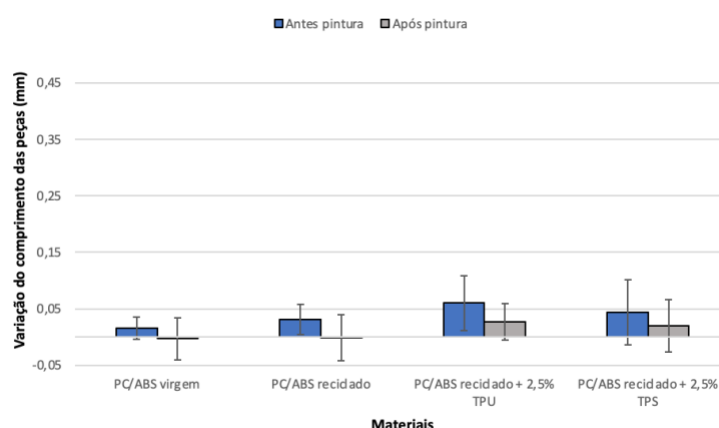


Figura 46. Resultados da variação do comprimento das peças antes e após pintura para os diferentes materiais

Ao analisar o gráfico, comparando o PC/ABS virgem com o reciclado, existe uma variação na ordem das centésimas e um aumento no desvio padrão, o que pode indicar que esta variação seja derivada ao equipamento de medição e ao utilizador. Com a incorporação de TPE nas misturas, a variação do comprimento e os desvios padrão são maiores,

comparativamente ao material virgem. Porém estes valores são muito pequenos o que se conclui que, antes da pintura, os diferentes materiais não têm influência na dimensão das peças.

Adicionalmente, observa-se que, comparando as peças antes e após pintura, existem em todos os materiais uma diminuição da variação do seu comprimento. Este acontecimento pode-se dever pelo facto de as peças ao serem pintadas, atravessam os fornos de cura UV e posteriormente são armazenadas à temperatura ambiente, sofrendo um diferencial de temperaturas, uma vez que, nos fornos de cura UV a temperatura é elevada para que o revestimento endureça, e quando estes componentes saem dos fornos a peça sofre um efeito de contração, ou seja, a sua dimensão é ligeiramente afetada devido do arrefecimento. Para as peças pintadas, o desvio padrão dos diferentes materiais, é sensivelmente o mesmo, porém existe uma menor variação de comprimento para as peças sem incorporação de TPE. Concluindo que, após pintura, os diferentes materiais não têm influência na dimensão das peças.

4.2.3 Medição do brilho

Na Figura 47, encontram-se os resultados da medição do brilho provenientes dos diferentes materiais.

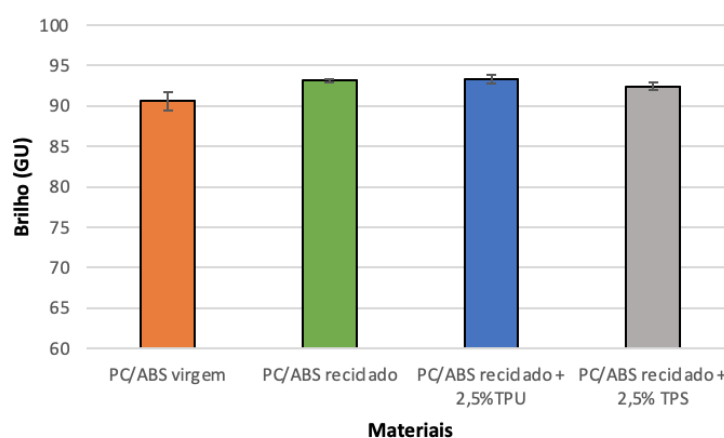


Figura 47. Resultados da medição do brilho para diferentes substratos

Ao analisar o gráfico, verifica-se que, independentemente do substrato testado, não existe variação no brilho, ultrapassando a marca dos 90 GU. Estes resultados são coerentes com outros ensaios [69], no qual o brilho não demonstra variabilidade conforme a

incorporação de material reciclado, concluindo que esta é uma propriedade do revestimento e que com os substratos testados, material reciclado e com a incorporação de TPE reciclado na matriz, o brilho não é afetado.

4.2.4 Medição da cor

Realizou-se a medição da cor dos diferentes substratos pintados para compreender a influência dos materiais no revestimento relativamente à cor, assim, na Tabela 12 pode-se observar os resultados obtidos para este ensaio.

Tabela 12. Resultados obtidos do teste de cor para os diferentes substratos

Materiais	Coordenadas da cor		
	L	a	b
PC/ABS virgem	2,18	0,03	-0,73
PC/ABS reciclado	2,47	0,11	-1,08
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU	2,62	0,09	-0,96
PC/ABS reciclado + 2,5% TPS	2,44	0,06	-0,85

Como se pode observar, comparando os materiais reciclados e os materiais incorporados com TPE com PC/ABS virgem verifica-se que não existem diferenças no que concerne a esta propriedade. O fator “L”, a luminosidade, valores entre 0 e 100, preto a branco, respetivamente, não é alterado, onde o valor obtido é indicado para a cor preta. De igual forma, não se verificam disparidades nos valores do eixo “a”, valores próximos do zero, indicando mais proximidade para tons acinzentados e para o eixo “b” os valores indicam de que a cor aproxima-se do tom azul. Portanto, conclui-se que os diferentes substratos não influenciam a cor do revestimento.

4.2.5 Resistência ao risco

De forma a poder observar a influência que os diferentes substratos dispõem, no que se refere à resistência de uma força mecânica, realizou-se o teste da resistência ao risco, onde se utilizaram 3 componentes de cada composição. Na Tabela 13, são apresentados os resultados para este teste.

Tabela 13. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos após pintura

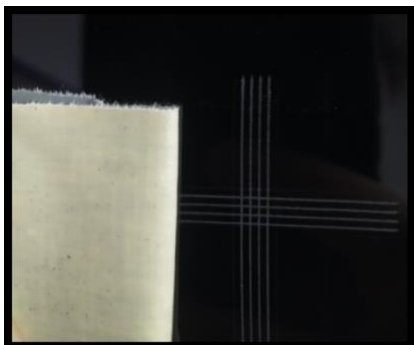
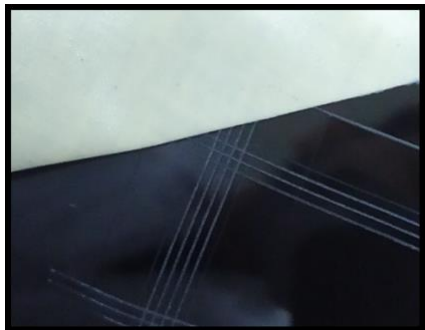
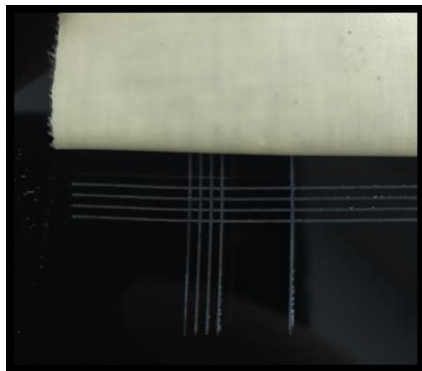
Materiais	Resultados obtidos
PC/ABS reciclado	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPS	OK

Os resultados obtidos deste ensaio mostram que o PC/ABS reciclado e os materiais com as incorporações de 2,5% de TPE reciclado não influenciam a dureza do revestimento. Verificou-se que a marca resultante da pressão exercida com a caneta *Erichsen* na peça não provocou o levantamento do revestimento.

4.2.6 Teste de aderência Cross-cut

Para verificar a adesão entre o revestimento e os diferentes substratos reciclados recorreu-se ao teste cross-cut. Para isso, utilizaram-se 3 peças de cada composição. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Tabela 14, tal como, a classificação alocada.

Tabela 14. Resultados obtidos do teste cross-cut após pintura para os diferentes substratos

Materiais	Resultados obtidos	Classificação
PC/ABS reciclado		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5% TPS		Gt0 (OK)

Como se pode observar, o substrato de PC/ABS reciclado e os substratos com a incorporação de 2,5% de TPE obtiveram a classificação de Gt0, no qual não houve descamação de tinta em nenhum dos substratos. Concluindo que estes substratos reciclados após pintura, passaram no teste de aderência, segundo a norma proposta, não exibindo influências nem problemas com a incorporação de TPE reciclado.

4.2.7 Resistência a cremes

Este ensaio tem como intuito visualizar se os cremes A e B têm alguma influência na peça relativamente à aparência superficial, adesão e resistência ao risco. Após 24 horas numa estufa a uma temperatura de 80°C, com um período de 4 horas a temperatura ambiente para o componente estabilizar, foram realizados os testes. Na Figura 48, encontra-se um componente de um substrato, a servir como exemplo.



Figura 48. Aparência superficial de um substrato após ser colocado numa estufa no ensaio de resistência a cremes

Como já referido, é difícil obter fotografias da aparência superficial de uma peça de alto brilho, porém, como se pode observar não existem marcas, fissuras, ou qualquer tipo de modificação na aparência. Este resultado foi unânime para todos os componentes, para ambos os cremes, independentemente do tipo de substrato testado.

- **Resistência ao risco**

Posteriormente à análise visual dos componentes, seguiu-se para o teste de resistência ao risco, onde foram testados os diferentes tipos de substratos, nos locais exibidos na Figura 48, para os diferentes tipos de creme, nos quais os resultados estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos no ensaio de resistência a cremes

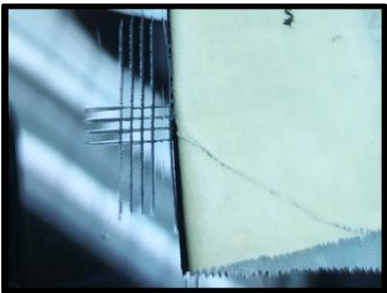
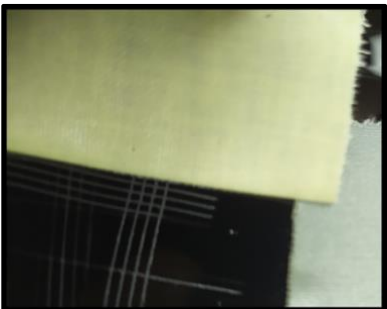
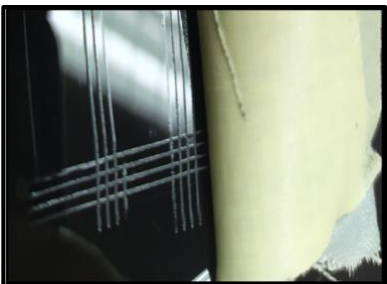
Materiais	Resultados obtidos
PC/ABS reciclado	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPS	OK

Observados os resultados, conclui-se que os diferentes substratos não influenciam a dureza do revestimento quando sujeitos ao teste de resistência a cremes. O resultado foi semelhante para todos os substratos onde se visualizou a marca resultante da pressão exercida com a caneta *Erichsen* sem levantamento de revestimento.

- **Teste de aderência Cross-cut**

Em último lugar, para avaliar a influência dos cremes nos diferentes substratos, procedeu-se à realização do teste cross-cut. Os resultados provenientes deste ensaio podem ser observados na Tabela 16, onde está alocada a sua classificação para cada substrato.

Tabela 16. Resultados obtidos do teste cross-cut no ensaio de resistência a cremes para os diferentes substratos

Materiais	Resultados obtidos	Classificação
PC/ABS reciclado		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5 TPS		Gt0 (OK)

Como se pode observar e analisar as imagens, conclui-se que não há alterações na aderência do substrato/revestimento depois de as peças serem submetidas a uma temperatura de 80°C durante 24 horas com os diferentes cremes. Todos os substratos reciclados obtiveram a classificação Gt0, no qual não exibiram descamação de tinta.

4.2.8 Hidrólise

Os testes de hidrólise impõem condições extremas de temperatura e de humidade, de modo a simular um processo de envelhecimento num curto espaço de tempo. Assim, foram realizados testes ao comportamento do revestimento em diferentes substratos sujeitando as peças à hidrólise. Superficialmente, todos os substratos não foram alterados significativamente, porém, com uma análise mais minuciosa são observados brilhos em alguns locais da peça em todos os componentes, derivados da moldação por injeção, sobressaindo após este processo.

- **Teste de resistência ao risco**

Após a visualização, com o recurso à caneta *Erichsen*, procedeu-se ao teste de dureza em vários locais para os diferentes substratos. Na Tabela 17, estão exibidos os resultados obtidos.

Tabela 17. Resultados obtidos do teste de resistência ao risco para os diferentes substratos para o ensaio de hidrólise

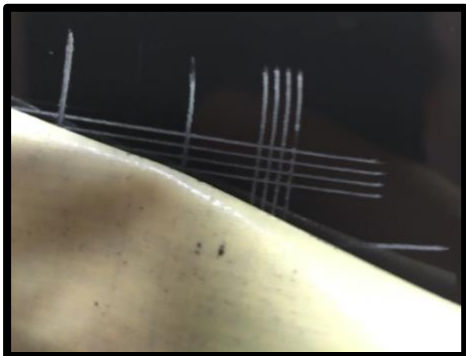
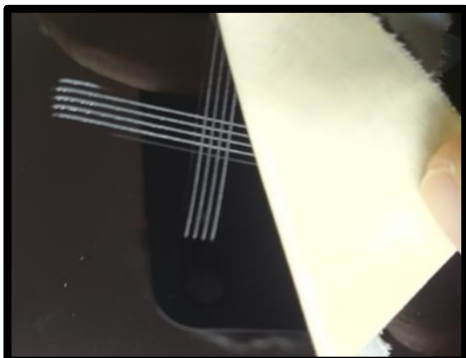
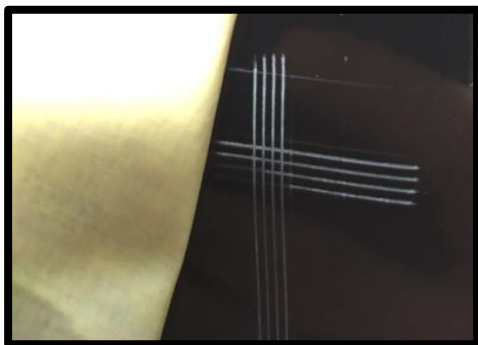
Materiais	Resultados obtidos
PC/ABS reciclado	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU	OK
PC/ABS reciclado + 2,5% TPS	OK

Como se pode analisar, apenas surgiu a marca resultante da pressão da caneta sem levantamento de revestimento, concluindo que diferentes materiais reciclados não têm qualquer influência na resistência ao risco mesmo em condições extremas de temperatura e de humidade.

- **Teste de aderência Cross-cut**

Para compreender a influência das condições extremas relativamente à aderência do revestimento e substrato nos diferentes materiais realizou-se o cross-cut, sendo apresentados os resultados obtidos na Tabela 18.

Tabela 18. Resultados obtidos do teste cross-cut no ensaio de hidrólise para os diferentes substratos

Materiais	Resultados obtidos	Classificação
PC/ABS reciclado		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5% TPU		Gt0 (OK)
PC/ABS reciclado + 2,5 TPS		Gt0 (OK)

Estes resultados obtidos mostram que as propriedades de adesão são mantidas. As peças mesmo sendo sujeitas a estas condições extremas apresentam boa adesão entre

revestimento e substrato. Concluindo que, independentemente dos substratos testados, as condições de adesão são mantidas mesmo quando os componentes são sujeitos a fatores extremos de temperatura e de humidade.

4.2.9 Sumário

Findados os testes de caracterização das peças pintadas pode-se concluir que os resultados foram positivos uma vez que os substratos estudados tiveram os seguintes resultados:

- As propriedades do revestimento, como a cor e o brilho não são alteradas com estes materiais.
- Relativamente à análise dimensional das peças, existe uma pequena variação, porém como os valores são muito pequenos, antes e após pintura, os substratos reciclados não têm influência na montagem das peças.
- Os substratos estudados possuem boa compatibilidade química com o revestimento e boa intensidade das forças intermoleculares, visto que a adesão entre o revestimento e o substrato é ótima.
- Em todos os ensaios da resistência ao risco, a utilização de materiais reciclados ou de misturas não influenciaram a dureza e a aparência superficial das peças, não sofreram modificações com a hidrólise e na resistência a cremes.

Como referido, os substratos constituídos com as composições recicladas de PC/ABS com TPS e com TPU foram sujeitos à pintura para validar a possibilidade de estes materiais serem pintados. Além disso, sujeitaram-se estes substratos aos testes representativos de condições de serviço (requisitos impostos no setor automóvel). Verificados os resultados, pode-se concluir, que os substratos reciclados são pintados com sucesso e a sua utilização é viável para outros componentes, ou seja, relacionando com o objetivo da dissertação, é possível aproveitar as peças não conformes provenientes da moldação multimaterial de PC/ABS com TPS e com TPU, conduzindo este desperdício, para a produção de outros componentes, mesmo que estes sejam posteriormente pintados.

4.3 Peel test

Neste tópico aborda-se o ensaio *peel test*, que demonstra a resistência das forças de adesão entre dois materiais. Para este caso, foram utilizados dois materiais flexíveis, o TPU e o TPS e o material rígido PC/ABS. Como referido anteriormente, os provetes usados neste teste foram produzidos através da moldação por compressão em forma de placas e posteriormente cortados em provetes retangulares com 15 mm de largura. Obtidos os provetes, recorreu-se ao ensaio de tração, onde foram colocados numa posição de 180° e submetidos a uma deformação uniaxial a velocidade constante. Em cada amarra, foi preso o diferente tipo de material, ou seja, na amarra de baixo, o termoplástico rígido PC/ABS e na amarra de cima, o TPE. O ensaio foi conduzido para duas velocidades constantes, a 200 mm/min e a 500 mm/min.

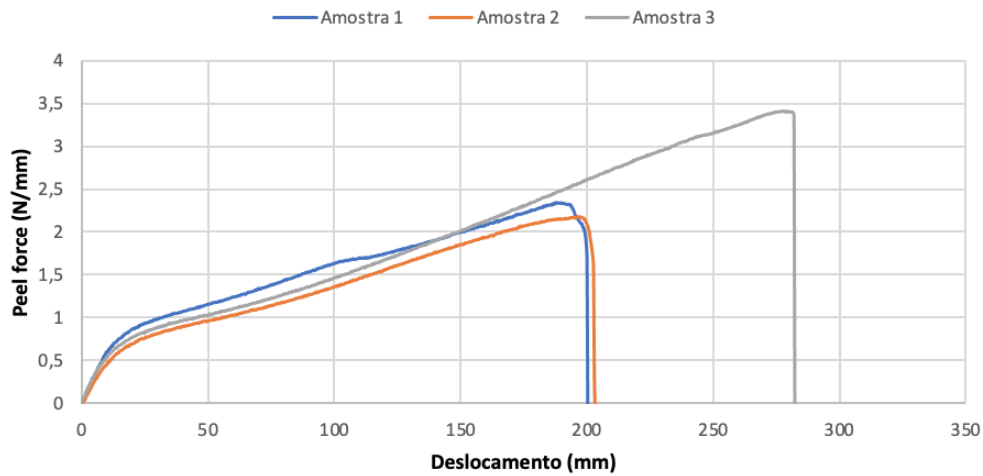
Na Figura 49, observam-se algumas imagens, fotografadas no momento em que se procedia à tração de um provete com PC/ABS e TPU.



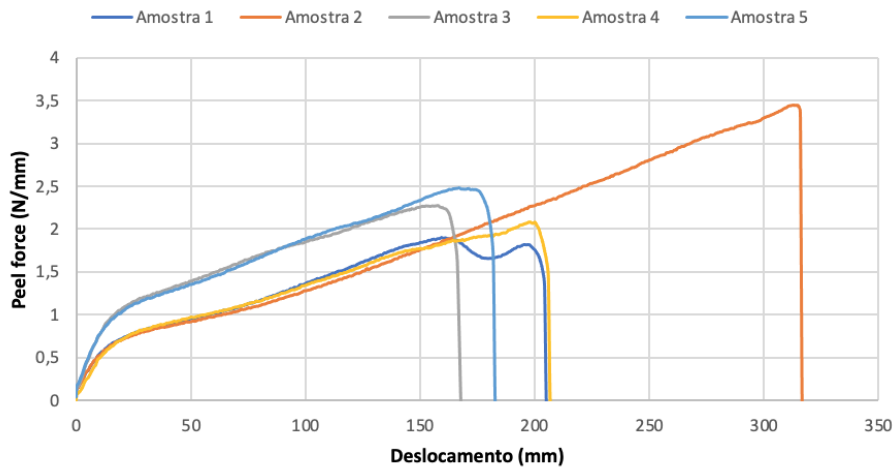
Figura 49. Peel test PC/ABS com TPU

Como se pode visualizar, o TPU é deformado verticalmente a velocidade constante até a um ponto em que a sua espessura reduzia de tal forma que escorregava da amarra. Esta ocorrência aconteceu para todos os provetes de TPU, exibindo apenas a deformação do material. Na Figura 50, estão apresentados os gráficos para as duas velocidades, com os eixos

relativos à carga (N) dividida pela largura do provete (mm), denominada peel force (N/mm) e no outro eixo encontra-se o deslocamento (mm).



(a)



(b)

Figura 50. Gráfico Peel force x deslocamento para o material TPU com PC/ABS (a) a uma velocidade de 200 mm/min (b) a uma velocidade de 500 mm/min

Como se pode observar, o material é continuamente deformado até desprender da amarra, não exibindo qualquer separação entre os dois materiais. A velocidade não tem influência no resultado, uma vez que se obtiveram resultados semelhantes em ambas as condições. Na Figura 51 são apresentadas as amostras após o ensaio, para as duas velocidades de *peeling*.

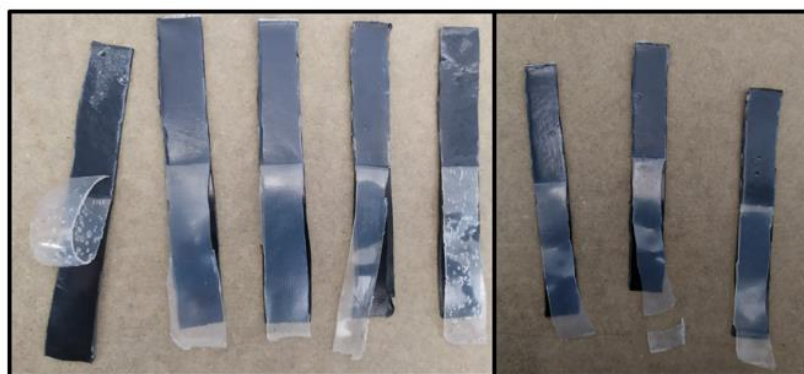


Figura 51. Amostras após realizado o *peel test* em PC/ABS com TPU; 1ª imagem: velocidade 500mm/s; 2ª imagem: velocidade 200mm/s

Ao observar as imagens, conjuntamente com os gráficos apresentados, visualiza-se a deformação do próprio TPU sem a separação dos diferentes materiais para as diferentes velocidades. Concluindo que, o PC/ABS com o TPU apresentam excelente adesão química uma vez que não apresentam qualquer tipo de falha, em ambas as velocidades sujeitas.

Relativamente, ao ensaio da resistência à adesão entre o PC/ABS e TPS observaram-se dois tipos de ocorrência no ensaio de tração exibidos na Figura 52.

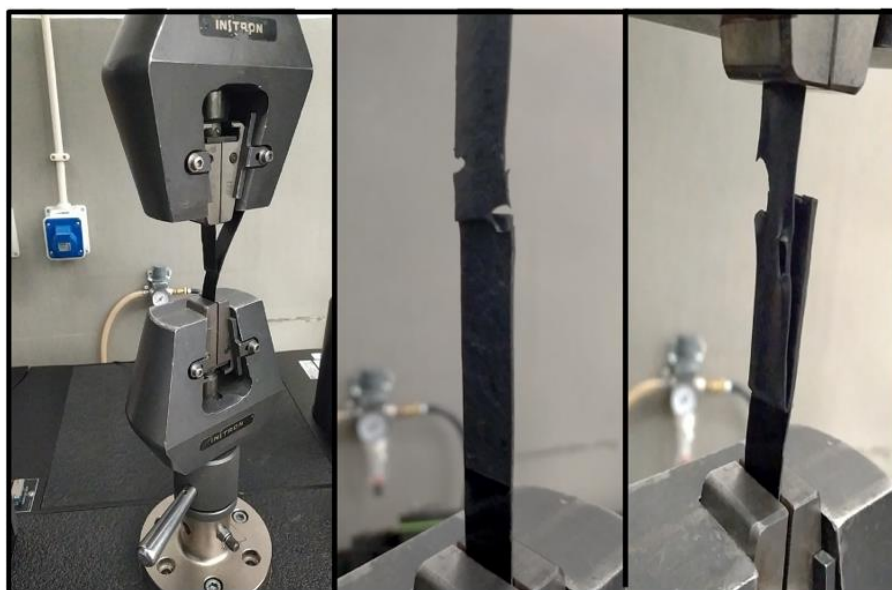


Figura 52. *Peel test* PC/ABS com TPS; 2ª imagem: separação de interfaces; 3ª imagem: rotura do TPS

Para estes dois materiais, existiram dois resultados distintos, em alguns provetes observou-se a separação de interfaces, como se observa na 2ª imagem e, na 3ª imagem, a rotura do TPS.

Na Figura 53, encontram-se os gráficos relativos à força de adesão entre o PC/ABS e o TPS para as duas velocidades.

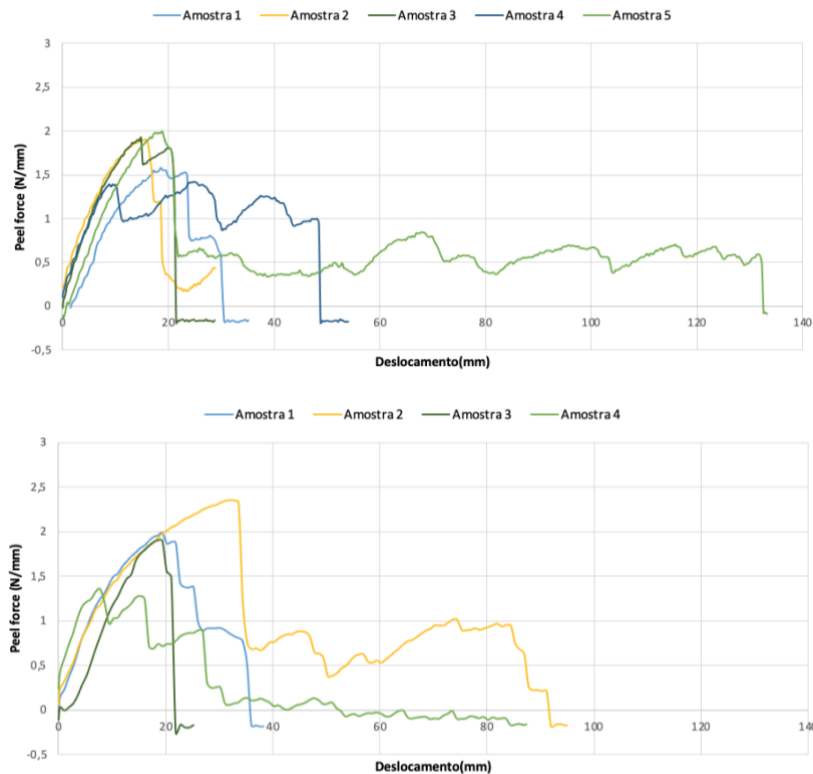


Figura 53. Gráfico Peel force x deslocamento para o material TPS com PC/ABS (a) a uma velocidade de 200 mm/min; (b) a uma velocidade de 500 mm/min

Os gráficos das Figura 53 mostram que tanto para uma de velocidade de 200 mm/min como para 500 mm/min, a maior parte das amostras resulta na rotura do TPS. Além disso, apenas numa amostra, para cada velocidade, se observou a separação do TPS do PC/ABS exibindo uma *peel force* de 0,3 N/mm. Os resultados demonstram falhas de adesão, uma vez que existe a separação do TPS do PC/ABS. Adicionalmente, são exibidas falhas coesivas, visto que existiu a rotura do TPS e, porventura definiu uma separação entre o substrato e o revestimento.

Na Figura 54, são exibidas as amostras retiradas após o ensaio de tração.



Figura 54. Amostras após realizado o *peel test* em PC/ABS com TPU; 1ª imagem: velocidade 200mm/s; 2ª imagem: velocidade 500mm/s

Para que o substrato promova a adesão a um revestimento, idealmente deve possuir: uma elevada energia livre de superfície determinada pela intensidade das forças intermoleculares, uma adequada rugosidade superficial e uma boa compatibilidade química com o revestimento [63]. Relativamente à polaridade, os SBC (copolímeros estirénicos) têm excelente adesão para casos onde a polaridade do substrato é semelhante [20]. Porém, neste caso, o TPS (SEBS) é um polímero não polar e o PC e o ABS são polímeros polares, resultando assim, numa má adesão entre os dois materiais. As falhas de adesão verificadas no PC/ABS com o TPS são resultado da divergência de polaridade entre estes dois polímeros, ou seja, não há boa compatibilidade química entre eles, apesar do ABS conter uma fração de PS, semelhante à composição do TPS.

Portanto, observando os diferentes resultados que se obteve para os dois tipos de TPE na adesão com o PC/ABS, conclui-se que o TPU apresenta uma maior intensidade das forças intermoleculares com o PC/ABS e uma melhor compatibilidade química, relativamente ao TPS. Este resultado está em concordância com *J. G. Drobny* [16] provando que o TPU apresenta uma boa afinidade química com o PC/ABS.

4.4 Viabilidade do processo

A reciclagem primária, como já referido, é a utilização direta de material desperdiçado não contaminado resultante do processo de transformação. Esta tecnologia implementada na empresa, além de promover a sustentabilidade, uma vez que os desperdícios são aproveitados, torna este ciclo economicamente atrativo.

Como verificado na Figura 21, os componentes em estudo necessitam de uma grande quantidade de material, em forma de sistemas de alimentação, para moldar as tiras de TPE nos componentes de PC/ABS. Além disso, no ponto 4.1.2ii.) concluiu-se que os TPE estudados, TPS e TPU, em 1 ciclo de processamento não perdem propriedades mecânicas. Assim, verificada a exequibilidade de reprocessamento e de reutilização destes materiais, pensou-se numa estratégia. Na Figura 55, está apresentada a estratégia de circulação do TPE, em forma de sistemas de alimentação. Inclui informações de cada componente, relativamente à quantidade de material necessária para moldar cada componente e o seu jito respetivo em TPE.

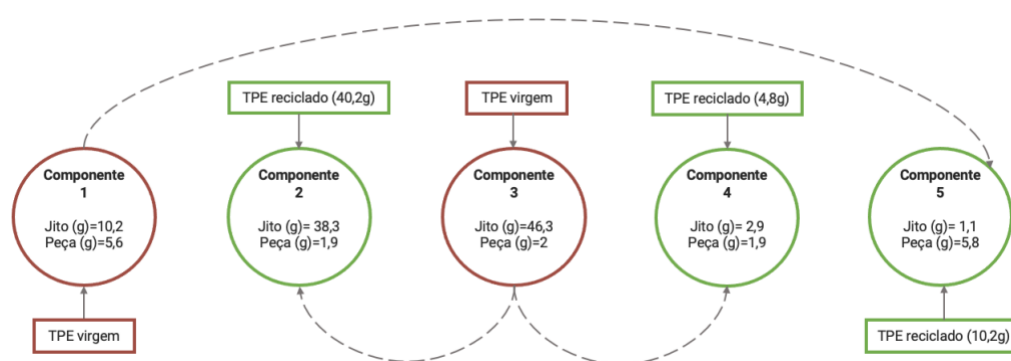


Figura 55. Esquema de estratégia de implementação da economia circular para estes componentes

Assim, como observado na figura, de modo a circular a matéria prima e aproveitar o desperdício resultante do sistema de alimentação, pensou-se em granular os jitos de TPE do componente 3 e aproveitar para os componentes 2 e 4 e, do mesmo modo, granular os sistemas de alimentação do componente 1 para o componente 5. Com esta estratégia, apenas os componentes 1 e 3 utilizavam TPE virgem enquanto que, os restantes componentes, possuíam TPE reciclado. Anualmente, iriam ser desperdiçadas 21 toneladas de sistemas de alimentação de TPE. Ao pôr em prática esta estratégia, a somar com o material necessário para cada peça, ao invés de serem utilizadas 25,5 toneladas de TPE anuais para os componentes, gastam-se apenas 14 toneladas. Esta quantidade inicial referida é equivalente a um custo de 179 mil euros reduzindo para 99 mil, uma poupança de 40% do custo inicial.

Além disso, criaram-se e estudaram-se as composições de TPS e de TPU com PC/ABS, simulando assim, os componentes não conformes provenientes do processo de moldação multimaterial. Verificou-se, que as composições são pintadas com sucesso, porém, relativamente às restantes caracterizações, concluiu-se que a incorporação de grandes

percentagens de TPE no PC/ABS é prejudicial nas suas propriedades. Assim, a estratégia apresentada na Figura 56, é apontada apenas para os componentes com 1% e 2% de TPE. Admitindo uma percentagem de 1,5% para peças não conformes, é apresentado no esquema, o equivalente do peso e do preço, para cada componente, anualmente.

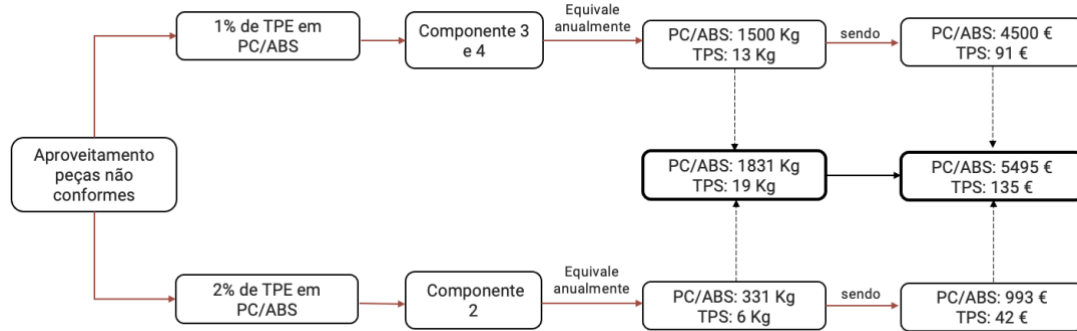


Figura 56. Esquema relacionando a quantidade de peças não conformes com o seu preço para as composições escolhidas

A estratégia de circulação destes componentes não conformes é a sua granulação e a sua incorporação direta na tremonha relativa ao PC/ABS.

Com este procedimento, além de promover a circularidade destes desperdícios, reaproveita-se anualmente, 1831 kg de PC/ABS e 19 kg de TPE, equivalente a 5495 euros e 135 euros, respetivamente.

5. CONCLUSÃO

É fulcral que todas as indústrias de plástico ajam de forma sustentável transitando de uma economia linear para uma circular. Com este passo, além de mitigar o impacto ambiental, proveniente do desperdício causado pelos processos, maximizam os seus lucros, visto que, a matéria prima é a variável mais dispendiosa e, quando aproveitada, pode ser direcionada para outros produtos. O reprocessamento dos materiais é uma área que necessita de investigação, porque todos os materiais são únicos, exibindo propriedades distintas, reagindo de forma diferenciada à degradação causada pelos processos de produção. De igual modo, um aspeto aliciante e interessante são as misturas com diferentes materiais. Esta prática apresenta novos tipos de polímeros com propriedades alargadas e melhoradas com várias possibilidades de combinação de uma forma mais barata e versátil que a síntese de novos materiais.

Este projeto juntou estas duas áreas, ou seja, com o objetivo de aproveitar os desperdícios causados pela moldação multimaterial, este estudo mostra a influência das propriedades quando o PC/ABS, o TPS e o TPU são sujeitos ao reprocessamento e as consequências de misturar estes materiais reciclados. Além disso, uma vez que os componentes provenientes da moldação multimaterial são pintados, surgiu a necessidade de investigação da influência da pintura nos substratos reciclados contendo misturas de materiais. De seguida apresentam-se as principais conclusões relativas ao reprocessamento dos materiais:

- No material PC/ABS, a propriedade estudada mais prejudicada pela reciclagem foi a deformação à rotura. Esta redução é causada pela quebra de cadeias (verificado um ligeiro aumento na fluidez do material) e pela degradação do componente butadieno, responsável pela ductilidade do ABS;
- Relativamente ao TPS e ao TPU, limitada a deformação até aos 400% devido ao limite do equipamento, as propriedades analisadas de tensão e módulo não foram alteradas com 1 ciclo de reprocessamento.

Concluindo que os canais de alimentação provenientes da injeção dos TPE podem ser aproveitados sem perda de propriedades mecânicas.

Relativamente às composições de PC/ABS com TPS e PC/ABS com TPU, estas foram preparadas de modo a simular as possíveis composições presentes nas peças não conformes. Com as caracterizações efetuadas, concluiu-se que com o aumento de TPE na mistura de PC/ABS:

- O MFI aumenta conforme a maior incorporação de TPE, devido ao baixo peso molecular destes;
- Redução da propriedade de deformação à rotura, relacionada com a mistura do TPE com massa molecular inferior e, portanto, maior MFI. Comparativamente, entre as misturas com TPS e com TPU, as composições com TPS apresentam menor redução de deformação à rotura, nomeadamente as composições com 1% e 2,5% de TPS, uma vez que apresentam valores semelhantes com os valores das propriedades mecânicas do PC/ABS reciclado.;
- Redução da resistência do impacto devido à adição de materiais com massa molecular inferior (MFI superior) e da redução da ductilidade.

Os ângulos de contacto mantêm-se invariáveis para todas as misturas de TPE com PC/ABS independentemente do teor de TPE.

Para que as composições sejam utilizadas para outros componentes, produziu-se peças de alto brilho de PC/ABS virgem, reciclado, e misturas com 2,5% de TPS e de TPU. Posteriormente, submeteram-se estas peças ao processo de pintura UV. Na injeção das peças, observaram-se defeitos devido nomeadamente, à humidade dos materiais e há falha de otimização do processo. Estes defeitos devem ser corrigidos, secando os materiais individualmente, e otimizando as condições de processamento para cada composição. Relativamente aos resultados dos ensaios realizados foram os seguintes:

- A incorporação dos diferentes materiais reciclados não teve influência na cor e no brilho;
- Os ensaios de resistência ao risco, realizados após pintura, resistência a cremes e hidrólise tiveram uma notação OK;
- Nos testes de adesão, cross-cut, todas as amostras obtiveram a classificação *Gt0* nos diferentes ensaios, o que significa que os substratos têm boa compatibilidade química e boa intensidade das forças intermoleculares com o revestimento;

- A aparência superficial não foi alterada após ensaios de resistência a cremes e na hidrólise, porém, neste último ensaio, foi verificada uma maior evidência de brilhos (pontinhos ao longo da peça);
- Na análise dimensional das peças, não existem grandes variações com a incorporação de material reciclado e de TPE,

Concluindo que os substratos são pintados com sucesso e assim, é possibilitado o aproveitamento das peças não conformes para outros componentes, que porventura, são pintados.

Com os resultados obtidos é possível implementar duas estratégias visando a economia circular na empresa. Como os TPE não exibiram modificações nas propriedades de tração, em 1 ciclo de reprocessamento, pensou-se em implementar uma estratégia que aponta para um aproveitamento dos sistemas de alimentação. Nesta estratégia, aloca-se os sistemas de alimentação do componente 3 para o componente 2 e 4, e do componente 1 para o 5, ou seja, apenas os componentes 1 e 3 utilizam TPE virgem enquanto que os restantes utilizam TPE reciclado, reduzindo os gastos para 99 mil euros, uma redução de 40%.

Verificados os resultados para as composições com TPE, concluiu-se que quantidades superiores a 5 % em massa no PC/ABS podia ser prejudicial para as suas propriedades mecânicas. Assim, apenas os componentes não conformes com 1% e 2% de TPE são viáveis para reaproveitar. Os componentes com maior fração de TPE requerem uma diluição do TPE presente, com adição de PC/ABS. Nesta segunda estratégia, conduz-se estes componentes para o moinho e o material é incorporado no PC/ABS virgem. Posto isto, arbitrou-se um valor de cerca de 1,5% para as peças produzidas que, anualmente, são consideradas não conformes. Concluindo que, dos 5 componentes apresentados no ponto 3.1, apenas se aproveitam 3 componentes: 2 que contêm 1% do seu peso total em TPE e 1 que contem 2% do seu peso total em TPE. Ao implementar, pode-se poupar, anualmente, 5495 euros que correspondem ao material PC/ABS e 135 euros ao material TPE.

O último ponto desta conclusão é relativo ao teste que se realizou no âmbito de avaliar qual dos TPE, entre o TPS e o TPU, obtinha melhores resultados na adesão ao PC/ABS, uma vez que estes componentes são provenientes da moldação multimaterial, onde o TPE é sobremoldado no PC/ABS. Concluiu-se que o TPU apresenta melhores resultados,

apresentando maior intensidade das forças intermoleculares e de uma melhor compatibilidade química entre os materiais. Os resultados entre o TPS e o PC/ABS foram piores, uma vez que, surgiram falhas de adesão entre o substrato e o revestimento e a rotura do TPS. Estes resultados podem ser devidos à diferença de polaridade dos materiais, afetando a compatibilidade química e, consequentemente, a redução da adesão.

Com este trabalho, além de aprender imenso sobre todos os processos referidos, aprendi que, antes da produção de um novo produto final, as empresas têm que estudar estratégias para reaproveitar os desperdícios resultantes destes processos, de forma a implementar a circularidade dos materiais plásticos, tornando-os mais sustentáveis ambientalmente, e maximizando os seus lucros.

6. TRABALHOS FUTUROS

Neste ponto aborda-se alguns ensaios que podem ser procedidos para complementar este estudo.

Com os resultados obtidos reparou-se nas diferenças de alguns valores nas propriedades quando o TPS e o TPU reciclados são misturados no PC/ABS reciclado. Gerou-se conhecimento sobre o comportamento que o PC/ABS apresenta quando misturado com o TPE. Porém, acerca de algumas propriedades, não foram efetuados ensaios aprofundados focados nas diferenças destas misturas. Por isso, era positivo se se recorresse à realização da microscopia SEM à fratura do material tracionado, de modo a perceber a influência dos TPE no PC/ABS, relativamente ao tamanho das partículas, nas estruturas poliméricas, se existe algum efeito de reforço, entre outros fatores. Esta noção, complementava alguns efeitos que surgiram nas caracterizações destes materiais demonstrados neste projeto. Além disso, a realização de ensaios térmicos era benéfica como o DMA para compreender o comportamento térmico dos materiais envolvidos.

Na injeção das peças de alto brilho, surgiram defeitos que se pensa que foram causados devido à humidade dos materiais. Para que essa dúvida seja extinta, recorria-se à injeção das misturas, porém num método de secagem distinto do utilizado, como por exemplo cada saco

de cada mistura numa estufa individual ou as misturas colocadas num tabuleiro e estufadas num forno.

Além disso, uma maior investigação no reprocessamento dos TPE estudados, no sentido de perceber qual o máximo número de ciclos para cada um sem a perda de propriedades mecânicas, térmicas e adesão. Adicionalmente, se estes materiais reciclados com diferentes ciclos se comportam na injeção de igual forma comparativamente aos materiais virgens.

Finalmente, de modo a complementar e afinar a estratégia pensada para a circularidade da matéria prima, era necessário somar os custos que esta implementação tinha para a empresa nomeadamente em custos de mão de obra e de processo (energia, equipamentos, etc.).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Fehst Componentes, Lda.” [Online]. Retirado de: <http://www.fehstgroup.com/pt/>. [Acedido a: 21-Jan-2020].
- [2] Plastics Europe, “Plastics-the Facts 2019 An analysis of European plastics production, demand and waste data.” [Online]. Retirado de: https://www.plasticseurope.org/application/files/1115/7236/4388/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf. [Acedido a: 22-Jan-2020].
- [3] A. Azapagic, A. Emsley, and I. Hamerton, *Polymers , the environment and sustainable development*. John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [4] David Schönmayr, *Automotive recycling , Plastics , and Sustainability*. Springer, 2017.
- [5] L. Miller, K. Soulliere, S. Sawyer-Beaulieu, S. Tseng, and E. Tam, “Challenges and alternatives to plastics recycling in the automotive sector,” *Waste Manag. Valorization Altern. Technol.*, pp. 237–265, 2017.
- [6] V. K. Raman Sharma and M. Sharma, “Plastics: Issues Challenges and Remediation,” *Int. J. Waste Resour.*, vol. 04, no. 01, pp. 1–6, 2014.
- [7] R. Francis, “Recycling of polymers,” *Wiley-VCH*, pp. 1–122, 2017.
- [8] Vanessa Goodship, “Introduction to Plastics Recycling,” *Smithers Rapra*, vol. 2nd editio, pp. 1–141, 2007.
- [9] “Circular Plastics Alliance | Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs.” [Online]. Retirado de: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/circular-plastics-alliance_en. [Acedido a: 24-Oct-2019].
- [10] Ellen Macarthur Foundation, “Eleven companies take major step towards a New Plastics Economy,” *Ellenmacarthurfoundation.Org*, 2018. [Online]. Retirado de: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/11-companies-take-major-step-towards-a-new-plastics-economy>. [Acedido a: 24-Jan-2020].
- [11] G. Akovali, C. A. Bernardo, J. Leidner, L. A. Utracki, and C. Xanthos, MarinoA.Bernardo, “Frontiers in the Science and Technology of Polymer Recycling,” *Front. Sci. Technol. Polym. Recycl.*, no. Chapter 3, pp. 215–247, 1998.

- [12] F. P. La Mantia, *Recycling of plastic materials*, vol. 1. 1993.
- [13] J. Kuk, K. Sabu, T. Prosenjit, and S. Editors, *Multicomponent Polymeric Materials*. Springer, 2016.
- [14] P. K. Mallick, "Thermoplastics and thermoplastic-matrix composites for lightweight automotive structures," *Mater. Des. Manuf. Light. Veh.*, pp. 174–207, 2010.
- [15] A. Cunha, *Manual do projectista para moldes de injeção e plástico*, Centimfe. 2003.
- [16] J. G. Drobný, *Handbook of Thermoplastic Elastomers*, 2nd ed. Elsevier, 2007.
- [17] G. R. Hamed, "Materials and Compounds," in *Engineering with Rubber*, O. Department of Polymer Science, The University of Akron, Akron, Ed. 2012, pp. 2: 11-36.
- [18] C. A. Harper, "Handbook of plastics, elastomers & composites," *Plast. Mater. Process.*, vol. 4th editio, p. Chapter 3, 2003.
- [19] J. S. Dick, *Rubber Technology - Compounding and Testing for performance*, Chapter 10. 2001.
- [20] P. J. Perron, *New developments in thermoplastic alloys*, vol. 6, no. 1. 1986.
- [21] S. Amin and M. Amin, "Thermoplastic elastomeric (TPE) materials and their use in outdoor electrical insulation," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 29, no. 1, pp. 15–30, 2011.
- [22] H.-M. T. Kalle Hanhi, Minna Poikelispää, "Elastomeric Materials," *TAMPERE Univ. Technol. Lab. Plast. ELASTOMER Technol.*, p. 84, 2007.
- [23] Brydson, "Brydson's Plastics Materials," *Brydson's Plast. Mater. Eighth Ed.*, pp. 19-23;121-123;214-220;653-700, 2017.
- [24] M. A. Peydro, D. Juarez, E. Perez-Bernabeu, and M. A. Selles, "Thermal Analysis of Sebs Blends With Phase Change Material for Injection Molding," *Ann. ORADEA Univ. Fascicle Manag. Technol. Eng.*, vol. XXIII (XII), no. 3, pp. 81–84, 2014.
- [25] N. S. Allen *et al.*, "Degradation and stabilization of styrene-ethylene-butadiene-styrene (SEBS) block copolymer," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 71, no. 1, pp. 113–122, 2000.
- [26] A. Frick and A. Rochman, "Characterization of TPU-elastomers by thermal analysis (DSC)," *Polym. Test.*, vol. 23, no. 4, pp. 413–417, 2004.
- [27] S. Cruz, "Characterization of Nano-Reinforced Thermoplastic Elastomers," *Diss. Mestr.*, 2009.
- [28] L. A. K. Bugin, "Aplicação do Ciclo de Reciclagem de Materiais (CRM) no poliuretano

- termoplástico (TPU)," *Diss. Mestr.*, vol. Universida, p. 63, 2019.
- [29] B. Batı, E. B. Küçük, A. Durmuş, and M. Nofar, "Microcellular foaming behavior of ether- and ester-based TPUs blown with supercritical CO₂," *J. Polym. Eng.*, vol. 40, no. 7, pp. 561–571, Aug. 2020.
- [30] F. Xie, T. Zhang, P. Bryant, V. Kurusingal, J. M. Colwell, and B. Laycock, "Degradation and stabilization of polyurethane elastomers," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 90, pp. 211–268, 2019.
- [31] D. N. de Almeida, E. . de Souza, and B. C. Bonse, "Estudo das propriedades mecânicas e térmicas da blenda PC/ABS com TPU reciclados," *Cent. Univ. da FEI*, pp. 8260–8268, 2018.
- [32] L.A.Utracki, "Commercial polymer blends," *Polym. Blends Handb.*, pp. 384–388, 1998.
- [33] E. R. Larson, *Thermoplastic material selection. A practical guide*. 2015.
- [34] W. Wang and I. Manas-Zloczower, "Dispersive and Distributive Mixing," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 41, no. 6, pp. 1–068, 2001.
- [35] R. Balart, J. López, D. García, and M. D. Salvador, "Recycling of ABS and PC from electrical and electronic waste. Effect of miscibility and previous degradation on final performance of industrial blends," *Eur. Polym. J.*, vol. 41, no. 9, pp. 2150–2160, 2005.
- [36] M. Weber, "Polymer blends: Materials with versatile properties," *Macromol. Symp.*, vol. 163, pp. 235–250, 2001.
- [37] K. W. Strabala, "The Effects of Combined Compression and Aging on the Properties of Glassy Polycarbonate," no. August 2009, 2009.
- [38] S. C. Tjong and Y. Z. Meng, "Effect of reactive compatibilizers on the mechanical properties of polycarbonate/poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) blends," *Eur. Polym. J.*, vol. 36, no. 1, pp. 123–129, 2000.
- [39] "Acrilonitrila butadieno estireno – Wikipédia, a enciclopédia livre." [Online]. Retirado de: https://pt.wikipedia.org/wiki/Acrilonitrila_butadieno_estireno. [Acedido a: 17-Feb-2020].
- [40] I. Debbah, R. Krache, N. Aranburu, M. Fernández, and A. Etxeberria, "Effect of SEBS-g-MAH addition on the mechanical, rheological, and morphological properties of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends," *J. Elastomers Plast.*, vol. 50, no. 7, pp. 611–633, 2018.

- [41] A. K. Bhowmick, "Current Topics in Elastomers Research," vol. 1, p. Chapter 5, 2008.
- [42] M. Taşdemir and Ş. Karatop, "Effect of styrene-isopren-styrene addition on the recycled Polycarbonate/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene polymer blends," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 101, no. 1, pp. 559–566, 2006.
- [43] M. Taşdemir, "Properties of acrylonitrile-butadiene-styrene/polycarbonate blends with styrene-butadiene-styrene block copolymer," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 93, no. 6, pp. 2521–2527, 2004.
- [44] N. Yin, Y. Zhang, Y. Zhang, X. Zhang, and W. Zhou, "Preparation and Properties of PC/SAN Alloy Modified with Styrene-Ethylene-Butylene-Styrene Block Copolymer Nianwei," *J. Appl. Polym. Sci.*, pp. 637–643, 2007.
- [45] M. Yue and K. S. Chian, "Properties and applications of thermoplastic polyurethane blends," *Adv. Eng. Fluid Mech. Multiph. React. Polym. Syst. Hydrodyn.*, pp. 747–761, 1996.
- [46] L. Fambri, A. Penati, and J. Kolarik, "Modification of polycarbonate with miscible polyurethane elastomers," *Polymer (Guildf)*, vol. 38, no. 4, pp. 835–843, 1997.
- [47] G. M. Shashidhara, S. H. Kameshwari Devi, and S. D. K, "Effect of Thermoplastic Polyurethane content on properties of PC/TPU blend filled with Montmorillonite," 2013.
- [48] E.K.Karahaliou and P.A.Tarantili, "Stability of ABS Compounds Subjected to Repeated Cycles of Extrusion Processing," *Polym. Eng. Sci.*, 2009.
- [49] X. Bai, D. H. Isaac, and K. Smith, "Reprocessing Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Plastics: Structure–Property Relationships," *Polym. Eng. Sci.*, pp. 120–130, 2007.
- [50] X. Liu and H. Bertilsson, "Recycling of ABS and ABS/PC blends," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 74, no. 3, pp. 510–515, 1999.
- [51] J. I. Eguiazabal, J. Nazabal, and D. De Ciencia, "Reprocessing PC/ABS Blends: Influence on Physical Properties," *Polym. Eng. Sci.*, vol. 30, no. 9, pp. 527–531, 1990.
- [52] A. Arostegui, M. Sarrionandia, J. Aurrekoetxea, and I. Urrutibeascoa, "Effect of dissolution-based recycling on the degradation and the mechanical properties of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 91, no. 11, pp. 2768–2774, 2006.

- [53] C. A. Bernardo, A. M. Cunha, and M. J. Oliveira, "Effect of fibre reinforcement on the properties of reprocessed polycarbonate," *Polym. Recycl.*, vol. 2, no. 4, pp. 237–249, 1996.
- [54] V. Medon, "Estudo do efeito da incorporação de reciclado nas propriedades mecânicas , óticas e de superfície , de componentes usados em interiores de automóveis processados em PC e ABS / PC," 2013.
- [55] A. Chrysostomou and S. Hashemi, "Influence of reprocessing on properties of polycarbonate," *J. Mater. Sci.*, vol. 31, no. 21, pp. 5573–5582, 1996.
- [56] J. M. Pérez *et al.*, "Effect of reprocessing and accelerated ageing on thermal and mechanical polycarbonate properties," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 210, no. 5, pp. 727–733, 2010.
- [57] H. T. Chiu, J. K. Huang, M. T. Kuo, and J. H. Huang, "Characterisation of PC/ABS blend during 20 reprocessing cycles and subsequent functionality recovery by virgin additives," *J. Polym. Res.*, vol. 25, no. 5, 2018.
- [58] D. JUAREZ, M. A. PEYDRO, R. M.J., and S. V.J., "Virgin and Reprocessed SEBS Comparative By Mechanical Characterization," *Ann. ORADEA Univ. Fascicle Manag. Technol. Eng.*, vol. XIX (IX), no. 3, pp. 203–208, 2010.
- [59] R. and Markets, "Outlook on the Global \$3.5B Thermoplastic Polyurethane (TPU) Market, 2019-2024 - Footwear Industry to Be the Largest Consumer of TPU." [Online]. Retirado de: <https://www.prnewswire.com/news-releases/outlook-on-the-global-3-5b-thermoplastic-polyurethane-tpu-market-2019-2024---footwear-industry-to-be-the-largest-consumer-of-tpu-300974086.html>. [Acedido a: 18-Jun-2020].
- [60] L. A. K. Bugin and L. H. A. Cândido, "Recycling Cycle of materials applied on thermoplastic polyurethane," *Int. J. Adv. Eng. Technol.*, vol. 12, no. February, p. 10, 2009.
- [61] Elastollan, "TPU Elastollan." [Online]. Retirado de: https://www.basf.com/kr/documents/ko/product/Thermoplastis_Polyurethan_Think_Create_Elastollan.pdf. [Acedido a: 18-Jun-2020].
- [62] H.-J. Streitberger and A. Goldschmidt, "BASF Handbook Basics of Coating Technology," *BASF Handb. Basics Coat. Technol.*, pp. 373-382;464-470, 2019.

- [63] V. Fernandes, “Estudo do efeito dos parâmetros de pintura na variação da espessura de revestimento em peças plásticas,” 2019.
- [64] H.-J. Streitberger and K.-F. Dossel, *Automotive Paints and Coatings*, 2nd ed. Wiley- VCH, 2008.
- [65] P. A. Schweitzer, “Paint and Coatings - Applications and Corrosion resistance,” *Taylor&Francis*, pp. 37–45, 2006.
- [66] A. A. Tracton, “Coating technology handbook,” pp. 6.1-6.3, 2006.
- [67] P. Fernandes, “Análise superficial de filmes de Elastómeros Termoplásticos após tratamentos superficiais para promover molhabilidade / adesão de acabamento,” 2017.
- [68] R. Lambourne and T. A. Strivens, “Paint and Surface coatings,” *WoodHead Publ. Ltd. Cambridge Engl.*, vol. 2^a edição, pp. 658–693, 1999.
- [69] C. F. Machado, “Estudo do impacto da reciclagem de peças pintadas com tinta curável por radiação UV na produção de novas peças,” 2019.
- [70] P. M. Angel, D. Juarez, S. Sanchez-Caballero, and R. Pla-Ferrando, “Study of the Mechanical Properties of Recycled Abs and Recovery Throught Mixing With SEBS,” *Ann. ORADEA Univ. Fascicle Manag. Technol. Eng.*, vol. XXIII (XII, no. 1, pp. 83–86, 2014.)

8. ANEXO I

Tabela i. Intervalo de valores gerais das propriedades do TPE-U e do TPE-S (retirado e adaptado de [23])

Propriedade	Unidade	Norma / Teste	TPE-U	TPE-S
Física				
Densidade	kg^{-3}	ISO 1183	992-1530	870-1100
MFI (2.16kg/230°C)	g/10min	ISO 1133	1.20-150	0.1-84
Mecânica				
Dureza (Shore)	A/D	ISO 868	40A-95D	6A-69D
Tensão de rotura	MPa	ISO 527	1.4 - 72	0.345 - 80
Tensão de cedência	MPa	ISO 527	1.1- 66	0.207- 29
Módulo da resistência à flexão	GPa	ISO 178	0.017 - 1.31	0.018 - 0.207
Deformação à rotura	%	ISO 527	10 - 1580	3.8 - 1900
Resistência ao impacto (Notched)	Jm ⁻¹	ISO 180/1A	0.849 - 5340	0.641 - 5340
Resistência ao rasgamento	kN ⁻¹	ISO 34	12.4 - 285	2 - 113
Compression set	%	ISO 815	12 - 90	8 - 90
Resistência à abrasão	mg/1000 ciclos		0.7 - 350	30 - 54
Térmica				
Ponto fusão(10°C/10min)	°C	ISO 11357	71 - 221	145 - 223
Vicat Softning point	°C	ISO 306	38 - 163	42 - 207
Temperatura de transição vítrea (T_g)	°C	-	-47 a -5	-65 a -23
UL 94 flammability		IEC 60695—11-10	HB-V0	HB-V0
Elétrica				
Constante dielétrica		IEC 60250	4.1 - 8	2.1 - 2.8
Força dielétrica	kVmm ⁻¹	IEC 60243-1	31 - 49	24 - 50

Tabela ii. Intervalo de valores gerais para moldação por injeção para TPE-U e TPE-S (retirado e adaptado de [23])

Parâmetro do processo	TPE-U	TPE-S
Temperatura do cilindro		
Posterior	130 - 220°C	40 - 75°C
Meio	200°C	175 - 190°C
Frente	205 - 210°C	190 - 200°C
Bico	205 - 240°C	200 - 220°C
Outros parâmetros		
Temperatura do fundido	150 - 235°C	180 - 220°C
Velocidade da injeção	>10mms-1	Perfil rápido
Velocidade do cilindro	60 - 200rpm	25 - 150rpm
Contra pressão	0.5 - 1.2MPa	0.2 - 1MPa
Pressão de injeção	2 - 103 MPa	5 - 103 MPa
Temperatura do molde	16 - 70°C	5 - 50°C

Tabela iii. Valores retirados do ensaio de tração para PC/ABS virgem e reciclado e para as misturas

Material		Módulo de elasticidade	Tensão de cedência	Deformação de cedência	Tensão de rotura	Deformação de rotura
PC/ABS		1408,522 ± 127,18	51,259 ± 0,63	5,337 ± 0,10	39,824 ± 1,23	32,749 ± 8,5
PC/ABS reciclado		1418,444 ± 159,22	51,463 ± 0,99	5,369 ± 0,17	40,073 ± 1,12	17,936 ± 3,11
TPU	1%	1571,248 ± 105,51	50,134 ± 0,89	5,012 ± 0,11	38,840 ± 1,67	10,712 ± 1,68
	2,50 %	1311,748 ± 58,15	47,623 ± 0,79	5,063 ± 0,12	37,652 ± 2,00	11,198 ± 1,53
	5%	1709,196 ± 216,07	57,939 ± 1,42	4,867 ± 0,27	47,538 ± 3,36	7,917 ± 1,731
	10%	1691,667 ± 95,64	49,917 ± 1,23	4,263 ± 0,30	48,440 ± 2,42	5,333 ± 1,73
TPS	1%	1621,451 ± 108,49	49,583 ± 0,32	4,898 ± 0,08	40,047 ± 0,2314	17,323 ± 4,50
	2,50 %	1646,546 ± 62,61	49,327 ± 0,61	4,800 ± 0,031	38,470 ± 1,70	15,444 ± 2,09
	5%	1422,854 ± 145,56	47,532 ± 0,53	4,780 ± 0,13	38,677 ± 0,80	13,297 ± 1,36

	10%	1505,127 ± 173,36	41,140 ± 0,51	3,871 ± 0,15	38,204 ± 1,79	5,830 ± 0,55
--	-----	-------------------	---------------	--------------	---------------	--------------

Tabela iv. Valores retirados do ensaio de resistência ao impacto para PC/ABS virgem e reciclado e para as misturas

Material		Valores impacto (J/m)	Desvio padrão
PC/ABS virgem		360	16,98
PC/ABS reciclado		344,861	42,63
TPS	1%	258,214	21,76
	2,5%	224,074	14,60
	5%	217	11,32
	10%	99,833	19,51
TPU	1%	226,666	14,82
	2,5%	184,358	20,25
	5%	127,121	30,24
	10%	57,333	8,24

Tabela v. Valores retirados do ensaio da medição do ângulo de contacto para PC/ABS virgem e reciclado e para as misturas

Material		Ângulo de contacto (graus)	Desvio padrão
PC/ABS virgem		89,927	2,63
PC/ABS reciclado		89,35	5,38
TPU	1%	77,413	5,50
	2,50%	81,663	4,34
	5%	77,823	5,46
	10%	78,545	6,36
TPS	1%	79,595	6,44
	2,50%	80,1	5,94
	5%	81,54	5,18
	10%	83,054	6,31

9. ANEXO II – FICHAS TÉCNICAS

Technical Information



Typical properties¹

Property	Test Condition	Unit	Standard	Value
Rheological properties				
Melt volume-flow rate	260°C, 5Kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	21
Molding shrinkage, lengthwise	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.65-0.75
Molding shrinkage, crosswise	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.65-0.75
Mechanical properties (23°C /50% H.R.)				
Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,2	50
Elongation at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,2	28
Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,2	2320
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2320
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	85
Izod notched impact strength	23 °C	KJ/m ²	ISO 180-1A	51
Izod notched impact strength	-30 °C	KJ/m ²	ISO 180-1A	39
Izod notched impact strength	-40 °C	KJ/m ²	ISO 180-1A	30
Thermal properties				
Vicat softening temperature	B120, 120°C/h	°C	ISO 306	120
Vicat softening temperature	B50, 50°C/h	°C	ISO 306	118
Deflection temperature under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,2	101
Deflection temperature under load	0.45	°C	ISO 75-1,2	120
CLTE, parallel	23 to 55°C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359 -1,2	0.80
CLTE, transverse	23 to 55°C	10 ⁻⁴ /K	ISO 11359 -1,2	0.82
Burning behavior UL 94	1.6 mm	Class	UL 94	HB
Burning rate (US-FMVSS)	150x105x1 mm	mm/min	ISO 3795	< 80
Other properties (23°C)				
Density	25°C	Kg/m ³	ISO 1183-1	1.11
Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.7
Water absorption (equilibrium value)	23°C, 50 % r.h.	%	ISO 62	0.2
Emission properties²				
VOC total emission	23°C	µg/g	VDA 278	< 10
FOG total emission	23°C	µg/g	VDA 278	< 10
Total carbon emission	23°C	µgC/g	VDA 277	< 15
Processing conditions for test specimens				
Injection molding-melt temperature	260	°C	ISO 294	
Injection molding-mold temperature	80	°C	ISO 294	
Injection molding-injection velocity	240	mm/s	ISO 294	

Note : 1- control measurements in other places may issue different results due to influences of machinery, equipment, test method or storage conditions.
2. Emissions from the pellet form sample


APITM

A Trinseo company.

TECHNICAL DATA SHEET

PROVISIONAL

A.P.I. Applicazioni Plastiche Industriali S.p.A.
Via Dante Alighieri 27
36065 Mussolente (VI)
Italy

T. +39 0424 579711 F. +39 0424 579800
E. api@apiplastic.com www.apiplastic.com
Cod. Fisc. e Partita Iva IT00144370244
Cap. Soc. Euro 5.000.000,00 i.v. # R.E.A. VI 63776 Reg. Impr. Vicenza

MEGOL AUTO AD-G 60

megol.

TPE-S
TPS-SEBS compounds

Properties	Methods	Units	Results (*)
Hardness Sh.A (15 sec)	ASTM D 2240	sh.A	60
Density	ASTM D 792	g/cm ³	1,1
Melt Flow Index 190°C 49,05 N	ASTM D 1238	g/10'	14
Melt Flow Index 230°C 21,18 N	ASTM D 1238	g/10'	52
Tear strength (type C)	ASTM D 624	KN/m	40
Tensile strength (type IVB)	ASTM D 638	MPa	10
Elongation at break (type IVB)	ASTM D 638	%	950
Tensile Strength (flow direction)	ISO 37- 2	MPa	9,9
Elongation at break (flow direction)	ISO 37- 2	%	900
Class. Flammability 2 mm	UL-94	CLASS	HB
Adhesion to ABS	VDI 2019	CLASS	4 C/D
Adhesion to PC/ABS	VDI 2019	CLASS	5 C/D
Fogging gravimetric (100°C)	ISO 6452	mg	1,74

289

Technology

Z0001

Processing

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

PRE-DRYING: 2 HOURS AT 70÷80°C. HYGROSCOPIC MATERIAL

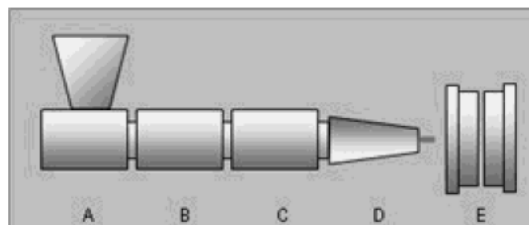
It is necessary to store the material in a cool dry place. Exposure to high temperature, high humidity, flames or other heat source has to be avoided.

OPENED PACKAGING SHOULD BE SEALED AFTER USE. SHELF LIFE: ONE YEAR.

HOLDING PRESSURE: LOW
BACK PRESSURE: MEDIUM - LOW
INJECTION RATE: MODERATE

Temperature settings (°C)

Zone A: 175 : 185
Zone B: 180 : 195
Zone C: 190 : 215
Zone D: 195 : 225
Zone E: 30 : 45



Recycling

REGRINDED MATERIAL CAN BE EASILY MIXED WITH VIRGIN PRODUCT.
NOT ALLOWED FOR CRITICAL APPLICATIONS OR THERMOSET MATERIALS.

(*) Typical property values; these are not to be construed as specifications.

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

Figura ii. Ficha técnica do TPS

General Product Information

Elastollan® C 60 A 15 HPM 000

® = registered trademark of BASF Polyurethanes GmbH



Characteristic:

Thermoplastic Polyester-Polyurethane with excellent mechanical properties and chemical resistance, outstanding wear resistance, high tear and tensile strength, good damping characteristic and high resilience performance, high heat resistance and improved setting properties.

Property	Unit	Value	Test method according to
Hardness	Shore A	63	DIN ISO 7619-1 (3s)
Density	g/cm ³	1.17	DIN EN ISO 1183-1-A
Tensile strength	MPa	35	DIN 53504-S2
Elongation at break	%	1000	DIN 53504-S2
Stress at 20% elongation	MPa	0.9	DIN 53504-S2
Stress at 100% elongation	MPa	1.5	DIN 53504-S2
Stress at 300% elongation	MPa	2	DIN 53504-S2
Tear strength	N/mm	40	DIN ISO 34-1Bb
Abrasion loss	mm ³	90	DIN ISO 4649-A
Compression set 23°C / 72 hours	%	25	DIN ISO 815
Compression set 70°C / 24 hours	%	43	DIN ISO 815
Tensile strength after storage in water at 80°C for 21 days	MPa	20	DIN 53504-S2
Elongation at break after storage in Water at 80°C for 21 days	%	1100	DIN 53504-S2
Notched impact strength (Charpy) at +23°C	kJ/m ²	nb	DIN EN ISO 179-1
Notched impact strength (Charpy) at -30°C	kJ/m ²	nb	DIN EN ISO 179-1
Vicat-Softening Temperature at 10 N a. 120°C/h (procedure VST/A 120)	°C	70	DIN EN ISO 306

The plaques are manufactured by injection moulding from pre-dried granules (water content less 0,02%). Test plaques are aged 20 hrs at 100°C. Specimens are cut from test plaques. The test conditions: 23°C ± 2°C and 50% ± 6% rel. humidity.

These are general guidance data. No statement regarding specific properties. All supplies are subject to detailed specifications to be agreed-up in each individual case and containing, among others, the tolerances to be specified therein.

Delivery form and packing:

Pellets; the packaging dependent upon grade and agreement.

Drying:

- Material ready for production must be kept dry
- Once bag was opened process the material directly
- Convey / handle material under dry air conditions (~ 40°C)

Version: 2

Printed on: 06/02/2017

Page 1/4

Figura iii. Ficha técnica do TPU