



VÍTOR HUGO ESTRELA FRAGOSO

Licenciado em Ciências de Engenharia de Materiais

Avaliação da Capacidade de Integração de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno reciclado ao Processo de Moldagem por injeção de com- ponentes para a Indústria Automóvel

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

Universidade NOVA de Lisboa

Junho, 2023



Avaliação da Capacidade de Integração de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno reciclado ao Processo de Moldagem por injeção de componentes para a Indústria Automóvel

VÍTOR HUGO ESTRELA FRAGOSO

Licenciado em Ciências de Engenharia de Materiais

Orientadora: Prof^ª Doutora Maria do Carmo Henriques Lança,
Professora Auxiliar do Departamento de Ciência dos Materiais da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade NOVA de Lisboa

Coorientador: Engenheiro Carlos Alberto Pereira da Silva,
Engenheiro de Processo no Departamento de Plásticos da Visteon Portuguesa Ltd

Júri:

Presidente: Prof^ª Doutora Maria Helena Godinho,
Professora Associada com Agregação do Departamento de Ciência dos
Materiais da NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Arguente: Prof. Doutor João Paulo Borges,
Professor Associado com Agregação do Departamento de Ciência dos
Materiais da NOVA School of Science and Technology | FCT NOVA

Coorientador: Engenheiro Carlos Alberto Pereira da Silva,
Engenheiro de Processo no Departamento de Plásticos da Visteon Portu-
guesa Ltd

Avaliação da Capacidade de Integração de Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno reciclado ao Processo de Moldagem por injeção de componentes para a Indústria Automóvel

Copyright © Vítor Hugo Estrela Fragoso, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese foi, sem dúvida alguma, um desafio imenso. Durante o processo de escrita do texto foram partilhados tópicos teóricos, bem como a descrição do processo realizado aos quais se adicionaram os resultados práticos obtidos. Porém, a sua leitura não permite ter a perceção do longo percurso realizado, do qual fizeram parte momentos felizes e de orgulho, mas também momentos desafiantes, superados com o apoio de todas as pessoas envolvidas no projeto. Posto isto, quero agradecer à Professora Teresa Cidade que, apesar do momento de vida delicado que atravessou, sempre se demonstrou disponível, facultando-me conhecimentos essenciais. Quero também deixar o meu agradecimento à Professora Carmo Lança, pela disponibilidade demonstrada para me orientar na fase final do projeto. A realização deste projeto, não teria sido possível sem a parceria acordada entre a FCT UNL e Visteon Portuguesa. E, por isso, devo um especial agradecimento à equipa de Injeção de Plásticos da Visteon, por toda a atenção e experiência partilhadas. Quero agradecer ao Engenheiro Carlos Silva, pelo interesse, ajuda e disponibilidade demonstrados desde o primeiro dia. Demonstrou-se uma pessoa incansável, não obstante de todo o trabalho que a sua vida profissional acarreta, estando disponível para me auxiliar perante qualquer tipo de situação ou dúvida. Quero também agradecer a todos os professores que fizeram parte do meu percurso académico, pela dedicação que sempre tiveram com todos os alunos do Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais da FCT UNL. Quero agradecer a todos os meus colegas e amigos, por marcarem o meu percurso de uma forma especial. Nomeadamente, os meus amigos Jorge Viana, Tiago Xavier, Diogo Martins, Alexandre Candeias, Gonçalo Luz, Carolina Coelho, Ricardo Santos e António Figueiredo, por todos os projetos académicos, todos os dias e noites de estudo em conjunto, nos quais deram um verdadeiro significado à palavra equipa. Numa vertente menos académica, quero agradecer à minha família, pois sem eles não teria sido possível alcançar os meus objetivos. Em especial, aos meus pais por todo o apoio moral e financeiro, fundamentais à realização do meu percurso como aluno universitário e pelo apoio que continuam a demonstrar no início da minha vida profissional. Por fim, quero agradecer à minha irmã Margarida, pelos momentos que vivenciamos durante todos estes anos. Quero agradecer a todos os amigos, em especial ao Luís Sobral e ao Pedro Soares, por todos os momentos e por todas as experiências. Por fim, mas não menos importante, quero agradecer à minha namorada, Maria Inês Pereira, por todo o apoio, paciência, persistência e motivação que me deu ao longo da maioria dos anos desta etapa, pois foi a pessoa que me ouviu e apoiou diariamente.

“A espantosa realidade das coisas é a minha descoberta de todos os dias. Cada coisa é o que é. E é difícil explicar a alguém quanto isso me alegra, e quanto isso me basta. Basta existir para se ser completo...” (Fernando Pessoa).

RESUMO

A dissertação em questão teve como objetivo fulcral o estudo da incorporação de material reciclado, nomeadamente o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), no processo de moldagem por injeção na fábrica da Visteon Corporation de Palmela. Foram utilizados dois tipos de ABS, especificamente, o Novodur HH-106 e o Novodur HH-112. O processo de moldagem por injeção é uma técnica de produção bastante utilizado na indústria automóvel e que, por norma, tende a produzir alguns resíduos poliméricos. Uma solução encontrada para reduzir o impacto ambiental destes resíduos consiste em reciclar e reintroduzir os mesmos no processo de injeção. Esses resíduos são provenientes de diversas fases do processo, por serem considerados não conformes devido a defeitos estéticos, dimensionais e/ou funcionais. Foi estudada e desenvolvida a possibilidade de reaproveitar as peças integrais e os gitos das peças injetadas. O reaproveitamento dos resíduos plásticos foi realizado através de reciclagem por meio de moagem mecânica. Desta forma, foram injetadas peças com diferentes percentagens de material reciclado, concretamente com 0% (virgem), 20% e 100% de reciclado. A partir das mesmas foram preparados provetes amostra para caracterização das propriedades mecânicas e reológicas e, deste modo, avaliar-se a influência da introdução do material reciclado. As propriedades mecânicas foram estudadas mediante a realização de ensaios de tração e ensaios de impacto com recurso ao pendulo de Charpy. As propriedades reológicas por serem de extrema relevância para o processo de injeção foram, por sua vez, avaliadas através de uma máquina de medida do índice de fluidez (MFI) das amostras e por meio de um reómetro rotacional, com o intuito de estudar a viscosidade e os módulos viscoelásticos do material. E, dessa forma, foi possível avaliar a influência da introdução do reciclado. Por conseguinte, foi permitido constatar que é possível introduzir até 20% de material reciclado, sem deterioração significativa de propriedades.

ABSTRACT

The main objective of this dissertation is the study of the incorporation of recycled material, namely acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS), in the injection molding process in Palmela Plant of Visteon Corporation. Two types of ABS were used, namely Novodur HH-106 and Novodur HH-112. The injection molding process is a production technique widely used in the automotive industry and which, as a rule, tends to produce some polymeric waste. One solution to reduce the environmental impact of these wastes is to recycle and reintroduce them into the injection process. These wastes are caused at different stages of the process and come from non-compliant parts due to aesthetic, dimensional and functional defects. The possibility of reusing integral parts and the spouts of injected parts was studied and developed. The reuse of plastic waste was carried out through recycling through mechanical grinding. In this way, parts with different percentages of recycled material were injected, specifically with 0% (virgin), 20% and 100% recycled. Sample specimens were prepared to characterize the mechanical and rheological properties and thus evaluate the influence of the introduction of recycled material. The mechanical properties were studied by carrying out tensile tests and impact tests using the Charpy pendulum. The rheological properties were evaluated by measuring the melt flow index (MFI) of the sample which is very important in the injection process. Rotational rheometer was used to study the viscosity and the viscoelastic modules of the material to evaluate the influence of the introduction of recycled material. It was possible to conclude that it is possible to introduce up to 20% of recycled material, without deterioration of properties.

Keywords: Injection Molding, Acrylonitrile butadiene styrene, Recycling

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	VIII
RESUMO	XI
ABSTRACT	XIII
ÍNDICE	XV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
ÍNDICE DE EQUAÇÕES	XXIII
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XXV
1. VISTEON PORTUGUESA, LTD	1
1.1 Introdução da empresa.....	1
1.2 Descrição do Produto	1
2. INTRODUÇÃO	3
2.1 A utilização e reciclagem de materiais poliméricos na indústria automóvel	3
2.2 Processo de Moldagem por Injeção	3
2.3 O Acrilonitrilo-butadieno-estireno na indústria automóvel.....	6
2.4 Reciclagem e caracterização de componentes poliméricos	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS	9
3.1 Materiais	9
3.1.1 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	9
3.1.2 ABS Novodur® HH-112 BK10009	9
3.1.3 ABS Novodur® HH-106 WT10403	9
3.2 Preparação de Materiais	10
3.2.1 Reciclagem	10
3.2.2 Secagem.....	10
3.3 Processamento.....	10
3.3.1 Alimentação	10
3.3.2 Moldagem por Injeção	11
3.3.3 Preparação de provetes amostra	11
3.4 Caracterização.....	12
3.4.1 Controlo Dimensional	12
3.4.2 Pesagem.....	12
3.4.3 Ensaios de Tração.....	12
3.4.4 Ensaios de Impacto	13
3.4.5 Medição do Índice de Fluidéz.....	14
3.4.6 Ensaios Reológicos	14

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
4.1 Controlo Dimensional e Pesagem	15
4.1.1 Controlo Dimensional	15
4.1.2 Pesagem.....	17
4.2 Propriedades mecânicas	18
4.2.1 Ensaio de Tração.....	18
4.2.2 Ensaio de Impacto	28
4.3 Propriedades Reológicas	32
4.3.1 Índice de Fluidez.....	32
4.3.2 Comportamento reológico	33
5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS	39
BIBLIOGRAFIA	43
A. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS	45
B. PROCEDIMENTO PARA AS MATÉRIAS-PRIMAS	53
C. RESULTADOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 - Cluster genérico com denominação AB, exemplo de produto final da Visteon Portuguesa Ltd para a tecnologia de interiores da indústria automóvel.....	2
Figura 1-2 - Vista explodida das peças plásticas do Cluster AB, produzidos na Visteon Portuguesa Ltd.	2
Figura 2-1 - Esquema representativo do ciclo do processo de moldação por injeção, adaptado de [8].	4
Figura 2-2- Esquema genérico de uma máquina de injeção, com identificação do cilindro, tremonha e parafuso sem-fim adaptado de [8].	5
Figura 2-3- Progressão do estado do material ao longo das três zonas do interior do cilindro de plastificação [8].	5
Figura 2-4 - Molécula do ABS, composta pelos monómeros de acrilonitrilo, butadieno e estireno.	6
Figura 2-5- Gráficos da resistência à tensão à esquerda e da resistência ao impacto à direita, em função da percentagem de reciclado para amostras de ABS numeradas 1 a 11, sendo que a amostra 1 é 100% virgem e as restantes amostras têm uma adição de 5% de reciclado até perfazer os 50% de reciclado da amostra 11 [16].	7
Figura 2-6 - Gráfico da Viscosidade em função da taxa de corte para ABS virgem (L01) e reprocessado (L11) para duas temperaturas de processamento, 230°C e 250°C [19].	8
Figura 3-1 - Peças produzidas: à esquerda (a) a <i>Mask</i> com o material ABS Novodur HH-112 e à direita (b) o <i>Mounting Plate</i> com o material ABS Novodur HH-106.	11
Figura 4-1 – Curva da Tensão (MPa) em função da deformação (%) da média dos 5 provetes de Novodur HH-112 para as três proporções de material virgem e material reciclado utilizadas.	19
Figura 4-2 – Resistência à Tração (MPa) em função da percentagem da quantidade de material reciclado para o Novodur HH-112.	20
Figura 4-3 - Deformação na fratura (%) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, dos ensaios de tração dos provetes de Novodur HH-112.	21
Figura 4-4 - Módulo de Young (MPa) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para os provetes de Novodur HH-112.	22
Figura 4-5 - Tenacidade (MJ/m ³) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para os provetes de Novodur HH-112.	23
Figura 4-6 – Curvas da Força (N) em função do Alongamento (mm) da média das 5 peças de Novodur HH-106 para as três proporções de material virgem e material reciclado utilizadas.	24
Figura 4-7- Força máxima (N) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.	25
Figura 4-8 – Alongamento na fratura (mm) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.	26
Figura 4-9 – Força na fratura (N) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.	27
Figura 4-10 - Energia absorvida (J) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-112, dos ensaios de impacto.	28
Figura 4-11 - Resistência ao impacto (kJ/m ²) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-112, dos ensaios de impacto.	29
Figura 4-12 - Energia absorvida (J) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-106, dos ensaios de impacto.	30
Figura 4-13 - Resistência ao impacto (kJ/m ²) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-106, dos ensaios de impacto.	31

Figura 4-14 - Medição do Índice de Fluidez (MFI) em função da quantidade de material reciclado (%), em a) para amostras de 5 medições de cada proporção para o Novodur HH-112, e em b) para amostras de 5 medições de cada proporção para o Novodur HH-106.....	32
Figura 4-15 – Curvas médias do Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para amostras de 5 discos de Novodur HH-112.	34
Figura 4-16 – Curvas médias do Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para amostras de 5 discos de Novodur HH-106.	35
Figura 4-17- Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s) obtidos modo estacionário para os discos de Novodur HH-112.	37
Figura 4-18 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s) obtidos modo estacionário para os discos de Novodur HH-106.	38
Figura A.1 - Imagens das matérias-primas utilizadas: (a) de Novodur® HH-112 BK10009 virgem, (b) de Novodur® HH-106 WT10403 virgem, de Novodur® H-112 BK10009 reciclado e de Novodur® HH-106 WT10403 reciclado.....	45
Figura A.2- Página 1 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado.	46
Figura A.3 - Página 2 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado.	47
Figura A.4 - Certificado de Análise do lote de ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado, fornecido pelo fornecedor INEOS STYROLUTION.	48
Figura A.5 - Página 1 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado.....	49
Figura A.6 - Página 2 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado.....	50
Figura A.7 – Certificado de Análise do lote de ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado, fornecido pelo fornecedor INEOS STYROLUTION.....	51
Figura B.1- Reciclagem das peças não conformes por moagem mecânica, através de uma trituração primária (a) por um moinho mecânico MRU 45.65 IV e de uma redução secundária (b) através de um granulador SG-2336-CE, obtendo-se (c) o material reciclado granulado.....	53
Figura B.2 - Esquema de representação do procedimento de secagem das matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106.	54
Figura B.3 - Equipamento de secagem das matérias-primas, (a) com silo Piovan, (b) secador de secagem Piovan utilizados e (c) com referência à temperatura de secagem de 80°C programada no display do secador.....	55
Figura B.4 - Representação do procedimento de alimentação das matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106: com (a) octobine com lote de matéria-prima, (b) mesa de distribuição da matéria-prima, (c) unidades de controlo de aspiração (UCA), (d) unidade de vácuo e (e) unidade de comando (QC).....	56
Figura B 5 - Tremonha PIOVAN S50 equipada com um doseador gravimétrico PIOVAN MDP2.	56
Figura B 6 - Quadros de comandos (interface de controlo) para as máquinas (a) Engel CL 2550/500 e (b) Engel Victory 3550/500 tech.	57
Figura B.7 - Termorreguladores responsáveis pela circulação de águas no molde, um para a metade do molde do lado da cavidade e outro para a metade do molde do lado da bucha.	57
Figura B.8- Máquina de moldagem por injeção <i>Engel Victory 3550/500 tech</i> , de 500 toneladas de força de fecho, utilizada para as produções das peças <i>Mask</i> com o material Novodur HH-112.	58

Figura B.9 - Máquina de moldagem por injeção <i>Engel CL 2550/500</i> , de 500 toneladas de força de fecho, utilizada para as produções das peças <i>Mounting Plate</i> com o material Novodur HH-106.	59
Figura B.10- Peças <i>Mask</i> Tipo I, II e III amostra, produzidas respetivamente com as três proporções de matéria virgem e reciclado de Novodur HH-112.	62
Figura B.11 - Peças <i>Mounting Plate</i> Tipo I, II e III amostra, produzidas respetivamente com as três proporções de matéria virgem e reciclado de Novodur HH-106.	62
Figura B.12 - Exemplar de <i>Mask</i> produzida com Novodur HH-112, com identificação da secção de material retirada da zona verde da peça, a partir da qual foram feitos os provetes necessários para os ensaios mecânicos e reológicos.	63
Figura B.13 - Exemplar de <i>Mounting Plate</i> produzida com Novodur HH-106, com identificação da secção de material retirada da zona verde da peça, a partir da qual foram feitos os provetes necessários para os ensaios mecânicos e reológicos.	63
Figura B.14- Configuração do desenho dos diferentes provetes fabricados do Novodur HH-112 e Novodur HH-106, desenhados.	63
Figura B.15 - Máquina de corte laser <i>Trotec Speedy 100R</i> , utilizada para o corte dos provetes.	64
Figura B.16 - Provetes de Novodur HH-112 em formato <i>dog-bone</i> para os ensaios de tração, com as dimensões de 8,0 cm de comprimento, 1,0 cm de largura e 0,5 cm de espessura.	64
Figura B.17- Provetes em formato de bastonete para os ensaios de impacto, em cima de Novodur HH-112 e em baixo de Novodur HH-10, com as dimensões de 7,5 cm de comprimento, 1,0 cm de largura e 0,5 cm de espessura.	64
Figura B.18 - Amostras em formato de discos achatados para determinar as propriedades reológicas, à esquerda (a) discos de Novodur HH-112 com 15,0 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura, à direita (b) discos de Novodur HH-106 com 15,0 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura.	65
Figura B.19 - Controlo dimensional das amostras de Novodur HH-106, realizado na (a) máquina de medição tridimensional (<i>CMM</i>), (b,c) com um suporte de fixação da peça e (d) o desenho de medição programado.	65
Figura B.20- Controlo dimensional das amostras de Novodur HH-112, (a) com identificação na peça das dimensões controladas a amarelo o comprimento total e a azul o comprimento sem patilhas, (b) com recurso a um paquímetro Mitutoyo 600, (c) de acordo com o desenho de medição.	66
Figura B.21 - Ensaio de tração para os provetes de Novodur HH-112, na máquina de tração universal <i>Hounsfield H5K-W</i> pertencente ao laboratório de polímeros do DCM.	66
Figura B.22- Ensaio de tração para as peças de Novodur HH-106 num ponto mecânico de montagem, realizado na máquina de tração uniaxial <i>Chatillon CS225 Series Force Tester</i> com um suporte de fixação das peças, pertencentes à Visteon.	67
Figura B.23 - Ensaio de impacto aos provetes obtidos das peças de ABS Novodur HH-106 e Novodur HH-112 na máquina de impacto <i>Tinius Olsen Model Impact 503</i> do laboratório de polímeros do DCM, com utilizando o princípio do pêndulo de charpy.	67
Figura B.24- Medição do índice de fluidez (MFI) realizada com o granulado virgem e reciclado para as matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106, utilizando o equipamento <i>TINIUS OLSEN</i> pertencente ao laboratório de polímeros do DCM.	68
Figura B.25- Reómetro Rotacional <i>Gemini HRnano</i> , pertencente ao laboratório de polímeros do DCM, utilizado com geometria de pratos paralelos (P/P) para os ensaios em modo dinâmico e estacionário dos discos de Novodur HH-112 e de Novodur HH-106.	68
Figura C.1 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 Virgem...	69
Figura C.2 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 com 20% de Reciclado.	69

Figura C.3 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 100% de Reciclado.....	70
Figura C.4 - Curva da Tensão (MPa) em função da deformação (%) para os cinco provetes de Novodur HH-112 Virgem.....	70
Figura C.5 - Curva Tensão (MPa) vs Deformação (%) para os cinco provetes Novodur HH-112 com 20% de material Reciclado.....	71
Figura C.6 - Curva Tensão (MPa) vs Deformação (%) para os cinco provetes Novodur HH-112 com 100% de material Reciclado.....	71
Figura C.7 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 Virgem.....	72
Figura C.8 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 20% reciclado	72
Figura C.9 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 100% reciclado	73
Figura C.10 - Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para o discos de Novodur HH-112.....	73
Figura C.11 - Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para o discos de Novodur HH-106.....	74
Figura C.12 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 Virgem	74
Figura C.13 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 com 20% de Reciclado	75
Figura C.14 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 com 100% de Reciclado	75
Figura C.15 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 Virgem	76
Figura C.16 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 com 20% de Reciclado	76
Figura C.17 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 com 100% de Reciclado	77

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Descrição dos componentes plásticos pertencentes ao Cluster genérico AB	2
Tabela 4.1 - Controlo dimensional para o comprimento sem patilhas (mm) para cinco amostras das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.	15
Tabela 4.2 - Controlo dimensional para o comprimento total (mm) para cinco amostras das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.	16
Tabela 4.3 - Controlo dimensional para o comprimento total (mm) para cinco amostras das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.	16
Tabela 4.4- Controlo dimensional para o comprimento de clipagem (mm) para cinco amostras das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.	17
Tabela 4.5- Controlo do peso de cinco peças das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.....	18
Tabela 4.6- Controlo do peso de cinco peças das três proporções de material vigem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.....	18
Tabela 4.7- Dados da Resistência à Tração (MPa) retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.....	20
Tabela 4.8 - Dados da deformação na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.....	21
Tabela 4.9 - Dados do módulo de Young (MPa) retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.....	22
Tabela 4.10 - Dados da Tenacidade obtidos a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.	23
Tabela 4.11- Dados de força máxima retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.	25
Tabela 4.12 - Dados do alongamento na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.....	26
Tabela 4.13- Dados da força na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.....	27
Tabela 4.14 - Dados da Energia (J) e Resistência ao Impacto (kJ/m ²) dos ensaios de impactos dos provetes de Novodur HH-112.....	29
Tabela 4.15 - Dados obtidos da medição do Índice de Fluidez (MFI) para o Novodur HH-112 e o Novodur HH-106.	33
Tabela B.1 - Programa de setup com os parâmetros utilizados para a produção das peças de Novodur HH-112 na máquina Engel Victory 3550/500 tech.....	60
Tabela B.2- Programa de setup com os parâmetros utilizados para a produção das peças de Novodur HH-106 na máquina Engel CL 2550/500.....	61

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 — Equação da Tensão.....	14
Equação 2.2 — Equação da Deformação	14

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

AB	Denominação para <i>Cluster</i> genérico (produto final Visteon)
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de vinilo
MFI	<i>Melt flow index</i> (Índice de fluidez)
CMM	<i>Coordinate Measuring Machine</i>
DCM	Departamento de Ciências dos Materiais
So	Área de secção reta inicial
Lo	Comprimento inicial do provete
F	Força
Δl	Alongamento
σ	Tensão
ε	Deformação
E	Módulo de Young
$\dot{\gamma}$	Taxa de corte
η	Viscosidade
G'	Módulo Elástico
G''	Módulo Viscoso
ω_c	Frequência de <i>cross-over</i>
Pdi	Índice de Polidispersão
Mw	Massa molar ponderal
Mn	Massa molar em número

1. VISTEON PORTUGUESA, LTD

1.1 Introdução da empresa

A presente dissertação foi realizada na unidade da Visteon em Portugal pelo que é relevante a sua contextualização. A Visteon Portuguesa, localizada em Palmela, é uma empresa do grupo Visteon Corporation, que se dedica ao desenvolvimento e produção de componentes eletrónicos interiores de automóveis nas áreas de software e conexão. É um fornecedor de primeiro nível no setor automóvel (first tier supplier), sendo uma referência de mercado para os principais construtores de automóveis a nível mundial.

A Visteon veio substituir a antiga fábrica da Ford Eletrónica (inaugurada em 1991) em Palmela, que se dedicava à produção de placas de circuitos elétricos impressos e montagem de rádios. Com o aumento da gama de produtos, nasce a Visteon em 1997, aquando de uma nova estratégia de mercado da Ford Motor Company englobando todo o setor de componentes para automóveis. Finalmente em 2000, a Visteon torna-se numa empresa independente.

O mercado alvo da Visteon divide-se em três áreas, todas pertencentes ao setor automóvel: Áudio e Entretenimento (autorrádios; componentes áudio e soluções de conectividade); Eletrónica Automóvel (controladores e segurança); Controlos e Informação (painéis de controlo; quadrantes; comandos de climatização; painéis decorativos interiores, monitores Head's Up Display's).

Atualmente a Visteon emprega aproximadamente 10 000 trabalhadores diretos, e está presente em 18 países. No ano de 2022 atingiu uma receita de vendas líquidas de 3.756 biliões de dólares (Visteon Corporate Global Presentation, 2022).

As instalações da Visteon em Palmela, englobam uma unidade fabril (Visteon Portuguesa Lda.) e um centro de engenharia e desenvolvimento denominado Visteon Palmela Business & Engineering Center (VPBEC). Emprega 1 080 colaboradores divididos em áreas de negócio tais como: Manufatura; Qualidade e Sistemas; Material e Logística, Finanças, Recursos Humanos e Áreas Internacionais (Corporation, Visteon , 2022).

A unidade fabril compreende nas suas instalações um conjunto de áreas de produção necessárias para a obtenção do produto final, nomeadamente as áreas de injeção de plástico, pré-montagem, produção das placas e montagem final. Todas estas áreas de produção desempenham um papel fundamental na obtenção do produto final, sendo que o estudo deste trabalho apenas é focado num produto e numa das áreas de produção, mais concretamente num painel de instrumentos e na área de injeção de plástico, respetivamente.

1.2 Descrição do Produto

Por motivos de confidencialidade, não são apresentados os produtos de forma detalhada. O estudo desta dissertação centra-se num dos produtos de grande volume de produção na fábrica, nomeadamente um painel de instrumentos, com designação técnica de cluster, representado de forma meramente ilustrativa na Figura 1.1. Note-se, que por questões de confidencialidade, a imagem representada na Figura 3 não corresponde exatamente ao produto em estudo.



Figura 1-1 - Cluster genérico com denominação AB, exemplo de produto final da Visteon Portuguesa Ltd para a tecnologia de interiores da indústria automóvel.

De forma a perceber-se melhor os componentes do cluster, segue-se na Figura 1.2 a representação da vista explodida dos componentes plásticos produzidos, do cluster genérico AB, bem como a sua respetiva legenda e descrição apresentadas na Tabela 1.1.

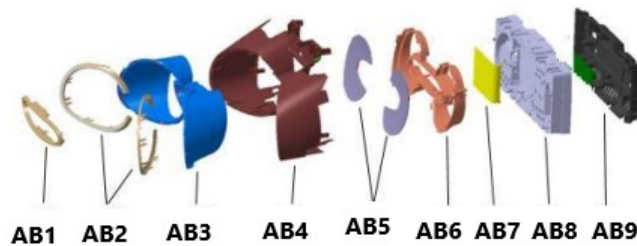


Figura 1-2 - Vista explodida das peças plásticas do Cluster AB, produzidos na Visteon Portuguesa Ltd.

De referir que na vista apresentada do produto, apenas estão apresentadas as peças plásticas. Outros componentes do cluster, tal como o a placa do circuito (produzida na fábrica), o *display* e outros apliques (provenientes de fornecedores externos), não estão ilustrados. Para além de não ser permitida a apresentação dos mesmos, seria irrelevante, visto que o estudo apenas incide sobre a área dos Plásticos, local onde são produzidos os componentes plásticos. O estudo incidirá em dois componentes da mesma tipologia do AB4 (*Mask*) e do AB8 (*Mounting Plate*).

Tabela 1.1 - Descrição dos componentes plásticos pertencentes ao Cluster genérico AB

Lista de componentes	Descrição
AB1	<i>Ring Center</i>
AB2	<i>Ring Left / Ringright</i>
AB3	<i>Inner Mask</i>
AB4	<i>Outer Mask</i>
AB5	<i>Lens</i>
AB6	<i>Housing</i>
AB7	<i>Light Guide</i>
AB8	<i>Mounting Plate</i>
AB9	<i>Rear Cover / Back Cover</i>

2. INTRODUÇÃO

2.1 A utilização e reciclagem de materiais poliméricos na indústria automóvel

Ao longo dos anos tem-se verificado uma evolução nos processos industriais, com uma complexidade crescente dos mesmos, contribuindo para incrementar a produção e os respetivos produtos, aliando-se a um menor custo, o que proporciona uma maior competitividade. Cada vez são mais numerosos os processos utilizados no sector automóvel, visto esta ser uma das indústrias com maior impacto na economia e representar o principal elemento de mobilidade da população, traduzindo-se numa indústria de nível global [1].

A indústria automóvel utiliza polímeros em larga escala, sendo que destes, uma parte é para tecnologias de interiores. Utiliza-se a moldagem por injeção com o intuito de promover geometrias complexas, tempos de ciclos curtos, elevados volumes de produção e boa precisão dimensional [2]. As peças produzidas têm como principais preocupações os intervalos de especificação de controlo dimensional, peso e propriedades mecânicas.

Neste processo, os materiais utilizados caracterizam-se como termoplásticos, sendo que, para além de leves, apresentam uma elevada durabilidade e são facilmente moldáveis por temperatura, sendo possível obter-se geometrias complexas, consideradas difíceis de obter para outros materiais. O seu consumo tem aumentado em função da facilidade de processamento e dos baixos custos de matérias-primas [3].

No entanto, a moldação por injeção tende, por norma, a produzir resíduos que têm origem em defeitos estéticos ou técnicos, sendo provenientes das diversas fases do processo, bem como de restos de material com origem nos canais de alimentação. Este desperdício ao não ser reutilizado contribui para a perda produtividade, perda de lucro/receita, escassez de recursos e um desenvolvimento insustentável. A sua reciclagem reduz estes problemas, minimizando a contaminação do solo, ar e água e, além disso, promove a redução da necessidade de utilização de material puro, contribuindo, deste modo, para a sustentabilidade dos recursos plásticos [1,3].

As reutilizações constituem novos desafios no setor dos plásticos, exigindo novos desenvolvimentos no seu processamento [4]. Os componentes poliméricos não conformes são reciclados por granuladores e extrusoras para redução dimensional, atingindo uma dimensão suficientemente reduzida para serem reintroduzidas no processo de moldagem por injeção, após secagem [3]. Atualmente, são reciclados vários materiais poliméricos, como o Polipropileno (PP) [4], o Policloreto de vinilo (PVC) [3] e o Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) [5].

O reaproveitamento da matéria-prima participa na redução do impacto ambiental da inutilização dos resíduos e traduz-se numa vantagem financeira, bem como numa fonte renovável de material. Portanto, a reciclagem e reprocessamento de polímeros, provenientes de desperdício industrial, deve tornar-se numa prática generalizada para, através dela, se continuar a caminhar no sentido do desenvolvimento sustentável [1].

2.2 Processo de Moldagem por Injeção

A moldagem por injeção é um processo complexo bastante utilizado para materiais termoplásticos e controlado por parâmetros específicos. Consiste no aumento da temperatura do material termoplástico, inicialmente, em forma de granulado ou pó, até atingir um estado de fundido, que é injetado para o interior de um molde onde solidifica com a geometria final pretendida [6]. A otimização do tempo do ciclo é preponderante para a rentabilidade económica, visto requerer um elevado investimento. O processo pode ser manual, semiautomático ou automático, sendo este último o resultado de uma sequência pré-definida na qual se atinge a produtividade máxima [7].

O ciclo é regulado em função dos tempos de injeção, de arrefecimento da peça e de fecho do molde, não sendo estes superiores a 30 segundos para, dessa forma, se atingir elevadas cadências de produção. É um método económico para grandes volumes de produção, com versatilidade geométrica e dimensional, bons acabamentos superficiais e tolerâncias dimensionais [8,9].

Numa fase preliminar, tem-se a secagem da matéria-prima para remoção da humidade, de modo a evitar a perda de propriedades através da perda de peso molecular causado pela hidrólise, que consiste na cisão das moléculas na presença da água (humidade) potenciada pelo calor e pressão.

Relativamente ao ciclo, representado na Figura 2.1 através do esquema cíclico numerado de 1 a 4, tem-se as seguintes etapas:

1- Fecho do molde: a sua duração depende da capacidade da máquina e das características do molde, reduzindo-se através do ajuste do curso entre as duas metades do molde para o mínimo exigido para a ejeção da peça [8,10].

2- Injeção: o material, após carregado em forma de granulado ou pó e ter atingido um estado de fundido no interior do cilindro, é conduzido através do movimento linear do pistão e aquecido por resistências elétricas envolventes ao cilindro, permitindo a homogeneidade adequada do fluido. O pistão conduz o material fundido para o interior de um molde colocado à saída do recipiente, sendo esta etapa controlada através da velocidade de injeção que, por sua vez, deve assegurar um compromisso entre rapidez e a qualidade do produto, no qual velocidades elevadas podem provocar um sobreaquecimento e conseqüente degradação do material, enquanto velocidades baixas podem levar à falta de enchimento da peça [8,10].

3- Compactação, Arrefecimento e Plastificação: após preenchida a totalidade da geometria da cavidade do interior do molde, arrefece e atinge o estado sólido na forma desejada.

A pressão da injeção mantém-se durante o arrefecimento para compensar o efeito de refluxo e contração do material. Pressões elevadas originam tensões internas, o que dificulta a extração. A velocidade de arrefecimento depende da espessura da moldação e do sistema de arrefecimento. A pressão é aliviada após a solidificação do gito, recuando num movimento, linear e rotativo, até o volume de material plastificado para o novo ciclo se encontrar doseado. [8,10].

4- Abertura e extração: o molde é aberto quando a peça atinge uma temperatura que possibilite a sua extração sem distorções, auxiliada por extratores, sendo fechado de imediato para um novo ciclo. O tempo de abertura e extração depende do deslocamento do molde e da abertura de fecho [8,10]. Por fim, tem-se o tempo de repouso que consiste no tempo de paragem do equipamento entre a extração da peça e o novo ciclo, que depende do grau de automatização do processo [8,10].

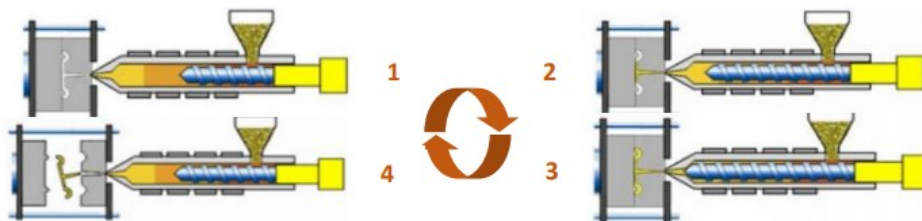


Figura 2-1 - Esquema representativo do ciclo do processo de moldação por injeção, adaptado de [8].

Relativamente à máquina de injeção, esta apresenta cinco unidades principais, nomeadamente, o molde e as unidades funcionais de injeção, de potência, de comando e de fecho. O molde metálico é constituído por duas partes fechadas, molde e contra-molde, formando no seu interior a cavidade a ser preenchida de material fundido através do nariz de injeção. O molde é aberto após o arrefecimento da peça para a ejeção da mesma [11].

A unidade de injeção tem as funções de transporte, aquecimento, plastificação e homogeneização do material desde a base da tremonha até ao bico de injeção, garantindo a injeção e compactação do fundido no interior do molde [12,13].

A unidade potência é o sistema electro-hidráulico que fornece a energia aos mecanismos da máquina. É necessária uma unidade de controlo para a monitorização das variáveis do processo, tais

como as temperaturas, velocidades, pressões e tempos inerentes ao processo. É nesta interface que o operador pode interagir para garantir a consistência e repetibilidade do processo. Finalmente, a unidade de fecho assegura a fixação e a movimentação do molde, mantendo-o fechado durante a injeção e compactação, assegurando ainda as extrações das moldações [11,13].

Existem outros componentes importantes da máquina de injeção, identificados na Figura 2.2, que são a tremonha, o cilindro de plastificação e o parafuso sem-fim [12].

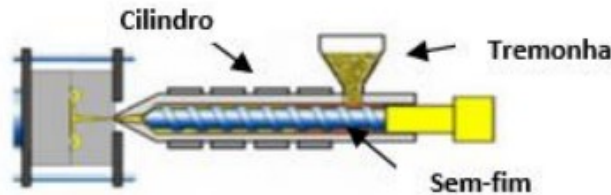


Figura 2-2- Esquema genérico de uma máquina de injeção, com identificação do cilindro, tremonha e parafuso sem-fim adaptado de [8].

A tremonha é um reservatório em forma de funil onde o material é carregado. De forma a evitar contaminações no interior do cilindro, a base da tremonha é equipada com um ímã com o intuito de reter possíveis partículas metálicas existentes [8,14].

O cilindro é um recipiente horizontal em aço tratado que promove inércia térmica. É aquecido a uma temperatura superior à de amolecimento da matéria, por resistências elétricas envolventes ao cilindro, sendo a mesma regulada em função da cadência da moldação. Dessa forma tem o intuito de evitar a degradação da matéria e perdas de carga, devido a matéria insuficientemente plastificada [8,14].

O parafuso sem-fim consiste no pistão existente no interior do cilindro, que assegura a plastificação da matéria pelo seu movimento linear e rotativo, desempenhando alternadamente funções de injeção e de plastificação. Após o ciclo de injeção, retorna à posição inicial rodando e plastificando a matéria sob a influência da fricção e do calor. A contra pressão no movimento de recuo densifica a matéria plastificada e, assim que o volume a obter é atingido, o sem-fim encontra-se pronto para realizar uma nova injeção [8,14].

No interior do cilindro existem três regiões distintas, representadas na Figura 2.3, em virtude do aumento do diâmetro interno do parafuso sem-fim e da conseqüente evolução gradual do estado da matéria:

- Zona de alimentação: entrada do material granulado proveniente da tremonha, onde o diâmetro interno do parafuso sem-fim é menor e, através da sua rotação, leva a que os granulos se tornem mais suaves e comecem a aderir uns aos outros (amaciamento). [8]
- Zona de transição ou compressão: o diâmetro interno do sem-fim aumenta, levando à compressão do material contra as paredes do cilindro, onde o aquecimento auxilia as tensões de corte criadas para garantir uma mistura entre material fundido e não fundido. [8]
- Zona de medição ou bombagem: perto do bico de injeção onde o material está totalmente fundido e a alimentação é realizada pelo recuo do sem-fim para a posição de curso estabelecida. [8]



Figura 2-3- Progressão do estado do material ao longo das três zonas do interior do cilindro de plastificação [8].

Relativamente aos parâmetros operatórios do processo, estes exigem um profundo conhecimento para uma correta interpretação dos efeitos provocados na peça. Desta forma, os parâmetros específicos do processo dividem-se nas seguintes categorias: temperaturas, pressões, tempos e distâncias. Para otimizar o processo é crucial ajustar-se as condições de processamento por ordem de relevância para as propriedades do material, a geometria da peça e as especificações do projeto desejadas. [9]

2.3 O Acrilonitrilo-butadieno-estireno na indústria automóvel

Atualmente, o Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) é um dos polímeros com bastante aplicabilidade na indústria automóvel, nomeadamente, em tecnologias de interiores. Caracteriza-se como um terpolímero amorfo obtido a partir da polimerização do estireno e acrilonitrilo (que formam a fase contínua SAN) na presença de butadieno (fase dispersa), tal como se observa na Figura 2.4. As proporções podem variar de 15% a 35% de acrilonitrilo, 5% a 30% de butadieno e 40% a 60% de estireno (v/v). O estireno promove uma superfície brilhante e impermeável, enquanto o butadieno, sendo uma borracha, promove resiliência, mesmo a baixas temperaturas. O ABS tem como vantagem a combinação das resistências química e térmica, devido à tenacidade do acrilonitrilo, com a resistência ao impacto e a retenção das propriedades a baixa temperatura do butadieno, tais como com o brilho superficial, rigidez e facilidade de processamento do estireno [2,3].

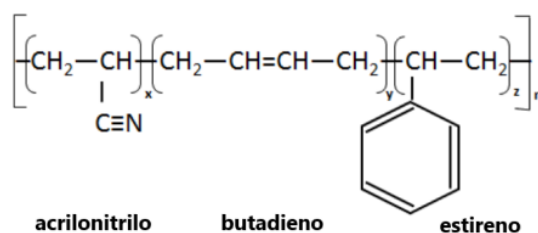


Figura 2-4 - Molécula do ABS, composta pelos monómeros de acrilonitrilo, butadieno e estireno.

Este representa um polímero bastante utilizado em tecnologias de interiores na indústria automóvel. No caso da Visteon Portuguesa, é utilizado para o fabrico dos quadros de instrumentos para diferentes marcas de automóveis. Pretende-se estudar a capacidade de integração do material reciclado no processo de moldagem por injeção. Para isto, será necessário verificar a influência de reciclado nos componentes produzidos através de caracterizações mecânicas, reológicas e térmicas, utilizando amostras de material totalmente virgem, totalmente reciclado, bem como misturas de ambos, em diversas percentagens [15]. Outro ponto interessante, consiste na comparação dos componentes de matéria-prima proveniente de mais do que um ciclo de reciclagem.

2.4 Reciclagem e caracterização de componentes poliméricos

O aumento da necessidade de reciclagem de polímeros em processos industriais deve-se sobretudo a peças de sucata com origem em defeitos e também restos de material provenientes de canais de alimentação do processo. Contudo, a deterioração das propriedades dos polímeros reciclados em termos físicos e mecânicos influencia a sua viabilidade no mercado. A deterioração pode ser o resultado de variações físicas e químicas da estrutura molecular sofridas durante a reciclagem e o reprocessamento, na qual há variação do seu equilíbrio termodinâmico [17].

A reciclagem de materiais poliméricos e sucessivo reprocessamento induz um novo ciclo térmico e tensões de cisalhamento que, adicionalmente, com a presença de oxigénio e de impurezas pode originar a degradação do material, com variações nas suas propriedades. Posto isto, é fundamental estudar a influência dos possíveis mecanismos de degradação no processo de reciclagem, através do impacto da percentagem utilizada de material reciclado mecanicamente nas propriedades reológicas e mecânicas, influenciando o seu processamento e performance, respetivamente [1,3].

No estudo do comportamento mecânico, são normalmente utilizados ensaios de tração e ensaios de impacto. Nos ensaios de tração uniaxial a amostra é tracionada com uma velocidade constante e controlada até ocorrer uma determinada deformação ou falha. Os ensaios de impacto utilizando o pêndulo de Charpy, medem a resistência à falha do material a uma força aplicada repentinamente, através da energia absorvida antes da fratura. A literatura demonstra que as propriedades dos polímeros reciclados são degradadas, tal como o Polipropileno (PP) em que as propriedades mecânicas são comprometidas para valores superiores a 30% de reciclado. [4,18].

Relativamente ao ABS, são verificados diferentes resultados para as propriedades mecânicas na incorporação de material reciclado. Existem estudos onde não se verificam variações significativas das propriedades mecânicas para grandes percentagens de reciclado utilizadas, e outros em que são verificadas variações consoante os ensaios de caracterização mecânica realizados [15].

Na literatura, verifica-se que a resistência média à tensão sofre uma diminuição inferior a 5% quando se utiliza reciclado, comparativamente ao material 100% virgem, ainda que, a mesma, não varie significativamente entre as várias percentagens de reciclado utilizadas (Figura 2.5). Isto é explicado pelo efeito de degradação pela cisão da cadeia e reticulação (ligação) do butadieno. [15,16].

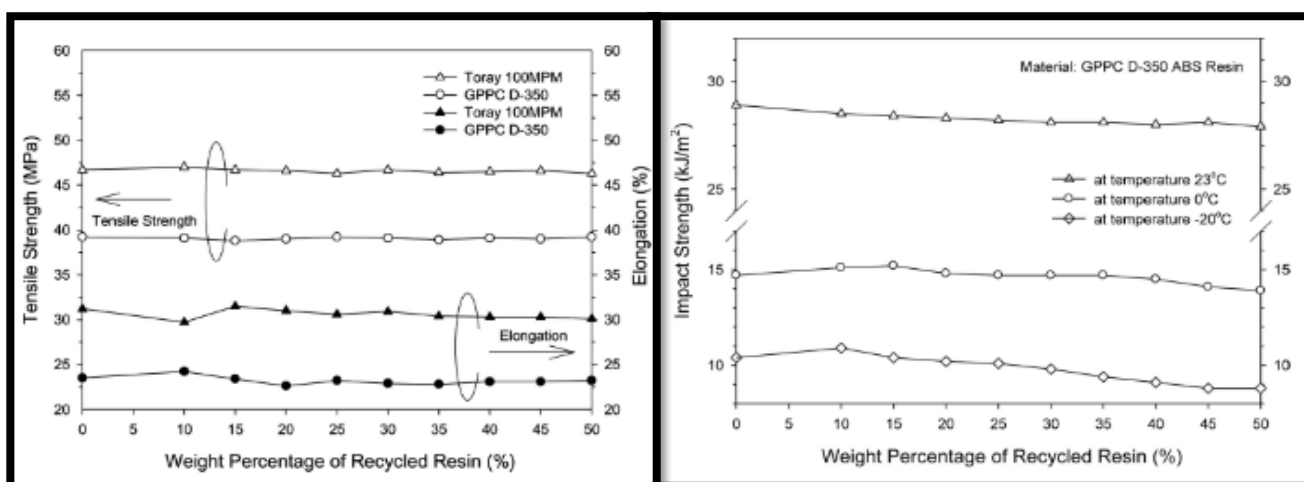


Figura 2-5- Gráficos da resistência à tensão à esquerda e da resistência ao impacto à direita, em função da percentagem de reciclado para amostras de ABS numeradas 1 a 11, sendo que a amostra 1 é 100% virgem e as restantes amostras têm uma adição de 5% de reciclado até perfazer os 50% de reciclado da amostra 11 [16].

Em relação ao ensaio de impacto, representado no gráfico à direita da Figura 2.5, é verificada uma diminuição ligeira e gradual à medida da incorporação do material reciclado, sendo este efeito explicado quer pela degradação do butadieno, quer pelas tensões termomecânicas sofridas durante o processamento e reprocessamento. [15,16].

A deterioração pode ser explicada pelas forças de corte e degradação térmica na cadeia molecular. A utilização de material reciclado reduz o peso molecular, diminui o tamanho da cadeia e aumenta a mobilidade molecular. Desta forma, a cadeia molecular responde mais facilmente às tensões, reduz a absorção de energia e, dessa forma, diminui a resistência à tração e ao impacto. [15] Por outro lado, a literatura mostra que a afinação dos parâmetros do processo, utilizando várias percentagens de ABS reciclado, permite obter as propriedades mecânicas do material virgem [17].

No estudo do comportamento ao nível do processamento de polímeros são utilizados o índice de fluidez e viscosidade. Geralmente na indústria para se aferir a qualidade do polímero e as respetivas propriedades de fluxo utiliza-se o método analítico do índice de fluidez (MFI).

Na literatura é reportada a relação do MFI dos polímeros com características físicas e químicas, tais como a distribuição do peso molecular e viscosidade. A medição do índice de fluidez é, em si, uma forma indireta de medir a viscosidade ou a habilidade do polímero no estado fundido fluir sob pressão através de um orifício de tamanho fixo e, por isso, é indicativo da capacidade de processamento do

polímero no estado fundido. O fluxo do ABS é influenciado pela presença de cargas e pelo peso molecular sendo que, teoricamente, o peso molecular sofre uma diminuição ao ser reciclado [3].

O comportamento reológico dos polímeros fundidos é extremamente relevante, pois depende da sua microestrutura e influencia as suas condições de processamento. Para a análise reológica são normalmente realizados ensaios oscilatórios de varrimento e viscosimétricos com recurso ao reómetro rotacional. Trata-se de ensaios de frequência de baixa amplitude, com recurso a frequências variáveis e com um baixo valor de deformação, sem perturbar a estrutura molecular da mistura dentro do regime de viscoelasticidade. Os resultados incluem o módulo elástico (G') e o módulo viscoso (G''), que representam, respetivamente, a componente elástica e a componente viscosa do material.

Na literatura, as medições reológicas mostram que a viscosidade do ABS reciclado não difere significativamente da viscosidade do ABS virgem até dois reprocessamentos, sendo que apenas sofre uma diminuição ligeira representada nas curvas de menor declive do gráfico da Figura 2.6. Após o terceiro reprocessamento é notória uma diminuição da viscosidade para as várias percentagens de utilização de reciclado [19,20].

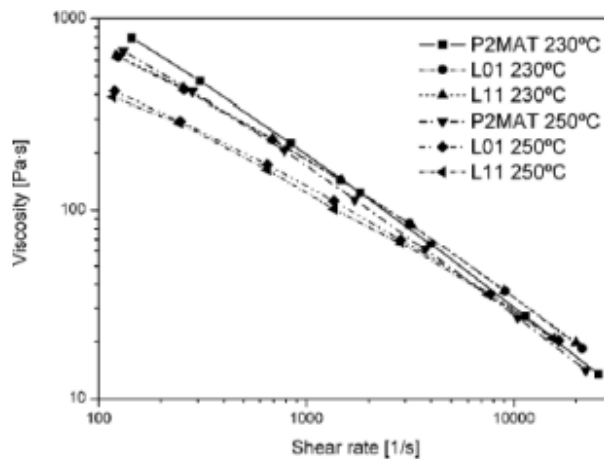


Figura 2-6 - Gráfico da Viscosidade em função da taxa de corte para ABS virgem (L01) e reprocessado (L11) para duas temperaturas de processamento, 230°C e 250°C [19].

No que se refere ao controlo dimensional e de peso é de maior importância averiguar se as dimensões dos componentes são mantidas com a crescente percentagem de reciclado utilizado. Teoricamente, espera-se que a utilização de reciclado origine uma ligeira diminuição do peso das peças, devido ao facto do reciclado ter menor peso molecular e menor tamanho da cadeia, quer seja devido às tensões de corte sofridas durante o processamento quer à quebra das ligações durante a reciclagem. [3][19]

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)

Como matérias-primas foram utilizados dois tipos de Acrilonitrilo-butadieno-estireno, nomeadamente o ABS Novodur® HH-112 BK10009 e o ABS Novodur® HH-106 WT10403. Estes correspondem a granulados destinados à moldação por injeção a temperaturas elevadas. O ABS Novodur HH-112 apresenta cor preta, enquanto o ABS Novodur HH-106 apresenta cor branca.

Ambas as matérias-primas, contêm níveis muito baixos de monómeros residuais e produtos químicos do processo (estireno, etilbenzeno, acrilonitrila, metilestireno e butadieno) que possam evoluir durante o processamento térmico, juntamente com possíveis produtos de decomposição [21,22].

3.1.2 ABS Novodur® HH-112 BK10009

O Novodur® HH-112 BK10009 é um granulado bastante utilizado em moldagem por injeção de alta temperatura, capaz de proporcionar uma elevada resistência térmica combinada com uma boa rigidez [23]. Tem na sua composição 50-70% de copolímero alfa-metilestireno acrilonitrilo ($C_{12}H_{13}N$ - CAS 25747-74-4), 30-50% de copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno ($C_8H_8.C_4H_6.C_3H_3N$ - CAS 9003-56-9), e 0.1-1.0% de carbono (C) que estabiliza que promove a estabilização de propriedades e responsável pela cor preta do granulado [21]. Por motivos de confidencialidade do fornecedor de matéria-prima, não existe acesso à informação das percentagens concretas dos copolímeros, apenas os respetivos intervalos de especificação.

É fornecido na forma de pellets cilíndricos ou esféricos, com uma densidade aparente do granulado de 0,55 a 0,65 g/cm³, representado na Figura A.1. É armazenado e transportado numa unidade de embalagem padrão em saco de Polietileno (PE) de 25 kg em palete, embalado com filme de PE. Tal como o anterior, é de destacar a sua enorme aplicabilidade na injeção de peças para a indústria automóvel. A especificação e certificado de análise do Novodur® HH-112 BK10009 utilizado, encontram-se nas fichas de dados presentes das Figuras A.2, A.3 e A.4 [23].

3.1.3 ABS Novodur® HH-106 WT10403

O Novodur® HH-106 WT10403 trata-se de um granulado utilizado em moldagem por injeção de altas temperaturas, com capacidade de promover um perfil de propriedades equilibrado e uma elevada resistência térmica [24]. Tem na sua composição 50-70% de copolímero alfa-metilestireno acrilonitrilo ($C_{12}H_{13}N$ - CAS 25747-74-4), 30-50% de copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno ($C_8H_8.C_4H_6.C_3H_3N$ - CAS 9003-56-9), e 0.1-1% de dióxido de titânio (TiO_2 - CAS 13463-67-7), responsável pela cor branca do granulado [22]. Por motivos de confidencialidade do fornecedor de matéria-prima, não existe acesso à informação das percentagens concretas dos copolímeros, apenas os respetivos intervalos de especificação.

Tal como o anterior, é fornecido na forma de pellets cilíndricos ou esféricos, com uma densidade aparente do granulado de 0,55 a 0,65 g/cm³, representado na Figura A.1. É armazenado e fornecido numa unidade de embalagem padrão em saco de PE de 25 kg em palete, embalado com filme de PE. Tem uma enorme aplicabilidade na injeção de peças para a indústria automóvel, nomeadamente nas consolas centrais dos interiores dos automóveis. A especificação do Novodur® HH-106 WT10403 utilizado encontra-se nas fichas de dados presentes nas Figuras A.5, A.6 e A.7 [24].

3.2 Preparação de Materiais

3.2.1 Reciclagem

As peças plásticas defeituosas de Novodur HH-112 e Novodur HH-106, de produções anteriores, que não cumpriram as exigências e especificação quer a nível estético, dimensional ou funcional foram rejeitadas. Este material juntamente com o material dos gitos, material que solidifica nos canais de injeção do molde em cada ciclo de injeção, foi levado para a estação de reciclagem.

A reciclagem foi realizada por meio de moagem mecânica, de acordo com o procedimento descrito no Anexo A.6, onde o material não conforme foi submetido à ação de um moinho mecânico MRU 45.65 IV e de um granulador central insonorizado SG-2336-CE, representados na Figura B.1. A redução dimensional da reciclagem tem como resultado os granulados das matérias-primas recicladas ilustradas na Figura A.1 em anexo.

3.2.2 Secagem

O processo de secagem foi realizado com recurso a secador de estufagem Piovan, representado na Figura B.3, com o objetivo de remover o teor de humidade existente. Deste modo, a matéria-prima armazenada nos respetivos silos são levados através de tubagens apropriadas para o secador Piovan para o processo de secagem. A estufagem da matéria-prima é assim realizada numa fase pré-eliminar ao processo de moldação por injeção. É efetuada, respeitando a temperatura de 80°C e a duração de 2 horas, tal como exigido na sua especificação e descrito no procedimento no Anexo B.2 .

3.3 Processamento

3.3.1 Alimentação

A alimentação do material estufado para a máquina de injeção é realizada através das tubagens que ligam secador à tremonha Piovan S50, de acordo com o procedimento no Anexo B.3. A tremonha é o equipamento que funciona como reservatório onde a matéria-prima é carregada. Sendo que o material a ser injetado é composto por uma mistura de materiais, como virgem e reciclado, utilizou-se um doseador gravimétrico Piovan MDW 200 acoplado à tremonha, evidenciados na Figura B.5, com a capacidade de garantir a proporção da mistura definida recorrendo à medição do peso. O doseador controla a percentagem de cada componente, que entra para o interior do cilindro de injeção.

A alimentação foi realizada em tubagens diferentes, sendo que as matérias-primas Novodur HH-106 e Novodur HH-112 têm o secador de estufagem bem como a máquina de injeção respetivos.

O doseador foi utilizado para controlar a percentagem de material reciclado introduzida. As percentagens de material reciclado introduzido, apresentadas na Tabela 3.1, foram de 0%, 20% e 100%, correspondendo às peças do tipo I, II e III, respetivamente, para ambas as matérias-primas. De modo a garantir que as proporções foram realizadas corretamente, antes da injeção, as mesmas são configuradas através da interface de display do doseador gravimétrico.

Tabela 3.1- Proporções de material virgem e material reciclado utilizadas para as peças de Novodur HH-112 e de Novodur HH-106

	Material Reciclado (%)	Material Virgem (%)
Peças Tipo I	0	100
Peças Tipo II	20	80
Peças Tipo III	100	0

3.3.2 Moldagem por Injeção

Foram utilizados dois moldes de injeção, com estruturas em aço 1.1730 e zonas moldantes em aço 1.2311. Os moldes são constituídos por duas partes, nomeadamente a cavidade e a bucha, que são hermeticamente fechadas e definem no seu interior a geometria de produto final a preencher com material fundido. As matérias-primas de ABS, Novodur HH-106 e Novodur HH-112, foram injetadas no respetivo molde, para a produção das peças *Mask* e *Mounting Plate*, ilustradas na Figura 3.1.

Para isso, foram necessárias duas máquinas injeção, ambas caracterizadas por uma força de fecho de 500 toneladas. Para a produção da *Mask* foi utilizada a máquina de injeção *Engel Victory 3550/500 tech* representada na Figura B.8, enquanto para a produção do *Mounting Plate* foi utilizada uma *Engel CL 2550/500*, representada na Figura A.9.

De forma a respeitar as proporções entre material virgem e material reciclado apresentadas anteriormente na Tabela 3.1, foram realizadas três produções de 50 peças, para a *Mask* e o *Mounting Plate*, de acordo com o procedimento do Anexo B.4.

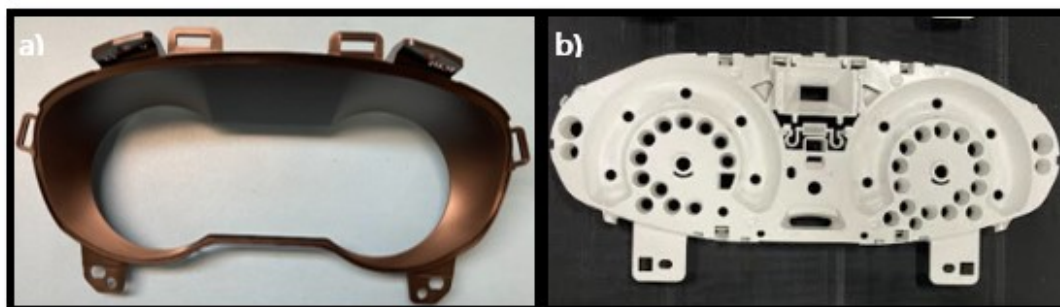


Figura 3-1 - Peças produzidas: à esquerda (a) a *Mask* com o material ABS Novodur HH-112 e à direita (b) o *Mounting Plate* com o material ABS Novodur HH-106

Após cada ciclo de injeção, com as etapas de alimentação, plastificação, injeção e solidificação descritas anteriormente, foi utilizado um sistema de automação por *robot* equipado por uma garra para a extração da peça do interior do molde. O molde é aberto após o período necessário à solidificação completa da peça, e de seguida o *robot* agarra e transporta as peças até ao tapete de rolos onde são levados até à estação de inspeção, na qual são inspecionados pelo operador.

No que respeita os parâmetros de processo, foram utilizados o programa de *set-up* de parâmetros evidenciados nos Anexos B.5 e B.6, respetivamente para a *Mask* de Novodur HH-112 e para o *Mounting Plate* de Novodur HH-106. Foram assim utilizados os parâmetros respetivos da peça para as três produções, com temperaturas de injeção entre os 230 e 260 °C, pressões de Injeção entre 255 e 280 bar, velocidades de injeção entre 25 e 40 mm/s com tempos de ciclo entre 50 e 60 segundos.

Entre as várias produções, independentemente das proporções de material virgem e reciclado utilizadas, foi mantido o *set-up* de parâmetros, de forma que a única fonte de variação para as propriedades dos componentes fosse a percentagem de material reciclado. De forma a garantir a proporção correta da mistura de material virgem e reciclado, entre cada produção e alteração da percentagem de reciclado introduzida, foi purgado todo o material da produção anterior do interior do cilindro. Nas Figuras B.10 e B.11 em anexo, é possível observar uma peça amostra para as três proporções de material utilizadas, respetivamente, para as peças *Mask* e *Mounting Plate*.

3.3.3 Preparação de provetes amostra

Após a produção das peças, foi definida a zona uniforme, e com espessura constante, da *Mask* e do *Mounting Plate*, respetivamente representadas a verde nas Figuras B.12 e B.13, de forma a facilitar a produção de provetes para efetuar os ensaios mecânicos e reológicos. A zona assinalada a verde foi cortada através de uma serra de corte Metabo, para ser utilizada para fazer os provetes necessários.

Os provetes foram desenhados num programa de computador *OpenOfficeDraw* com a configuração ilustrada na Figura B.14, e posteriormente cortados na máquina de corte laser *Trotec Speedy 100R*, ilustrada na figura B.15, a uma velocidade de 1% com uma potência de 25% e a uma frequência (Hz) em modo automático.

Foram feitos cinco conjunto de provetes em formato “*dog-bone*” para o ensaio uniaxial de tração, em formato de bastonete para os ensaios de impacto e em formato de discos para utilização no reómetro rotacional como ilustram as Figuras B.16, B.17 e B.18 disponíveis em anexo.

3.4 Caracterização

3.4.1 Controlo Dimensional

Após o arrefecimento e contração das peças produzidas, seguiu-se o controlo dimensional de dimensões consideradas críticas para a conformidade dos clusters. Para ambos os tipos de peça, foram controladas dimensionalmente uma amostra de 5 peças para cada proporção de material virgem e material reciclado.

O controlo dimensional das peças *Mounting Plate* de Novodur HH-106, representado na Figura B.19, foi efetuado com recurso a uma máquina de medição tridimensional (CMM), pertencente à Visteon, tratando-se de um procedimento do controlo de qualidade interno através de um programa de medição, sendo analisadas na dissertação apenas duas dimensões.

A máquina de medição tridimensional é um instrumento de medição com a capacidade de medir componentes tridimensionais de uma forma exata, seguindo as instruções dos pontos a medir, programados através de um software. Apresenta também um excelente desempenho de velocidade, precisão e repetibilidade para o controlo dimensional de componentes.

Relativamente ao controlo dimensional das peças *Mask* de Novodur HH-112, representado na Figura B.20, foi realizado com recurso a um paquímetro Mitutoyo 600 para duas dimensões. A medição através do paquímetro é realizada manualmente, sendo posteriormente visualizada com recurso a um display digital.

3.4.2 Pesagem

A pesagem das peças, *Mask* e *Mounting Plate*, foi realizada para as várias proporções de material virgem e reciclado recorrendo a uma balança digital *Kern EMB 2000-2* pertencente à Visteon, sendo este um procedimento inerente ao controlo de qualidade. O peso foi devidamente controlado para uma amostra de 5 peças para cada proporção de material virgem e material reciclado, de forma a aferir a influência da percentagem de reciclado no peso final da peça.

3.4.3 Ensaio de Tração

As amostras, em provete para o caso do Novodur HH-112 e a peça no caso do Novodur HH-106, são posicionadas sob a ação de garras que irão tracionar a mesma sob uma velocidade de tração constante e controlada, até que ocorra uma determinada deformação de fratura. Através da velocidade de tração definida e, conseqüentemente, da força aplicada ao provete (F), do alongamento (Δl), do comprimento inicial (l_0) e da área de secção reta original da amostra (S_0) é determinada a tensão (σ) aplicada na amostra, bem como a deformação da amostra (ϵ), como demonstrado nas equações que se seguem [25]:

$$\sigma = F / S_0 \text{ (Equação 2.1)}$$

$$\epsilon = \Delta l / l_0 \text{ (Equação 2.2)}$$

3.4.3.1 Ensaio de Tração – Mask (Novodur HH-112)

Os ensaios de tração são um dos métodos cruciais, estando entre os mais utilizados na investigação do comportamento mecânico dos materiais. Os ensaios de tração dos componentes de ABS Novodur HH-112 foram realizados através de provetes em formato *dog bone* com recurso à máquina de tração universal *Hounsfield H5K-W* no laboratório de polímeros do DCM, tendo sido ensaiados 5 provetes para cada proporção a uma velocidade de 1,5 mm/min tal como ilustrado na Figura B.21. Através dos gráficos força vs alongamento fornecidos pelo *software*, foram determinados o módulo de young, a tensão máxima, a deformação à fratura e a tenacidade (área abaixo da curva de tração vs deformação) para todos os cinco provetes de cada percentagem.

A velocidade de tração foi de 1.5 mm/min, por ser a mais adequada para as dimensões dos provetes utilizados, sendo que as suas dimensões foram limitadas pela reduzida área de espessura uniforme disponível na *Mask*.

3.4.3.2 Ensaio de Tração – *Mounting Plate* (Novodur HH-106)

Para os ensaios de tração dos componentes de ABS Novodur HH-106, foi utilizada a peça completa com recurso à máquina de tração uniaxial *Chatillon CS225 Series Force Tester* pertencente à Visteon, sendo que se trata de um procedimento inerente ao controlo de qualidade. Posto isto, foi utilizado um dispositivo de fixação da peça, tal como evidenciado na Figura B.22, que permite suportá-la de forma que o único movimento existente seja o pelo movimento de tração das garras. Os ensaios de tração para esta peça, foram realizados num ponto crítico do mesmo, visto se tratar da zona que sofre um processo de soldadura a um outro componente, ponto esse representado na Figura B.22.

Foram ensaiadas à tração 5 peças para cada proporção de material virgem e reciclado, com uma velocidade de 10 mm/min. Através dos gráficos força em função do tempo fornecidos e extraídos do equipamento, foram obtidos os gráficos de força em função do alongamento.

A velocidade de tração foi de 10 mm/min, por ser a velocidade utilizada no controlo interno de qualidade do processo, no qual é verificado o valor mínimo de especificação da força à fratura de 90 newtons (N).

3.4.4 Ensaios de Impacto

Para a realização dos ensaios de impacto aos provetes obtidos das peças de ABS Novodur HH-106 e Novodur HH-112, foi utilizada a máquina de impacto *Tinius Olsen Model Impact 503* do laboratório de polímeros do DCM, com o princípio do pêndulo de Charpy tal como ilustrado na Figura B.23. Na indústria automóvel, o teste de impacto é um procedimento frequente no controlo de qualidade, tanto por ser um teste rápido e económico, como também por se tratar de uma solução fiável para medir as propriedades mecânicas de impacto.

Define-se a capacidade de um material absorver energia por intermédio da medição da sua resistência à falha ao se aplicar uma força repentinamente. A resistência ao impacto é a capacidade de um material resistir à quebra quando carregado por meio de uma colisão ou a capacidade do material resistir à fratura sob uma tensão aplicada a elevada velocidade [26].

O provete é posicionado por duas garras, tal como mostra a Figura B.23, e o pêndulo é largado sob um movimento livre, que lhe permite atingir a amostra, fazendo com que esta absorva energia até ceder. Após a cedência, a amostra começa a entrar num regime de deformação plástica. O provete de teste continua a absorver energia e a deformar no regime plástico. Quando a amostra não consegue absorver mais energia, dá-se a sua fratura [26].

Para cada proporção de material virgem e reciclado, foram ensaiados 5 provetes de cada matéria-prima, para o estudo da respetiva resistência ao impacto com recurso a um pêndulo de charpy. Foi utilizada uma energia potencial de 7,6032 J e foram realizados como ilustrado na Figura B.23, sendo determinada a resistência ao impacto dos componentes com diferentes proporções de material virgem/reciclado para ambas as matérias-primas.

3.4.5 Medição do Índice de Fluidez

A medição do índice de fluidez (MFI) foi realizada com o granulado virgem e o granulado reciclado das matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106, utilizando o equipamento *TINIUS OLSEN* pertencente ao laboratório de polímeros do DCM, representado na Figura B.24. Ensaio amplamente utilizado a nível de indústria para a avaliação da qualidade e facilidade de processamento dos materiais poliméricos, nomeadamente, as suas propriedades de fluxo, através da verificação se o valor de MFI medido se encontra dentro respetivo intervalo de especificação.

Trata-se de uma medição indireta da viscosidade, na qual é feito passar o polímero, no estado fundido, sob pressão através da fiação no interior do cilindro da máquina, com um orifício de tamanho fixo. As dimensões exatas do orifício, temperatura configurada e a massa da carga (pressão) são normalizadas e o valor medido é expresso pela massa de polímero que flui através do orifício a cada 10 minutos (g/10 min) [27,28].

Foi medido o índice de fluidez para 5 amostras para cada proporção de material virgem e material reciclado, para ambas as matérias-primas. Entre cada medição o cilindro, a barra do pistão e o orifício foram devidamente limpos, de forma a remover os vestígios de material da medição anterior.

De acordo com as fichas de especificação e certificados de análises respetivos lotes de matéria-prima, o índice de fluidez é de 5-6 g/10 min para o ABS Novodur HH-112 e de 7-8 g/10 min para o ABS Novodur HH-106 (Figuras A.2, A.4, A.5 e A.7). Os ensaios de MFI foram realizados a uma temperatura constante de 220°C e foi utilizada uma carga de 10 kg [27,28].

3.4.6 Ensaios Reológicos

A avaliação do comportamento reológico para ambas as matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106, foi dividida em duas partes sendo que, foram realizadas medidas oscilatórias e medidas viscosimétricas.

O reómetro rotacional utilizado foi o *Gemini HRnano*, pertencente ao laboratório de polímeros do DCM, representado na Figura A.25, com geometria de pratos paralelos (P/P) para obter informação sobre a evolução das propriedades reológicas do fundido.

O regime oscilatório permite a determinação das componentes elástica e viscosa, que correspondem respetivamente ao módulo de armazenamento ou elástico (G') e módulo de dissipação ou viscoso (G''), de um material em função da frequência angular, para diferentes temperaturas.

O regime estacionário permite determinar a viscosidade em função da taxa de corte (ou tensão de corte), a uma temperatura constante.

Foi analisada uma amostra de cinco discos de cada proporção de material virgem e reciclado, para ambas as matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106.

Os ensaios começaram por ser efetuados no modo oscilatório utilizando pratos paralelos com 25 mm de diâmetro e 1 mm de gap, à temperatura de 240°C e com uma frequência angular de varrimento compreendida no intervalo de 0,1 a 100 rad/s, numa amplitude de deformação na região de viscoelasticidade linear (0,1 a 0,25%). A zona viscoelástica linear corresponde ao intervalo onde a gama de tensões onde as funções viscoelásticas (G' e G'') são independentes da tensão aplicada.

Posteriormente, alterou-se para o modo contínuo da máquina de modo a avaliar a evolução da viscosidade (em estado estacionário) da amostra perante a aplicação de uma taxa de corte compreendida entre 1 e 100 s⁻¹, igualmente para uma temperatura de 240°C.

A temperatura escolhida para as medidas oscilatórias e viscosimétricas foi de 240°C, por corresponder a um valor intermédio da gama de temperaturas utilizadas no decorrer de um ciclo de injeção, ao longo do cilindro de plastificação, bico de injeção e das diversas zonas do interior do molde, como se pode verificar através das folhas de parâmetros presentes nos anexos B.5 e B.6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Controlo Dimensional e Pesagem

4.1.1 Controlo Dimensional

O controlo dimensional foi realizado a uma amostra de 5 peças as três proporções de material virgem e reciclado utilizadas, de ambas matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106.

As medições foram realizadas por métodos diferentes, conforme o tipo de peça. As peças de Novodur HH-112 (*Mask*) foi utilizado um paquímetro para a medição das dimensões escolhidas como críticas para a sua funcionalidade. Para as peças de Novodur HH-106 (*Mounting Plate*) foi utilizado um programa de medição recorrendo a máquina de medição tridimensional (*CMM*).

4.1.1.1 Controlo Dimensional - Novodur HH-112

As peças de Novodur HH-112 foram controladas em duas dimensões previamente definidas no controlo de qualidade da empresa. As dimensões controladas são os dois comprimentos devidamente identificados na Figura B.19, disponível em anexo.

Os resultados para o comprimento entre patilhas, apresentados na Tabela 4.1 adiante, mostram que não existe nenhuma variação significativa. Foi verificado que para o comprimento entre patilhas, não há desvios relativamente às tolerâncias de especificação independentemente da percentagem de reciclado utilizada, isto é entre o valor do limite inferior de especificação de 336,5 milímetros e o limite superior de especificação de 337,5 milímetros. Desta forma, não tem influência na montagem do produto final, sendo que as patilhas são um dos elementos mecânicos para a montagem com outras peças.

Tabela 4.1 - Controlo dimensional para o comprimento sem patilhas (mm) para cinco amostras das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.

337,0 ± 0,5	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Comprimento sem patilhas (mm)
Peças Tipo I 100% virgem	337,01	336,91	337,03	337,00	337,02	336,99 ± 0,05
Peças Tipo II 20% reciclado	337,05	337,03	337,03	337,03	337,02	337,03 ± 0,01
Peças Tipo III 100% reciclado	337,02	337,03	337,05	337,03	337,06	337,04 ± 0,02

Os resultados para o comprimento total, apresentados na Tabela 4.2 adiante, mostram que não existe nenhuma variação significativa. Foi verificado que para o comprimento total da peça, também não se verificam desvios relativamente às tolerâncias de especificação independentemente da percentagem de reciclado utilizada, sendo que se encontra entre o valor do limite inferior de especificação de 362,5 milímetros e o limite superior de especificação de 363,5 milímetros.

Tabela 4.2 - Controlo dimensional para o comprimento total (mm) para cinco amostras das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.

363,0 ± 0,5	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Comprimento total (mm)
Peças Tipo I 100% virgem	363,41	363,54	363,55	363,57	363,54	363,52 ± 0,06
Peças Tipo II 20% reciclado	363,53	363,53	363,54	363,49	363,55	363,53 ± 0,02
Peças Tipo III 100% reciclado	363,47	363,48	363,49	363,5	363,46	363,48 ± 0,02

Foi verificado que, para ambas as dimensões, a variação foi insignificante e dentro do que é habitual no decorrer de uma produção de injeção, visto que todas as medições se encontram dentro do intervalo de especificação. Não foi verificada nenhuma tendência ao introduzir reciclado.

4.1.1.2 Controlo Dimensional - Novodur HH-106

As peças de Novodur HH-106 foram controladas através de um programa de medição previamente definido no controlo de qualidade do processo. Dos variados pontos do programa, foram partilhados e analisados os pontos considerados mais críticos, identificados na Figura B.20.

Para o controlo dimensional do comprimento total, os resultados evidenciados na Tabela 4.3, mostram que o valor médio da medição diminui ligeiramente com o aumento de material reciclado na peça. Variação essa insignificante, uma vez que todas as medições se encontram dentro da especificação, isto é entre o valor do limite inferior de especificação de 302,0 milímetros e o limite superior de especificação de 303,0 milímetros.

Tabela 4.3 - Controlo dimensional para o comprimento total (mm) para cinco amostras das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.

302,5 ± 0,5	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Comprimento total (mm)
Peças Tipo I 100% virgem	302,840	302,867	302,856	302,863	302,859	302,86 ± 0,01
Peças Tipo II 20% reciclado	302,816	302,876	302,822	302,796	302,820	302,83 ± 0,03
Peças Tipo III 100% reciclado	302,749	302,784	302,739	302,704	302,773	302,75 ± 0,03

Para o controlo dimensional do comprimento de “clipagem”, os resultados evidenciados na Tabela 4.4, mostram que o valor médio da medição aumenta ligeiramente com o aumento de material reciclado na peça. Variação essa insignificante, uma vez que todas as medições se encontram dentro da especificação, isto é, entre o valor do limite inferior de especificação de 10,3 milímetros e o limite superior de especificação de 10,4 milímetros. Os resultados das peças do Novodur HH-106, mostram

assim que não existe nenhuma variação significativa para ambas as dimensões. Foi verificado que para ambas as dimensões controladas não houve desvios relativamente às tolerâncias de especificação, não interferindo desta forma na montagem do produto final.

Tabela 4.4- Controlo dimensional para o comprimento de clipagem (mm) para cinco amostras das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.

10,4 ± 0,1	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Comprimento de clip (mm)
Peças Tipo I 100% virgem	10,380	10,435	10,414	10,440	10,400	10,41 ± 0,02
Peças Tipo II 20% reciclado	10,454	10,448	10,424	10,430	10,401	10,43 ± 0,02
Peças Tipo III 100% reciclado	10,448	10,446	10,437	10,453	10,398	10,44 ± 0,02

Para o Novodur HH-106 a variação verificada, para ambas as dimensões, foi insignificante visto que se encontram dentro do intervalo de especificação, não existindo qualquer tendência à medida que se introduz material reciclado.

Ainda que as duas matérias-primas sejam utilizadas para peças distintas, e estas tenham geometrias e dimensões diferentes, pode-se aferir que ambas demonstraram um comportamento semelhante, na medida que as variações foram mínimas para o processo de montagem com as outras peças do *cluster*.

4.1.2 Pesagem

Foram pesadas cinco peças amostra de Novodur HH-112 e Novodur HH-106, para cada uma das três proporções de material virgem e reciclado utilizadas e registados os resultados de cada peça, tal como mostram as Tabelas 4.5 e 4.6.

4.1.2.1 Pesagem - Novodur HH-112

Os resultados da pesagem das peças de Novodur HH-112, evidenciados na Tabela 4.5, mostram que a variação de peso entre as três proporções de material utilizadas não atinge o valor de 1 g, sendo uma variação aceitável. Os resultados mostram que existe um ligeiro aumento do peso médio em cerca de 0,35 g (0,2%), das peças com 20% de reciclado, relativamente ao valor médio para as peças de material virgem. Na utilização de 100% de material reciclado, o peso médio embora ligeiramente menor do que o valor médio para as peças de 20% reciclado, mantém-se superior ao valor médio das peças de material virgem em cerca 0.1%.

Relativamente Novodur HH-112, verifica-se que a pesagem para os três tipos de peças encontra-se dentro do respetivo intervalo de especificação de 216,5 g a 218,5 g.

Trata-se de uma variação normal e aceitável decorrida ao longo de uma produção de injeção, não comprometendo a conformidade das peças. Isto mostra, que a introdução de reciclado não influencia a pesagem da peça final, para o mesmo *set-up* de parâmetros para as três produções da peça.

Tabela 4.5- Controlo do peso de cinco peças das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-112 utilizadas.

217,5 ± 1,0	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Pesagem (g)
Peças Tipo I 100% virgem	217,27	217,84	217,2	217,23	217,75	217,46 ± 0,31
Peças Tipo II 20% reciclado	217,8	217,77	217,84	217,82	217,82	217,81 ± 0,03
Peças Tipo III 100% reciclado	217,58	217,57	217,76	217,92	217,59	217,68 ± 0,15

4.1.2.2 Pesagem - Novodur HH-106

Os resultados da pesagem das peças de Novodur HH-106, evidenciados na Tabela 4.6, mostram que a variação de peso entre as três proporções de material utilizadas é insignificante. Os resultados mostram que existe um ligeiro aumento do peso médio em cerca de 0,52% das peças com 20% de reciclado, relativamente ao valor médio para as peças de material virgem. Na utilização de 100% de material reciclado, o peso médio apresentou um aumento em 0,66% relativamente ao material virgem. A diferença entre o valor do peso médio das peças de material virgem e o valor do peso médio das peças de material reciclado não atinge 1 g.

Tabela 4.6- Controlo do peso de cinco peças das três proporções de material virgem e reciclado de Novodur HH-106 utilizadas.

129,0 ± 1,0	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Pesagem (g)
Peças Tipo I 100% virgem	129,64	129,65	129,62	129,62	129,60	129,63 ± 0,02
Peças Tipo II 20% reciclado	130,43	130,40	130,36	130,29	130,02	130,30 ± 0,17
Peças Tipo III 100% reciclado	129,98	130,50	130,81	130,02	131,12	130,49 ± 0,50

Relativamente Novodur HH-106, tem-se a pesagem dos três tipos de peças dentro do respetivo intervalo de especificação de 129,0 g a 131,0 g. A introdução de reciclado não influencia a pesagem da peça final, utilizando o mesmo *set-up* de parâmetros para as três produções da peça.

Apesar das duas matérias-primas serem utilizadas para peças distintas, e estas apresentem pesos, pode-se aferir que para ambas demonstraram um comportamento semelhante, na medida que as variações verificadas, inferiores a 1%, não são significativas.

4.2 Propriedades mecânicas

4.2.1 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração (especificadas no capítulo 3.4.3) permitiriam obter curvas da força em função do alongamento dos provetes. As curvas obtidas demonstram a tensão máxima suportada e a partir de que valor de deformação esta passa do regime elástico para o regime plástico, isto é, quando

a deformação é tal que a amostra não volta a recuperar o estado inicial. Foi alcançado a ponto de rutura para todas os provetes ensaiados, logo foi possível saber a deformação máxima suportada pelos provetes.

4.2.1.1 Ensaio de Tração para o Novodur HH-112

Os curvas força (N) vs. alongamento (mm) para o Novodur HH-112, estão apresentadas nas três Figuras C.1, C.2 e C.3 no anexo C. A Figura C.1 é representativa do comportamento dos provetes de material virgem, a figura C.2 é relativa aos provetes com 20% de material reciclado e a figura C.3 aos provetes de material totalmente reciclado.

Os gráficos apontam para um aumento da resistência à tração para a incorporação de 20% de material reciclado, enquanto para 100% de material reciclado o valor se mantém, acabando por se verificar uma maior dispersão dos resultados para esta última proporção. Relativamente ao alongamento, este apresenta um acréscimo com a incorporação de material reciclado, ainda que os valores para os provetes de 20% e 100% de material reciclado sejam bastante semelhantes.

A partir das curvas força vs. alongamento, foram obtidas as curvas de tensão (MPa) em função da deformação (%), para as três diferentes composições analisadas. Nas três Figuras em anexo (C.4 – C.6), a Figura C.4 corresponde aos provetes de material virgem, a Figura C.5 é relativa aos provetes com 20% de material reciclado e a Figura C.6 aos provetes de material 100% reciclado. A partir da curva média tensão vs deformação para os cinco provetes de cada proporção, foi obtido o gráfico da Figura 4.1 que mostra a comparação da curva tensão vs deformação das três proporções entre material virgem e reciclado.

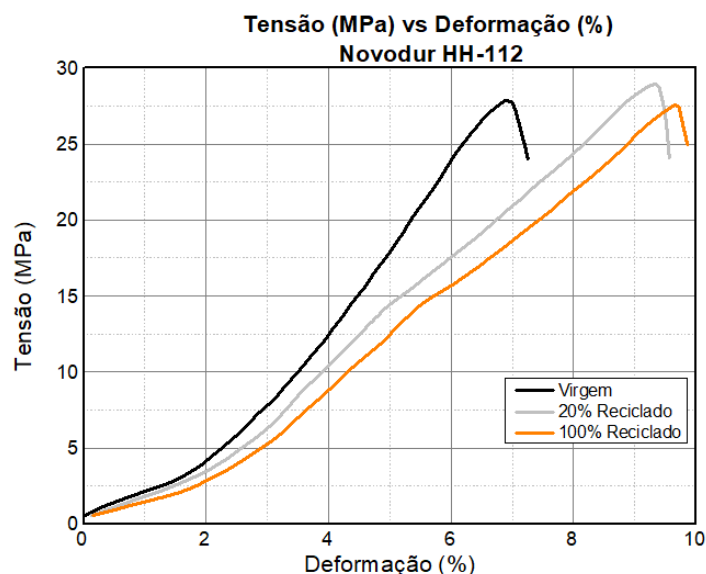


Figura 4-1 – Curva da Tensão (MPa) em função da deformação (%) da média dos 5 provetes de Novodur HH-112 para as três proporções de material virgem e material reciclado utilizadas

Após a análise dos gráficos relativos ao Novodur HH-112 relativamente ao comportamento da tensão suportada pelos provetes, é possível verificar através da Tabela 4.7 e da Figura 4.2 algumas diferenças na resistência à tração entre as diferentes proporções de provete utilizadas.

Os provetes com 20% de reciclado foram os que se demonstraram capazes de suportar uma tensão máxima maior, com um ligeiro acréscimo de 5% relativamente aos provetes de material 100% virgem. Os provetes de material 100% reciclado demonstram valores de resistência à tração bastante semelhantes ao material virgem, ainda que o seu valor médio seja ligeiramente inferior em cerca de

2%. Ainda que existam variações entre os provetes de composições diferentes, as mesmas não se demonstram significativas.

Tabela 4.7- Dados da Resistência à Tração (MPa) retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.

Composição	Resistência à Tração (MPa) Novodur HH-112					
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	29,3	29,5	28,3	27,1	30,2	28,9 ± 1,2
Peças Tipo II 20% reciclado	31,6	30,1	30,3	30,6	29,2	30,4 ± 0,9
Peças Tipo III 100% reciclado	24,8	31,3	29,7	25,9	29,9	28,3 ± 2,8

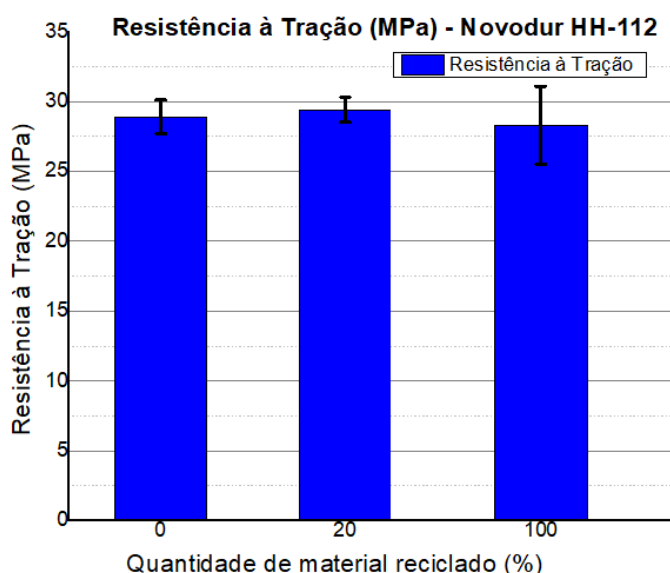


Figura 4-2 – Resistência à Tração (MPa) em função da percentagem da quantidade de material reciclado para o Novodur HH-112.

Foi realizado o estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se a resistência à tração (MPa), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-valor de 0,232, podendo-se desta forma aferir que não existe diferença no desempenho médio para a resistência à tração (MPa) dos três tipos de peças.

A partir do alongamento no momento da fratura foi possível obter a deformação na fratura para as três composições de provetes estudados, que se encontram apresentadas na Tabela 4.8 e no gráfico da Figura 4.3. Os provetes demonstraram uma maior capacidade de deformação com a incorporação de material reciclado, com um aumento em cerca de 32% relativamente aos provetes de material

virgem, enquanto os provetes de material 100% reciclado obtiveram um aumento em cerca de 44% na sua deformação na fratura.

Tabela 4.8 - Dados da deformação na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.

Composição	Deformação na fratura (%) - Novodur HH-112					
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	7,19	7,24	7,22	7,01	7,16	7,16 ± 0,1
Peças Tipo II 20% reciclado	9,06	10,16	9,10	9,51	9,25	9,42 ± 0,5
Peças Tipo III 100% reciclado	9,94	9,36	10,98	10,20	10,96	10,29 ± 0,7

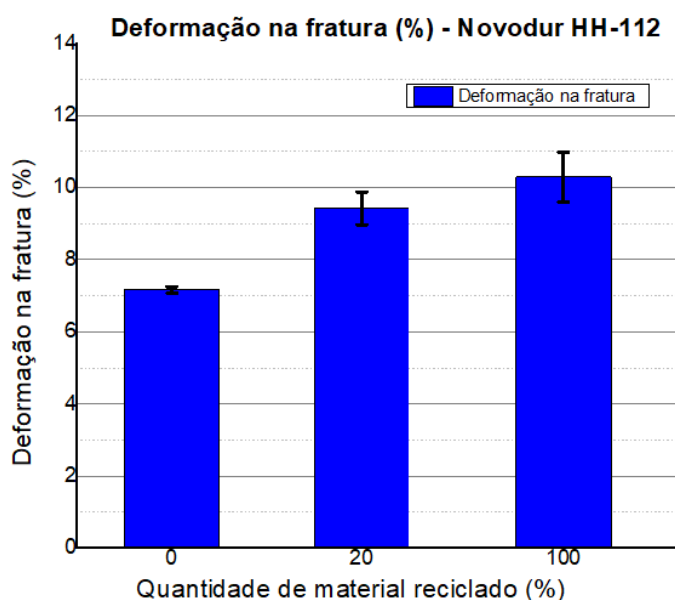


Figura 4-3 - Deformação na fratura (%) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, dos ensaios de tração dos provetes de Novodur HH-112.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se a deformação na fratura (%), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-valor de 7,92E-07, podendo-se desta forma aferir que existe diferença estatística para a deformação na fratura (%) dos três tipos de peças, que através dos dados analisados se percebem que as deformações à fratura para as amostras com reciclado (tipo II e III) estão próximas entre si mas ligeiramente superiores às amostras de material virgem (tipo I).

A partir das curvas de tensão vs deformação ($\sigma(\epsilon)$), foi definida a zona elástica e calculado o módulo de Young para um intervalo de deformações entre $\epsilon = 0,5\%$ e $\epsilon = 2,5\%$, devido ao facto de ser o intervalo mais adequado e linear para o cálculo.

Os módulos de Young obtidos estão apresentados na Tabela 4.9 e no gráfico da Figura 4.4, onde se verifica que a introdução de material reciclado leva a uma diminuição do módulo. O módulo de Young decresce cerca de 18% com a utilização de 20% de material reciclado, e em cerca de 28% com a utilização de material 100% reciclado.

Tabela 4.9 - Dados do módulo de Young (MPa) retirados a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.

Composição	Módulo de Young (MPa) - Novodur HH-112					
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	765,68	953,11	832,12	872,38	881,58	860,97 ± 68,8
Peças Tipo II 20% reciclado	944,60	572,85	595,00	732,45	673,92	703,76 ± 148,9
Peças Tipo III 100% reciclado	536,17	633,03	528,45	712,35	649,69	611,94 ± 78,5

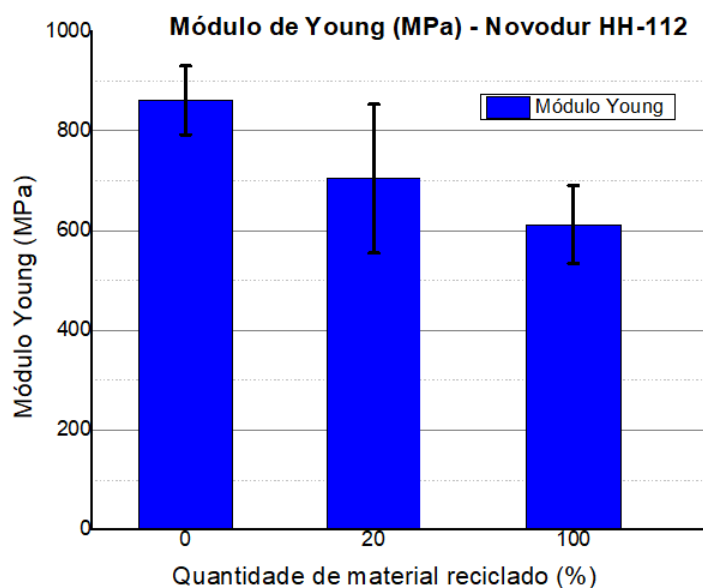


Figura 4-4 - Módulo de Young (MPa) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para os provetes de Novodur HH-112.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se o módulo de young (MPa), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1):

Hipótese 0 (H_0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H_1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H_0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H_0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-

valor de 0,009, rejeita-se H0 sendo que existe diferença estatística para o módulo de young (MPa) dos três tipos de peças, que através dos dados analisados se percebe pela descida gradual do módulo de young com a incorporação de material reciclado.

Em última análise do ensaio de tração do Novodur HH-112, foi calculada a tenacidade do material, que se define como a habilidade que o material apresentou para resistir à fratura, apresentada na Tabela 4.10. Em sintonia, com o que foi observado com a ductilidade, a tenacidade apresentou uma tendência crescente em função da quantidade de material reciclado, como se pode verificar no gráfico da Figura 4.5.

A tenacidade aumenta em cerca de 47% com a utilização de 20% de material reciclado, e em cerca de 53% com a utilização de material 100% reciclado. De notar a os provetes com 20% de material reciclado e os provetes de 100% material reciclado, apresentam tenacidades bastante semelhantes.

Tabela 4.10 - Dados da Tenacidade obtidos a partir dos ensaios de tração para os provetes de Novodur HH-112.

Composição	Tenacidade (MJ/m ³) - Novodur HH-112					
	Provete 1	Provete 2	Provete 3	Provete 4	Provete 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	0,900	0,868	0,806	0,865	1,028	0,893 ± 0,1
Peças Tipo II 20% reciclado	1,276	1,533	1,404	1,042	1,311	1,313 ± 0,2
Peças Tipo III 100% reciclado	1,087	1,326	1,602	1,324	1,508	1,369 ± 0,2

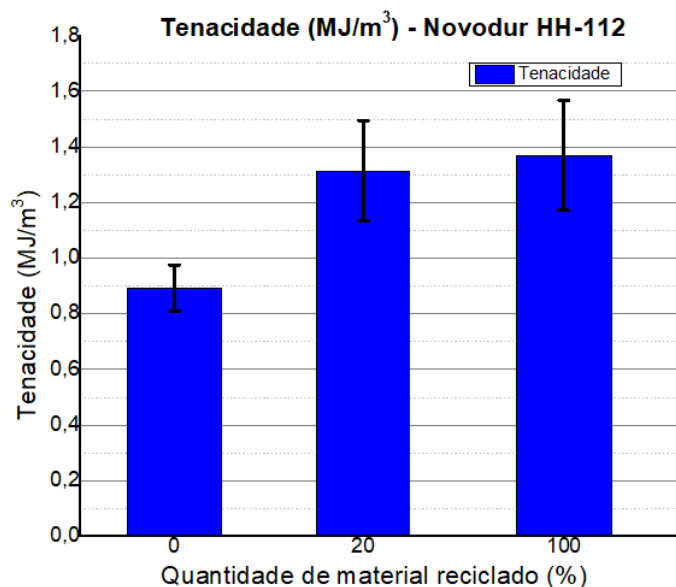


Figura 4-5 - Tenacidade (MJ/m³) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para os provetes de Novodur HH-112.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se a tenacidade (MJ/m³), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H_0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H_0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um $p\text{-valor}$ de 0,001, rejeita-se H_0 sendo que existe diferença estatística para a tenacidade (MJ/m^3) dos três tipos de peças, que através dos dados analisados se percebe pelo visível aumento da tenacidade para as amostras com material reciclado relativamente às amostras de material virgem.

4.2.1.2 Ensaios de Tração para o Novodur HH-106

As curvas força (N) vs alongamento (mm) para o Novodur HH-106 relativas ao comportamento das peças de material virgem, das peças com 20% de material reciclado e das peças de 100% de material reciclado, estão nos gráficos das Figuras em anexo C.7, C.8 e C.9, respetivamente. Os gráficos apontam para um aumento da força máxima para a incorporação de 20% de material reciclado, enquanto para 100% de material reciclado os valores mantiveram-se. Relativamente ao alongamento, os valores obtidos para as peças foram semelhantes, não se verificando uma grande variação aquando da incorporação de material reciclado.

A partir das curvas força vs alongamento, foram realizados os cálculos necessários e obtidas as curvas médias das cinco peças para as três diferentes composições entre material virgem e material reciclado, presentes no gráfico da Figura 4.6. As curvas de cores preta, cinzenta e laranja são relativas, respetivamente, às peças de material virgem, peças com 20% de material reciclado e peças de 100% de material reciclado.

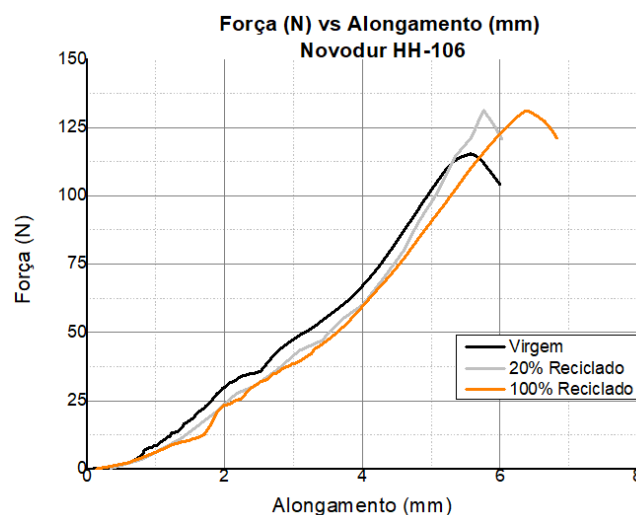


Figura 4-6 – Curvas da Força (N) em função do Alongamento (mm) da média das 5 peças de Novodur HH-106 para as três proporções de material virgem e material reciclado utilizadas.

Através da análise dos gráficos da força (N) em função do alongamento (mm), bem como dos seus respetivos valores, foram obtidas as forças máximas para as três proporções, que se apresentam na Tabela 4.11 e na Figura 4.7.

Esta análise, demonstrou que a crescente introdução de material reciclado desencadeou um aumento da força máxima, em cerca de 17% como se observa na Tabela 4.11. No caso do Novodur HH-106, o efeito de degradação pela cisão da cadeia e reticulação (ligação) do butadieno não se verificou, uma vez que a resistência à força aplicada aumenta com a introdução de material reciclado.

Tabela 4.11- Dados de força máxima retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.

Composição	Força máxima (N) - Novodur HH-106					
	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	113	118,5	116,5	118,5	113,5	116 ± 2,6
Peças Tipo II 20% reciclado	133,5	137,5	136,5	136,5	136,5	136 ± 1,5
Peças Tipo III 100% reciclado	134	136,5	134	134	136,5	135 ± 1,4

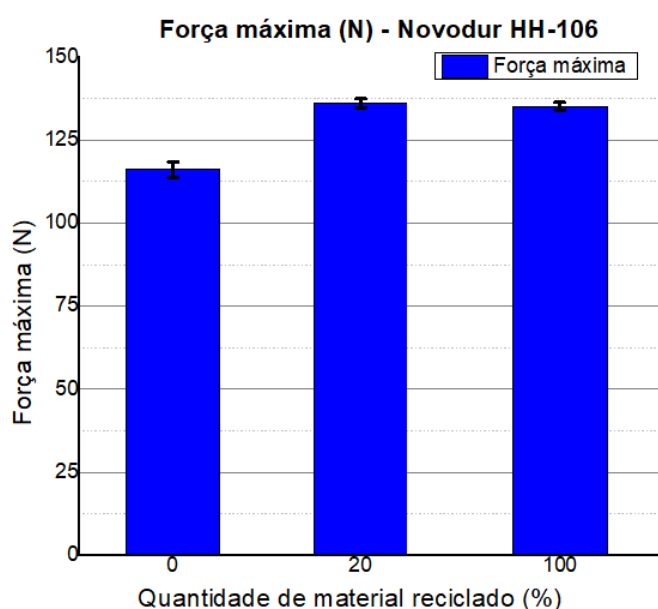


Figura 4-7- Força máxima (N) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se a força máxima (N), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-valor de 1,50E-09, rejeita-se H0 sendo que existe diferença estatística para a força máxima (N) dos três tipos de peças, que através dos dados analisados se percebe pelo visível aumento da força máxima para as amostras com material reciclado relativamente às amostras de material virgem.

Relativamente ao alongamento, os resultados na Tabela 4.11 e na Figura 4.8 mostram uma ligeira diminuição em cerca de 6% para uma percentagem de 20% de material reciclado relativamente às amostras virgens, mas um acréscimo de 9% para as amostras de 100% de material reciclado.

Os dados revelam que a ductilidade do material diminui para uma percentagem de 20% de material reciclado, apresentando uma menor capacidade de deformar até ao momento da fratura mas,

para 100% de material reciclado esta capacidade sobe para valores superiores aos que o material virgem apresentava. Há que atender ao facto deste resultado entre as duas percentagens de reciclado não ser o esperado, uma vez que o aumento da tensão máxima em função da percentagem de reciclado levaria a prever uma diminuição da ductilidade, que acabou por se verificar para 20% de reciclado.

Tabela 4.12 - Dados do alongamento na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.

Composição	Alongamento na fratura (mm) - Novodur HH-106					
	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	6,14	5,58	5,85	6,06	6,53	6,03 ± 0,4
Peças Tipo II 20% reciclado	5,22	5,69	6,06	5,50	5,94	5,69 ± 0,3
Peças Tipo III 100% reciclado	6,18	6,60	6,65	6,74	6,69	6,57 ± 0,2

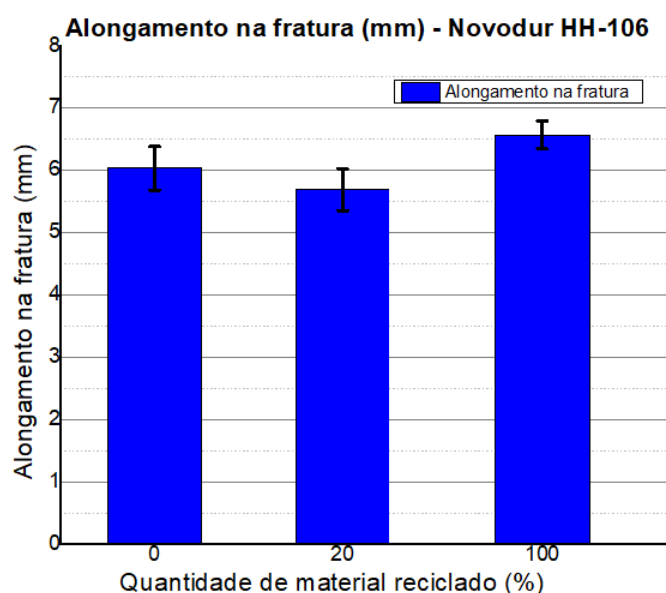


Figura 4-8 – Alongamento na fratura (mm) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se o alongamento na fratura (mm), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-valor de 0,002, rejeita-se H0 sendo que existe diferença estatística para o alongamento na fratura (mm) entre os três tipos de peças como observado anteriormente no gráfico da figura 4.8.

A partir das curvas de força (N) vs alongamento (mm), foi identificado a força aplicada no ponto de fratura para cada peça. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.13 e na Figura 4.9, aferindo-se que a crescente introdução de material reciclado leva a um aumento da força na fratura. A força à fratura aumenta em cerca de 35% para as peças com utilização de 20% de material reciclado,

mantendo aproximadamente o valor para as peças de 100% material reciclado. Isto pode ser explicado pela maneira diferente com que é realizado o ensaio à peça completa, sendo que se trata de uma zona de união de material da injeção e tendo as cadeias menor comprimento, ao unirem e solidificar podem tornar-se mais resistentes.

Tabela 4.13- Dados da força na fratura retirados a partir dos ensaios de tração para as peças de Novodur HH-106.

Composição	Força na fratura (N) - Novodur HH-106					
	Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Média
Peças Tipo I 100% virgem	106,04	111,97	109,43	103,67	109,09	108,04 ± 3,2
Peças Tipo II 20% reciclado	123,46	125,49	126,76	129,32	124,6	125,93 ± 2,2
Peças Tipo III 100% reciclado	124,49	128,91	124,88	123,96	123,38	125,12 ± 2,2

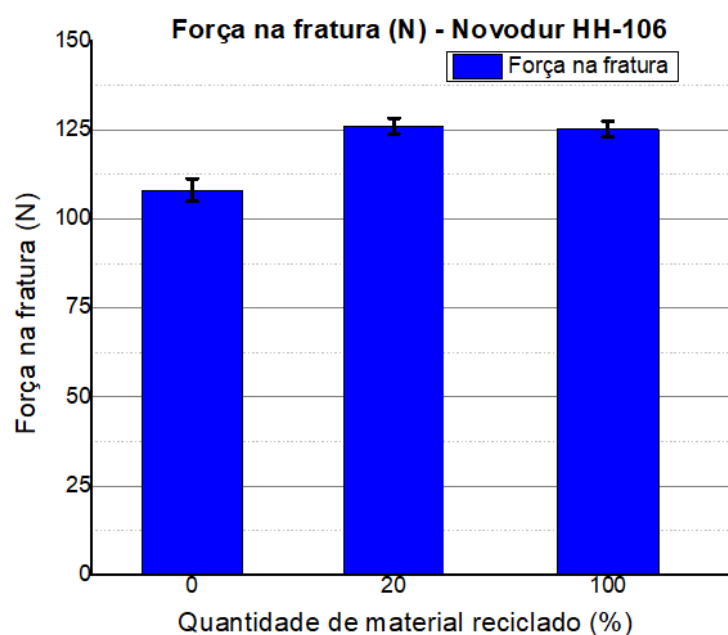


Figura 4-9 – Força na fratura (N) em função da percentagem da quantidade de material reciclado, para as peças de Novodur HH-106.

Foi realizado um estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se a força na fratura (N), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se p-valor > α e rejeitar H0 caso p-valor < α , onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste. Foi obtido um p-valor de 1,58E-07, rejeita-se H0 sendo que existe diferença estatística para a força na fratura (N) dos três tipos de peças, que através dos dados analisados se percebe pelo visível aumento da força na fratura para as amostras com material reciclado relativamente às amostras de material virgem.

De salientar que as peças das três proporções, encontram-se em conformidade com o controlo interno da empresa, uma vez, que em todas o limite inferior de especificação de 90 Newtons para a força na fratura foi alcançado.

De uma forma geral para o Novodur HH-106, com a incorporação do reciclado verificou-se o aumento da força máxima, aumento do alongamento à fratura e aumento da força na fratura.

Apesar dos ensaios de tração terem sido realizados de forma diferentes para as peças das duas matérias-primas em estudo, com provetes para o Novodur HH-112 e com as peças completas para o Novodur HH-106, não é possível comparar diretamente o seu comportamento à tração.

4.2.2 Ensaios de Impacto

Relativamente aos ensaios de impacto, utilizando o pêndulo de Charpy, foram obtidos e analisados os valores médios de cinco provetes da Energia (J) e da Resistência ao impacto em função da quantidade de material reciclado, apresentadas nas Tabela 4.15 para os provetes em formato de Novodur HH-112 e Novodur HH-106. O valor da resistência de impacto (kJ/m^2) relaciona-se com a capacidade do material em absorver energia, ou seja, com a sua tenacidade do material.

4.2.2.1 Ensaios de Impacto para o Novodur HH-112

Através da análise dos gráficos de barras das Figuras 4.10 e 4.11 bem como os respetivos resultados presentes em valores na Tabela 4.15 adiante, referente ao Novodur HH-112, verificou-se que a energia absorvida e a resistência ao impacto do material aumentam com a incorporação de material reciclado, sendo que os provetes que apresentam uma maior capacidade de absorver energia são os de 100% de material reciclado. Isto vai de encontro ao anteriormente observado para a tenacidade, por ser uma propriedade que se relaciona com a capacidade que o material tem de absorver energia, sendo esta tanto maior quanto maior for a resistência do material ao impacto [29].

Isto significa que a incorporação de material reciclado em 20% e em 100%, não foi suficiente para reduzir drasticamente a capacidade de absorção de energia do material. Assim as amostras foram capazes de deformar resistindo ao impacto imposto, de acordo com os valores de tolerância mínimos indicados na ficha técnica do material utilizado para o fabrico das peças, como o valor da resistência ao impacto de especificação para o Novodur HH-112 de 5 kJ/m^2 [24].

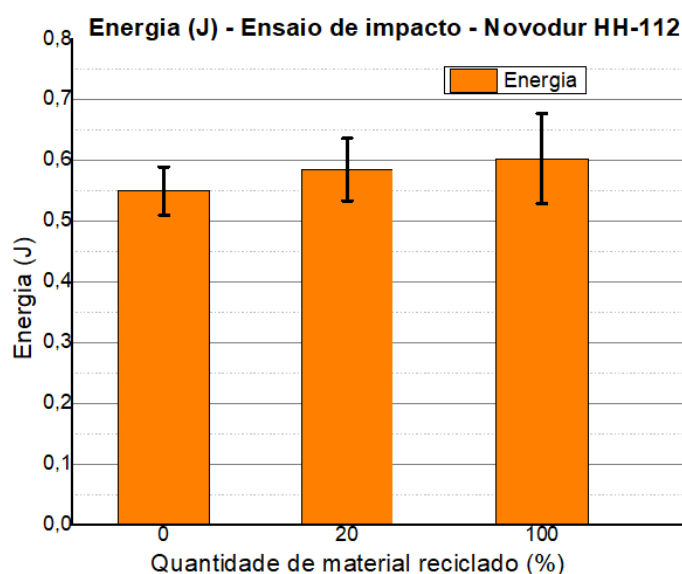


Figura 4-10 - Energia absorvida (J) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-112, dos ensaios de impacto.

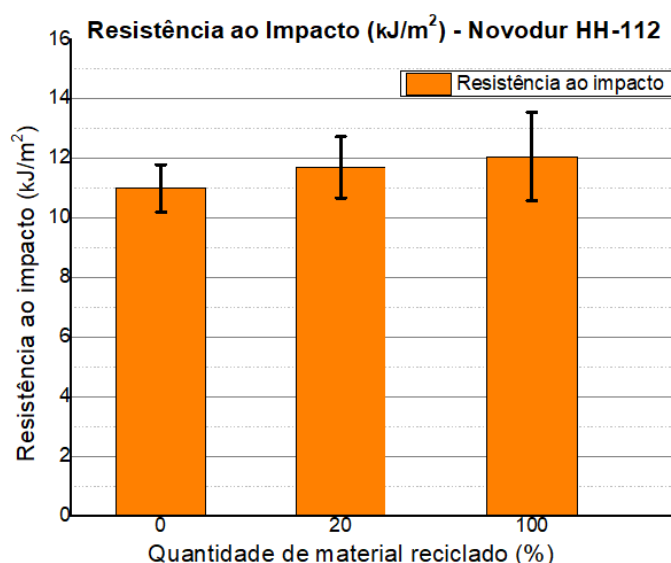


Figura 4-11 - Resistência ao impacto (kJ/m²) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-112, dos ensaios de impacto

Tabela 4.14 - Dados da Energia (J) e Resistência ao Impacto (kJ/m²) dos ensaios de impactos dos provetes de Novodur HH-112.

Composição	Novodur HH-112 – Valores médios		Novodur HH-106 – Valores médios	
	Energia (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)	Energia (J)	Resistência ao Impacto (kJ/m ²)
Peças Tipo I 100% virgem	0,55 ± 0,04	11,0 ± 0,8	0,58 ± 0,04	19,4 ± 1,2
Peças Tipo II 20% reciclado	0,56 ± 0,05	11,7 ± 1,0	0,57 ± 0,03	19,0 ± 1,0
Peças Tipo III 100% reciclado	0,60 ± 0,07	12,1 ± 1,5	0,55 ± 0,04	18,4 ± 1,4

Relativamente à energia de impacto para os provetes de Novodur HH-112, verificou-se um aumento em 2% com a incorporação de 20% de material relativamente à utilização de 100% material virgem. A incorporação de 100% de material reciclado, levou a um aumento da energia de impacto em cerca de 9%. Da mesma forma a resistência ao impacto mostrou a mesma tendência crescente, uma vez que, aumentou em cerca de 6% com a incorporação de 20% de material relativamente à utilização de 100% material virgem, enquanto a utilização de 100% de material reciclado, levou a um aumento da energia de impacto de 10%. Este aumento ligeiro, de ambas as grandezas, fez-se acompanhar por um aumento gradual do erro associado, isto é, a introdução de reciclado induz assim uma maior variação das amostras da mesma proporção.

Foi feito o estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se o desempenho médio da energia (J) absorvida no impacto bem como da resistência ao impacto (kJ/m²), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente das outras, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se p-valor > α e rejeitar H0 caso p-valor < α , onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste.

Foi obtido um p-valor de 0,188 para a Energia (J) e um p-valor 0,189 para a Resistência à tração (kJ/m²), podendo-se desta forma aferir que não existe diferença no desempenho médio dos três tipos de peças para ambas as grandezas.

4.2.2.2 Ensaio de Impacto para o Novodur HH-106

Na realização dos ensaios para o Novodur HH-106, todos os provetes das diferentes composições foram capazes de suportar energia proveniente do impacto do pêndulo sem que nenhuma delas chegasse à fratura, tal como se comprova através dos resultados apresentados na Tabela 4.15 em cima e nos gráficos das Figuras 4.12 e 4.13.

Verificou-se que a incorporação de material reciclado em 20% e em 100%, não foi suficiente para reduzir drasticamente a capacidade de absorção de energia do material. Assim, as amostras foram todas capazes de deformar resistindo ao impacto imposto, de acordo com as tolerâncias mínimas indicadas na ficha técnica do material utilizado para o fabrico das peças, tal como se verifica para o valor da resistência ao impacto de especificação para o Novodur HH-106 de 12 kJ/m² [24].

Para a energia de impacto os provetes de Novodur HH-106, verificou-se um decréscimo em 2% com a incorporação de 20% de material relativamente à utilização de 100% material virgem. A incorporação de 100% de material reciclado, levou a uma diminuição da energia de impacto em cerca de 9%.

Relativamente à resistência ao impacto mostrou a mesma tendência crescente, uma vez que, aumentou em cerca de 5% com a incorporação de 20% de material relativamente à utilização de 100% material virgem, enquanto a utilização de 100% de material reciclado, levou a um aumento da energia de impacto de 10%.

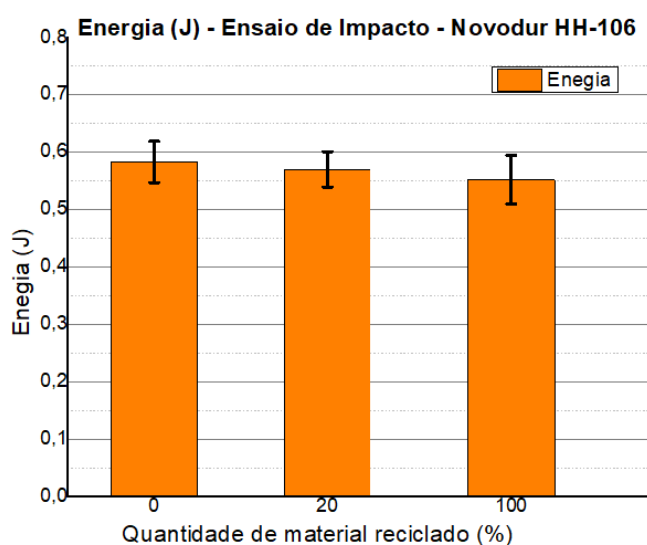


Figura 4-12 - Energia absorvida (J) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-106, dos ensaios de impacto.

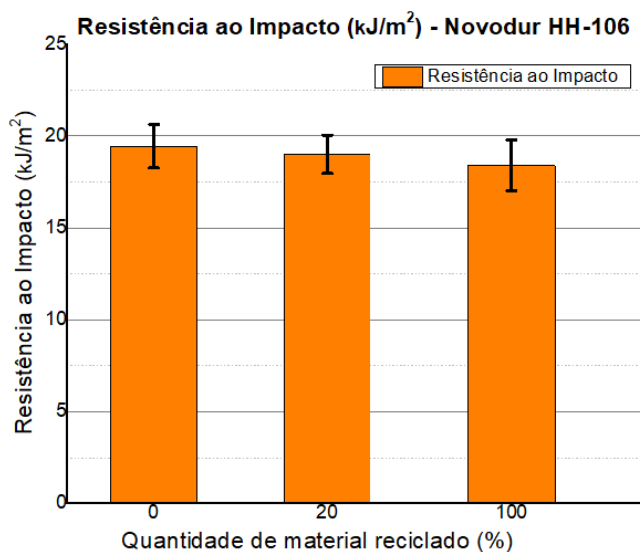


Figura 4-13 - Resistência ao impacto (kJ/m²) em função da quantidade de reciclado (%) para os provetes de Novodur HH-106, dos ensaios de impacto.

Relativamente aos provetes de Novodur HH-106, e contrariamente ao verificado para os provetes de Novodur HH-112, verifica-se que a energia de impacto bem como a resistência ao impacto do material diminuem com a incorporação de material reciclado, ainda que de forma ligeira. Comportamento que vai de encontro ao esperado, efeito explicado pela degradação do butadieno, responsável pela resistência ao impacto da matéria-prima. A degradação deve-se às tensões termomecânicas sofridas durante a reciclagem e o ciclo de reprocessamento, através das forças de corte e degradação térmica na cadeia molecular.

Tal como o anterior, foi realizado o estudo Anova de fator único, através da análise de variância para determinar se o desempenho médio da energia (J) absorvida no impacto bem como da resistência ao impacto (kJ/m²), é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente das outras, com as seguintes hipóteses nula (H0) e alternativa (H1):

Hipótese 0 (H0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H0 se p-valor > α e rejeitar H0 caso p-valor < α , onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste.

Foi obtido um p-valor de 0,167 para a Energia (J) e um p-valor 0,170 para a Resistência à tração (kJ/m²), podendo-se desta forma aferir que não existe diferença no desempenho médio dos três tipos de peças para ambas as grandezas.

Embora não terem apresentado tendências exatamente iguais na realização do ensaio de impacto, os valores registados para a energia de impacto absorvida são bastantes similares entre os provetes das duas matérias-primas. Desta forma, podemos concluir que apesar do pequeno aumento no caso do Novodur HH-112 e da pequena diminuição para o Novodur HH-106, não se verifica a deterioração da propriedade, uma vez que a diferença verificada entre as várias proporções é menor do que o respetivo erro associado.

4.3 Propriedades Reológicas

4.3.1 Índice de Fluidez

Relativamente à avaliação do índice de fluidez do Novodur HH-112, apresenta-se os valores médios do MFI para as cinco medições realizadas para cada proporção de material virgem e de material reciclado no gráfico da esquerda da Figura 4.14 e na Tabela 4.16. Verifica-se um aumento do índice de fluidez em função da quantidade de material reciclado. Com a adição de 20% de reciclado, o aumento foi ligeiro em cerca de 2%, sendo que o índice de fluidez apenas aumentou em cerca de uma décima. Para o caso de 100% de reciclado, observou-se um aumento significativo em mais de três unidades.

Este aumento vai de encontro à literatura, sendo justificado com a diminuição do peso molecular do material reciclado, desencadeado por um menor comprimento das respetivas cadeias poliméricas relativamente ao material virgem. Sendo que para além disto, para o caso das amostras de Novodur HH-112 de 100% reciclado, houve algum tipo de degradação da matéria-prima reciclada com a possível incorporação de matéria-prima com mais do que um ciclo de reciclagem e reprocessamento (vários aumentos de temperatura).

Verifica-se que no caso do Novodur-112, os valores de MFI obtidos para as amostras de material virgem e das amostras com 20% reciclado, encontram-se dentro do intervalo de especificação entre 2,5 e 7,5 g/10min (figura A.4 em anexo), à exceção das amostras de 100% reciclado que se encontram ligeiramente acima. Apesar do aumento do MFI para 100% de reciclado, não se verificou durante a produção necessidade de alteração de parâmetros e injeção, problemas de enchimento nem qualquer tipo de defeitos nas peças.

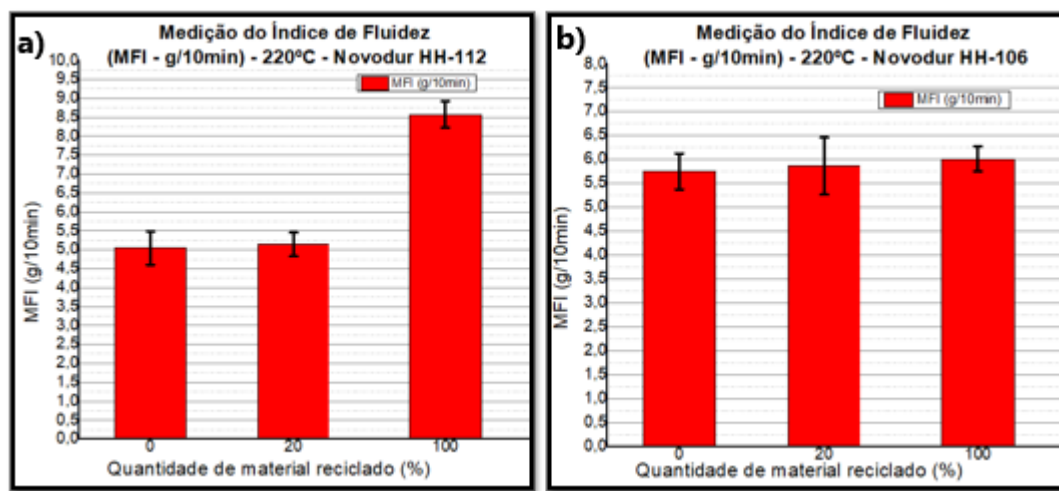


Figura 4-14 - Medição do Índice de Fluidez (MFI) em função da quantidade de material reciclado (%), em a) para amostras de 5 medições de cada proporção para o Novodur HH-112, e em b) para amostras de 5 medições de cada proporção para o Novodur HH-106

Para o Novodur HH-106, foi também registado um aumento do índice de fluidez em função da percentagem de material reciclado, tal como se observa no gráfico da direita da Figura 4.14 e na Tabela 4.16. Curiosamente, tal como o anterior, com a adição de 20% de reciclado o aumento foi ligeiro, de praticamente 2%, o que corresponde a cerca de uma décima. Neste caso, com a utilização de 100% de reciclado, observou-se um aumento mais acentuado, em praticamente 3,5%, correspondendo a duas décimas.

O aumento gradual do índice de fluidez com a incorporação de reciclado para o Novodur HH-106, é justificado com a diminuição do peso molecular do material reciclado, desencadeado por um menor comprimento das respetivas cadeias poliméricas relativamente ao material virgem. Tendo em

conta as variações verificadas, podemos aferir que a introdução de material reciclado não afeta significativamente as propriedades de fluxo do material.

Verifica-se que no caso do Novodur-106, os valores de MFI obtidos para as amostras, encontram-se abaixo do valor de medição do lote utilizado de 7,84 g/10min (figura A.7 em anexo). Sendo que para esta matéria-prima não foi possível obter os limites do intervalo de especificação, podemos aferir que apesar da ligeira diferença das medições para o valor do lote, não se verificou durante as produções, qualquer tipo de dificuldade ou diferença no modo de enchimento das peças.

Tabela 4.15 - Dados obtidos da medição do Índice de Fluidez (MFI) para o Novodur HH-112 e o Novodur HH-106.

Composição	Novodur HH-112		Novodur HH-106	
	MFI (g/10min)	Desvio Padrão (g/10min)	MFI (g/10min)	Desvio Padrão (g/10min)
Peças Tipo I 100% virgem	5,0	0,4	5,8	0,4
Peças Tipo II 20% reciclado	5,1	0,3	5,9	0,6
Peças Tipo III 100% reciclado	8,6	0,4	6,0	0,3

Foi realizado o estudo Anova de fator único para ambas as matérias-primas, através da análise de variância para determinar se o desempenho médio do índice de fluidez é igual ou se pelo menos um dos tipos de peças possui desempenho significativamente diferente das outras, com as seguintes hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1):

Hipótese 0 (H_0): Peças Tipo I = Peças Tipo II = Peças Tipo III

Hipótese 1 (H_1): Pelo menos um desempenho médio é significativamente diferente

A regra de decisão utilizada, para ambos os casos, do teste é não rejeitar H_0 se $p\text{-valor} > \alpha$ e rejeitar H_0 caso $p\text{-valor} < \alpha$, onde α é 0,05 (5%) é o nível de significância do teste.

Para o caso do Novodur HH-106 obteve-se um $p\text{-valor}$ de 0,265, podendo-se desta forma aferir que não existe diferença no desempenho médio dos três tipos de peças relativamente ao índice de fluidez. Já no caso do Novodur HH-112, foi obtido um $p\text{-valor}$ de 2,025E-22, e desta forma rejeita-se a hipótese nula e assume-se que pelo menos um dos tipos de peças tem o desempenho do índice de fluidez dos restantes, e de acordo com o verificado anteriormente pode-se afirmar que se trata do tipo de peça III, de material 100% reciclado.

4.3.2 Comportamento reológico

Relativamente ao comportamento reológico, foi possível estudar o comportamento viscoelástico do material submetendo-o a uma solicitação estacionária e uma solicitação dinâmica.

Os ensaios em modo dinâmico, correspondem ao comportamento dos módulos viscoso e elástico aquando da aplicação de uma frequência angular de varrimento compreendida no regime de viscoelasticidade linear. Nos ensaios em estado estacionário, é possível verificar a evolução da viscosidade em função da taxa de corte aplicada.

Ambos os ensaios foram realizados à temperatura de 240°C, uma vez que se trata de uma temperatura intermédia do intervalo de temperaturas utilizado nas zonas do cilindro de plastificação, bico de injeção e do molde, como se verifica através dos parâmetros utilizados para o Novodur HH-112 e para o Novodur HH-106, respetivamente, nos anexos B5 e B6.

4.3.2.1 Ensaio em modo dinâmico para o Novodur HH-112

No caso do Novodur HH-112 para ensaio oscilatório, o comportamento viscoelástico é demonstrado através das curvas médias dos módulos Elástico (G') e Viscoso (G'') no gráfico da Figura 4.15, obtidas a partir das curvas das amostras de 5 medições, para cada proporção, ilustradas no gráfico da figura C.10 em anexo.

Tanto para o módulo elástico (G') como para o módulo viscoso (G''), verifica-se que as diferenças são pouco significativas e não demonstram uma dependência acentuada da percentagem de material reciclado. Sendo que, para ambos os módulos, as amostras que apresentam valores mais baixos são as amostras constituídas por 100% de material reciclado, o que é concordante tendo em conta a literatura analisada [7], [36]. Isto é justificado pelo que se verificou anteriormente, ou seja, quanto maior a incorporação de reciclado maior a fluidez do material e posto isto, leva a desencadeamento da diminuição das propriedades viscoelásticas.

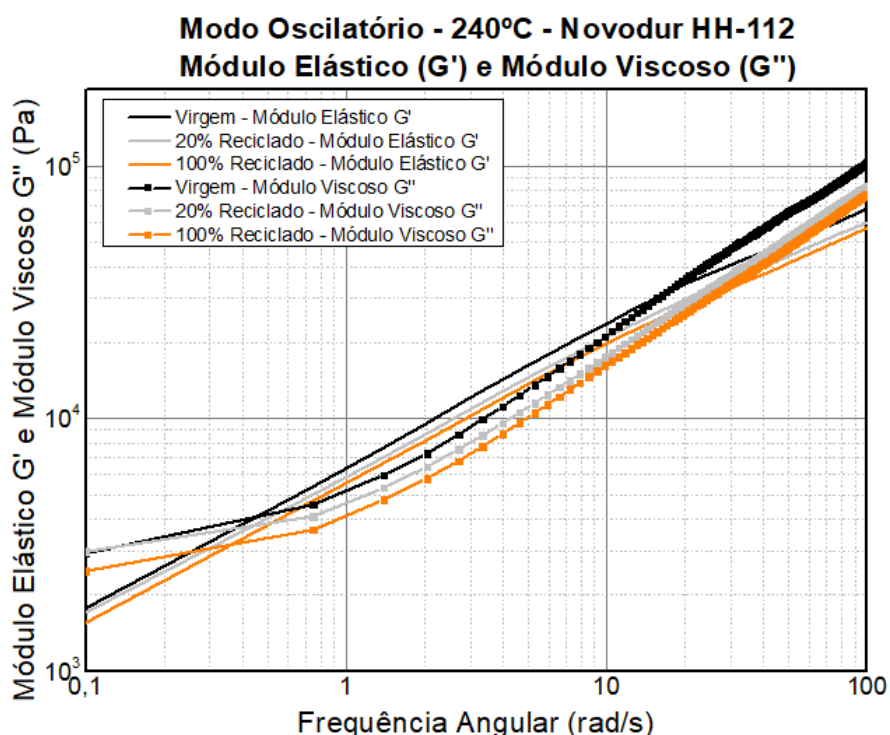


Figura 4-15 – Curvas médias do Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para amostras de 5 discos de Novodur HH-112.

Relativamente ao comportamento dos módulos para o Novodur HH-112, verifica-se que para baixas frequências angulares, existe a predominância do carácter viscoso ($G'' > G'$) mas à medida que aumenta a frequência, o módulo elástico cresce mais depressa do que o módulo viscoso e o G' cruza-se com o G'' , a uma frequência de *cross-over* (ω_c). A frequências mais elevadas que ω_c , o módulo elástico prevalece ao viscoso, exibindo um carácter predominantemente elástico até que, para frequências superiores a 10 rad/s dá-se um novo *cross-over*, onde se tem novamente a predominância do carácter viscoso. O segundo *cross-over* trata-se um comportamento inesperado, uma vez que a ensaio foi realização num intervalo de frequência angular de 0,1 a 100 rad/s, que segundo trabalhos anteriores de ABS se trata da região de viscosidade linear com uma amplitude de deformação entre 0,1 e 0,25%.

Relativamente à comparação dos *cross-over* entre as várias proporções de material virgem e reciclado vemos que apesar de terem comportamentos semelhantes, existem diferenças na frequência de ω_c . O *cross-over* se relacionado diretamente com o índice de polidispersão (Pdi), associada à

distribuição de massa molar de uma amostra polimérica através da razão da massa molar ponderal e a massa molar em número (M_w/M_n).

Verifica-se que com a incorporação de material reciclado, o ponto de cross-over acontece para módulos menores e frequências menores, significando respectivamente que, o reciclado tem uma maior largura da curva de distribuição da massa molar e uma maior massa molar ponderal. Pode-se assim afirmar que o índice de polidispersão aumenta com a incorporação de material reciclado.

4.3.2.2 Ensaio em modo dinâmico para o Novodur HH-106

Relativamente ao Novodur HH-106 para ensaio oscilatório, o comportamento viscoelástico é demonstrado através dos resultados das curvas médias dos módulos Elástico (G') e Viscoso (G'') no gráfico da Figura 4.16, obtidas a partir das curvas das amostras de 5 medições, para cada proporção, ilustradas no gráfico da figura C.11 em anexo. Neste caso, a semelhança entre os resultados mantém-se, sendo que não se verifica uma dependência acentuada dos módulos elástico e viscoso com a percentagem de material reciclado. Verifica-se que, tal como no anterior, as amostras constituídas por 100% de material reciclado representadas pelas curvas a laranja no gráfico da Figura 4.16 são as que apresentam valores mais baixos para ambos os módulos, ainda que as diferenças sejam ligeiras. As amostras de material virgem, representadas pelas curvas a preto no gráfico da Figura 4.16, foram as que apresentaram valores mais elevados tanto para o módulo viscoso (G'') como para o módulo elástico (G'). Desta forma, as amostras com 20% de material reciclado, representadas pelas curvas cinzentas, obtiveram valores intermédios face aos outros dois tipos de amostras.

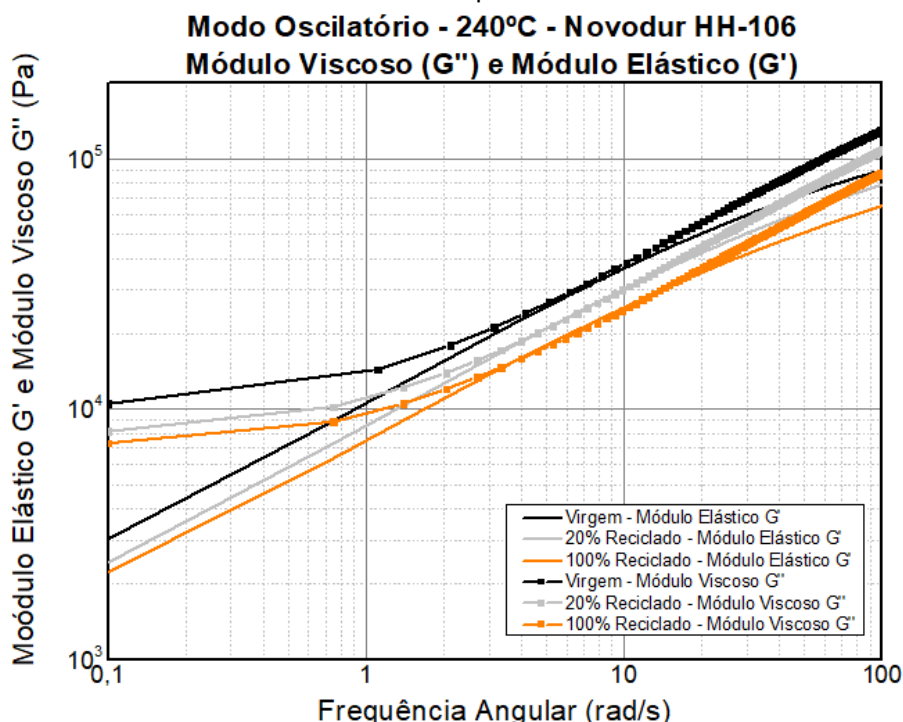


Figura 4-16 – Curvas médias do Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para amostras de 5 discos de Novodur HH-106.

Tanto para o módulo elástico (G') como para o módulo viscoso (G''), verifica-se que as diferenças são pouco significativas e não demonstram uma dependência acentuada da percentagem de material reciclado. Sendo que, para ambos os módulos, as amostras que apresentam valores mais baixos são as amostras constituídas por 100% de material reciclado, o que é concordante tendo em conta a literatura analisada. Isto é justificado pelo que se verificou anteriormente, ou seja, quanto maior a

incorporação de reciclado maior a fluidez do material e, posto isto, leva a desencadeamento da diminuição das propriedades viscoelásticas.

Relativamente ao comportamento dos módulos para o Novodur HH-106, verifica-se que para baixas frequências angulares, existe o domínio do carácter viscoso ($G'' > G'$) mas aumentando a frequência angular, o módulo elástico cruza-se com o módulo viscoso, a uma frequência de *cross-over* (ω_c). A frequências mais elevadas que ω_c o módulo elástico e o módulo viscoso mostraram-se bastante equiparados, até que para frequências superiores dá-se um novo *cross-over* onde se tem novamente a predominância do carácter viscoso.

Verifica-se que com a incorporação de material reciclado, o ponto de *cross-over* dá-se para módulos menores e frequências menores, significando respetivamente que, o reciclado tem uma curva de distribuição da massa molar mais larga e uma maior massa molar ponderal. Pode-se assim afirmar que, de acordo com o esperado e verificado anteriormente, o índice de polidispersão aumenta com a incorporação de material reciclado.

4.3.2.3 Ensaio em modo estacionário para o Novodur HH-112

Os gráficos que se seguem dizem respeito aos ensaios em estado estacionário, nos quais é possível verificar a evolução da viscosidade em função da taxa de corte aplicada. Nestes ensaios em estado estacionários, foram verificadas ligeiras diferenças entre utilização de somente material virgem e material reciclado. Em anexo, as figuras C.12, C.13 e C.14 é possível analisar os gráficos individuais da evolução da viscosidade em função da taxa de corte de cinco discos amostra, respetivamente para as três proporções entre material virgem e material reciclado (I, II e III).

Na Figura 4.17 adiante estão apresentadas as curvas médias das 5 amostras de cada proporção. De Novodur HH-112, mostram uma ligeira diminuição da viscosidade em função da taxa de corte com a incorporação de material reciclado, ainda que esta ocorra de forma pouco significativa.

Isto vem de encontro ao que se observou nas avaliações anteriores do índice de fluidez (MFI), dado que com a incorporação de material reciclado, maior o índice de fluidez verificado. De relembrar que as duas grandezas variam inversamente, sendo que quanto mais viscoso é um material, menor a sua capacidade para fluir.

As amostras com 20% de reciclado demonstram uma viscosidade ligeiramente menor, relativamente aos componentes de material virgem. A diminuição da viscosidade verifica-se para 100% de material reciclado, que para taxas de corte elevadas tem uma descida efetiva da viscosidade relativamente aos restantes.

Estes resultados devem-se à diminuição do comprimento das cadeias poliméricas, traduzindo-se numa diminuição do peso molecular do material e, dessa forma, conferindo uma diminuição da viscosidade imposta pelo aumento da taxa de corte à qual o material é sujeito. Este resultado vai de encontro à literatura, que refere uma maior fluidez do material em função do número de reprocessamentos, variando de forma inversa à viscosidade. O comportamento é característico de um fluido não-newtoniano reofluidificante, visto que a viscosidade diminui com o aumento da taxa de corte [30].

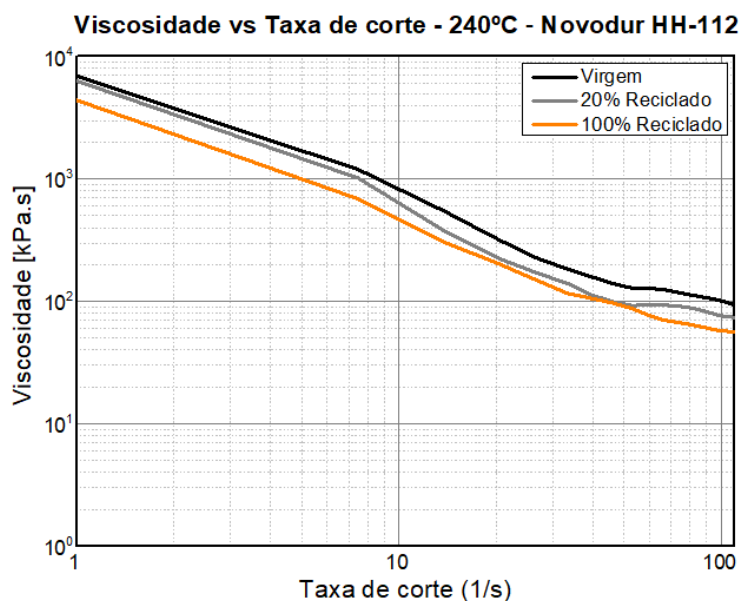


Figura 4-17- Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s) obtidos modo estacionário para os discos de Novodur HH-112.

4.3.2.4 Ensaio em modo estacionário para o Novodur HH-106

Para uma melhor análise dos resultados das três proporções estão apresentadas as curvas médias das 5 amostras de cada proporção de Novodur HH-106 na Figura 4.18, onde é demonstrado uma diminuição não significativa da viscosidade em função da taxa de corte para uma maior percentagem de material reciclado. Em anexo, nas figuras C.15, C.16 e C.17 é possível analisar os gráficos individuais da evolução da viscosidade em função da taxa de corte aplicada, respetivamente para os cinco discos das três proporções entre material virgem e material reciclado (I, II e III).

Tal como o anterior, as amostras com 20% de reciclado obtiveram valores para a viscosidade bastante semelhantes às amostras de material virgem. As amostras de material 100% reciclado demonstraram uma tendência para a diminuição da viscosidade, para as taxas de corte mais elevadas. A deterioração, ainda que muito ligeira, acontece devido às tensões termomecânicas sofridas nos processos de reciclagem e reprocessamento.

O comportamento característico de um fluido não-newtoniano reofluidificante é verificado também para o Novodur HH-106, visto que demonstra uma diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de corte aplicada.

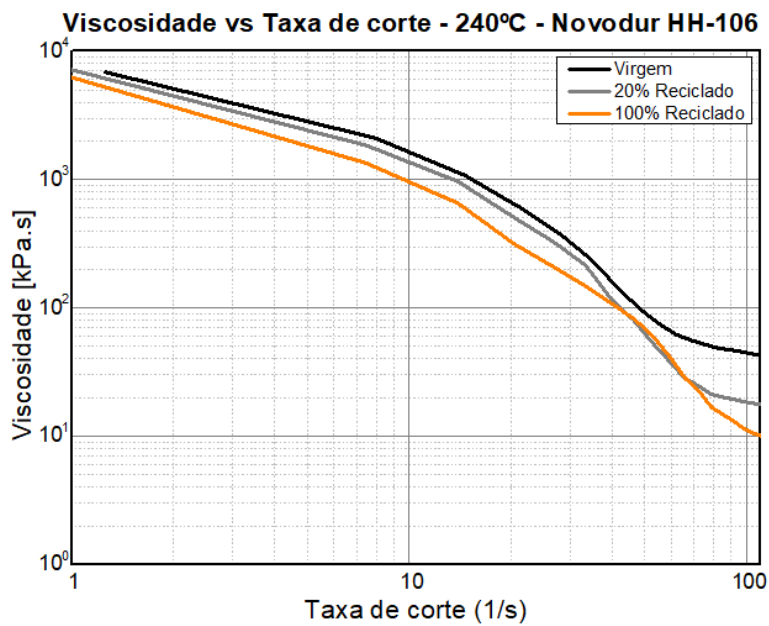


Figura 4-18 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s) obtidos modo estacionário para os discos de Novodur HH-106.

Os resultados obtidos das medições reológicas, tal como mostra a literatura, mostram que a viscosidade do ABS reciclado não difere significativamente da viscosidade do ABS virgem, sendo que apenas sofre uma diminuição ligeira representada nas curvas de menor declive dos gráficos. Obteve-se assim uma diminuição gradual da viscosidade com a introdução de material reciclado, para ambas as matérias-primas em estudo.

5. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O objetivo desta dissertação consistiu no estudo da utilização de material reciclado na moldagem por injeção para o fabrico de componentes em ABS pertencentes ao quadro de instrumentos de automóveis. Este, por sua vez, foi atingido. Os resultados obtidos mostram que a introdução de material reciclado até 20% não compromete de nenhum modo as propriedades mecânicas necessárias às peças, para os dois tipos de matéria-prima estudadas, o Novodur HH-112 e o Novodur HH-106.

A pesagem e o controlo dimensional realizado para ambas as peças *Mask* e *Mounting Plate* com as três proporções em estudo, não mostraram nenhuma variação significativa fora da especificação das peças com a introdução de material reciclado. Isto mostra, que a introdução de material reciclado não compromete as dimensões e os pesos das peças.

No caso do Novodur HH-112, os resultados obtidos mostram que a resistência à tração sofre uma diminuição quando se utiliza 100% reciclado, comparativamente ao material 100% virgem, ainda que, a mesma, não varie significativamente subindo ligeiramente o seu valor para os 20% de material reciclado. A diminuição da resistência à tração é explicada pelo efeito de degradação pela cisão da cadeia e ligação do butadieno, com o aumento da utilização de reciclado.

Verificou-se um aumento da deformação à fratura e da tenacidade para a utilização de 20% de material reciclado, com uma diminuição do módulo de Young. Para a utilização dos 100% de material reciclado, uma diminuição mais acentuada do módulo de Young, enquanto na deformação à fratura e na tenacidade obtiveram-se valores mais elevados. O módulo de Young é a propriedade que sofre maior variação, sendo explicado pela degradação termomecânica sofrida durante o processo de reciclagem e reprocessamento, resultando na diminuição do peso molecular, diminuindo a sua capacidade em resistir à força aplicada.

No estudo dos ensaios de tração no caso do Novodur HH-106, o efeito de degradação pela cisão da cadeia e reticulação (ligação) do butadieno não se verificou, uma vez que a resistência à força aplicada aumenta com a introdução de material reciclado.

Isto pode ser explicado pela maneira diferente com que é realizado o ensaio, sendo que se trata de uma zona de união de material da injeção e tendo as cadeias menor comprimento, ao unirem e solidificar podem tornar-se mais resistentes.

Relativamente aos resultados dos ensaios de impacto, para o Novodur HH-112 a resistência ao impacto aumentou gradual e ligeiramente com a utilização de material reciclado, o que vai de encontro ao verificado para a tenacidade, sendo vez que com a introdução de reciclado existe uma maior variação e erro associado a amostras da mesma proporção. É possível concluir que apesar do ligeiro aumento da resistência ao impacto não se verifica a deterioração da propriedade, uma vez que a diferença verificada entre as várias proporções é menor do que o respetivo erro associado.

Para o Novodur HH-106, contrariamente ao que aconteceu com o Novodur HH-112, verifica-se que a energia de impacto bem como a resistência ao impacto do material diminuem com a incorporação de material reciclado, ainda que de forma ligeira. Isto que vai de encontro ao esperado, pela degradação da cadeia e ligações de butadieno, responsável por promover a resistência ao impacto. Conclui-se que apesar da ligeira diminuição da resistência ao impacto para o Novodur HH-106, não se verifica a deterioração da propriedade, uma vez que a diferença verificada entre as várias proporções é inferior do que o respetivo erro associado.

Relativamente aos ensaios mecânicos, para as duas matérias-primas em estudo, podemos aferir que obtiveram resultados em concordância, sendo que a utilização de material reciclado até 20% não tem influência nas propriedades mecânicas. Na utilização de material 100% reciclado, os resultados mostram a deterioração de algumas das propriedades. Por isso, é necessário realçar o facto do estudo realizado não ter considerado percentagens intermédias a 20% e 100% de material reciclado, o que seria importante para descartar a oscilação verificada.

Quanto ao comportamento e propriedades reológicas, com importância principalmente para as condições de processamento, estas não foram significativamente afetadas pela introdução do material reciclado.

Para o índice de fluidez, ambas as matérias-primas tiveram o mesmo comportamento, apresentando valores semelhantes, ligeiramente superiores com a introdução de material reciclado em 20%, relativamente ao material virgem. Para a utilização de material reciclado em 100%, o índice de fluidez aumentou de forma apreciável para o Novodur HH-112, ainda assim, não foi verificada uma variação ao ponto de afetar as suas condições de processamento, não afetando as propriedades de fluxo. O aumento do MFI é justificado pela diminuição do peso molecular do material reciclado, desencadeado por um menor tamanho e comprimento das respetivas cadeias poliméricas. Esta diminuição deve-se às tensões de corte sofridas durante o processamento quer à quebra das ligações durante a reciclagem.

Ambas as matérias-primas, tiveram o mesmo comportamento relativamente à viscosidade e coincidente ao observado para o índice de fluidez, sendo que a viscosidade diminuiu com a incorporação de material de reciclado. Também para os módulos viscoso e elástico não se verificou variações significativas entre as amostras de material virgem e as amostras com 20% de material reciclado. Para as amostras de 100% de material reciclado, houve uma pequena diminuição, não significativa, para os dois módulos.

Assim tanto para o módulo elástico (G') como para o módulo viscoso (G''), foi verificada uma diminuição do seu valor com a introdução de reciclado. Isto é justificado pelo que se verificou anteriormente, ou seja, quanto maior a incorporação de reciclado maior a fluidez do material levando a um desencadeamento da diminuição das propriedades viscoelásticas. Foi possível constatar que nenhuma destas percentagens afeta significativamente as condições de processamento do ABS reciclado, uma vez, que se utilizaram o mesmo setup de parâmetros para as diferentes proporções para cada tipo de peça.

Posto isto, para as propriedades estudadas é possível concluir que é viável a incorporação de material reciclado até 20% para ambas as matérias-primas de ABS, quer em termos de produtividade bem como por não ter sido verificada qualquer deterioração das propriedades e conformidade para ambas as peças.

Ainda que se possa, retirar a mesma conclusão para os dois tipos de matéria-prima de ABS, o Novodur HH-106 mostrou-se ser mais sensível na globalidade das propriedades estudadas à incorporação de material reciclado, comparativamente ao Novodur HH-112. Isto deve-se à presença do carbono na composição do Novodur HH-112, ainda que seja uma quantidade reduzida ajuda na estabilização das propriedades relativamente ao Novodur HH-106.

A reciclagem é considerada uma das práticas amigas do ambiente, podendo trazer também vantagens económicas. Vantagens essas que se prendem no reaproveitamento dos resíduos produzidos durante o processamento do ABS durante o processo de moldagem por injeção. Posto isto, estes resíduos são utilizados para produzir novas peças de forma mais económica, acrescentando valor ao que era considerado desperdício. A incorporação de 20% de material reciclado na composição de cada peça, economiza matéria-prima reduzindo o desperdício. Por outro lado, com o aumento da utilização do ABS para componentes da indústria automóvel, torna-se extremamente vantajoso saber que numa situação de aumento de resíduos por alterações de processo, existe a possibilidade de fazer a reciclagem e sucessivo reprocessamento dos mesmos.

Nos últimos anos tem-se verificado o aumento dos materiais plásticos, tanto na indústria automóvel como noutras. Isto leva a um aumento crescente de resíduos poliméricos associados e, desta forma, a uma maior utilização de material reciclado. Inevitavelmente, o interesse no que concerne o processamento destes materiais, bem como o tipo de tratamentos aos quais devem ser submetidos antes de serem utilizados. Como foi visto anteriormente, nos casos apresentados, o material reciclado não foi submetido ao processo de extrusão de forma a igualar o tamanho do granulado virgem, nem ao

processo de secagem tal como acontece com o material virgem. Assim, o tratamento prévio do material é diferente e pode ter influência nas propriedades mecânicas e reológicas.

Outro ponto merecedor de destaque para futuros trabalhos será o estudo com percentagens intermédias de material reciclado, entre os 20% e os 100%. Nesta dissertação não foram estudadas outras percentagens, devido ao facto de o valor aceite na indústria automóvel para incorporação de matérias-primas recicladas no processo de injeção não exceder os 20%.

Há que salientar ainda outro ponto de possível interesse para futuros estudos, que consiste no fabrico dos provetes a partir de um molde de injeção. Apesar de acarretar custos acrescidos, seria vantajoso para a uniformidade de espessura ao longo de todo o provete. Nesta dissertação, os provetes de teste foram fabricados por corte *laser* a partir de placas cortadas do componente do cluster, sendo que os bordos dos provetes apresentam irregularidades na sua espessura não ficando uniformes. Isto pode ter influenciado negativamente na amarração dos provetes às garras na máquina de tração e por sua vez, ter interferido na interpretação dos resultados em função da quantidade de material.

Seria vantajoso analisar outros testes pertencentes ao programa de validação dos testes de especificação por parte do cliente (marcas de automóvel), como por exemplo análise Termo gravimétrica (TG), Análise Térmica Diferencial (DTA), e Calorimetria Diferencial de Varrimento (DSC), testes de Envelhecimento, análise Mecânica Dinâmica (DMA) e análises de cor.

Por último, um estudo interessante consistiria na otimização das condições de processamento (*set-up*) em função da quantidade de incorporação de material reciclado.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Miller, L., Soulliere, K., Sawyer-Beaulieu, S., Tseng, S., & Tam, E. (2014). Challenges and alternatives to plastics recycling in the automotive sector. *Materials*, 7(8), 5883–5902. <https://doi.org/10.3390/ma7085883>
- [2] Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 3807–3815. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>
- [3] Grigore, M. E. (2017). Methods of recycling, properties and applications of recycled thermoplastic polymers. *Recycling*, 2(4), 1–11. <https://doi.org/10.3390/recycling2040024>
- [4] Fernandez, A., Muniesa, M., & Javierre, C. (2014). In-line rheological testing of thermoplastics and a monitored device for an injection moulding machine: Application to raw and recycled polypropylene. *Polymer Testing*, 33, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2013.11.008>
- [5] García, M. de G. T., Schlatter, M., Cabrera, F. M., Manzanares, J. T., & Hanafi, I. (2016). Recycling of Acrylonitrile–Butadiene–Styrene Using Injection Moulding Machine. *Procedia Technology*, 22, 399–406. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.068>
- [6] Mestrado, P., & Mec, E. (2020). Estudo da injeção experimental e numérica de peças produzidas em material compósito de matriz polimérica.
- [7] Lerma Valero, J. R. (2020). Scientific Molding or Injection by Advanced Methods. *Plastics Injection Molding*, 261–288. <https://doi.org/10.3139/9781569906903.021>
- [8] Almeida Ferreira Gomes, A. P. (2018). Análise do Processo de Injeção Verificando a Relação entre a Capabilidade das Variáveis e a Qualidade da Peça. 417.
- [9] Lerma Valero, J. R. (2020). Key Parameters for Setting the Injection Molding Process. *Plastics Injection Molding*, 178–192. <https://doi.org/10.3139/9781569906903.014>
- [10] Jorge, R., & Pinto, F. (2012). Injeção e Caracterização do Comportamento Mecânico de Polímeros Termoplásticos.
- [11] Kumar, A. (2020). Injection Molding: Definition, Construction, Working Process, Advantages, Application Injection Molding Definition: Injection Molding Construction or Parts : 1–7
- [12] Lerma Valero, J. R. (2020). The Injection Molding Machine. *Plastics Injection Molding*, 159–177. <https://doi.org/10.3139/9781569906903.013>
- [13] Rodrigues, F. (2010). Estudo Teórico-Experimental do Fabrico de Peças Poliméricas por Injeção (pp. 40–42).
- [14] Rutland, P.L. 2018, Plastic Injection Moulding Machine
- [15] Budin, S., Hyie, K. M., Yussof, H., Ishak, A., & Ginting, R. (2020). Investigation on Mechanical Properties of Blend Virgin and Recycled Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) in Injection Molding. 833, 8–12. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.833.8>
- [16] Chen, S. C., Liao, W. H., Hsieh, M. W., Chien, R. Der, & Lin, S. H. (2011). Influence of Recycled ABS Added to Virgin Polymers on the Physical, Mechanical Properties and Molding Characteristics. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 50(3), 306–311. <https://doi.org/10.1080/03602559.2010.531869>
- [17] Mohd, A., Roslan, A. A., & Baba, N. B. (2016). Effect of Injection Molding Parameters on Recycled ABS (r-ABS) Mechanical Properties. 9(March). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i9/88733>
- [18] Materiais, E. De. (2018). Avaliação da Capacidade de Integração de Polipropileno Reciclado Reforçado com Talco ao Processo de Moldagem por Injeção de Componentes para a Indústria Automóvel.
- [19] Boronat, T., Segui, V. J., Peydro, M. A., & Reig, M. J. (2009). Influence of temperature and shear rate on the rheology and processability of reprocessed ABS in injection molding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(5), 2735–2745. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.06.013>

- [20] Solomon, N., Solomon, I., & Sanduleac, E. (2019). Material flow influence on the quality of molded parts. *Polymer Bulletin*, 76(11), 5981–6000. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-02832-w>
- [21] Acetylcholine, H., & Kit, E. (2016). Safety Data Sheet TER002 - Novodur® HH Black - SECTION 1 : Identification of the substance / mixture and of the company / undertaking SECTION 2 : Hazards identification SECTION 3 : Composition / information on ingredients SECTION 4 : First aid measures SECTION 5 : Firefighting measures SECTION 6 : Acc. 44(1907), 1–6. <https://www.ineos-styrolution.com/index.html>
- [22] Acetylcholine, H., & Kit, E. (2016). Safety Data Sheet TER006 - Novodur® HH White SECTION 1 : Identification of the substance / mixture and of the company / undertaking SECTION 2 : Hazards identification SECTION 3 : Composition / information on ingredients SECTION 4 : First aid measures SECTION 5 : Firefighting measures SECTION 6 : Acc. 44(1907), 1–6. <https://www.ineos-styrolution.com/index.html>
- [23] CAMPUS®, N. H. (2018). *Material Datasheet* - Novodur® HH-112 - ABS INEOS Styrolution Europe GmbH, 1–4. <https://www.campusplastics.com/>
- [24] CAMPUS®, N. H. (2018). *Material Datasheet* - Novodur® HH-106 - ABS INEOS Styrolution Europe GmbH, 1–4. <https://www.campusplastics.com/>
- [25] [ISO 527-1:2019](#), *Plastics — Determination of tensile properties* — Part 1: General principles
- [26] [ISO 179-1:2010](#), *Plastics — Determination of Charpy impact properties* — Part 1: Non-instrumented impact test
- [27] [ISO 1133-1](#), *Plastics — Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics* — Part 1: Standard method
- [28] W. Conshohocken and U. States, “Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion,” pp. 1–15, 2010.
- [29] Chen, S. C., Liao, W. H., Hsieh, M. W., Chien, R. Der, & Lin, S. H. (2011). Influence of Recycled ABS Added to Virgin Polymers on the Physical, Mechanical Properties and Molding Characteristics. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 50(3), 306–311. <https://doi.org/10.1080/03602559.2010.531869>
- [30] Hamarat, I., Kuram, E., & Ozcelik, B. (2018). Investigation the mechanical, rheological, and morphological properties of acrylonitrile butadiene styrene blends with different recycling number content. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 232(4), 449–458. <https://doi.org/10.1177/0954408917717994>

A. MATÉRIAS-PRIMAS UTILIZADAS

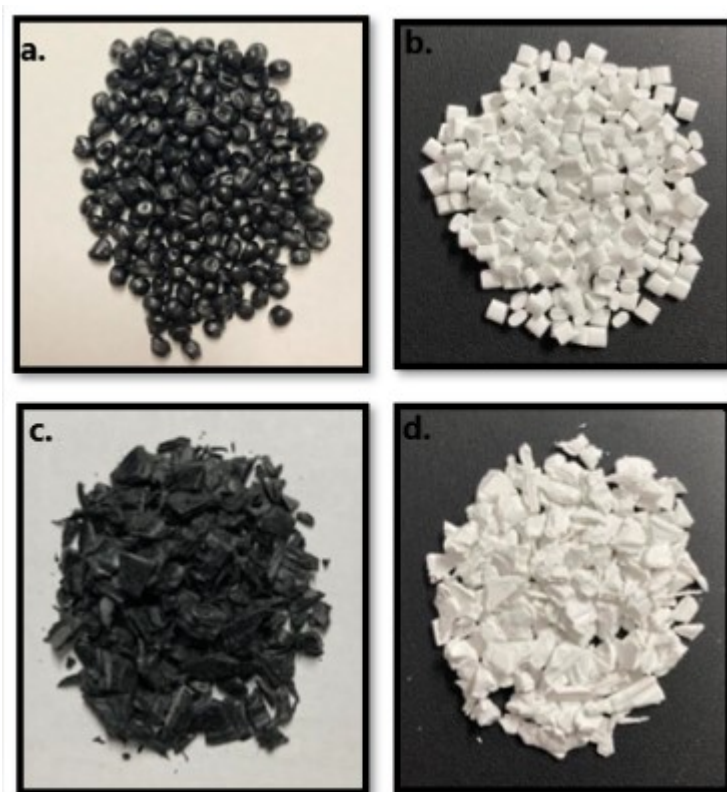


Figura A.1 - Imagens das matérias-primas utilizadas: (a) de Novodur® HH-112 BK10009 virgem, (b) de Novodur® HH-106 WT10403 virgem, de Novodur® H-112 BK10009 reciclado e de Novodur® HH-106 WT10403 reciclado.

Certificado da Matéria-Prima Novodur® HH-112 BK10009



Novodur HH-112

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL
DATASHEET

DESCRIPTION

Novodur® HH-112 is a high heat injection molding grade. It provides extraordinary heat resistance combined with enhanced stiffness.

FEATURES

- Very high heat resistance
- High stiffness

APPLICATIONS

- Automotive rear lamp housings
- Glove box caps

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Rheological Properties			
Melt Volume Rate 220 °C/10 kg	ISO 1133	cm ³ /10 min	6
Mechanical Properties			
Charpy Notched Impact Strength, 23° C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	12
Charpy Notched Impact Strength, -30 °C	ISO 179/1eA	kJ/m ²	5
Charpy Unnotched, 23 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	140
Charpy Unnotched, -30 °C	ISO 179/1eU	kJ/m ²	80
Tensile Stress at Yield, 23 °C	ISO 527	MPa	58
Tensile Strain at Yield, 23 °C	ISO 527	%	3.1
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	2700
Nominal Strain at Break, 23 °C	ISO 527	%	8
Flexural Strength, 23 °C	ISO 178	MPa	81
Flexural Modulus, 23 °C	ISO 178	MPa	2700
Hardness, Ball Indentation	ISO 2039-1	MPa	114
Thermal Properties			
Vicat Softening Temperature VST/B/50 (50N, 50 °C/h)	ISO 306	°C	112
Vicat Softening Temperature, VST/A/50 (10N, 50 °C/h)	ISO 306	°C	118
Heat Deflection Temperature A; (annealed 4 h/80 °C; 1.8 MPa)	ISO 75	°C	102
Heat Deflection Temperature B; (annealed 4 h/80 °C; 0.45 MPa)	ISO 75	°C	110
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ISO 11359	10 ⁻⁶ (-6)°C	90

Contact us:
Phone +49 (2133) 9309 – 168
infopoint.emea@styrolution.com
www.ineos-styrolution.com

Page 1 of 3
Revision Date: 2016.09.05

Figura A.2- Página 1 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado.

Novodur HH-112
 Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL
DATASHEET

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Thermal Conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.17
Electrical Properties			
Dielectric Strength, Short Time, 1.5 mm	IEC 60243-1	kV/mm	41
Volume Resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13
Comparative Tracking Index	IEC 60112	V	600
Other Properties			
Density	ISO 1183	kg/m ³	1050
Moisture Absorption, Equilibrium 23 °C/50% RH	ISO 62	%	0.25
Processing			
Linear Mold Shrinkage	ISO 294-4	%	0.4 - 0.7
Melt Temperature Range	ISO 294	°C	230 - 260
Mold Temperature Range	ISO 294	°C	60 - 80
Injection Velocity	ISO 294	mm/s	200
Drying Temperature		°C	80
Drying Time		h	2 - 4
Max Service Temperature		°C	90

Typical values for uncolored products

SUPPLY FORM

Novodur® is delivered in the form of cylindrical, spherical, or cubical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm³. Values may differ for special grades. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film. In addition, delivery in larger units of up to 1000 kg (IBC = Intermediate Bulk Container) or silo trucks can be arranged. In dry areas with normal temperature control, Novodur pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. With unstable colors, however, storage over a number of years can give rise to some change in color. Under poor storage conditions, Novodur absorbs moisture, but this can be removed by drying.

Contact us:
 Phone +49 (2133) 9309 – 168
 infopoint.emea@styrolution.com
 www.ineos-styrolution.com

Page 2 of 3
 Revision Date: 2016.09.05

Figura A.3 - Página 2 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado.

Certificado de Análise da Matéria-Prima Novodur® HH-112 BK10009

INEOS Styrolution Europe GmbH
Mainzer Landstrasse 50
60325 Frankfurt am Main
Germany

INEOS
STYROLUTION

Representante da Inspeção
Dr. Roland Pohl
roland.pohl@ineos.com

Certificado de Análise

Relatório 3.1 de acordo com EN 10204

VISTEON PORTUGUESA LTD
EN 252, KM 12, PQ. IND. CARRASCAS
P-2951-503 PALMELA

Data de emissão: 04/04/2022

Ordem de Venda: 1000716691

Referência do cliente: P1003321

Número do material: 50002381

Remessa: 8001684397

Quantidade entregue: 4.000,000

Número do material do cliente
WSK-M4D792-AP10009

Número contentor1: 11264886

Número contentor2: D MT119

Material: Novodur® HH-112 BK10009 1000kg OCT

Número do lote: C220900330

Data de produção: 03/03/2022

Análise	Unidade	Especificação		Resultado	Método de Análise
		Mínimo	Máximo		
MVR (220/10)	cm3/10 min	2,5	7,5	5,0	DIN EN ISO 1133
Charpy notched (23°C)	kJ/m2	5,0		7,9	ISO 179-1/1eA
Vicat B/120	°C	111,0		113,6	ISO 306 (DAM)

Os resultados são precisos e baseados em métodos de análise padronizados da indústria e de laboratórios renomados. Os Dados são controlados em intervalos regulares, como parte de nosso programa de garantia da qualidade. Nenhum dos Dados neste certificado de análise constitui uma garantia ou representação referente às características ou adequação do produto a um propósito ou aplicação específicos e isentamo-nos de toda e qualquer obrigação aqui relacionada. Este documento foi preparado de acordo com a norma EN10204.

Este documento foi produzido eletronicamente é válido sem assinatura

Figura A.4 - Certificado de Análise do lote de ABS Novodur® HH-112 BK10009 utilizado, fornecido pelo fornecedor INEOS STYROLUTION.

Certificado da Matéria-Prima Novodur® HH-106 WT10403

Novodur HH-106
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)



Technical Datasheet

DESCRIPTION

Novodur HH-106 is a high heat injection molding grade providing a balanced property profile.

FEATURES

- High heat resistance

APPLICATIONS

- Center consoles
- Radiator grills
- Mirror housings

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Rheological Properties			
Melt Volume Rate 220 °C/10 kg	ISO 1133	cm ³ /10 min	7
Melt Volume Rate, 200 °C/21.6 kg	ISO 1133	cm ³ /10 min	7
Mechanical Properties			
Charpy Notched Impact Strength, 23° C	ISO 179	kJ/m ²	14
Charpy Notched Impact Strength, -30° C	ISO 179	kJ/m ²	6
Charpy Unnotched, 23° C	ISO 179	kJ/m ²	180
Charpy Unnotched, -30° C	ISO 179	kJ/m ²	110
Tensile Stress at Yield, 23° C	ISO 527	MPa	51
Tensile Strain at Yield, 23° C	ISO 527	%	3
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	2400
Flexural Strength	ISO 178	MPa	72
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	2400
Hardness, Ball Indentation	ISO 2039-1	MPa	102
Thermal Properties			
Vicat Softening Temperature VST/B/50 (50°C/h, 50N)	ISO 306	°C	106
Vicat Softening Temperature, VST/A/50 (50°C/h, 10N)	ISO 306	°C	115
Heat Deflection Temperature A; (annealed, 1.8 MPa)	ISO 75	°C	106
Heat Deflection Temperature B; (annealed, 0.45 MPa)	ISO 75	°C	111
Coefficient of Linear Thermal Expansion	ISO 11359	10 ⁻⁶ /°C	90

Page 1 of 3
Revision Date: 2013.02.21

Contact us:
Phone +49 2133 51 4007
infopoint.emea@styrolution.com
www.styrolution.com

Figura A.5 - Página 1 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado.

Novodur HH-106

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)



Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Thermal Conductivity	DIN 52612-1	W/(m K)	0.17
Electrical Properties			
Dielectric Strength, Short Time, 1.5 mm	IEC 60243-1	kV/mm	39
Volume Resistivity	IEC 60093	Ohm*m	1E13
Comparative Tracking Index	IEC 60112	-	600
Other Properties			
Density	ISO 1183	kg/m ³	1050
Moisture Absorption, Equilibrium 23°C/50% RH	ISO 62	%	0.25
Processing			
Linear Mold Shrinkage	ISO 294-4	%	0.4 - 0.7
Melt Temperature Range	ISO 294	°C	230 - 270
Mold Temperature Range	ISO 294	°C	40 - 60
Injection Velocity	ISO 294	mm/s	200
Drying Temperature		°C	80
Drying Time		h	2 - 4
Max Service Temperature		°C	85

Typical values for uncolored products

SUPPLY FORM

Novodur® is delivered in the form of cylindrical or spherical pellets. The bulk density of the pellets is from 0.55 to 0.65 g/cm³. Values may differ for special grades. Standard Packaging unit: 25 kg PE-bag on palette, shrunk or wrapped with PE film. In addition, delivery in larger units of up to 1000 kg (IBC = Intermediate Bulk Container) or silo trucks can be arranged. In dry areas with normal temperature control, Novodur pellets can be stored for relatively long periods of time without any change in mechanical properties. With unstable colors, however, storage over a number of years can give rise to some change in color. Under poor storage conditions, Novodur absorbs moisture, but this can be removed by drying.

Page 2 of 3
Revision Date: 2013.02.21

Contact us:
Phone +49 2133 51 4007
infopoint.emea@styrolution.com
www.styrolution.com

Figura A.6 - Página 2 da especificação técnica fornecida pelo fornecedor INEOS STYROLUTION do ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado.

Certificado de Análise da Matéria-Prima Novodur® HH-106 WT10403



MOCOM Compounds GmbH & Co. KG · 20531 Hamburg

ALBIS Distribution GmbH & Co. KG

Mühlenhagen 35
20539 Hamburg

Material: 1003506710025
NOVODUR HH-106 WT10403
WHITE

Your material: WSK-M4D792-AB1
Batch: 0121989201
Date: 02.03.2022

Inspection Certificate 3.1 (DIN EN 10204:2005)

Property according to our quality control:

Test	AMN	Unit	Results
Vicat B120	B01004	°C	105
MVR 220/10	E02044	cm ³ /10 min	7,84

Dr. Schürings, Marco-Philipp; Laboratory
Inspection representative

E-Mail: marco-philipp.schuerings@mocom.eu

This Certificate of Analysis is made by a data processing system and is valid without signature.

All measured values are based on test results carried out with freshly injection moulded test specimens. This inspection certificate does not release the customer from his obligation to inspect the incoming material. Tests repeated at different locations may yield different test results due to the influence of test equipment and aging.
Any information given on the chemical and physical characteristics of our products, including, without limitation, technical advice on applications, whether verbally, in writing or by testing the product, is given to the best of our knowledge and in good faith and does not exempt the customer from carrying out their own investigations and tests in order to ascertain the product's specific suitability for the purpose intended.

The customer is solely responsible for confirming the suitability of the product for a particular application, its utilization and processing and must observe any applicable laws and government regulations. **NO EXPRESS OR IMPLIED RECOMMENDATION OR WARRANTY IS GIVEN WITH REGARD TO THE SUITABILITY OF THE PRODUCT FOR A PARTICULAR APPLICATION, SUCH AS, BUT NOT LIMITED TO, SAFETY-CRITICAL COMPONENTS OR SYSTEMS.**

Healthcare uses: the supply of any product by MOCOM for any medical, pharmaceutical or diagnostic application is conditional to an assessment by MOCOM in terms of compliance with MOCOM's internal risk management policy - even for products which are in general designated for use in Healthcare applications.

Important: Irrespective of product type or designation, MOCOM does not recommend or support the use of any products it supplies which fall into the following medical, pharmaceutical or diagnostic application categories:

- o risk class III applications according to EU directive 93/42/EEC, EU Medical Device Regulation (MDR) 2017/745 or risk class 3 FDA
- o medical devices described in list A according to IVDD (98/79/EG) or risk class D in regulation EU 2017/746 on in-vitro diagnostic medical devices (IVDR)
- o any bodily implant application for greater than 30 days
- o any critical component in any medical device that supports or sustains human life.

At all times, our general terms and conditions of sale apply.

Figura A.7 – Certificado de Análise do lote de ABS Novodur® HH-106 WT10403 utilizado, fornecido pelo fornecedor INEOS STYROLUTION.

B. PROCEDIMENTO PARA AS MATÉRIAS-PRIMAS

B.1 Procedimento de Reciclagem das matérias-primas Novodur HH-106 e Novodur HH-112

Para a reciclagem das peças provenientes de produções anteriores, reconhecidas como não conformes (defeituosas), das matérias-primas de ABS Novodur® HH-112 BK10009 e ABS Novodur® HH-106 WT10403, foram utilizados um moinho mecânico MRU 45.65 IV e um granulador central insonorizado SG-2336-CE.

Foi utilizado o moinho mecânico MRU 45.65 IV para o processo de moagem das peças, tendo como principal função a redução primária das peças, ficando sob a forma de pequenas placas de dimensões reduzidas.

A redução secundária do material através de uma trituração mais fina, foi realizada através do granulador central insonorizado SG-2336-CE obtendo-se desta forma uma dimensão mais aproximada da matéria-prima virgem. Foi seguido o procedimento apresentado adiante:

- 1- Colocar as peças não conformes da produção do ABS Novodur® HH-112 BK10009 no moinho MRU 45.65 IV (Figura B.1.a);
- 2- De seguida, retirar o material com o material moído do ABS Novodur® HH-112 reciclado após todas as peças não conformes serem moídas;
- 3- Colocar material moído no granulador SG-2336-CE (Figura B.1.b), de forma a obter-se granulado com um tamanho mais aproximado do material virgem;
- 4- Retirar todo o material reciclado granulado de Novodur® HH-112 (Figura B.1.c);
- 5- Aspirar e lavar o moinho mecânico e o granulador;
- 6- Repetir o procedimento para a reciclagem das peças da matéria-prima de ABS Novodur® HH-106 WT10403;



Figura B.1- Reciclagem das peças não conformes por moagem mecânica, através de uma trituração primária (a) por um moinho mecânico MRU 45.65 IV e de uma redução secundária (b) através de um granulador SG-2336-CE, obtendo-se (c) o material reciclado granulado.

B.2 Procedimento de Secagem das matéria-primas Novodur HH-106 e Novodur HH-112

O equipamento de secagem Piovan tem como objetivo secar a matéria-prima antes desta entrar no circuito das máquinas de injeção.

Como 1º procedimento, para o arranque do equipamento, tem-se o seguinte:

- 1.1- Primeiramente, rodar o botão vermelho para o estado 'ON' (Figura B.2);
- 1.2- De seguida, clicar no botão do display do secador assinalado a amarelo na Figura B.2, até que o sinal assinalado a azul passe a verde;
- 1.3- Por fim, clicar botão do display da bomba do silo assinalado a amarelo na Figura B.2, até que o sinal assinalado a azul passe a verde;

Como 2º procedimento, para secagem da matéria-prima, procedeu-se da seguinte forma:

- 2.1- Alimentar silo de secagem com a matéria-prima;
- 2.2- Definir a temperatura de secagem de 80°C (Figura B.3);
- 2.3- Definir tempo de secagem de 2 horas (Figura B.3);
- 2.4- Ligar alimentação da máquina de injeção, de forma que a matéria-prima seja transportada através das tubagens desde o silo até à tremonha PIOVAN S50.

Como 3º procedimento, de forma inversa ao arranque, seguiu-se o seguinte:

- 3.1- Clicar botão do display da bomba do silo na Figura B.2 e aguardar que o sinal fique vermelho;
- 3.2- Fazer o mesmo para o botão do display do secador assinalado a amarelo Figura B.2;
- 3.3- Por fim, rodar o botão vermelho para o estado 'OFF' (Figura B.2);

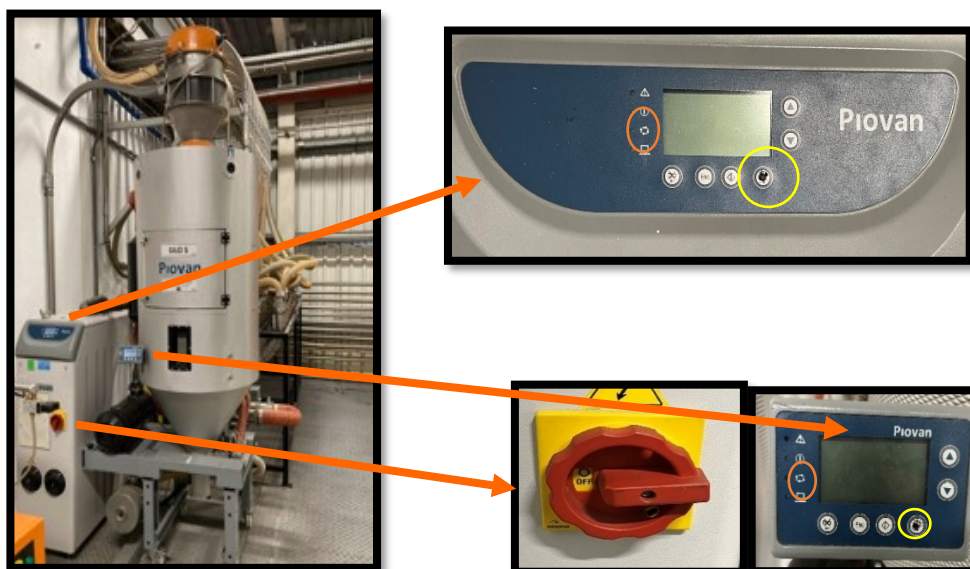


Figura B.2 - Esquema de representação do procedimento de secagem das matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106.



Figura B.3 - Equipamento de secagem das matérias-primas, (a) com silo Piovan, (b) secador de secagem Piovan utilizados e (c) com referência à temperatura de secagem de 80°C programada no display do secador.

B.3 Procedimento de Alimentação das matérias-primas Novodur HH-106 e Novodur HH-112

A alimentação das matérias-primas de Novodur HH-112 e Novodur HH-106, para a respetiva máquina de injeção foi realizada da seguinte forma:

1. Os octobines, devidamente identificados com a matéria-prima e respetivo número de lote, servem de reservatórios de matéria-prima e encontram-se armazenadas por debaixo de todo o sistema de alimentação (Figura B.4.a);
2. O transporte da matéria-prima até ao sistema de alimentação, é efetuado através de tubagens de Alumínio, Policloreto de vinilo (PVC) reforçado e Aço Inoxidável (Figura B.4.b);
3. Na mesa de distribuição, é feita a distribuição da matéria-prima para as máquinas pretendidas. (Figura B.4.b);
4. Unidades de controlo de aspiração (UCA) encontram-se colocadas sobre os silos de secagem e servem para fazer o pedido de material ao sistema (Figura B.4.c);
5. A unidade de vácuo é constituída por duas de bombas de vácuo, responsáveis pela aspiração de matéria-prima das octobines e pela aspiração de matéria-prima para as máquinas de injeção (Figuras B.4.d, B.5);
6. Através da unidade de comando (QC) por um quadro de comando faz-se o controlo da matéria-prima proveniente dos octobines. (Figura B.4.e);
7. O quadro elétrico fornece a energia às bombas de vácuo e ao quadro de comando.



Figura B.4 - Representação do procedimento de alimentação das matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106: com (a) octobine com lote de matéria-prima, (b) mesa de distribuição da matéria-prima, (c) unidades de controlo de aspiração (UCA), (d) unidade de vácuo e (e) unidade de comando (QC).



Figura B.5 - Tremonha PIOVAN S50 equipada com um doseador gravimétrico PIOVAN MDP2.

B.4 Procedimento utilizado para as máquinas Engel Victory 3550/500 tech e Engel CL 2550/500

A sequência de operação para a injeção das peças de Novodur HH-112 e Novodur HH-106, respetivamente, nas máquinas Engel Victory 3550/500 tech (Figura B.8) e Engel CL 2550/500 (Figura B.9) através dos quadros de comando (Figura B.6), foi realizada segundo o seguinte procedimento:

1. Ligar o interruptor principal (*main switch*);
2. Ligar interruptor de corte de corrente, por de baixo do quadro de comando (QC);
3. Ligar tensão de comando e aguardar alguns instantes;
4. Acionar estado da máquina para manual;
5. Ligar motor;
6. Ligar o aquecimento do cilindro no QC;
7. Carregar o programa de parâmetros respetivo (Tabelas B.1 e B.2);
8. Ligar o aquecimento do molde no QC esperar que as temperaturas atinjam os valores do programa;
9. Verificar se o *chiller* está ligado;
10. Abertura das válvulas do sistema de refrigeração;
11. Ligar os dois termorreguladores de circulação de águas com as temperaturas do respetivo programa (Tabelas B.1 e B.2), um para a metade do molde do lado da cavidade e outro para a metade do molde do lado da bucha (Figuras B.7);
12. Verificar se o sistema de alimentação está ligado, apenas com material virgem;

13. Dosear o material;
14. Injetar cerca de 10 peças em modo semi-automático, até estabilizar o processo;
15. Com a obtenção de uma peça estável e conforme, carregar no botão do modo automático e realizar uma produção de cerca de 50 peças de 100% de material virgem (Peças Tipo I);
16. No fim da produção, purgar todo o material existente no interior do cilindro;
17. Definir a quantidade de reciclado a adicionar de 20% no doseador gravimétrico;
18. Realizar a nova produção de 50 peças, para a respetiva proporção 80:20 de material virgem e material reciclado (Peças Tipo II);
19. No fim da produção, purgar todo o material existente no interior do cilindro;
20. Definir a quantidade de reciclado a de 100% no doseador acoplado à tremonha;
21. Realizar a nova produção de 50 peças, de 100% de material reciclado (Peças Tipo III);



Figura B 6 - Quadros de comandos (interface de controlo) para as máquinas (a) Engel CL 2550/500 e (b) Engel Victory 3550/500 tech.



Figura B.7 - Termorreguladores responsáveis pela circulação de águas no molde, um para a metade do molde do lado da cavidade e outro para a metade do molde do lado da bucha.

Após a obtenção das peças necessárias dos três tipos I, II e II, foi utilizado o seguinte procedimento para desligar ambas as máquinas (Engel Victory 3550/500 tech e Engel CL 2550/500):

1. No fim da produção, passar para modo semi-automático e aguardar que o ciclo de injeção termine;
2. Passar a máquina para modo manual;
3. Afastar o cilindro de injeção da máquina do bico de injeção do molde;
4. Afastar a tremonha da posição de alimentação da matéria-prima (só o suficiente para deixar de alimentar) e efetuar várias purgas até limpar por completo o cilindro de material;
5. Fechar o molde sem que a alta pressão entre;
6. Desligar aquecimento do molde no QC ;
7. Desligar aquecimento do cilindro no QC;
8. Desligar motor;
9. Desligar tensão;
10. Desligar ambos os termostatos, carregando no botão "OFF" (Figura B.7);
11. Fechar válvulas do circuito de refrigeração;
12. Fechar caudalímetros;
13. Desligar a máquina no interruptor principal (*main switch*);



Figura B.8- Máquina de moldagem por injeção *Engel Victory 3550/500 tech*, de 500 toneladas de força de fecho, utilizada para as produções das peças *Mask* com o material *Novodur HH-112*.

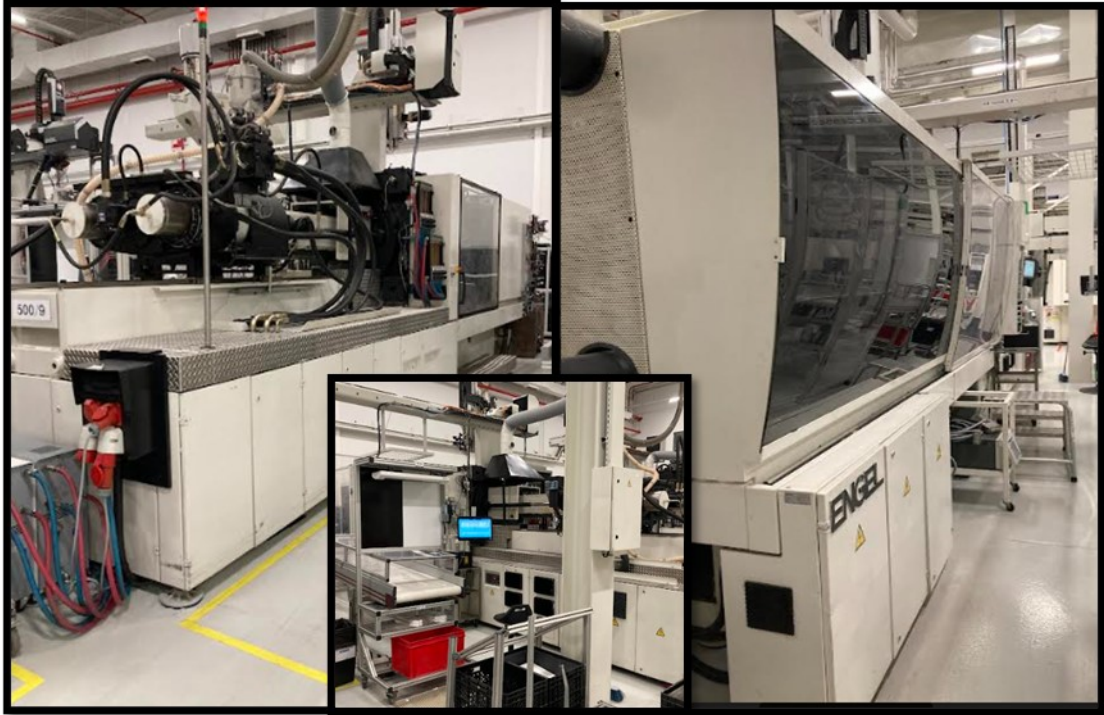


Figura B.9 - Máquina de moldagem por injeção *Engel CL 2550/500*, de 500 toneladas de força de fecho, utilizada para as produções das peças *Mounting Plate* com o material *Novodur HH-106*.

B.5 Programa de parâmetros utilizado para a injeção das peças de Novodur HH-112

Parâmetros	Setup					Tolerância
Temperatura do Fuso (°C)	250	250	245	240	235 / 225	+/- 15 (°C)
Temperaturas dos Bicos (°C)	250 x 3	245	250 x 5			
Velocidade de Injeção (mm/s)	23	23	26	40		+/- 20%
Ponto de Comutação (mm) - C3u	17,5					
Pressão de Injeção (bar) - P6	180					
Pressão de Injeção real (bar) - PVs	170					
Pressão Aumentada (S/N)	N					
Tempo de Injeção (s) - ZSx	5,32					
Pós Pressão (bar) - P7 - P16	72	62	35			
Tempo de Pós Pressão (s) - Z2	3,0					
Arrefecimento (s) - Z4x	36,0					
Almofada (mm) - CPx	16,7					
Curso de Dosagem (mm) - C1	155,0					
Pausa para Carregar (s) - Z3	2,0					
Descom. Depois Plastificação (mm) - C2	0,5					
Velocidade de Doseamento (%)	30	30				
Contrapressão (bar)	10	10				
Tempo de carregamento (s) - ZDx	26					
Valve Gage	VG #	1	2	3	4	
	Open	160	118	125	160	
	VG #	5	6	7	8	
	Open	118	118			
Força de Fecho (kN) - SK	4500	Curso de Abertura (mm) - A		550		
Tempo de ciclo (s) - Zus	56					
Termorreguladores	FIXO	65	MÓVEL	60		

Tabela B.1 - Programa de setup com os parâmetros utilizados para a produção das peças de Novodur HH-112 na máquina Engel Victory 3550/500 tech.

B.6 Programa de parâmetros utilizado para a injeção das peças de Novodur HH-106

Parâmetros	Setup					Tolerância
Temperatura do Fuso (°C)	250	255	245	240	230	+/- 15 (°C)
Temperaturas dos Bicos (°C)	245*7 C.Interno	245	245	235	235	
		245	245	6%	245	
Velocidade de Injeção (mm/s)	35	35	35	35	35	+/- 20%
	35	35	35	35	35	
Pressão de Injeção (bar) - P6	155					
Pressão Aumentada (S/N)	N					
Ponto de Comutação (mm) - C3u	17,9					
Pós Pressão (bar) - P7 - P16	70	70	70	70	70	
	60	60	60	60	60	
Tempo de Pós Pressão (s) - Z2	4,0					
Arrefecimento (s) - Z4x	33,0					
Curso de Dosagem (mm) - C1	75,0					
Pausa para Carregar (s) - Z3	3,0					
Descom. Depois Plastificação (mm) - C2	3,0					
Velocidade de Doseamento (%)	10	10	10	10	10	
Contrapressão (bar)	15	15	15	15	15	
Valve Gage	Delay					
	Open					
	Delay					
	Open					
Força de Fecho (kN) - SK	3800	Curso de Abertura (mm) - A		400		
Termorreguladores	FIXO	40	MÓVEL	40		

Outputs de Processo *			
Pressão de Injeção real (bar) - PVs	78	Tempo de Injeção (s) - Z5x	1,7
Almofada (mm) - CPx	5,3	Tempo de carregamento (s) - ZDx	6,0
Tempo de ciclo (s) - Zus	52		

Tabela B.2- Programa de setup com os parâmetros utilizados para a produção das peças de Novodur HH-106 na máquina Engel CL 2550/500.



Figura B.10- Peças Mask Tipo I, II e III amostra, produzidas respetivamente com as três proporções de matéria virgem e reciclado de Novodur HH-112.



Figura B.11 - Peças Mounting Plate Tipo I, II e III amostra, produzidas respetivamente com as três proporções de matéria virgem e reciclado de Novodur HH-106.

B.7 Preparação de provetes amostra



Figura B.12 - Exemplo de *Mask* produzida com Novodur HH-112, com identificação da secção de material retirada da zona verde da peça, a partir da qual foram feitos os provetes necessários para os ensaios mecânicos e reológicos.

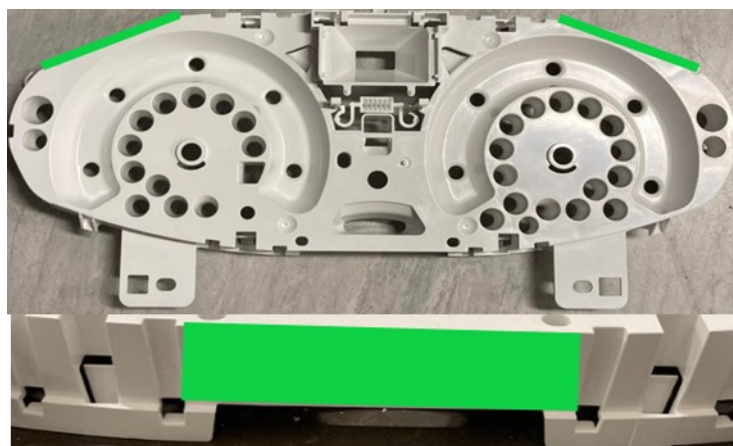


Figura B.13 - Exemplo de *Mounting Plate* produzida com Novodur HH-106, com identificação da secção de material retirada da zona verde da peça, a partir da qual foram feitos os provetes necessários para os ensaios mecânicos e reológicos.



Figura B.14- Configuração do desenho dos diferentes provetes fabricados do Novodur HH-112 e Novodur HH-106, desenhados.



Figura B.15 - Máquina de corte laser *Trotec Speedy 100R*, utilizada para o corte dos provetes.

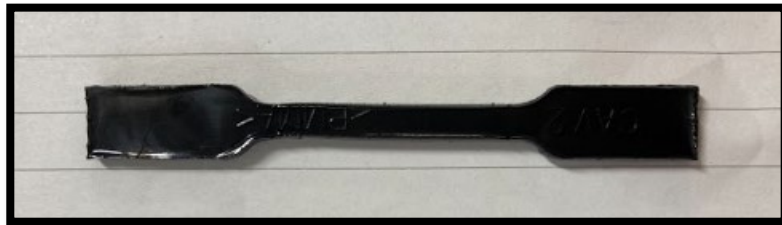


Figura B.16 - Provetes de Novodur HH-112 em formato *dog-bone* para os ensaios de tração, com as dimensões de 8,0 cm de comprimento, 1,0 cm de largura e 0,5 cm de espessura.



Figura B.17- Provetes em formato de bastonete para os ensaios de impacto, em cima de Novodur HH-112 e em baixo de Novodur HH-10, com as dimensões de 7,5 cm de comprimento, 1,0 cm de largura e 0,5 cm de espessura.

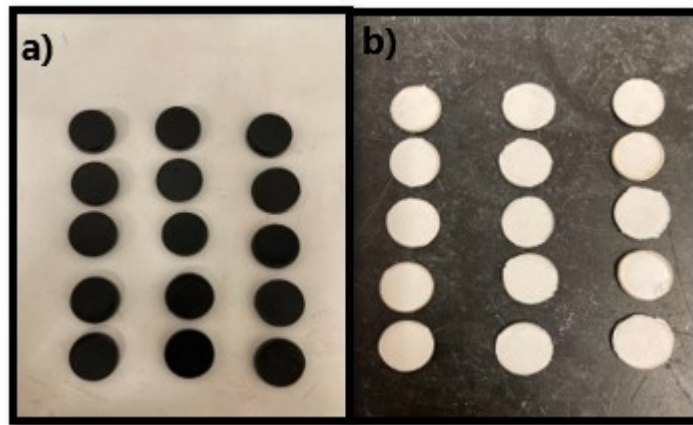


Figura B.18 - Amostras em formato de discos achatados para determinar as propriedades reológicas, à esquerda (a) discos de Novodur HH-112 com 15,0 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura, à direita (b) discos de Novodur HH-106 com 15,0 mm de diâmetro e 2,5 mm de espessura.

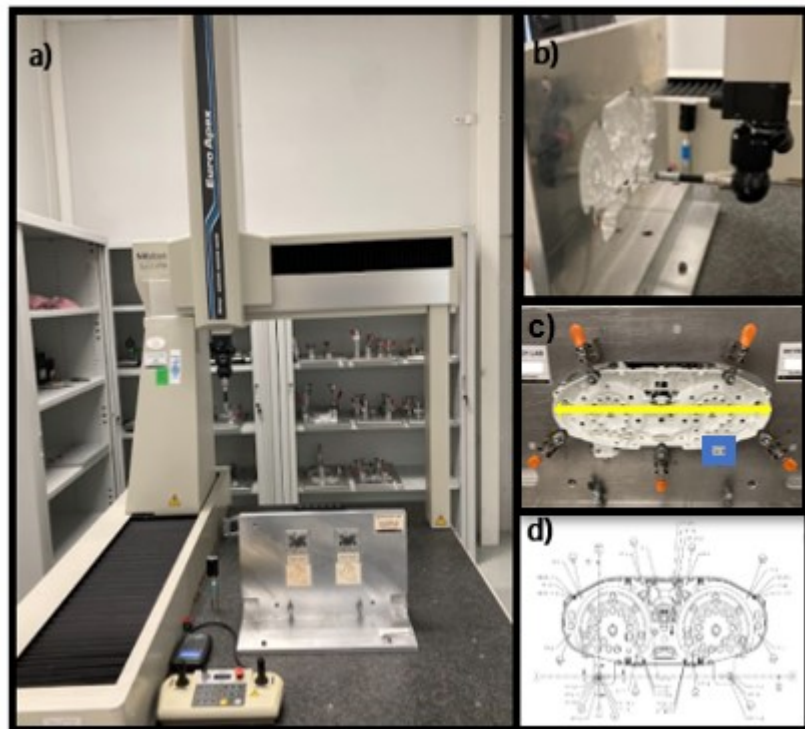


Figura B.19 - Controlo dimensional das amostras de Novodur HH-106, realizado na (a) máquina de medição tridimensional (CMM), (b,c) com um suporte de fixação da peça e (d) o desenho de medição programado.

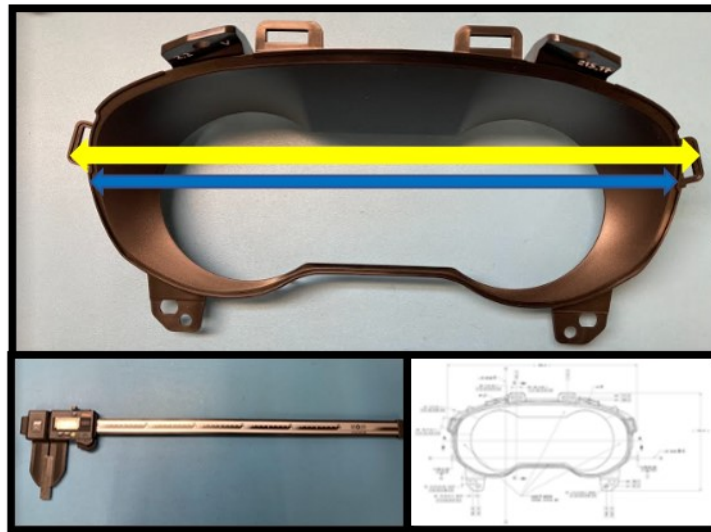


Figura B.20- Controlo dimensional das amostras de Novodur HH-112, (a) com identificação na peça das dimensões controladas a amarelo o comprimento total e a azul o comprimento sem patilhas, (b) com recurso a um paquímetro Mitutoyo 600, (c) de acordo com o desenho de medição.

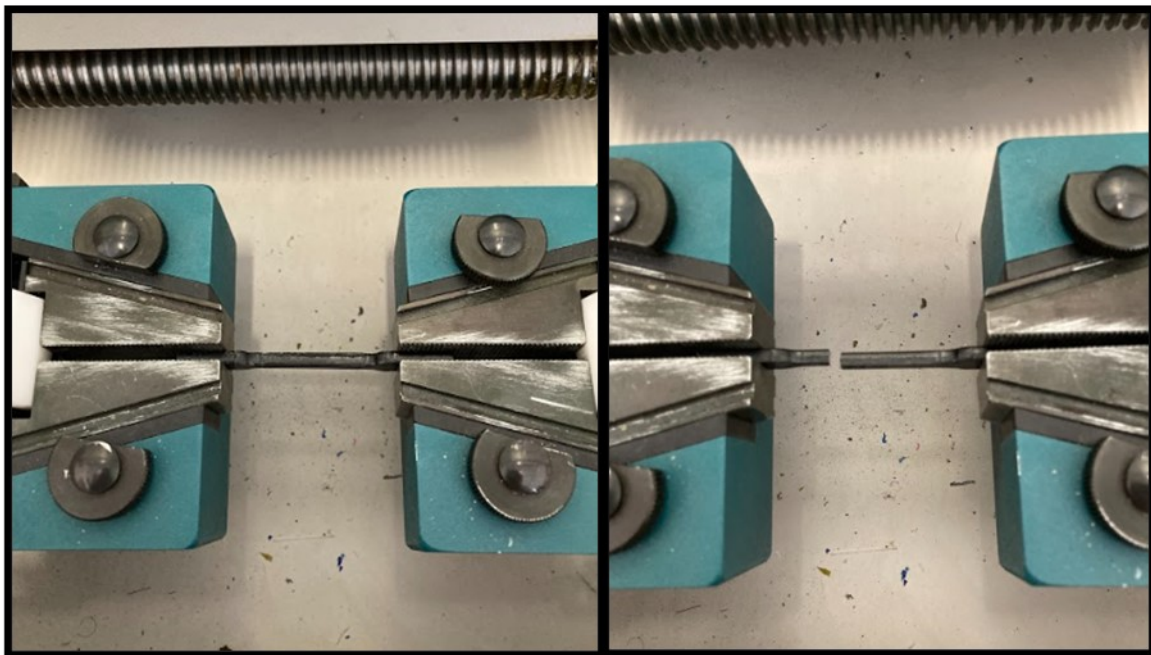


Figura B.21 - Ensaio de tração para os provetes de Novodur HH-112, na máquina de tração universal *Hounsfield H5K-W* pertencente ao laboratório de polímeros do DCM.

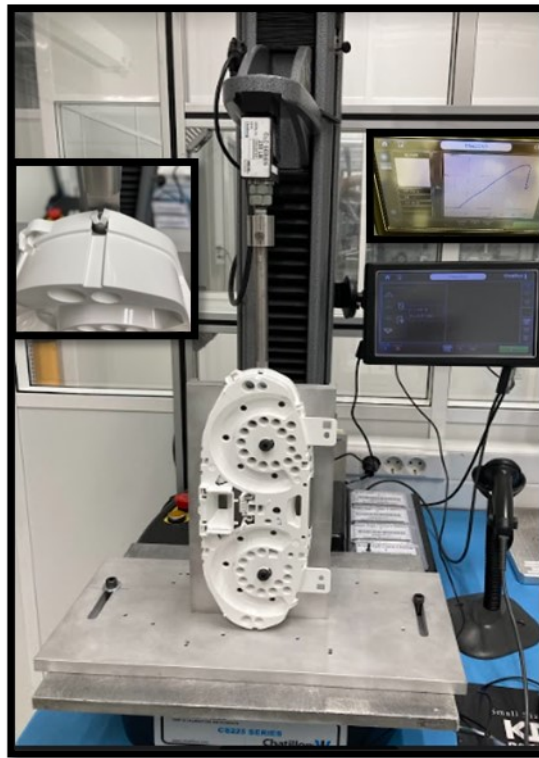


Figura B.22- Ensaio de tração para as peças de Novodur HH-106 num ponto mecânico de montagem, realizado na máquina de tração uniaxial *Chatillon CS225 Series Force Tester* com um suporte de fixação das peças, pertencentes à Visteon.

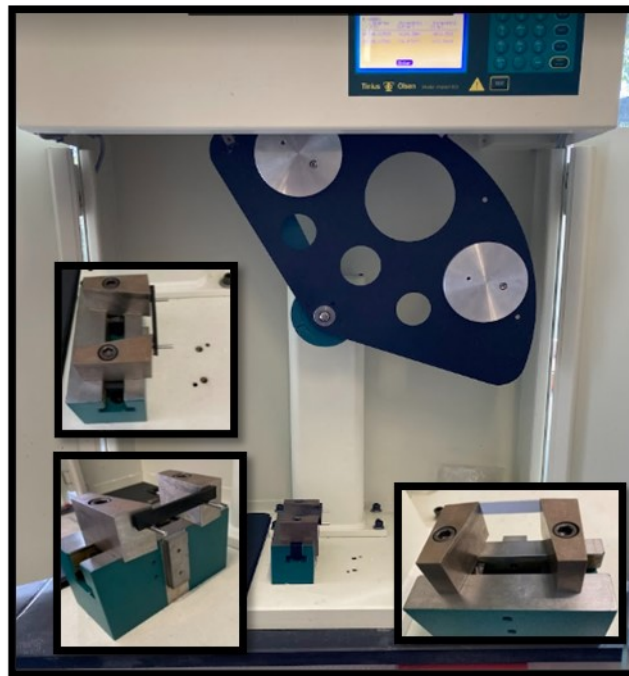


Figura B.23 - Ensaio de impacto aos provetes obtidos das peças de ABS Novodur HH-106 e Novodur HH-112 na máquina de impacto *Tinius Olsen Model Impact 503* do laboratório de polímeros do DCM, com utilizando o princípio do pêndulo de charpy.



Figura B 24- Medição do índice de fluidez (MFI) realizada com o granulado virgem e reciclado para as matérias-primas Novodur HH-112 e Novodur HH-106, utilizando o equipamento *TINIUS OLSEN* pertencente ao laboratório de polímeros do DCM.



Figura B 25- Reômetro Rotacional *Gemini HRnano*, pertencente ao laboratório de polímeros do DCM, utilizado com geometria de pratos paralelos (P/P) para os ensaios em modo dinâmico e estacionário dos discos de Novodur HH-112 e de Novodur HH-106.

C. RESULTADOS

C.1 Propriedades Mecânicas - Ensaio de tração

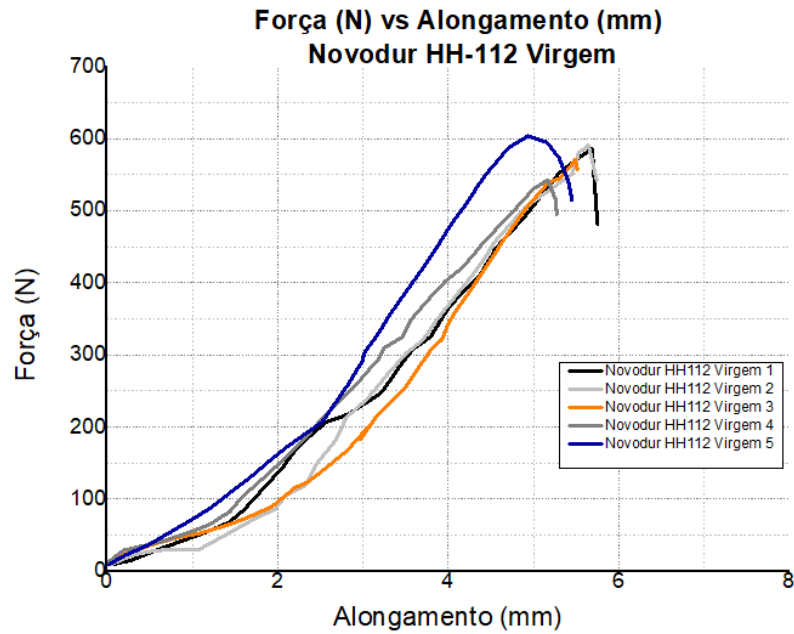


Figura C.1 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 Virgem.

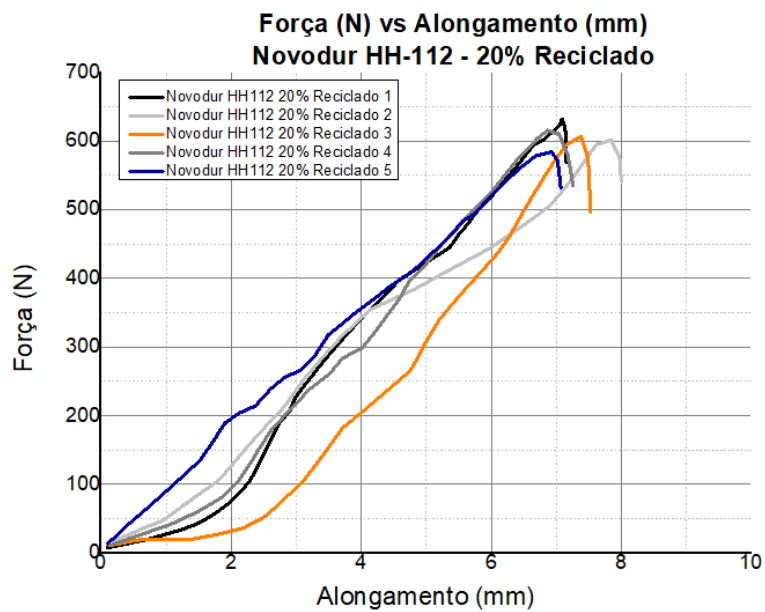


Figura C.2 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 com 20% de Reciclado

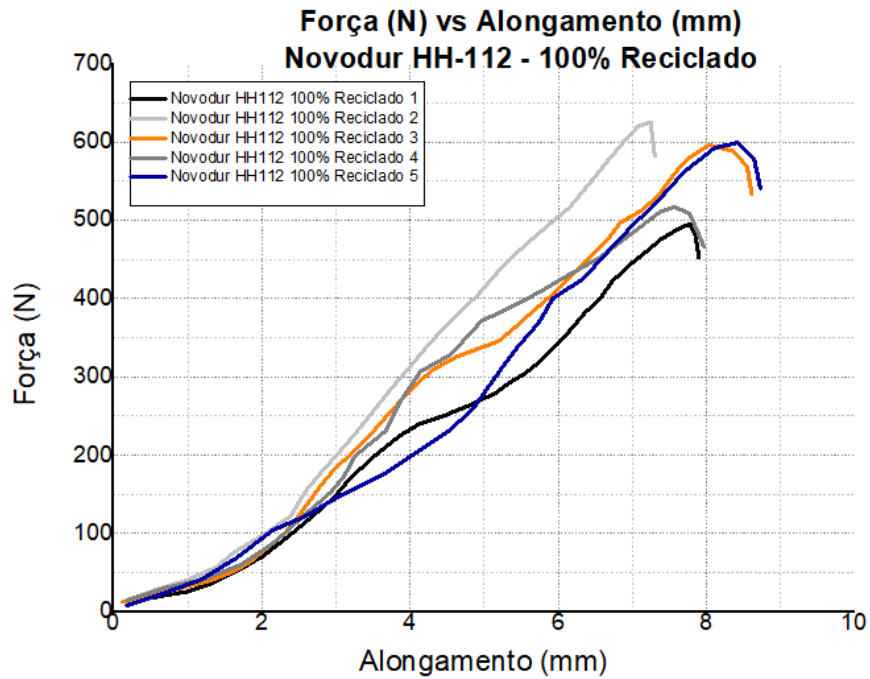


Figura C.3 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para os provetes de Novodur HH-112 100% de Reciclado

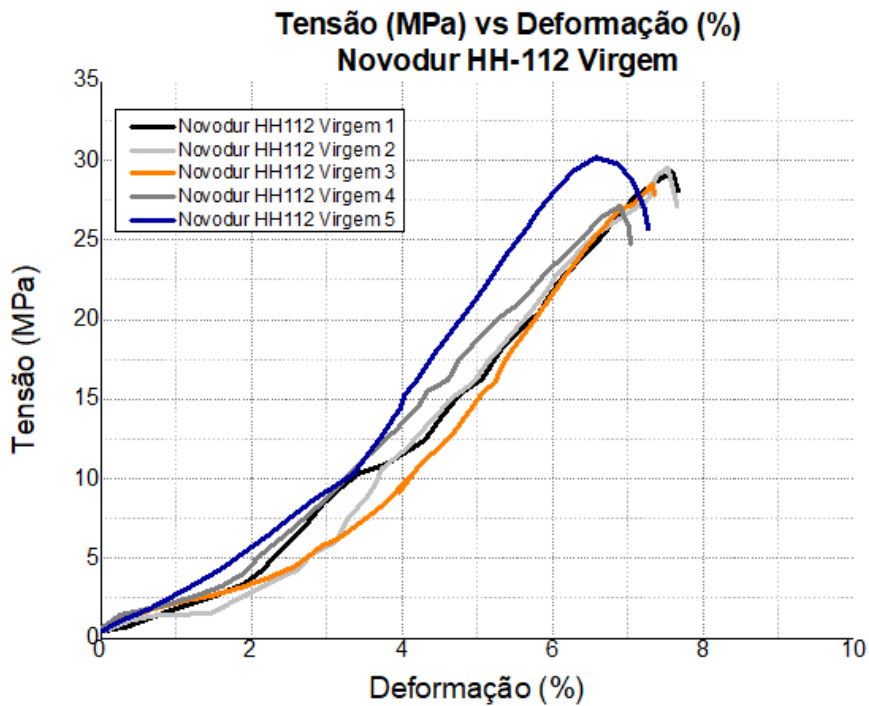


Figura C.4 - Curva da Tensão (MPa) em função da deformação (%) para os cinco provetes de Novodur HH-112 Virgem.

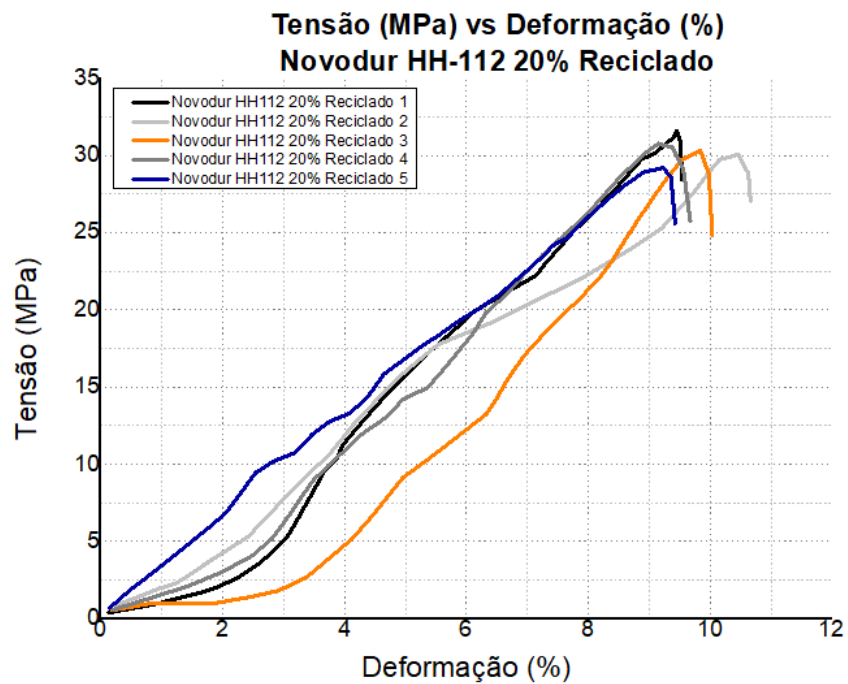


Figura C.5 - Curva Tensão (MPa) vs Deformação (%) para os cinco provetes Novodur HH-112 com 20% de material Reciclado.

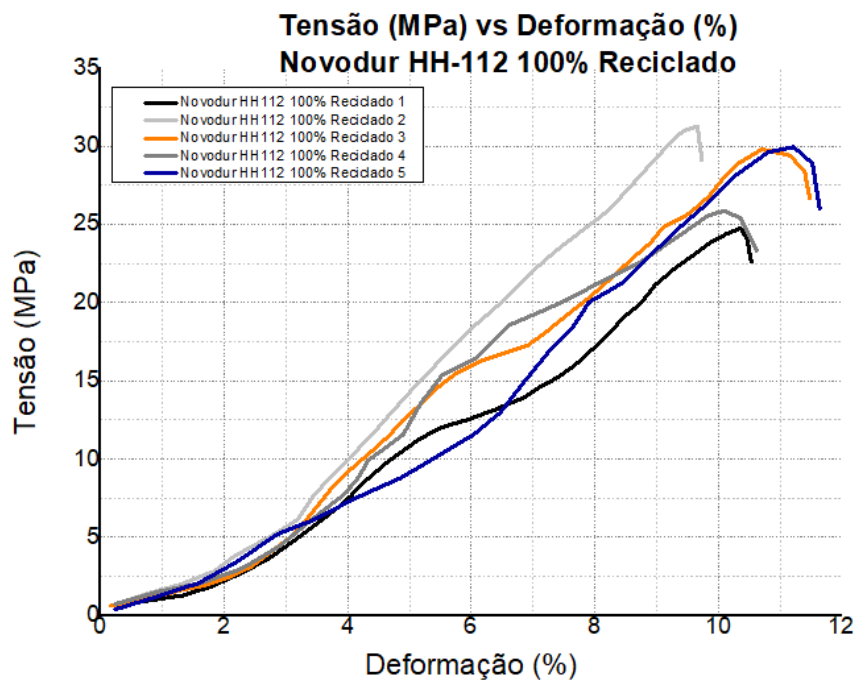


Figura C.6 - Curva Tensão (MPa) vs Deformação (%) para os cinco provetes Novodur HH-112 com 100% de material Reciclado.

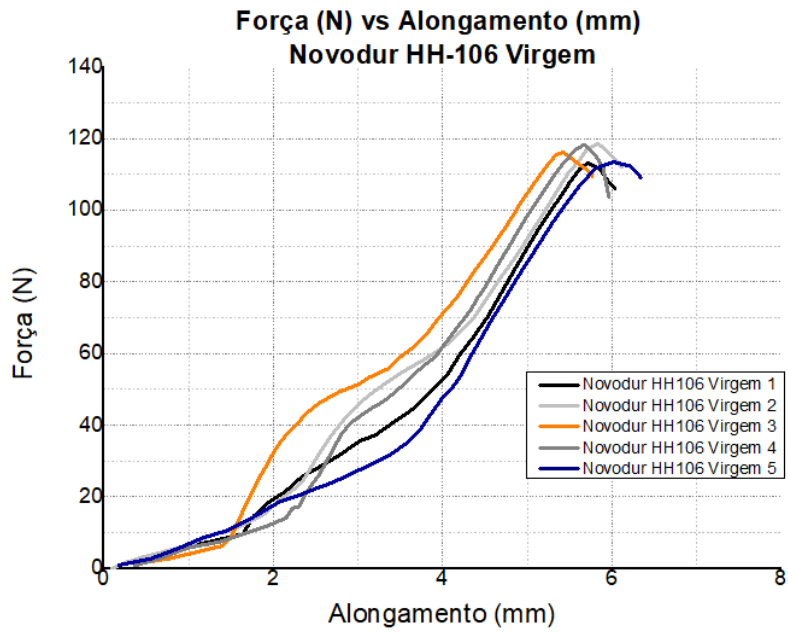


Figura C.7 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 Virgem

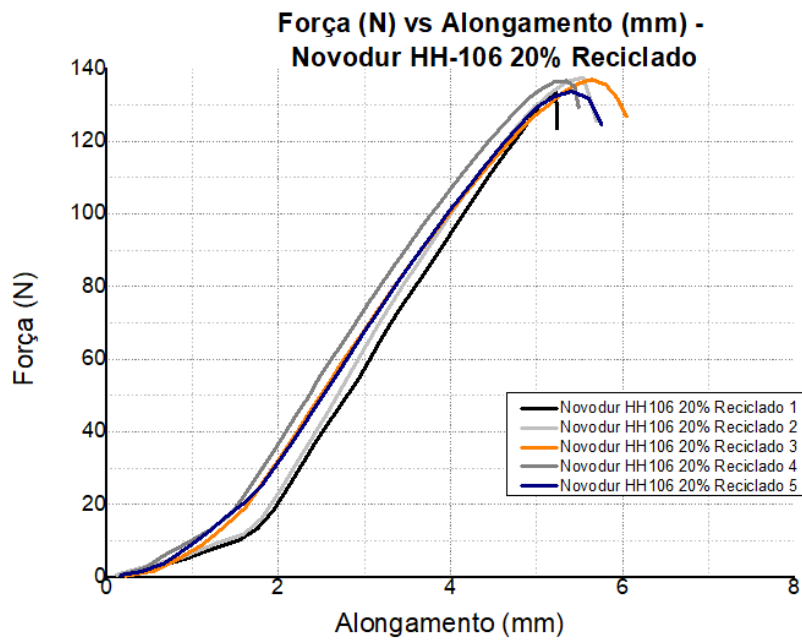


Figura C.8 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 20% reciclado

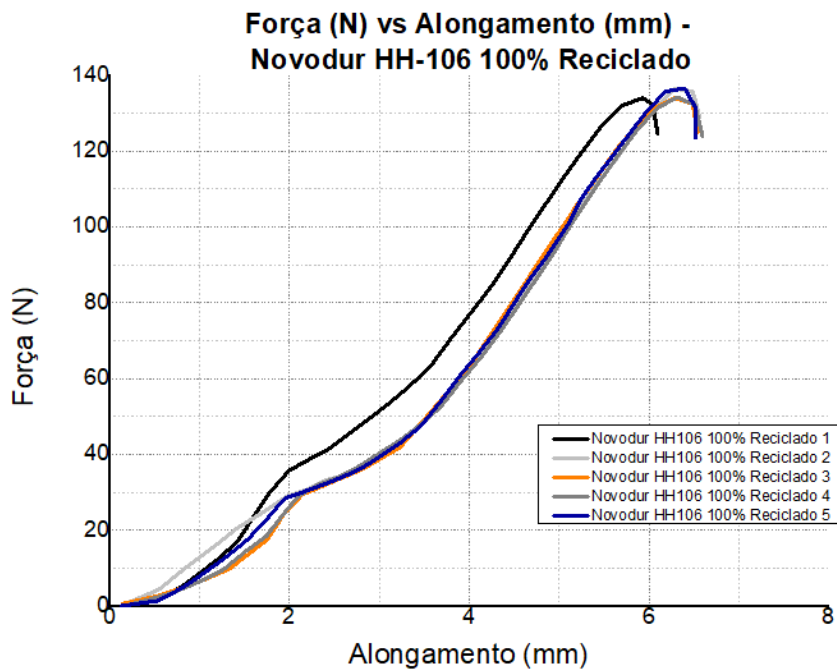


Figura C.9 - Curva Força (N) vs Alongamento (mm) para as peças de Novodur HH-106 100% reciclado

C.2 Ensaios reológicos

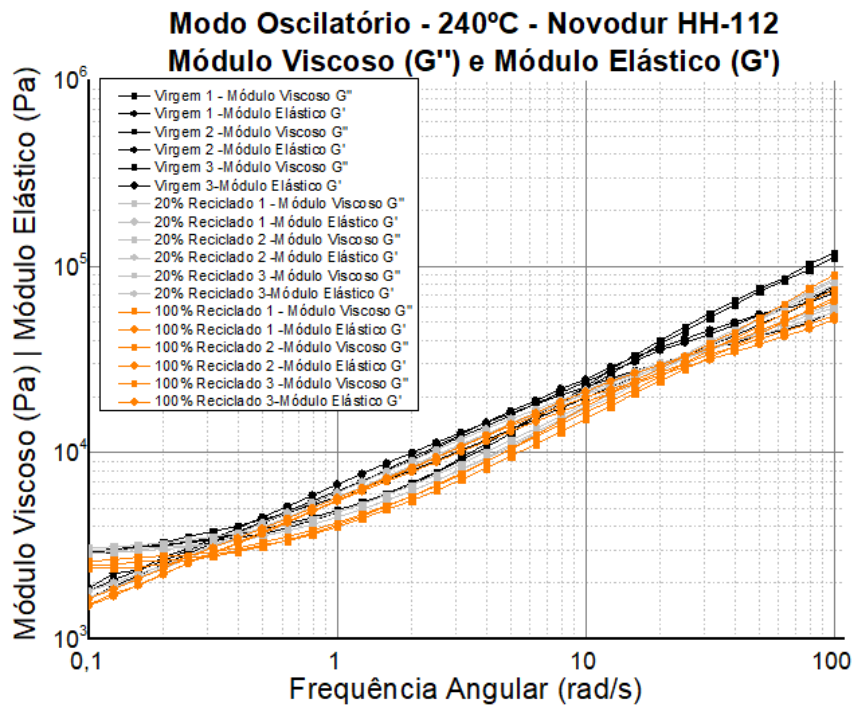


Figura C.10 - Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para o discos de Novodur HH-112.

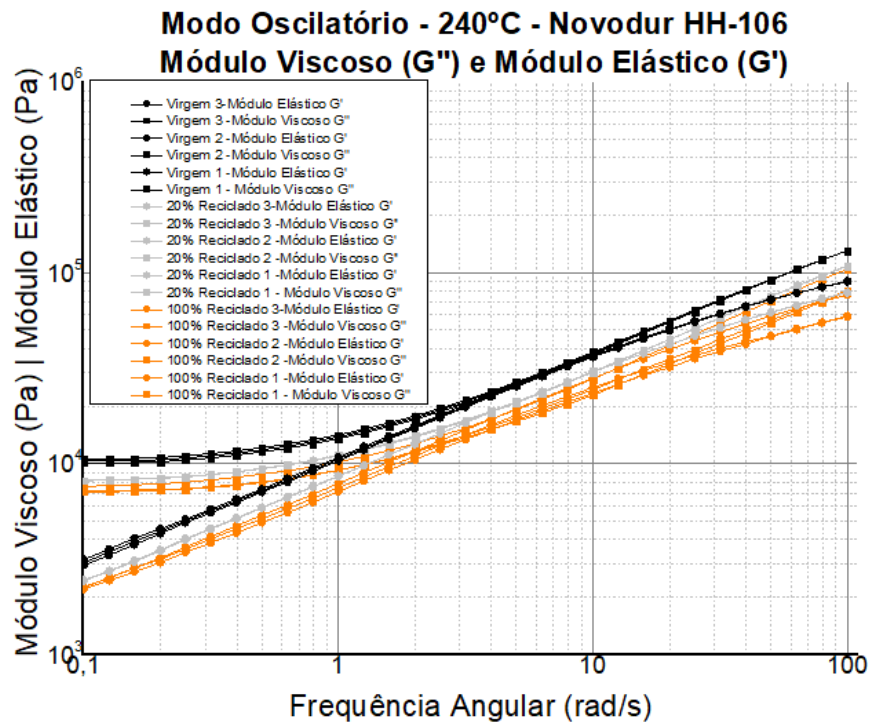


Figura C.11 - Módulo Elástico (G') e Módulo Viscoso (G'') em função da frequência angular (rad/s) obtidos em modo oscilatório, para o discos de Novodur HH-106.

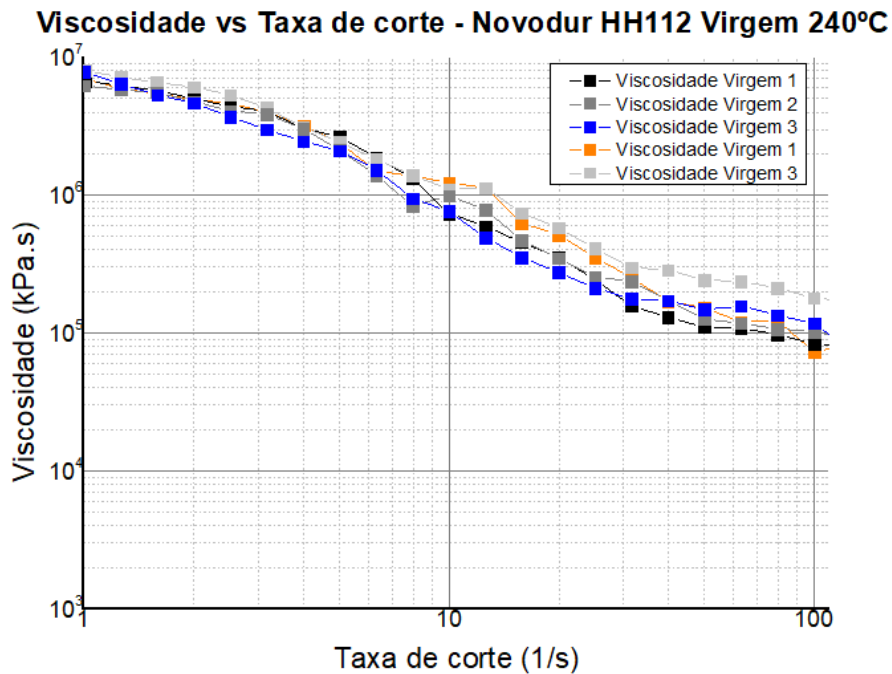


Figura C.12 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 Virgem

Viscosidade vs Taxa de corte - Novodur HH112 20% Reciclado 240°C

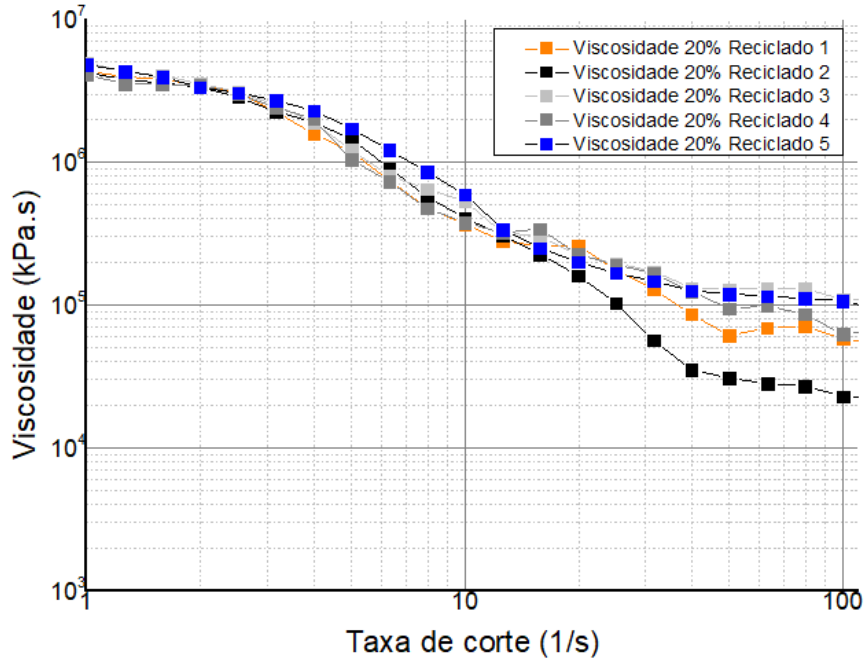


Figura C.13 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 com 20% de Reciclado

Viscosidade vs Taxa de corte - Novodur HH112 100% Reciclado 240°C

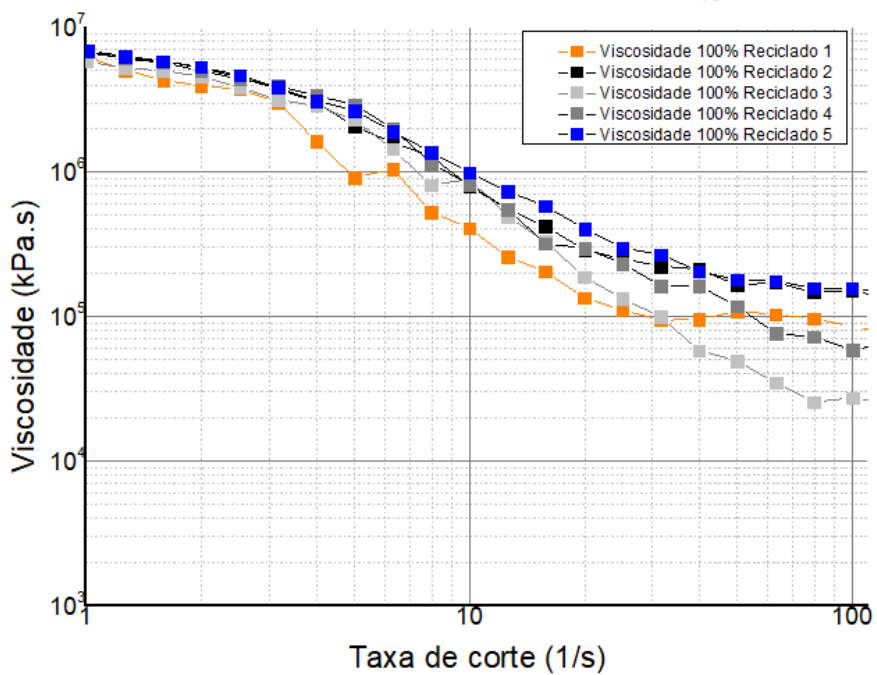


Figura C.14 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-112 com 100% de Reciclado

Viscosidade vs Taxa de corte - Novodur HH106 Virgem - 240°C

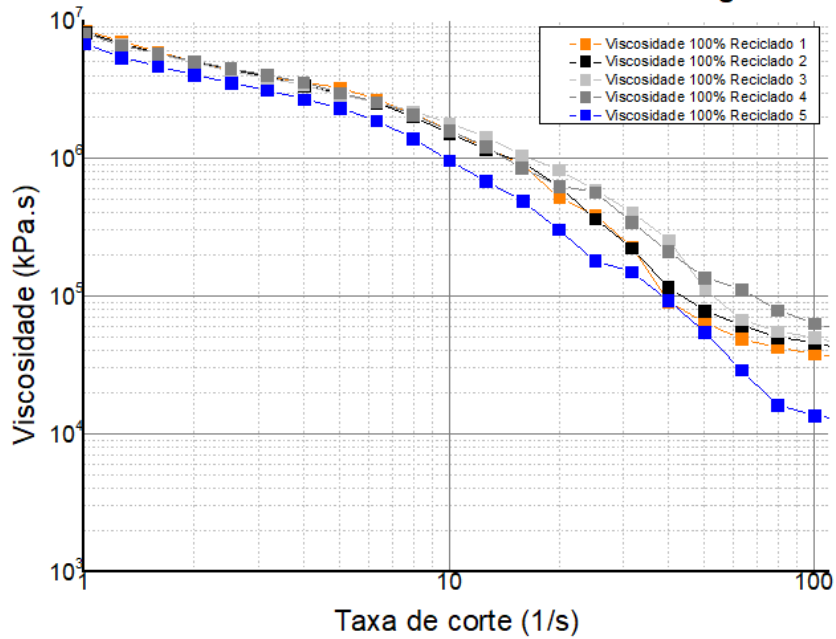


Figura C.15 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 Virgem

Viscosidade vs Taxa de corte - Novodur HH106 20% Reciclado - 240°C

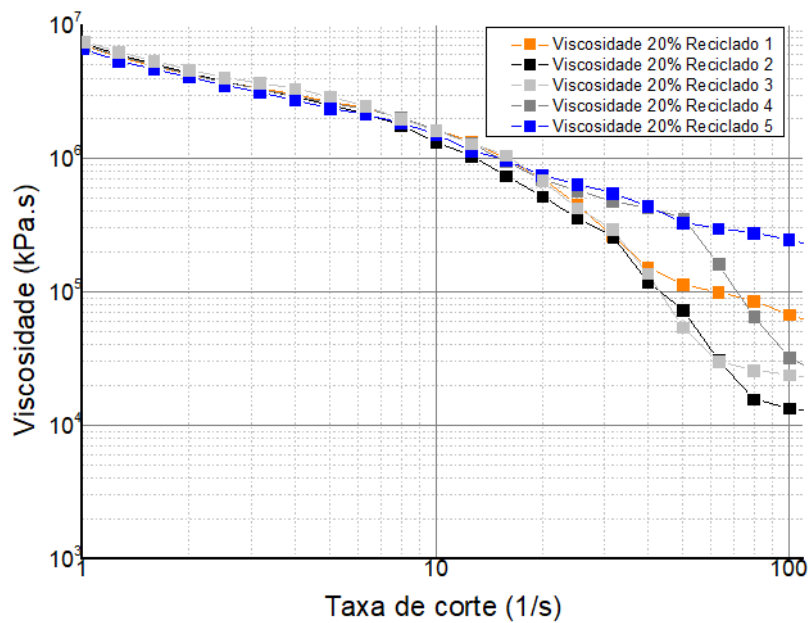


Figura C.16 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 com 20% de Reciclado

Viscosidade vs Taxa de corte - Novodur HH106 100% Reciclado - 240°C

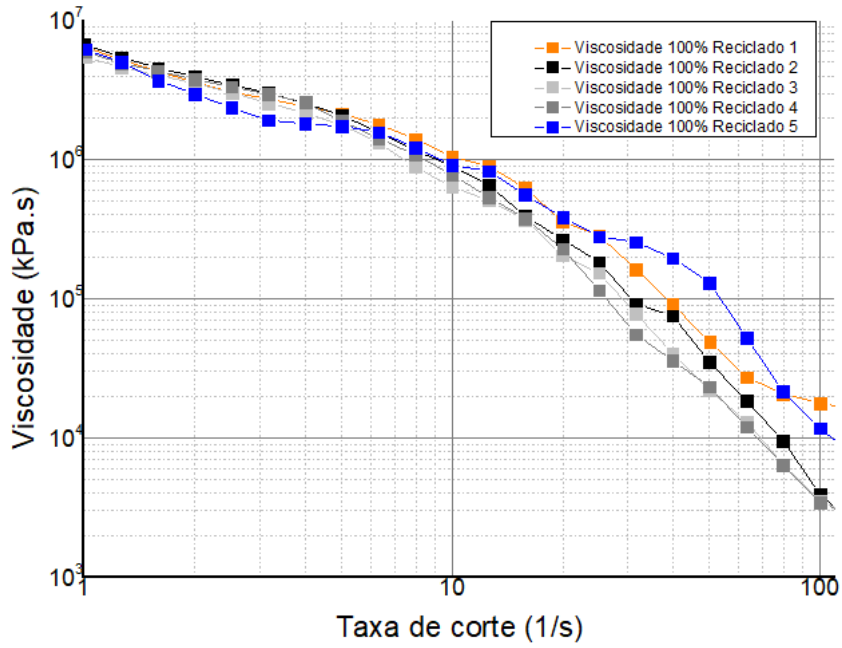


Figura C.17 - Viscosidade (mPa.s) em função da taxa de corte (1/s), obtida em modo estacionário para os discos de Novodur HH-106 com 100% de Reciclado



