

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Geraldo Flávio Ximenes Ladeira

**ESTUDO DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO
POLIPROPILENO EM FUNÇÃO DO ACRÉSCIMO PERCENTUAL DE FIBRA DE
VIDRO**

Belo Horizonte

2018

Geraldo Flávio Ximenes Ladeira

**ESTUDO DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO
POLIPROPILENO EM FUNÇÃO DO ACRÉSCIMO PERCENTUAL DE FIBRA DE
VIDRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação e Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Gilmar Cordeiro da Silva

Belo Horizonte

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

L154e Ladeira, Geraldo Flávio Ximenes
Estudo da variação das propriedades mecânicas do polipropileno em função do acréscimo percentual de fibra de vidro / Geraldo Flávio Ximenes Ladeira. Belo Horizonte, 2018.
140 f. : il.

Orientador: Gilmar Cordeiro da Silva
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

1. Compósitos poliméricos. 2. Polipropileno - Propriedades mecânicas. 3. Fibras de vidro. 4. Moldagem por injeção de plástico. 5. Resistência de materiais. I. Silva, Gilmar Cordeiro da. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

SIB PUC MINAS

CDU: 620.17

Ficha catalográfica elaborada por Rosane Alves Martins da Silva – CRB 6/2971

Geraldo Flavio Ximenes Ladeira

**ESTUDO DA VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO
POLIPROPILENO EM FUNÇÃO DO ACRÉSCIMO PERCENTUAL DE FIBRA DE
VIDRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação e Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC Minas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Gilmar Cordeiro da Silva – PUC-Minas (Orientador)

Prof. Dr. José Rubens Gonçalves Carneiro – PUC-Minas

Prof. Dr. Pedro Américo Almeida Magalhães Júnior – PUC-Minas

Prof. Dr. Hermano Nascimento Júnior – FCA

Belo Horizonte, 21 de março de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao IPUC – Instituto Politécnico da Universidade Católica de Minas Gerais por ter aceitado, permitido e apoiado, pelo seus diretores e liderança, a realização deste trabalho de mestrado.

Ao corpo docente e funcionários desta Instituição que em nenhum momento negou auxílio quando foram solicitados.

Agradeço também aos Colegas que durante o curso estiveram apoiando, colaborando e incentivando até a finalização deste trabalho.

Às Empresas que colaboraram e permitiram a execução de testes Chrysler Automóveis Brasil Ltda., Liderplast, Oilcheck, Petropol Indústria e Comércio de Polímeros Ltda. e Willtec Industrial.

A Dra. Elizângela de Souza Prado da Silva que muito ajudou na elaboração desta dissertação.

Ao meu filho Yan que também me ajudou muito, especialmente na solução dos mistérios da informática.

Ao Professor, Orientador e Amigo José Rubens Gonçalves Carneiro que me encaminhou na direção da escolha do tema e me acompanhou durante os primeiros meses.

Ao Aluno, Colega, Professor, Coordenador e Orientador Gilmar Cordeiro da Silva que com excelência me acompanhou e ajudou nos momentos finais deste trabalho.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta pesquisa e que por algum motivo não os tenha citado.

A todos aqueles que torceram e oraram por mim.

Em especial à minha querida esposa Lilian que me apoiou durante esta caminhada e venceu comigo as batalhas travadas nesse período.

E acima de tudo a D'us pois “Aquele que é capaz de fazer infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou pensamos, de acordo com o seu poder que atua em nós, a Ele seja a glória na Igreja e em Cristo Jesus, por todas as gerações e para todo sempre! Amém!” Efésios 3.20:21.

RESUMO

Peças fabricadas com polímeros de alto desempenho, tem sido substituídas por materiais similares, sendo produzidas com uma composição de polipropileno (PP), que tem um custo mais baixo. Uma das composições mais comumente utilizadas é a junção do polipropileno com fibras, resultando na formação de um novo produto, com características diferentes às dos seus constituintes. Este tipo de junção é denominado compósito. O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento do compósito de polipropileno com fibra de vidro para a substituição do material da carcaça de um elemento filtrante fabricado atualmente com um compósito de nylon e fibra de vidro na proporção de 30% em peso. Foram injetados corpos de prova usando PP puro e com cargas de fibra de vidro FV nas proporções de 15%, 20% e 30%. A análise de comportamento, através de ensaio de tração, flexão, resistência ao impacto, e determinação do índice de contração indicou o compósito PP com 30% de fibra de vidro com melhor comportamento. Posteriormente realizou-se a injeção da carcaça do elemento filtrante no compósito PP com 30% de fibra de vidro que passou por testes práticos realizados na empresa OILCHEK, que emitiu laudo técnico de aprovação. Simultaneamente, nesse trabalho, foi também feita a avaliação da performance do molde recentemente adquirido pelo IPUC, bem como a verificação dos valores estabelecidos em norma técnica para a confecção do laudo de recebimento e entrega do molde de Injeção plástica.

Palavras-chave: Compósito, Polipropileno. Fibra de vidro. Injeção plástica. Elemento filtrante.

ABSTRACT

Parts made from high performance polymers have been replaced by similar materials, produced with a polypropylene (PP) composition, with a lower cost. One of the most commonly used compositions is made by the the joining of polypropylene with fibers, resulting in a new product with different characteristics from those of its constituents. This type of joint is called composite. The objective of this study is to evaluate the behavior of the fiberglass polypropylene composite for the replacement of the housing material of a filter element which is currently manufactured with a nylon and glass fiber composite in the proportion of 30% by weight. Test specimens was injected by using PP pure and as well as with 15%, 20% and 30% fiberglass loads, for behavior analysis through tensile test, flexural strength, impact strength, and determination of contraction rate. After the injection in the composite with best behavior, PP 30% fiberglass, the filter element housing was subjected practical tests to be carried out at OILCHECK company. Simultaneously, this work also evaluated the performance of the mold recently acquired by IPUC, as well as the verify of the values established according to the technical standard norms in order to prepare an official report of receipt and delivery of the plastic injection mold.

Keywords: Composite. Polypropylene. Fiberglass. Plastic injection. Filter element.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Monômero propileno.....	32
FIGURA 2 – Esquema de polimerização do polipropileno	33
FIGURA 3 – Representação do polipropileno isotático	33
FIGURA 4 – Representação do polipropileno sindiotático	34
FIGURA 5 – Representação do polipropileno atático.....	34
FIGURA 6 – Deformação em matriz envolvendo uma fibra sujeita a tração	40
FIGURA 7 – Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas, (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente	41
FIGURA 8 – Método de deposição manual para a moldagem de materiais compósitos de matriz plástica reforçada por fibra.	42
FIGURA 9 – Método de pulverização ou spray	43
FIGURA 10 – Processo de auto clave em embalagem a vácuo	44
FIGURA 11 – Arranjos unidirecional e multidirecional em compósito do tipo laminado, com várias camadas.....	44
FIGURA 12 – Processo de enrolamento de fio para fabricação de materiais compósitos.....	45
FIGURA 13 – Processo de pultrusão para a fabricação de materiais compósitos	46
FIGURA 14 – Representação gráfica do ciclo completo de injeção.....	47
FIGURA 15 – Momento de Plastificação.....	48
FIGURA 16 – Injeção do material plástico fundido.....	48
FIGURA 17- Abertura do molde e extração do produto	49
FIGURA 18 – Partes principais de uma injetora termoplástica	50
FIGURA 19 – Curva esquemática tensão-deformação em tração para um polímero semicristalino	53
FIGURA 20 – Influência da temperatura sobre as características tensão-deformação do polimetil metacrilato.....	54
FIGURA 21 – Ensaio de flexão em três pontos.....	54
FIGURA 22 – Ensaio de flexão em quatro pontos	55
FIGURA 23 – Representação esquemática: (a) equipamento de ensaio; (b) corpos de prova Charpy e Izod.....	56
FIGURA 24 – Representação esquemática dos anéis “anti-by-passing” montados na carcaça do filtro.....	59

FIGURA 25 – Vista superior do elemento filtrante já enrolado e montado na carcaça.	59
FIGURA 26 – Ilustração do local de possível formação de canais.....	60
FIGURA 27 – Montagem do disco de apoio central internamente na carcaça.....	61
FIGURA 28 – Substituição do cartucho	61
FIGURA 29 - Fluxograma	72
FIGURA 30 – Espectrômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIRThermo Nicolet Nexus 470.....	73
FIGURA 31 – DSC(Calorimetria Exploratória Diferencial-Fluxo de calor) SC2920 Modulated DSC – TA Instruments.....	74
FIGURA 32 – Analisador termogravimétrico Hi-Res TGA 2950 Thermogravimetric Analyser – TA Instruments.....	74
FIGURA 33 – Fotografia molde de Injeção: (a) molde fechado e caixas contendo os postigos, (b) postigo intercambiável do corpo de prova para teste de tração e (c) postigo intercambiável do corpo de prova para teste de impacto.	75
FIGURA 34 – Fotografia do postigo para injeção do corpo de prova para tração.	76
FIGURA 35 – Região de mensuramento de dureza distante da cavidade. (a) Vista lateral em relação ao durômetro, (b) vista frontal em relação o durômetro.	76
FIGURA 36 – Injetora Sinitron utilizada para a injeção dos corpos de prova.....	78
FIGURA 37 – (a) Vista lateral da estufa e (b) Vista de frente da estufa.....	78
FIGURA 38 – Expurga do material antes da injeção.....	78
FIGURA 39 – Fotografia da resina de PP com fibra para injeção dos CPs	83
FIGURA 40 – Região de medição de dureza próxima da cavidade.	86
FIGURA 41 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP puro.....	97
FIGURA 42 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 15% FV	98
FIGURA 43 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 20% FV	99
FIGURA 44 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 30% FV	100
FIGURA 45 - Curvas tensão x deformação média PP e Nylon a 23 °C- ASTM ..	101
FIGURA 46 – Limite de resistência a tração dos CP's de polipropileno e de nylon	102

FIGURA 47 – (a) Corpos de prova PP puro sem romper e (b) Corpo de prova rompido	103
FIGURA 48 – (a) Corpos de prova PP com 15% sem romper e (b) Corpo de prova PP 15% rompido	103
FIGURA 49 – (a) Corpos de prova PP com 20% sem romper e (b) Corpo de prova PP 20% rompido	103
FIGURA 50 – (a) Corpos de prova PP com 30% sem romper e (b) Corpo de prova PP 30% rompido	104
FIGURA 51 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP puro com (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.	104
FIGURA 52 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 15% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.	105
FIGURA 53 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 20% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.	105
FIGURA 54 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 30% de... 105 fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.	105
FIGURA 55 – (a) Micrografia da superfície da fratura do CP em Nylon com 30% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes, (b) aumento de 250 vezes.	106
FIGURA 56 – Corpo de prova submetido a ensaio de flexão	107
FIGURA 57 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP puro	107
FIGURA 58 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 15% de FV.....	108
FIGURA 59 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 20% de FV.....	108
FIGURA 60 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 30% de FV.....	109
FIGURA 61 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PA com 30% de FV.....	109
FIGURA 62 – Gráfico de resistência ao impacto Izod em função	111
da % de fibra de vidro	111
FIGURA 63 – (a) Molde da carcaça do elemento filtrante montada na injetora, (b) Molde aberto para a extração da peça de dentro da cavidade	112
FIGURA 64 - Carcaça Injetada em PP com 30% FV.	113
FIGURA 65 – (a) -carcaça com discos de apoio e o elemento filtrante, (b) elemento filtrante sendo montado na carcaça.....	114
FIGURA 66 – Carcaça do elemento filtrante em PP/30%FV em equipamento de testes	115

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Composição química típica de fibras de vidro comerciais (SiO ₂ : sílica; Al ₂ O ₃ : óxido de alumínio; CaO: óxido de cálcio; B ₂ O ₃ : óxido bórico; MgO: óxido de magnésio).....	37
TABELA 2 – Caracterização dos Corpos de Prova Injetados	84
TABELA 3 – Resultados da Termogravimetria.....	84
TABELA 4 – Valores de Rugosidade Superficial nas cavidades dos postigos de tração, fadiga, flexão e impacto.....	85
TABELA 5 – Valores de microdureza Vickers em região distante da cavidade do postigo de impacto	86
TABELA 6 – Valores de dureza Vickers em região próxima da cavidade no postigo de impacto tração, flexão e fadiga.....	87
TABELA 7 – Valores de microdureza Vickers em região próxima da cavidade no postigo de impacto, tração, flexão e fadiga	88
TABELA 8 – Valores medidos na esfera padrão da máquina	89
TABELA 9 – Avaliação da incerteza de medição	90
TABELA 10 – Polipropileno puro - Medição dos corpos prova em milímetros	92
TABELA 11 – Polipropileno/15% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros	93
TABELA 12 – Polipropileno/20% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros	94
TABELA 13 – Polipropileno/30% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros	95
TABELA 14 – Influência da concentração da fibra de vidro na resistência ao impacto Izod.	110
TABELA 15 – Valores comparativos do processamento do nylon/30%FV e do PP/30%FV.....	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Ácido acrílico (Agente de acoplamento)
ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
APTMS	Aminopropyl trimethoxylane
ASTM	American Society for Testing and Materials
CKD	Complete Knock-Down
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DIN	Deutsche Industrie Normen
EPDM-g-AM	Elastômero de etileno-propileno com anidrido maleico
FOD	Fiber Orientation Distribution
FS ₅	25% de APTMS – FV tipo E
FV	Fibra de vidro
FV/PP	Fibra de vidro / polipropileno
GF type E	Fibras de vidro tipo E
J	Joules
LGFP	Compósitos de polipropileno com fibras de vidro longas
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MAO	Metilaluminoxano
PA	Poliamida (Nylon ®)
PE	Polietileno
PE-g-AA	Polietileno com ácido acrílico
PE-g-AM	Polietileno com anidrido maleico
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PP/FV	Polipropileno / Fibra de Vidro
PP-g-AA	Polipropileno com ácido acrílico
PP-g-AM	Polipropileno com anidrido maleico
PP-g-MAH	Polipropileno com anidrido maleico
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Cloreto de vinila

SAN

Poliestireno-acrilonitrila

SEM

Scanning électron microscope

sgf PP

Short glass fiber PP

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
g/cm ³	Grama por centímetro cubico
C ₃ H ₆	Monômero propileno
TiCl ₃	Triclorêto de titânio
(CH ₃ CH ₂) ₃ Al	Trietilaluminio
aC	Antes de Cristo
S	S-glass-Strength
R	R-glass-Strength
SiO ₂	Sistema dióxido de silício
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
MgO	Óxido de magnésio
E	E-glass
CaO	Óxido de cálcio
B ₂ O ₃	Óxido bórico
µm	Micrômetro
m ² /g	Metro quadrado por grama
mm	Milímetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 Justificativa	29
1.2 Objetivo geral	30
1.2.1 <i>Objetivos específicos</i>	30
2 FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA	31
2.1 Polímeros	31
2.1.1 <i>Materiais Elastômeros, termofixos e termoplásticos</i>	31
2.2 Polipropileno	32
2.3 Fibra de Vidro	36
2.4 Compósitos	39
2.5 Processos para a obtenção de materiais compósitos reforçados por fibra 42	
2.5.1 <i>Processo de deposição manual</i>	42
2.5.2 <i>Processos em molde fechado</i>	46
2.5.2.1 <i>Processo de pultrusão contínua</i>	46
2.5.2.2 <i>Moldagem por injeção plástica</i>	47
2.6 Ensaio mecânicos em materiais termoplásticos	52
2.6.1 <i>Ensaio de tração</i>	52
2.6.2 <i>Ensaio de flexão</i>	54
2.6.3 <i>Ensaio de impacto</i>	55
2.6.4 <i>Ensaio de teor de carga</i>	57
2.6.5 <i>Ensaio de espectroscopia por infravermelho</i>	57
2.7 Carcaça do filtro FTA	58
2.7.1 <i>Passagem indevida do combustível/óleo (By-passing)</i>	58
2.7.2 <i>Queda de Alta Pressão (Aplicações de combustível)</i>	59
2.7.3 <i>Criação de canais</i>	60
2.7.4 <i>Migração de elemento filtrante</i>	60
2.7.5 <i>Substituição do cartucho</i>	61
3 ESTADO DA ARTE	62
4 METODOLOGIA	72
4.1 Etapa preparatória	73
4.1.1 <i>Aquisição da matéria prima</i>	73
4.1.2 <i>Caracterização do Material</i>	73
4.1.3 <i>Molde de injeção dos corpos de prova</i>	75
4.1.3.1 <i>Medição da rugosidade superficial do molde de injeção</i>	75
4.1.3.2 <i>Medição da dureza superficial do molde de injeção</i>	76
4.2 Injeção dos corpos de prova	77
4.2.1 <i>Confecção dos corpos de prova</i>	77
4.2.2 <i>Medição dos corpos de prova</i>	79
4.3 Ensaio mecânicos e análises	79
4.3.1 <i>Ensaio de tração</i>	79
4.3.2 <i>Ensaio de flexão</i>	80
4.3.3 <i>Ensaio de impacto</i>	80
4.3.4 <i>Ensaio de termogravimetria</i>	81
4.3.5 <i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	81
4.3.6 <i>Injeção da Carcaça do elemento Filtrante</i>	82

4.3.7 Teste prático na Carcaça do elemento Filtrante.....	82
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
5.1 Resultados etapa preparatória.....	83
5.1.1 Resultados da Aquisição da matéria prima	83
5.1.2 Resultados da caracterização do Material.....	84
5.1.3 Resultados Molde de injeção dos corpos de prova.	84
5.1.3.1 Resultados Rugosidade superficial das cavidades do Molde de injeção	85
5.1.3.2 Resultados Dureza superficial do Molde de injeção	86
5.1.3.3 Resultados da avaliação dimensional das cavidades do molde de injeção...	88
5.1.3.4 Resultado Laudo. Molde de injeção entrega técnica.....	91
5.2 Resultados da Injeção dos corpos de prova	91
5.2.1 Resultados medição dos corpos de prova injetados	91
5.3 Resultados Ensaio Mecânicos	101
5.3.1 Resultado ensaio de tração.....	101
5.3.2 Resultado Microscopia eletrônica de varredura na região de fratura dos corpos de prova do ensaio de tração.	104
5.3.3 Resultados ensaio de flexão	106
5.3.4 Resultados ensaio de impacto	110
5.4 Resultados da injeção e teste prático na carcaça do elemento filtrante....	112
6 CONCLUSÃO	116
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
REFERÊNCIAS.....	118
ANEXO A – Fichas Técnicas, PP natural, PP com 15%,20% e 30% fibra de vidro	122
ANEXO B – Laudo Técnico Emitido pela Empresa OILCHECK.....	127
APÊNDICE A – Medidas das cavidades dos Postiços	128
APÊNDICE B – Gráficos dos testes de tração	132
APÊNDICE C - Tabelas dos valores no teste de flexão dos corpos de prova..	137
APÊNDICE D – Laudo Ferramenta de Injeção Plástica.	139

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia, a simples observação do trânsito nas cidades do país leva a constatação de que o número de veículos aumenta constantemente. Esta observação se confirma com os dados do DENATRAN (Departamento Nacional de Trânsito) e da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). Segundo o DENATRAN, em setembro de 2013 existiam 80.179.368 veículos licenciados no Brasil (MOL, 2014).

Segundo a ANFAVEA, que reúne empresas fabricantes de automóveis, caminhões, ônibus, máquinas agrícolas automotrizes, comerciais leves, etc., em seu balanço anual, informa que em 2013 foram produzidos ou montados (sistema CKD) um total de 3.749.418 veículos automotores entre carros (3.510.030), ônibus (40.111) e caminhões (190.304). (MOL, 2014).

É preciso levar em conta que, além do número de veículos, uma significativa quantidade de partes automotivas, que anteriormente eram fabricadas com materiais metálicos, são atualmente fabricadas com materiais poliméricos. Na década de 70, utilizava-se cerca de 30 kg. Na década de 90 este valor chegou a 180 kg e estima-se que chegue a 200 kg em veículos atuais (MOL, 2014) onde cerca da metade corresponde a compostos de polipropileno (PP). Esta substituição apresenta vantagens, além de econômicas, também vantagens técnicas como redução de peso e facilidade de moldar as peças para melhorar a estética e a aerodinâmica do veículo, permitindo a redução do consumo de combustíveis e melhora na autonomia dos mesmos. A poli (acrilonitrila-butadieno-estireno) (ABS), também vem crescendo sendo usada em peças de acabamento, painéis, carenagens de motocicletas e outras.

Em porcentagem, a participação de materiais poliméricos nos veículos evoluiu de 10% a 13% do peso total do veículo em 1990 para 20% na década de 2000 (XIAODONG, et. al. 2002).

Isto vem ocorrendo por causa da superação de limitações tecnológicas através do desenvolvimento de polímeros de alto desempenho.

Os polímeros distinguem-se entre si pelo grau da diferenciação, escala de produção e nível de consumo e por consequência no valor agregado. Podem então ser classificados em três grandes grupos:

- a) Polímeros para usos gerais (commodities);

- b) Polímeros para usos específicos (quase-commodities);
- c) Polímeros de alto desempenho (especialidades). (HEMAIS, 2003).

Polímeros tipo commodities são aqueles produzidos em alta escala, tem baixo valor agregado, não apresentam diferenciação, são utilizados para finalidades gerais e são consumidos em grandes quantidades como por exemplo o polietileno, polipropileno, poli (cloreto de vinila – PVC) e o poliestireno.

O típico polímero quase-commodities é o PET, que tem características específicas de plástico de engenharia e mercado bem direcionado, porém é produzido em grande escala. Poliamidas, ABS, SAN, poliuretano e policarbonato, também estão classificados nessa categoria.

Entre os polímeros de alto desempenho, podem ser citados o poli(óxido de metileno) (POM – Poliacetal), poli(tetrafluoretileno) (PTFE), poli (tereftalato de butileno) (PBT), poli(sulfeto de fenileno) (PPS) e polímeros líquido-cristalinos. São produtos específicos, com propriedades bem definidas e incomuns, tem alto valor agregado e são produzidos em escala menores. (HEMAIS, 2003).

No entanto, a classificação apresentada não esgota o assunto uma vez que polímeros tipo commodities, modificados ou em misturas com outros polímeros podem ter propriedades que possibilitam substituir polímeros de uso específico. Isto pode ser verificado nos diversos grades apresentados pelo polipropileno, por exemplo, que permitem o uso desse polímero em aplicações que exijam características especiais que normalmente não são encontradas em commodities (HEMAIS, 2003).

No Brasil, normalmente, peças fabricadas com polímeros de alto desempenho, são substituídas por materiais similares, feitas com composições de polipropileno, mais baratas o que fez com que as vendas deste polímero expandissem bastante.

Uma das composições mais comumente utilizadas é a junção do polipropileno com fibras, resultando na formação de um novo produto, com características diferentes as dos seus constituintes. Este tipo de junção, embora não haja definição universalmente aceita, é denominada compósito, que pode ser visto como um sistema composto de dois ou mais macro-constituintes que diferem em forma ou composição material e/ou que são essencialmente insolúveis um no outro. (OTA, 2004).

1.1 Justificativa

Fatores como custo e facilidade na obtenção da matéria prima para a fabricação de um produto obtido por processo de injeção plástica, são fundamentais na composição do preço final do produto. O nylon (Poliamida), atualmente utilizado na fabricação de algumas carcaças de elementos filtrantes, não é um material de fabricação nacional. É produzido por empresas multinacionais de grande porte tais como Basf, Du Pont, Huading Nylon Co., Borealis, Foster USA, GEBA Germany, GE Plastic USA, etc. Isto dificulta a obtenção de menores quantidades do produto bem como o estabelecimento do preço do material pois ele varia diariamente com a cotação do US\$ dólar. Já o Polipropileno (PP), objeto de estudo neste trabalho, é uma commodity nacional, encontrada mais facilmente no mercado, vendida em menores quantidades e com precificação mais baixa e mais estável.

Também deve ser levado em consideração menores ciclos de produção e menor dispêndio de insumos. O ciclo de produção de uma peça de plástico injetada, é o tempo entre o abrir a matriz e extrair a peça e a nova abertura subsequente para extrair a próxima peça. O ciclo para o Polipropileno (PP) é menor, ou seja, num tempo estabelecido, 1 hora por exemplo, produz-se mais peças.

A pressão de injeção para fabricar as peças de Polipropileno é menor que a necessária para a injeção das peças de nylon.

A temperatura de plastificação do Polipropileno é mais baixa que a necessária para plastificar o nylon.

O mercado atual é extremamente competitivo e qualquer redução de preço é da maior importância. No entanto, existe a necessidade de informações sobre as propriedades do material a ser utilizado na substituição do já existente de tal forma que não comprometa a qualidade final do produto.

Visando alcançar estes resultados na produção da carcaça de um elemento filtrante, com qualidade técnica suficiente para a substituição do material de fabricação do produto atual a um custo mais baixo, baseia-se a justificativa para este trabalho.

De uma forma mais geral, os dados obtidos neste estudo também poderão ser utilizados em outras situações similares de produção servindo como base para o desenvolvimento de novas pesquisas e desenvolvimento de outros produtos.

1.2 Objetivo geral

Avaliar e quantificar o comportamento do polipropileno em função do acréscimo percentual de fibra de vidro em substituição ao nylon com 30% de fibra de vidro utilizado na fabricação da carcaça do elemento filtrante.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Avaliar o desempenho do molde quanto ao dimensional das cavidades conforme normas dos corpos de prova, funcionamento do molde e do sistema de extração e refrigeração durante os testes práticos de injeção e executar laudo referente a entrega técnica.
- b) Produzir corpos de prova de compósitos de polipropileno com fibra de vidro a partir de um polímero comercial de PP e usando diferentes proporções de fibra de vidro;
- c) Avaliar a variação das propriedades obtidas em função das modificações promovidas no PP com a introdução dessas diferentes quantidades de fibra de vidro, através de realização de ensaios. Ensaio de tração, flexão, resistência ao impacto, dureza, índice de contração.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentado um resumo teórico sobre os assuntos estudados de forma a proporcionar embasamento ao leitor sobre as diversas áreas abordadas no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Polímeros

A palavra polímero é formada pela junção das palavras poli (muitos) e mero (unidade). No contexto “mero” é um grupo unitário de átomos ou moléculas, o qual define o arranjo característico de um polímero. Pode então ser considerado um material resultante da combinação de vários meros ou unidades repetitivas. Um material polimérico sólido pode ser considerado então aquele que contém muitas partes quimicamente ligadas para formar este sólido (Askeland; Fulay, 2008). (CANEVAROLO JR, 2006).

Os materiais poliméricos importantes na indústria são os plásticos e os elastômeros.

Os plásticos são um grande e variado grupo de materiais sintéticos processados por conformação em moldes ou fôrmas.

Os plásticos podem ser divididos em duas classes dependendo de como são ligados estruturalmente e quimicamente em materiais elastômeros, termofixos e termoplásticos (SMITH; HASHEMI, 2012).

2.1.1 Materiais Elastômeros, termofixos e termoplásticos

Os elastômeros são conhecidos como borrachas, possuem elevada deformação elástica. Quando solicitados deformam e quando retirada a carga podem retornar a sua forma original, ou seja, suas cadeias poliméricas se comportam como molas que se deformam de forma reversível. (ASKELAND; FULAY, 2008).

Os plásticos termofixos consistem de uma rede de átomos de carbono ligados covalentemente, tomam formas permanentes e não podem ser refundidos ou remoldados, pois se degradam quando reaquecidos, portanto não são recicláveis. As vezes átomos de oxigênio, nitrogênio, enxofre ou outros são também unidos por

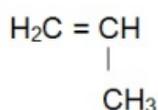
ligação covalente à estrutura dos termofixos. Apesar do termo termofixo, há muitos plásticos que se fixam ou tomam forma definitiva por meio de uma reação química mesmo à temperatura ambiente, como exemplo de plásticos termofixos se tem: Fenolformaldeído conhecido popularmente como baquelite, epóxi (araldite), poliuretano (PU) (SMITH; HASHEMI, 2012).

Os termoplásticos precisam de calor para amolecê-los e fazê-los moldáveis. Após o resfriamento mantem a forma geométrica do molde utilizado. Podem ser várias vezes reaquecidos e moldados com novas formas, com pequenas perdas das propriedades mecânicas. A maioria dos materiais termoplásticos consistem de uma longa cadeia principal de átomos de carbono. As vezes, oxigênio, nitrogênio ou átomos de enxofre estão também ligados por meio de ligações covalentes. As longas cadeias moleculares são ligadas umas as outras, por ligações secundárias. Entre os materiais termoplásticos destaca-se o polipropileno por apresentar propriedades benéficas, como baixa densidade ($0,9 \text{ g/cm}^3$), facilidade de processamento, reciclabilidade, além de baixo custo e fácil obtenção (SMITH; HASHEMI, 2012;).

2.2 Polipropileno

O polipropileno é um polímero termoplástico, semi-cristalino obtido mediante a polimerização do monômero propileno (C_3H_6) que é um subproduto do refinamento do petróleo. A Figura 1 mostra a cadeia do monômero propileno.

Figura 1- Monômero propileno



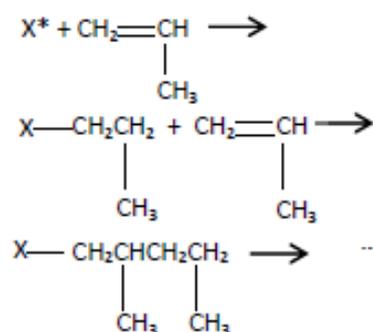
Fonte: Abiplast (2017).

O polipropileno desenvolvido nos anos 50 por Ziegler e Natta começou a ser produzido comercialmente em meados dos anos 60, desde então se tornou um dos principais materiais plásticos de uso industrial e tem sido utilizado em vários países (MANRICH, 2004; ABIPLAST, 2017). Em sua síntese, o monômero reage com um metil de transição, usualmente triclorêto de titânio (TiCl_3) e um composto

organometálico, tipicamente trietilaluminio $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_3\text{Al}$, que funcionam como catalizadores para iniciar a polimerização denotado por x, na Figura 2.

Desta maneira as moléculas de propileno podem se aderir sequencialmente a partir da reação entre o grupo metálico funcional que produz uma ligação insaturada do monômero (HERNANDEZ, 2014). A Figura 2 mostra de forma esquemática a polimerização do polipropileno.

Figura 2 – Esquema de polimerização do polipropileno

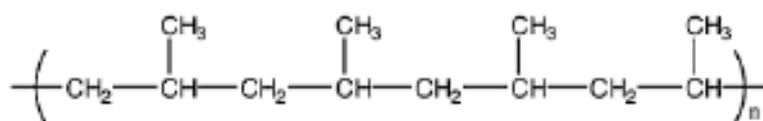


Fonte: Tokumoto (2003).

O polipropileno pode ser isotático, sindiotático ou atático, dependendo da orientação dos grupos metílicos unidos à cadeia principal.

No polipropileno isotático, a forma mais comercial, os grupos metílicos estão todos na mesma configuração e no mesmo lado da cadeia polimérica conforme pode se visualizar na Figura 3. Neste caso, os arranjos regulares e repetitivos do polipropileno isotático dão lugar a um alto grau de cristalinidade, resultando numa melhoria nas propriedades mecânicas comparadas com aquelas que apresentam as formas sindiotática e atática.

Figura 3 – Representação do polipropileno isotático

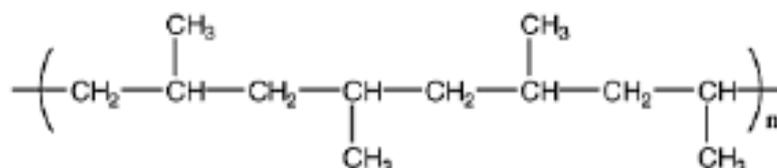


Fonte: Tokumoto (2003).

No polipropileno sindiotático, os grupos metílicos estão posicionados exatamente em configuração oposta, relativa à cadeia polimérica. A Figura 4 mostra

a representação do polipropileno sindiotático. Este material é menos rígido que o polipropileno isotático, mas tem maior resistência ao impacto.

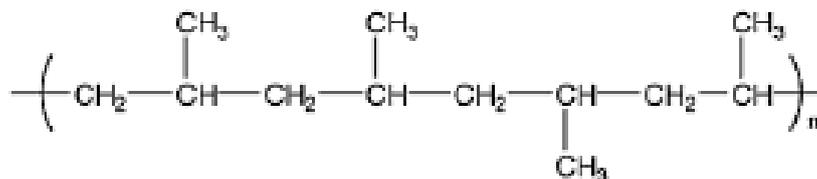
Figura 4 – Representação do polipropileno sindiotático



Fonte: Tokumoto (2003).

No polipropileno atático, os grupos metílicos tem uma orientação aleatória com relação à cadeia principal conforme Figura 5. Como consequência desta estrutura irregular, o polipropileno atático tem a mais baixa cristalinidade e resulta em um material amorfo e pegajoso, usado principalmente em adesivos.

Figura 5 – Representação do polipropileno atático



Fonte: Tokumoto (2003).

As quantidades de polipropilenos, atáticos, isotáticos e sindiotáticos são determinados pelos catalizadores utilizados e as condições de polimerização. A maioria dos polipropilenos comercializados são isotáticos e em pequenas quantidades são comercializados os polipropilenos atáticos.

As propriedades do polipropileno dependem muito da sua morfologia cristalina desenvolvida durante a sua moldagem. Assim como a morfologia, o peso molecular, a distribuição da massa molar e regularidade da cadeia (estereoregularidade) são definidas na síntese da resina, porém algumas propriedades podem ser influenciadas por cristalização do material. (HERNÁNDEZ, 2014).

O processo de recristalização à temperatura acima de 80°C, influenciam a temperatura de deflexão térmica, a resistência ao impacto, a densidade e o módulo de elasticidade. Em geral, as propriedades do polipropileno estão controladas pela

distribuição do peso molecular, o peso molecular médio, o grau da cristalinidade e a orientação das cadeias.(HERNÁNDEZ, 2014).

Por exemplo, os polímeros isotáticos, devido à grande ordem cristalina, geralmente tem alta resistência, e são quimicamente mais resistentes que os polímeros atáticos. Os polímeros isotáticos comerciais têm um ponto de fusão que varia entre 160°C e 166°C, dependendo do grau de cristalinidade do material. Um polipropileno sindiotático apresenta temperaturas de fusão em torno de 130°C. (HERNÁNDEZ, 2014).

As temperaturas de uso comum do polipropileno estão geralmente entre a temperatura de transição vítrea e a temperatura de fusão, o que explica a resistência e a rigidez devida a região cristalina em combinação com a tenacidade da parte amorfa a estas temperaturas. (HERNÁNDEZ, 2014).

O polipropileno apresenta outras propriedades benéficas, como baixa densidade (0,9g/cm³), facilidade de processamento, reciclabilidade, além de baixo custo e fácil obtenção devido ser um material muito versátil.

Considera-se como desvantagens sua relativa alta temperatura de transição vítrea, o que permite que se torne frágil e quebradiço a temperaturas menores que 5°C. Por exemplo, para o polipropileno isotático esta temperatura é cerca de 0°C.

Comercialmente o polipropileno é produzido como copolímero e homopolímero, dependendo das propriedades desejadas. Os copolímeros são utilizados para aplicações em que se quer reduzir a temperatura de fusão ou nas que se requer maior resistência ao impacto à baixas temperaturas, uma vez que também reduzem a temperatura de transição vítrea, já o homopolímero contém apenas monômeros de propileno na cadeia, os quais garantem rigidez e tenacidade mas tem menos resistência ao impacto e a baixas temperaturas. (HERNÁNDEZ, 2014).

O polipropileno copolímero tem dois ou mais diferentes tipos de monômeros na cadeia, comumente se copolimeriza com etileno. Os tipos de polipropileno copolímero são: aleatório ou random e de blocos.

No polipropileno copolímero aleatório ou random a copolimerização com etileno é feita de modo a dificultar a cristalização do material, conseguindo-se deste modo aumentar não só a resistência ao impacto mas também a transparência e o brilho dos produtos. A rigidez e a resistência a temperatura são em regra inferiores

às do copolímero de blocos. O copolímero aleatório ou random é utilizado em garrafas, embalagens para produtos flexíveis.

Os copolímeros de bloco são utilizados principalmente onde se requer mais resistência ao impacto, como aplicações automotivas. (HERNÁNDEZ, 2014).

2.3 Fibra de Vidro

A produção de fibra de vidro teve início na antiga Síria, Grécia e Egito, aproximadamente em 250 aC. Artesãos começaram a produzir as fibras através de uma vara de vidro aquecida e aplicada sobre a superfície de produtos acabados. Comercialmente teve desenvolvimento a partir do final do ano de 1939, durante a 2ª guerra mundial, com o intuito de fornecer rigidez e leveza aos equipamentos de guerra.(OTA, 2004).

A fibra de vidro é um compósito filamentosos de finíssimos fios de vidro, agregados através de resinas, silicones, fenóis e outros compostos solúveis em solventes orgânicos. Pode conter também alguns componentes como óxidos de potássio, ferro, cálcio e alumínio. (PAIVA, 2008).

A fibra de vidro, industrialmente é obtida a partir do vidro em estado líquido, no momento em que a sílica (areia), está derretida, numa temperatura de cerca de 1600°C. Então o líquido sofre um resfriamento a alta velocidade quando o controle térmico e cinético favorece a obtenção de fios de diâmetros e tamanhos desejados, fazendo passar o líquido por finíssimos e regulares orifícios de platina.

Existem muitos grupos de vidros, por exemplo, a sílica, o exinitrito e o fosfato, porém a sílica é o mais importante para uso em compósitos. (MATTHEWS; RAWLINGS, 1999). A fibra de vidro S (S-glass-Strength) ou tipo R na Europa, é baseada no sistema dióxido de silício (SiO_2), óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de magnésio (MgO). Essa fibra tem maior resistência em relação a fibra do tipo E (MATTHEWS; RAWLINGS,1999). A Tabela 1 apresenta a composição química típica de fibras de vidro comerciais.

Tabela 1 - Composição química típica de fibras de vidro comerciais.
(SiO₂: sílica; Al₂O₃: óxido de alumínio; CaO: óxido de cálcio; B₂O₃: óxido bórico; MgO: óxido de magnésio)

Tipo "E"	Tipo "S"
SiO ₂ -54,5%	SiO ₂ – 64,0%
Al ₂ O ₃ - 14,5%	Al ₂ O ₃ – 26,0%
CaO - 17,0%	MgO- 10%
B ₂ O ₃ –8,5%	–

Fonte: Saliba Júnior, (2003).

Nota-se que as fibras de vidro são silicatos com conteúdo de agentes modificadores que são usados visando a redução das temperaturas necessárias para atingir viscosidades altas o suficiente para produzir fibras. As fibras tipo "S" são mais resistentes ao contato com a água por possuírem maiores conteúdos de sílica e alumina, mas tem custos mais elevados. (SALIBA JÚNIOR, 2003).

Fibras de vidro geralmente possuem 5-20µm de diâmetro e suas superfícies não são livres de falhas. Quando os compósitos são processados, as fibras se tornam mais curtas, especialmente no caso de moldagem por injeção na qual uma grande tensão é aplicada para injetar o material polimérico.

Com a finalidade de atingir um nível de tensão máxima na fibra, o comprimento da fibra de vidro deve ser maior ou igual ao valor crítico, conhecido como comprimento crítico da fibra (L_c), cujo o comprimento pode ser calculado a partir da Equação (1) (THOMASON, 2002):

$$L_c = \frac{S_F \times D}{2 \times t} \quad (1)$$

Onde: S_F é a resistência da fibra; D é o diâmetro da fibra e t é a resistência interfacial.

Quando o comprimento da fibra for menor, igual ou maior que o comprimento crítico, podem ocorrer as situações descritas a seguir (THOMASON, 2002):

Se $L < L_c$: a tensão nunca atinge um valor suficiente para quebrar a fibra e outros mecanismos como a ruptura da matriz e o arrancamento da fibra (pull-out) irão ocorrer.

Se $L = L_c$: neste caso o pico de tensão pode atingir a tensão de fratura da fibra em seu centro.

Se $L > L_c$: o pico de tensão é aplicado na parte central da fibra, podendo ocorrer fratura da mesma.

Entre as desvantagens das fibras de vidro, podem-se citar: baixo módulo de elasticidade (quando comparado com outras fibras), elevada sensibilidade a defeitos de manuseio, maior densidade (quando comparado a de outras fibras), entre outras. E, quando em contato com ambiente aquoso, apresentam degradação superficial, representada pela lixiviação de seus componentes móveis (cálcio, magnésio, alumínio, etc.) (THOMASON, 2002). Este material resiste à ação de gases corrosivos presentes no ar, à ação de agentes químicos porém não resiste à ação do ácido fluorídrico que ataca o vidro pois apresenta o mais eletronegativo dos elementos químicos em sua composição (flúor).

As fibras para isolamento acústico e térmico são usadas em residências, comércio e indústrias. São utilizadas também em filtros para gases e líquidos. Juntamente com o polietileno e polipropileno forma um material resistente para a fabricação de tanques e containers. É também utilizada em peças de decoração, utilidades domésticas e em bonecos e réplicas. As fibras de reforço são usadas nas indústrias de transporte (automotiva, marinha, aeroespacial e ferroviária), eletrônica (placas de circuito, surrounds para equipamentos de audiovisual), lâminas dos moinhos de vento e em substituição ao aço em reforços de concreto. (FERNANDES, 2004).

As características e propriedades das fibras de vidro curtas (THOMASON, 2002) são:

- a) Diâmetro médio: 12 a 15 μm ;
- b) Área superficial específica: 0,16 m^2/g ;
- c) Comprimento: de 4mm (picadas) e de 0,3mm (moídas);
- d) Ponto de fusão: $>1700^\circ\text{C}$;
- e) Umidade: máx. 0,1%;
- f) Perda ao fogo: máx. 0,1%;
- g) Densidade específica: 2,65 g/cm^3 ;
- h) Cor: branco translúcido.

Nos compósitos de matriz plástica reforçadas com fibra de vidro, as seguintes características se apresentam: elevado quociente entre resistência e peso, boa estabilidade, boa resistência ao calor, à umidade e à corrosão. Facilidade de

fabricação e custo relativamente baixo. Por isso é de longe o reforço mais utilizado. (KEMERICH et al., 2013).

No entanto, a fibra de vidro exige um manuseio cuidadoso, pois pode causar danos à saúde. Quem trabalha com esse material deve usar máscara, luvas e roupas especiais em virtude das partículas que são liberadas virem provocar irritações na pele, olhos e aparelho respiratório.

2.4 Compósitos

Compósitos são de uma maneira sucinta materiais multifásicos. Estas fases são quimicamente diferentes e estão separadas por uma interfase distinta, sendo uma denominada matriz e as outras fases denominadas fases de reforço (partículas, fibras ou estruturais).

Embora os materiais compostos já fossem utilizados há muitos anos atrás, tais como tijolos de argila reforçados com palha, como os produzidos no Egito pelos Hebreus, escravos até a época de Moises, os compósitos só se tornaram, na verdade, uma nova classe de materiais, a partir dos meados do século XX.

Estes materiais apresentam propriedades que não podem ser atendidas, por nenhum material naturalmente encontrado, embora materiais compósitos ocorram na natureza, como por exemplo, a madeira, os ossos, os dentes e outros. Compósitos são materiais que foram desenvolvidos com propriedades específicas para utilização em áreas do transporte, aeroespacial, esporte, etc. Materiais que precisam por exemplo serem rígidos, não serem corroídos com facilidade, sejam resistentes à abrasão, tenazes, resistente às condições ambientais e a temperaturas elevadas, etc. Há portanto hoje, um grande espaço a ser ocupado por materiais compósitos, exibindo as propriedades das fases constituintes. É, no entanto, preciso alcançar um equilíbrio das propriedades dos materiais componentes.

Os compósitos são, portanto, materiais obtidos artificialmente, produzindo uma outra geração de materiais extraordinários.

Muitos materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases. Uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase denominada fase dispersa (fase de reforço). As propriedades do compósito dependem das propriedades das fases constituintes, das quantidades relativas de cada fase e da geometria (forma, tamanho, distribuição, orientação das partículas) da fase dispersa.

A classificação dos materiais compósitos evidencia três divisões principais:

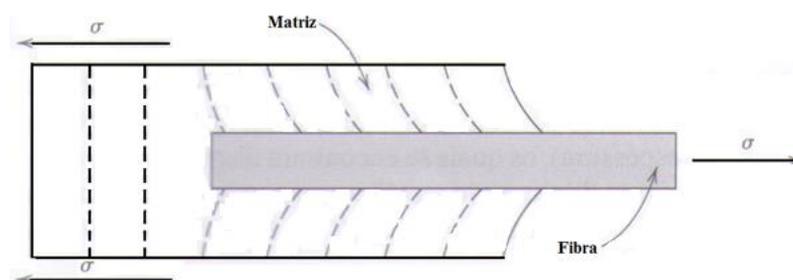
- a) Compósitos reforçados com partículas
- b) Compósitos estruturais
- c) Compósitos reforçados com fibras

Os compósitos reforçados com partículas podem ser reforçados com partículas grandes ou reforçados por dispersão. O concreto é um tipo de compósito com partículas grandes. É um agregado de partículas, ligadas umas a outras pelo cimento. O tamanho das partículas é normalmente maior nos compósitos com partículas grandes, e as características mecânicas são melhoradas pela ação do reforço. Uma melhor resistência se obtém com partículas pequenas que inibem o movimento das discordâncias na fase dispersa. (CALLISTER; RETHWISCH, 2014).

Os compósitos reforçados com fibras são tecnologicamente os mais importantes. Buscam com maior frequência alta rigidez e resistência em relação ao peso, ou seja, razões entre o limite de resistência à tração e o peso específico, e entre o módulo de elasticidade e o peso específico.

De acordo com Callister e Rethwisch, (2014) as características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não depende só das propriedades da fibra, mas também do grau segundo o qual uma carga que está sendo aplicada é transmitida para as fibras pela fase matriz. A dimensão da ligação entre as fases, fibra e matriz, tem importância na extensão dessa transferência de carga. Quando se aplica tensão, a ligação fibra matriz cessa nas extremidades da fibra, como mostrado esquematicamente na Figura 6, ou seja, não existe transmissão de carga pela matriz em cada uma das extremidades da fibra.

Figura 6 – Deformação em matriz envolvendo uma fibra sujeita a tração



Callister; Rethwisch, (2014, p. 570).

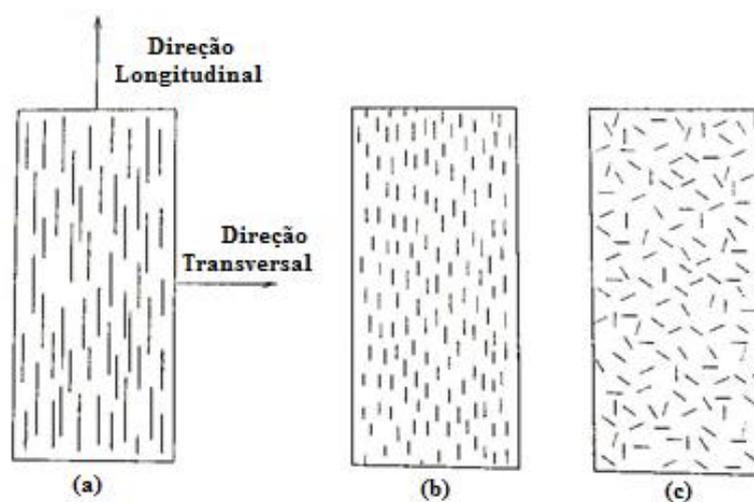
É necessário um comprimento crítico da fibra, para haver aumento real na resistência e na rigidez de um material compósito. O comprimento crítico é determinado pela Equação 1, mostrada no item 2.3. Este comprimento crítico é da ordem de 1 mm, o que é de 20 a 150 vezes o diâmetro da fibra.

O arranjo ou a orientação das fibras, a sua concentração e a distribuição, apresentam uma influência significativa sobre a resistência e outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras.

Com base no comprimento e na orientação das fibras, são possíveis três tipos diferentes de compósitos:

- a) Fibras contínuas e alinhadas (Figura 7(a)), onde são altamente anisotrópicas as propriedades mecânicas. A resistência e o reforço são máximos na direção do alinhamento das fibras e mínimos na direção perpendicular a elas.
- b) Fibras descontínuas e alinhadas (Figura 7(b)). É possível alcançar rigidez e resistência importantes na região longitudinal
- c) Fibras descontínuas dispersas (Figura 7(c)). Apesar de limitações na eficiência do reforço as propriedades são isotrópicas

Figura 7 – Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas, (b) descontínuas e alinhadas, e (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente



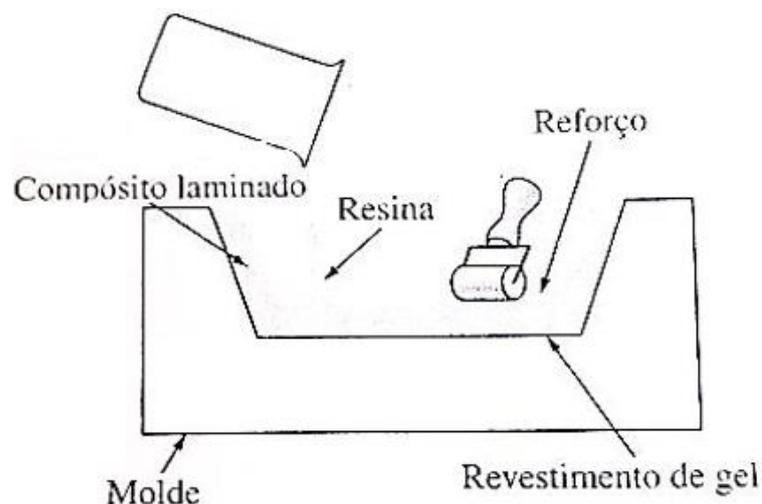
2.5 Processos para a obtenção de materiais compósitos reforçados por fibra

Existem vários métodos para a obtenção de produtos em molde aberto e fechado que são usados na produção de plásticos reforçados com fibras

2.5.1 Processo de deposição manual

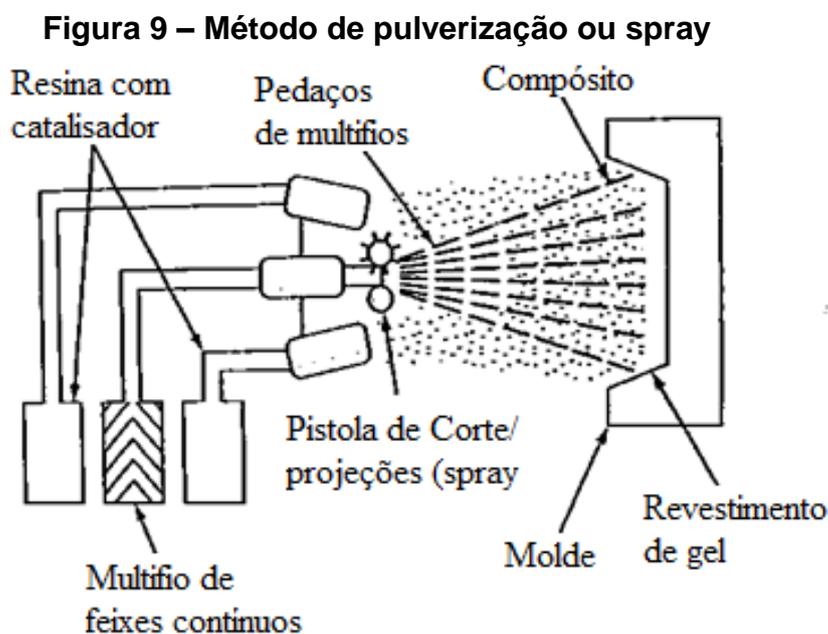
a) Na fabricação de uma peça usando o processo manual com fibra de vidro e plástico (poliéster), aplica-se primeiro um revestimento de gel ao molde aberto. O reforço de fibras de vidro, que consiste normalmente num tecido ou manta, é então colocado manualmente no molde. A resina plástica misturada aos catalizadores e aceleradores é então aplicada com a ajuda de um pincel grosso, ou pulverizada. Usando-se rolos, faz-se com que a resina molhe completamente o reforço, removendo todo o ar que possa ter ficado preso. Para aumentar a espessura da parede da peça que está sendo produzida adiciona-se mais camadas de manta ou tecidos de fibra de vidro e resina. Este método é utilizado para fabricar cascos de barcos, coberturas, tanques, painéis para construção, etc. A Figura 8 mostra o método de deposição manual.

Figura 8 – Método de deposição manual para a moldagem de materiais compósitos de matriz plástica reforçada por fibra.



Smith; Hashemi, (2012, p. 463).

- b) Processo de spray: o método de pulverização ou spray (Figura 9), para a fabricação de placas ou camadas em plástico reforçados por fibras, é semelhante ao método manual, e pode ter a mesma utilidade para obtenção de cascos de barcos, banheiras e outras formas de médio e grande tamanho. Se for usada fibra de vidro, o processo consiste na deposição simultânea, sobre o molde, de pedaços de feixes de fibras, usando-se uma pistola de corte e projeção e aplicação de spray de resina com catalizadores. A camada depositada sobre o molde passa, em seguida, por um processo de densificação, por meio da passagem de um rolo promovendo a remoção do ar que ficar prisioneiro e assegurando a impregnação das fibras de reforço pela resina. Aplicando-se mais camadas obtém-se uma espessura maior até alcançar a espessura desejada. A cura pode ser acelerada por aquecimento moderado, ou então à temperatura ambiente.

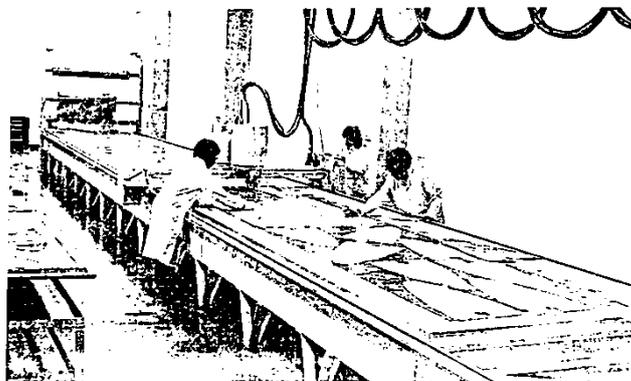


Smith; Hashemi, (2012, p. 463).

- c) Processo de auto clave em embalagem a vácuo: são mais utilizados na fabricação de peças de alto desempenho, geralmente em sistemas de fibra-resina epóxi em produtos aeronáuticos e aeroespaciais. Nesse processo, uma folha fina e comprida com largura de até 1,5m, do material

pré-impregnado, de fibra de carbono-resina epóxi, é colocada sobre uma mesa comprida, conforme ilustra Figura 10.

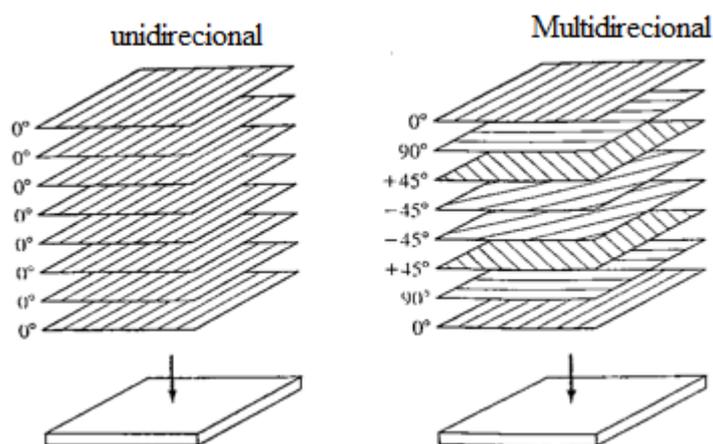
Figura 10 – Processo de auto clave em embalagem a vácuo



Smith; Hashemi, (2012, p. 464).

Em seguida a folha de pré-impregnado, é cortada em peças que são colocadas umas sobre as outras, num molde com a forma desejada. As camadas podem ser colocadas em diferentes direções, buscando a alcançar o tipo de resistência desejado, Figura 11 ilustra as diferentes formas. A máxima resistência de cada camada encontra-se na direção paralela das fibras.

Figura 11 – Arranjos unidirecional e multidirecional em compósito do tipo laminado, com várias camadas



Smith; Hashemi, (2012, p. 458).

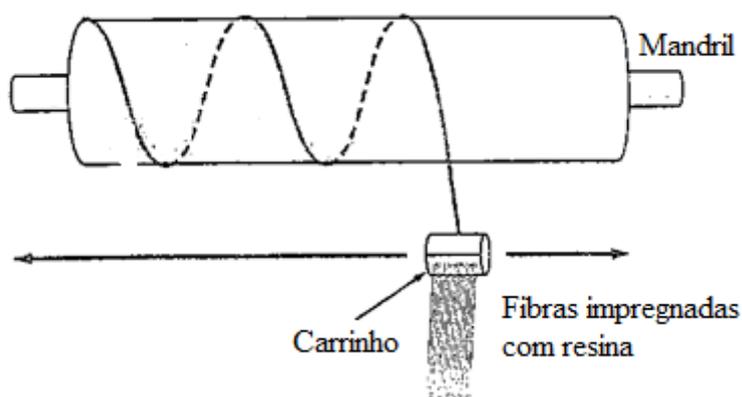
O laminado é então fechado em conjunto com o molde em uma embalagem a vácuo, removendo o ar aprisionado no interior da peça do laminado. A embalagem a

vácuo que contém o laminado e o molde, é então colocada no interior de uma autoclave para se fazer a cura final da resina epóxi.

Esse processo é utilizado principalmente na indústria aeroespacial, devido a elevada resistência mecânica, rigidez e baixo peso. É também utilizado na fabricação de asas de aviões, lemes de profundidade e de direção, e nas portas do compartimento de carga do transporte espacial, contudo como os custos são muito altos e a utilização deste processo ainda foi estendida à indústria automobilística (SMITH; HASHEMI, 2012).

- d) Processo de enrolamento de fios: o enrolamento filamental é utilizado para fabricar produtos, como tubos cilíndricos de elevada resistência, tanques de pressão, peças de motor de foguetes, etc. As fibras são enroladas em volta de uma fôrma ou mandril para desenvolver uma peça oca que pode até ter vários centímetros de espessura Figura 12. Os filamentos (fibras) podem ser imersos na resina da matriz polimérica antes do enrolamento ou a resina pode ser impregnada ao redor das fibras durante ou após o enrolamento. O processo de cura completa a produção da peça de compósito. (ASKELAND; FULAY, 2008).

Figura 12 – Processo de enrolamento de fio para fabricação de materiais compósitos



Smith; Hashemi, (2012, p. 465).

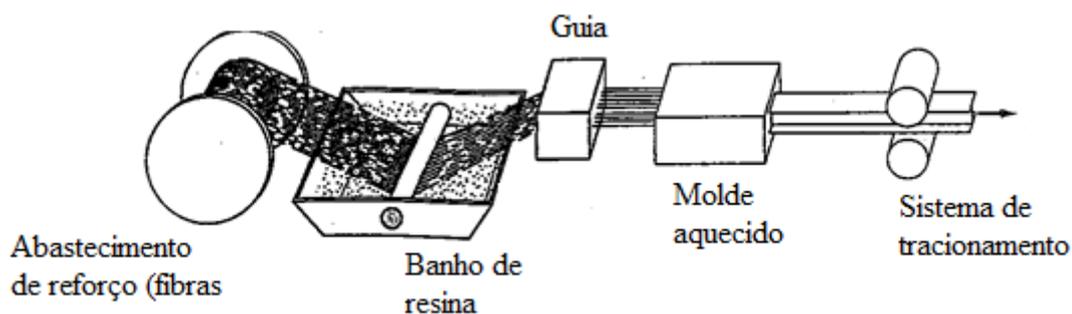
2.5.2 Processos em molde fechado

Dentre os processos que utilizam molde fechado para a obtenção de materiais plásticos reforçados por fibras destacam-se os processos de pultrusão contínua e a moldagem por injeção plástica de peças nas mais variadas formas. Ambos os processos destacam-se principalmente em termos de volume de material produzido.

2.5.2.1 Processo de pultrusão contínua

A pultrusão é utilizada para se obter formas predefinidas, com seção transversal constante como barras, placas, tubos, calhas e outras seções. Neste processo usam-se fibras contínuas que primeiramente passam por um banho de resina, e em seguida por um molde fechado aquecido que determina a forma da seção da peça final. A Figura 13 ilustra o processo.

Figura 13 – Processo de pultrusão para a fabricação de materiais compósitos



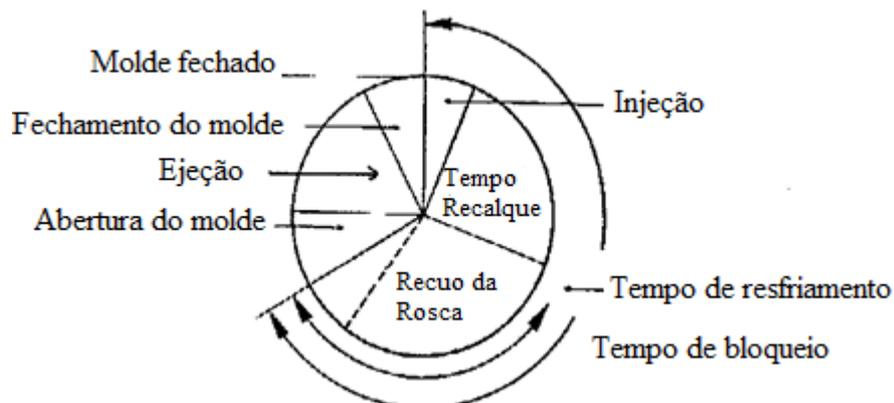
Smith; Hashemi, (2012, p. 466).

Os produtos obtidos pelo processo de pultrusão oferecem resistências mecânicas elevadas, devido à grande concentração de fibras e à sua orientação paralela ao comprimento das peças trefiladas. (Smith; Hashemi, 2012). Também o material pultrusado pode ser empregado para a fabricação de plataformas, escadas, etc., ou em seguida conformado em outros produtos, como varas de pescar, hastes de tacos de golfe, bastões de esqui, etc. (ASKELAND; FULAY, 2008).

2.5.2.2 Moldagem por injeção plástica

A moldagem por injeção plástica é um processo no qual um cilindro aquecido munido de uma rosca recíprocante, é alimentado através de um funil com material plástico em forma sólida que, sofrendo aquecimento e trabalho mecânico (cisalhamento), converte-se num material fundido homogêneo. O material fundido é então pressionado para dentro do molde, através do avanço da rosca por aplicação de uma grande força, assumindo fielmente o contorno interno do molde. Uma vez dentro do molde o material injetado, inicia-se o processo de resfriamento e uma quantidade adicional de fundido continua sendo injetado para dentro do molde para compensar a contração durante a solidificação e para atingir uma reprodução mais precisa. Uma vez alcançado o estado sólido, sob resfriamento, abre-se o molde e inicia-se a extração da peça. A Figura 14 ilustra as etapas do ciclo de moldagem.

Figura 14 – Representação gráfica do ciclo completo de injeção

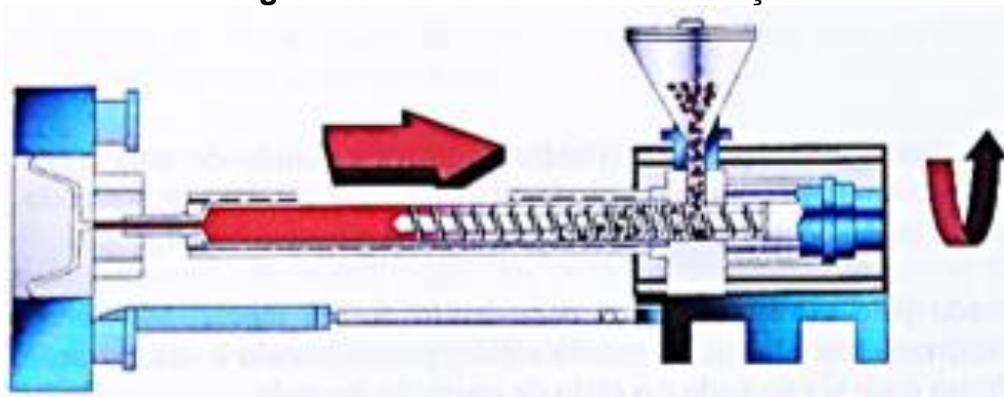


Fonte: Elaborado pelo Autor

Um ciclo completo de injeção com tempos normalmente variando entre 10s a 30s, consiste das operações:

- Dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção. Para que ocorra a dosagem e a plastificação a rosca gira e o cilindro hidráulico recua. Parte do material plástico nesse momento se desloca para a parte frontal da rosca (Figura 15).

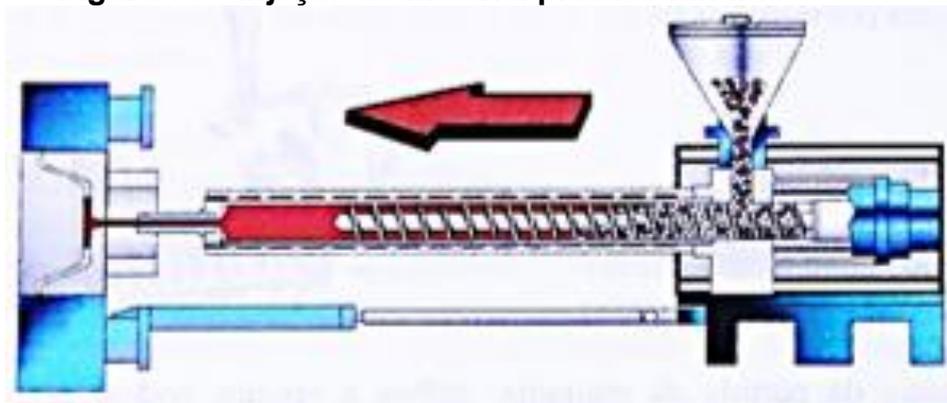
Figura 15 – Momento de Plastificação



Fonte: Martins (2016, p.126)

- b) Fusão do material até a consistência de injeção. O material é aquecido por intermédio de resistências elétricas em volta do canhão de injeção. As temperaturas são de acordo com o tipo de material a ser injetado.
- c) Injeção do material plástico fundido (Figura 16), no molde fechado, com alta pressão. Nesse momento a rosca avança por intermédio do cilindro hidráulico e empurra o plástico derretido para dentro das cavidades do molde.

Figura 16 – Injeção do material plástico fundido

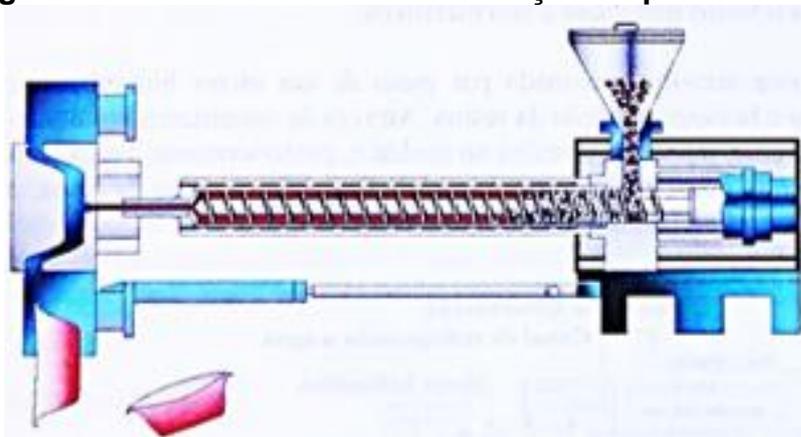


Fonte: Martins (2016, p.126).

- d) Resfriamento do material plástico até a solidificação no molde fechado. Durante esta fase deve haver um recalque (o material é mantido sobre pressão) com a finalidade apenas de suprir o encolhimento.
- e) Abertura do molde e extração do produto (Figura 17). O produto moldado já está resfriado e solidificado, o molde abre e a peça é ejetada por pinos

extratores e ou sistemas especiais de extração. O molde fecha novamente e reinicia-se o ciclo.

Figura 17- Abertura do molde e extração do produto

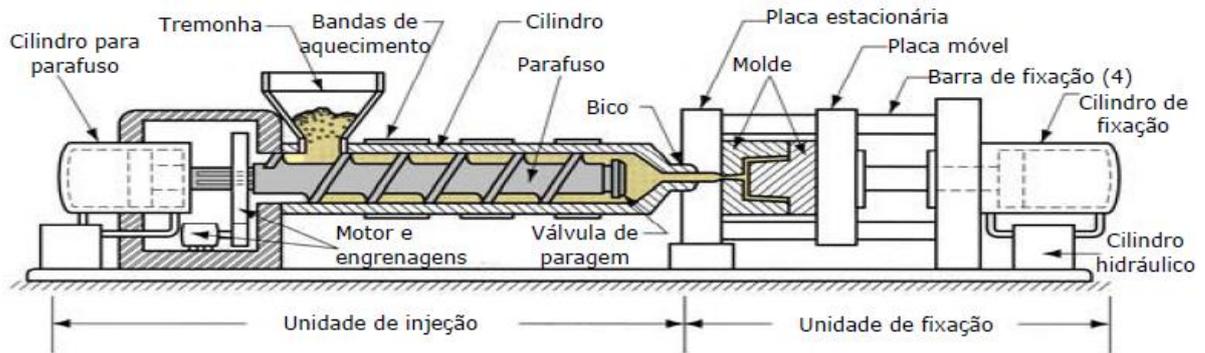


Fonte: Martins (2016, p.126).

Como ilustrado nas Figuras 15,16 e 17 percebe-se que a máquina injetora utilizada no processo possui uma rosca sem-fim que é acionada por um motor hidráulico ou elétrico, que por sua vez promove a plastificação e homogeneização da resina. Por intermédio de um sistema hidráulico (ou elétrico), a rosca move-se para frente, injetando a resina no molde e, posteriormente recua para a posição inicial girando reversamente, como se estivesse desparafusando. Durante o retorno da rosca, o cilindro é realimentado com material, reiniciando então o ciclo de trabalho.

A função da unidade de injeção é fundir o polímero e injetá-lo para dentro do molde, enquanto a função da unidade de fixação é sustentar o molde, abrir, retirar o produto final e fechar, para um novo ciclo. A Figura 18 ilustra as unidades de Injeção e fixação de demais componentes de uma injetora.

Figura 18 – Partes principais de uma injetora termoplástica



Fonte: UFBA (2004).

As principais características da moldagem por injeção são:

- Taxas de produção elevada de peças com boa precisão dimensional e custo relativamente baixo por unidade.
- Processo susceptível à automação.
- As peças fabricadas requerem pouco ou nenhum acabamento.
- Podem ser produzidas com diferentes formas, tamanhos e cores para as mais variadas aplicações.
- Refugo mínimo. As perdas resultantes da partida da máquina, galhos e rejeitos podem ser reprocessadas.
- As peças podem ser moldadas com insertos metálicos e não metálicos.

O resfriamento é a etapa que demanda maior tempo. Portanto no processo de injeção o projeto do resfriamento do molde é determinante no tempo do ciclo total.

Muitos compósitos são moldados por injeção. O método é mais usado para pequenas peças simples, porém, atualmente grandes peças como caixa de televisores e painéis de veículos e aviões, têm sido moldadas com sucesso.

Produtos sem defeito e propriedades otimizadas são obtidos:

- Utilizando-se máquinas injetoras com suficiente capacidade plástica.
- Utilizando-se moldes bem projetados e bem acabados.
- Controlando-se a uniformidade e constância da temperatura e da pressão de injeção.
- Enchendo-se rapidamente, de forma racional, as cavidades do molde.

- e) Resfriando a massa plástica das cavidades com os devidos cuidados, a fim de evitar produtos distorcidos ou com tensões internas.

O material plástico injetado, como todo qualquer outro material, (exceto a água) passando do estado líquido (ou pastoso) para o estado sólido, sofre uma contração volumétrica que pode gerar peças defeituosas. Pode-se evitar este inconveniente mantendo-se elevada a pressão de injeção durante o resfriamento. Tal pressão de sustentação é produzida pelo parafuso da injetora por intermédio da pressão de recalque. Desta maneira pode-se obter produtos sem defeitos comumente verificados, tais como bolhas e rechupes (defeitos que podem aparecer na solidificação do material). (MARTINS, 2016).

O processo de moldagem só pode ser satisfatório se houver observância correta da influência das seguintes variáveis que influem sobre a moldagem por injeção:

- a) Pressão de injeção: varia de maneira ampla, conforme o tipo de molde ou de máquina;
- b) Em geral, deve-se procurar o uso do mínimo de pressão, para a obtenção de produtos moldados, livres de defeitos internos e superficiais. Um excesso de pressão provoca, em geral, escape de material pelas juntas;
- c) Temperatura do cilindro: A temperatura é responsável pela plastificação correta ou não de material, e a temperatura do material depende não só da temperatura do cilindro, como também da velocidade com que o material passa através dele. Um aquecimento uniforme do material depende em suma, de um correto controle da temperatura do cilindro de aquecimento e do controle rigoroso do tempo e duração do ciclo;
- d) Tempo do ciclo: Deve ser o mínimo do ponto de vista econômico, porém deve estar também nos limites estabelecidos para a boa qualidade do objeto moldado. A velocidade de injeção é governada fundamentalmente pela viscosidade do material (logo, pela temperatura interna) pela pressão exercida sobre a matriz e pelo mínimo de restrições oferecidas ao fluxo de material ao longo de seu caminho;
- e) Temperatura do molde: Uma temperatura constante do molde, abaixo do ponto de amolecimento do material, é o objetivo do produtor, e isto, em

geral é obtido pela circulação de um fluido em temperatura constante através dos canais de refrigeração do molde.

2.6 Ensaios mecânicos em materiais termoplásticos

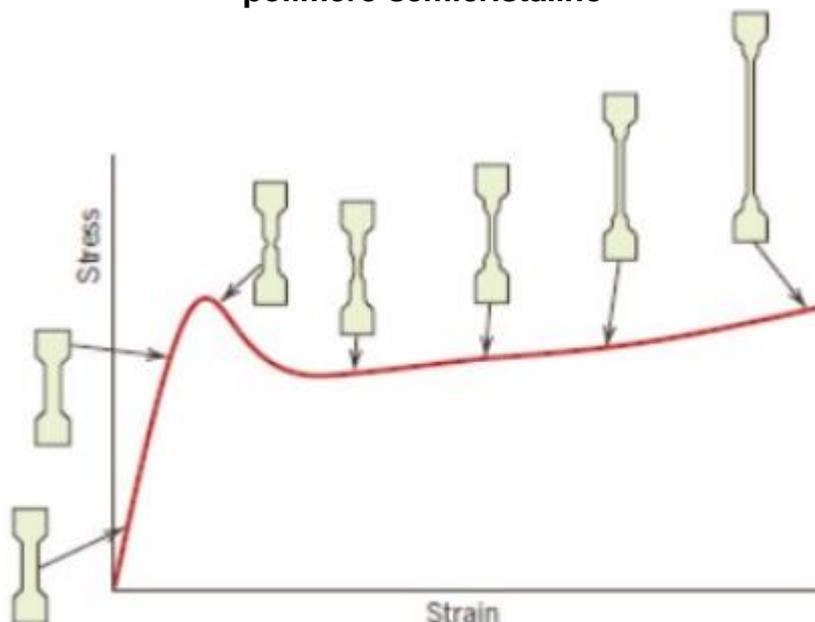
Segundo Souza, (1982), ensaios mecânicos em materiais são procedimentos padronizados que compreendem testes, gráficos e consultas a tabelas, sempre em conformidade com as normas técnicas. O estabelecimento e a publicação das normas padrões são coordenadas por sociedades profissionais, como a Sociedade Americana para Ensaios e Materiais (*ASTM – American Society for Testing and Materials*), que é a organização mais ativa nos Estados Unidos e de larga aceitação no Brasil. (CALLISTER; RETHWISCH, 2014). No Brasil, a entidade responsável pelas normas padrões é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O foco deste trabalho está nos materiais poliméricos, portanto maior destaque é dado aos ensaios mecânicos (tração, flexão, impacto, teor de carga e espectroscopia por infravermelho).

2.6.1 Ensaio de tração

No teste de tração, o corpo de prova em estudo é solicitado por uma carga externa crescente. Com os dados de carga e alongamento obtidos por intermédio da deformação do corpo de prova, uma curva tensão de engenharia versus deformação de engenharia é obtida. Consequentemente, pode se obter informações básicas de resistência e deformação. Estes ensaios são padronizados pela ASTM D638 e D882. A Figura 19 ilustra a sequência de deformação de corpo um de prova em polímero.

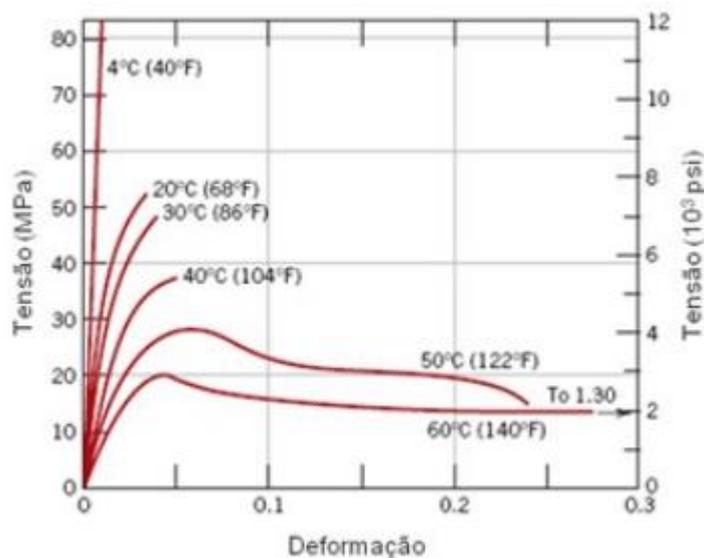
Figura 19 – Curva esquemática tensão-deformação em tração para um polímero semicristalino



Fonte: Callister; Rethwisch (2014 p.194). Adaptado pelo Autor.

As propriedades mais usadas no ensaio de tração para descrever o comportamento de um polímero são a resistência a tração, deformação até a ruptura e módulo de elasticidade ou módulo de Young. A composição do polímero, temperatura em que ocorre o teste, e a velocidade de solitação do corpo de prova podem alterar a forma e a magnitude da curva. A Figura 20 ilustra a influência da temperatura sobre as características tensão-deformação do polimetil metacrilato. Pode-se observar na Figura 20 que um aumento da temperatura produz uma diminuição no módulo de elasticidade, uma redução no limite de resistência a à tração, e uma melhora na ductilidade. A 4°C (40°F) o material é totalmente frágil, enquanto uma deformação plástica considerável é obtida tanto a 50°C como a 60°C. (CALLISTER; RETHWISCH, 2014).

Figura 20 – Influência da temperatura sobre as características tensão-deformação do polimetil metacrilato.



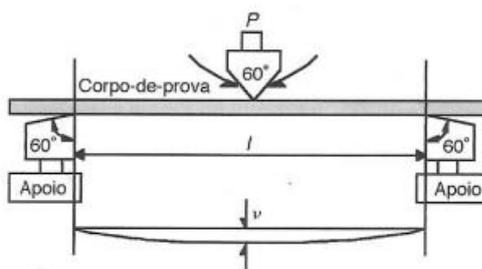
Fonte: Callister; Rethwisch, (2014 p.193). Adaptado pelo Autor.

2.6.2 Ensaio de flexão

Segundo Souza (1982), o ensaio de flexão é o teste em que há a aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra geometricamente padronizada. O valor da carga origina-se de um valor igual a zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de corpo. O ensaio é aplicado em materiais frágeis ou de alta dureza, como os cerâmicos, os metais duros, ferro fundido, aço ferramenta e os polímeros. Os ensaios de flexão dividem-se em dois tipos principais:

- Ensaio de flexão em três pontos: Nesse ensaio é utilizado uma barra bi apoiada com a adição da carga no centro da distância entre apoios ou seja, existem três pontos de carga. A Figura 21 ilustra o ensaio.

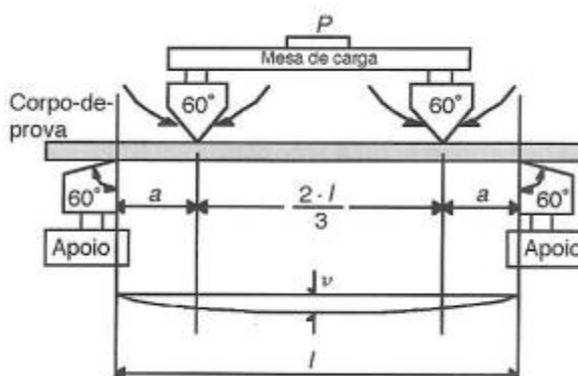
Figura 21 – Ensaio de flexão em três pontos



Fonte: Souza, (1982).

- b) Ensaio de flexão em quatro pontos: Consiste de uma barra bi apoiada com aplicação de carga em dois pontos equidistantes dos apoios. A Figura 22 ilustra o ensaio de flexão em quatro pontos.

Figura 22 – Ensaio de flexão em quatro pontos



Fonte: Souza, (1982).

Ao se aplicar um esforço numa barra bi apoiada, ocorrerá uma flexão e sua intensidade dependerá do local onde a carga for aplicada. A flexão será máxima, se a força for aplicada no centro da barra.

Em se tratando do ensaio de flexão as normas empregadas variam segundo o tipo de ensaio e também conforme o tipo de material a ser ensaiado. A Norma para fibras e compósitos é a ASTM C-78 e C-158.

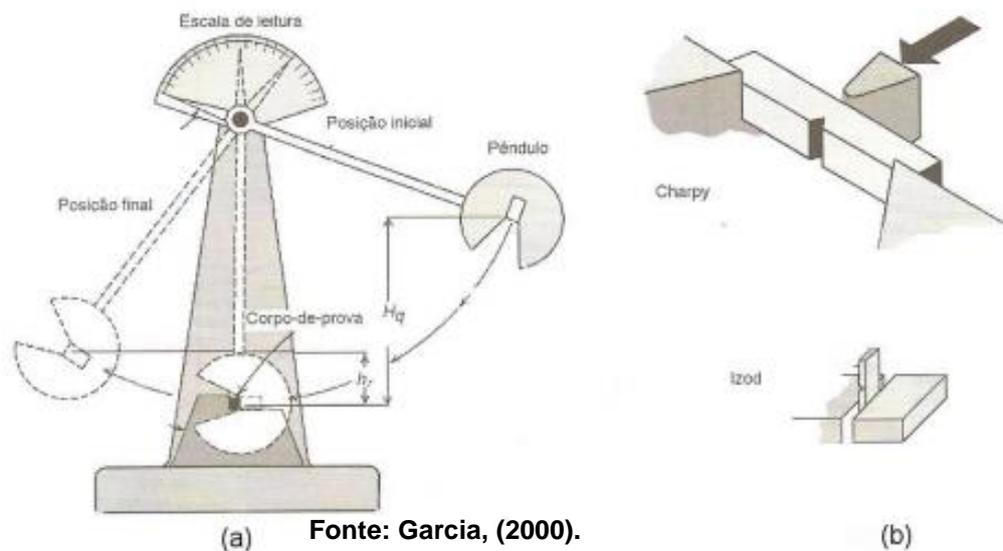
Segundo Souza (1982), os principais resultados obtidos por intermédio do ensaio de flexão são: o módulo de ruptura na flexão, o módulo de elasticidade, resiliência e tenacidade.

2.6.3 Ensaio de impacto

Segundo Souza, (1982) o ensaio de impacto trata-se de um teste dinâmico empregado para a análise da fratura frágil de materiais. O resultado do ensaio é representado por uma medida da energia absorvida pelo corpo de prova, não fornecendo indicações seguras o comportamento de toda uma estrutura em condições de serviço. Entretanto, permite a observação de diferenças de comportamento entre materiais, as quais não são observadas em um ensaio de tração. (SOUZA, 1982).

Os tipos padronizados de ensaios de impacto mais utilizados são: Charpy e Izod. Em ambos, o corpo de prova tem o formato de uma barra de seção transversal quadrada, na qual é usinado um entalhe. O equipamento de ensaio e os tipos de corpo de prova são apresentados na Figura 23.

Figura 23 – Representação esquemática: (a) equipamento de ensaio; (b) corpos de prova Charpy e Izod



A principal função dos ensaios Charpy e Izod consiste em determinar se um material apresenta ou não uma transição dúctil-frágil com o decréscimo da temperatura e, caso positivo, em que faixa de temperatura o fenômeno ocorre.

Em temperaturas mais elevadas, a energia de impacto é relativamente alta e é compatível com um modo dúctil de fratura. A medida que a temperatura diminui, a energia de impacto cai subitamente ao longo de um intervalo de temperatura pequeno (SOUZA,1982). Segundo Garcia, (2000), os requisitos essenciais para a realização do ensaio são:

- (a) Corpo de prova padronizado;
- (b) Suporte rígido no qual o corpo de prova é apoiado (teste de charpy) ou engastado (teste de izod);
- (c) Pêndulo com massa conhecida e solta de uma altura suficiente para fraturar totalmente o corpo de prova;
- (d) Um dispositivo de escala para medir as alturas antes e depois do impacto.

Variáveis como o tamanho e a forma do corpo de prova e a profundidade e configuração do entalhe influenciam o resultado dos testes. As energias de impacto são de interesse no aspecto comparativo entre diferentes materiais; entretanto, seus valores absolutos isoladamente não representam informação quantitativa das características dos materiais.

2.6.4 Ensaio de teor de carga

A determinação do teor de carga mineral incorporada ao plástico, no caso de compostos é efetuada pelo aquecimento de amostras. Nesse ensaio as temperaturas envolvidas são consideravelmente maiores. A amostra é submetida a cerca de 800°C e, nesse patamar de temperatura, quem a deixa é a própria resina. Remanescem as cargas minerais (talco, fibra de vidro, e combinações de outras substâncias), e a diferença na medida de peso permite o cálculo da porcentagem mássica inicial.

2.6.5 Ensaio de espectroscopia por infravermelho

Com a utilização do infravermelho, torna-se possível a identificação de muitos polímeros. Baseia-se na absorção de energia da região do infravermelho no espectro eletromagnético, pelas ligações internas das estruturas contidas no polímero.

Para cada material têm-se picos e depressões de absorção determinada, por exemplo, grupos: -C=O, -C-H, -C-OH, etc.

Estes picos e depressões de absorção são registrados em cartas de absorbância ou transmissão versus comprimento de onda, e com a comparação dos padrões de polímeros anteriormente determinados, torna se possível as seguintes informações: estrutura do polímero, tipos de aditivos, cristalinidade, comprimento da cadeia, orientação, degradação e muitos outros.

2.7 Carcaça do filtro FTA

Os sistemas de filtragem em profundidade da FTA (FILTER TECHNOLOGY AUSTRALIAN) utilizam um ótimo sistema de montagem interior alcançando uma excepcional qualidade de filtragem, através de unidades compactas e de fácil manutenção. O sucesso dessa tecnologia se deve à forma pela qual os óleos, combustíveis e solventes passam pelo filtro. O sistema de passagem do óleo e filtros de combustível, diferem dos sistemas convencionais de filtragem. A unidade de filtragem é bem ajustada ao núcleo central com uma tensão pré-determinada. O núcleo é então montado sob pressão em uma carcaça “Zitel^R” (Nylon). O óleo, combustível ou solvente passa então por essa unidade filtrante bem ajustada na montagem.

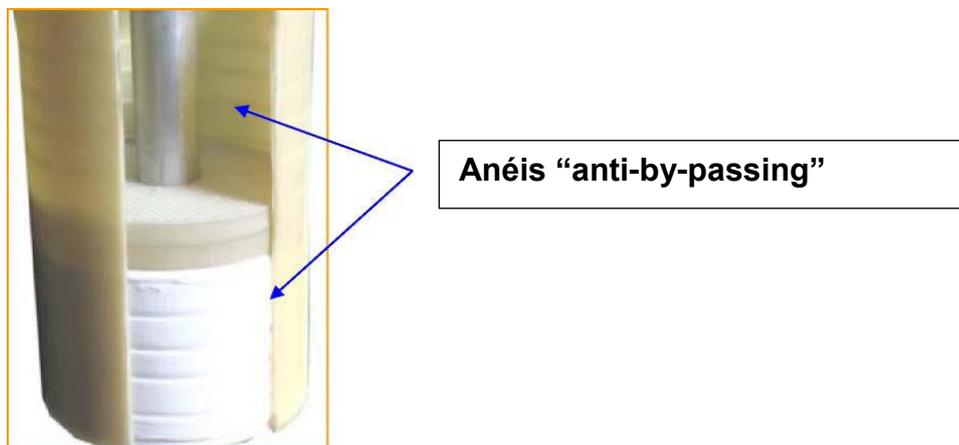
Problemas experimentados com muitos filtros de profundidade no mundo incluem: a) Passagem indevida do combustível/óleo;

- b) Queda de alta pressão. (Aplicações de combustível);
- c) Criação de canais através da malha do elemento filtrante;
- d) Migração de filamentos do elemento filtrante ou sua avaria;
- e) Dificuldade na substituição do cartucho de filtragem.

2.7.1 Passagem indevida do combustível/óleo (*By-passing*)

A passagem indevida do óleo/combustível ocorre quando a pressão através do cartucho filtrante torna-se muito alta (por bloqueamento) ou quando saturado por água. A FTA tem sido o único fabricante a incorporar anéis “anti by-passing” na carcaça do cartucho. Estes anéis patenteados, anti-passagem indevida do óleo, são montados com pressão na carcaça de nylon e evitam a passagem do diesel /óleo entre a carcaça e o cartucho do elemento filtrante. A Figura 24 mostra os anéis “anti-by-passing” na carcaça do filtro.

Figura 24 – Representação esquemática dos anéis “anti-by-passing” montados na carcaça do filtro



Fonte: Filter Technology Australian, (2016).

2.7.2 Queda de Alta Pressão (Aplicações de combustível)

O segredo para criar a melhor densidade do rolo filtrante depende de:

- a) O número de enrolamentos (voltas) no rolo;
- b) Manter a tensão correta ao enrolar o rolo filtrante, ou seja, pouco enrolamento e pouca tensão resultarão em passagem imprópria do óleo (by-passing) e criação de canais através da malha do elemento filtrante, já muitas voltas e muita tensão, resultarão em alta queda de pressão em todo o cartucho. A Figura 25 mostra a vista de superior do elemento filtrante já enrolado e montado na carcaça.

Figura 25 – Vista superior do elemento filtrante já enrolado e montado na carcaça.



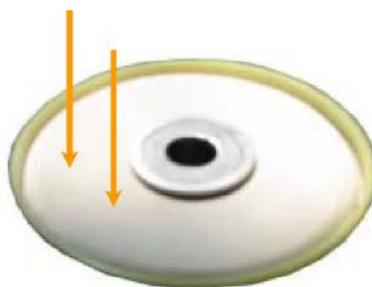
Fonte: Filter Technology Australian, (2016).

Com um ótimo número de voltas no cartucho e com uma tensão precisamente controlada, a queda de pressão através do cartucho é minimizada.

2.7.3 Criação de canais

Como descrito no item 2.7.2, pouco enrolamento e pouca tensão no rolo do elemento filtrante durante a fabricação, resultarão em passagem imprópria do óleo e criação de canais através do elemento filtrante. Canais são criados quando as voltas do enrolamento se separam e o combustível passa entre elas. Este é normalmente o caso quando há presença de água. A Figura 26 ilustra a região superior do elemento filtrante onde pode ocorrer a criação de canais caso não seja corretamente tensionado o elemento filtrante durante o seu enrolamento.

Figura 26 – Ilustração do local de possível formação de canais.



Fonte: Filter Technology Australian, (2016).

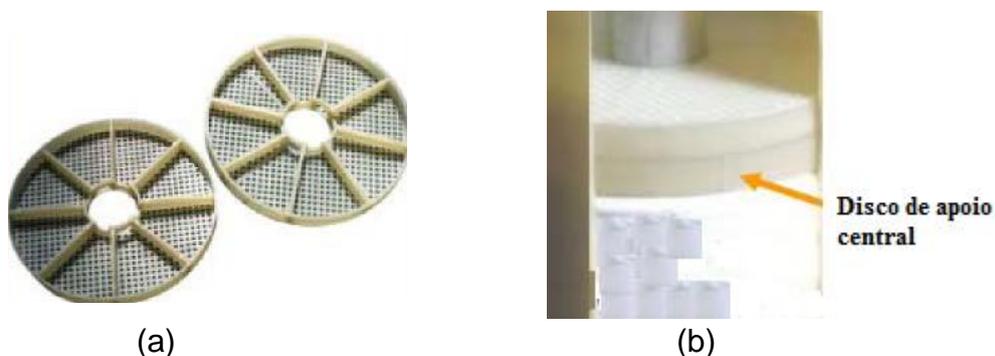
Com um ótimo número de voltas no cartucho da FTA e com uma tensão precisamente controlada, durante a fabricação do cartucho pode se garantir que a possibilidade de criação de canais seja minimizada.

2.7.4 Migração de elemento filtrante

Ocorre migração de elemento filtrante quando pedaços da malha do filtro deslocam na direção dos bicos injetores levados pelo fluido que está sendo filtrado. Este é um problema encontrado pelos operadores de todo o mundo. Isto ocorre quando o cartucho ou rolo começa a se desmanchar porque está saturado, especialmente quando existe presença de água. O projeto patenteado pela FTA incorpora um disco de apoio central que previne o rolo de desmanchar e previne que

fiapos do filtro venham a passar no sentido do fluxo e entupir os injetores. A Figura 27 (a) mostra o disco de apoio central e a figura 27 (b) mostra o disco de apoio central montado sob o elemento filtrante internamente a carcaça.

Figura 27 – Montagem do disco de apoio central internamente na carcaça



Fonte: Filter Technology Australian, (2016).

2.7.5 Substituição do cartucho

A substituição do cartucho é muito dificultada em cartuchos saturados que não tem suporte externo, ou o suporte é feito de material que pode absorver água. O cartucho incha dentro do alojamento e fica quase que impossível de ser removido. O projeto do filtro da FTA com seu recipiente de nylon (Zytel) torna este um problema do passado. O projeto inovador incorpora um inserto tubular de alumínio com comprimento total do cartucho que ainda facilita na substituição deste. A Figura 28 ilustra parte do cartucho já fora do elemento filtrante

Figura 28 – Substituição do cartucho



Fonte: Filter Technology Australian, (2016).

3 ESTADO DA ARTE

Bowen Yu et al., (2016), estudaram a resistência ao impacto dos compósitos de polipropileno/fibra de vidro. Segundo os autores, há principalmente dois mecanismos para melhorar a resistência ao impacto de um compósito polimérico: endurecimento intrínseco e extrínseco. Porém, a interação entre eles está longe de ser bem entendida.

No estudo, a fibra de vidro foi incorporada no polipropileno para promover o mecanismo de endurecimento extrínseco, enquanto a adição de elastômero e o tratamento térmico de recozimento foram utilizados para o endurecimento intrínseco. A interação entre a fibra de vidro, elastômero e recozimento, foi discutida no trabalho levando em conta várias caracterizações, e o seu efeito combinado nas propriedades dos compósitos foi determinado. Os resultados obtidos mostram que o mecanismo de endurecimento intrínseco do elastômero foi suprimido pela fibra de vidro independentemente do suporte do recozimento, portanto o recozimento pode trabalhar sinergicamente (trabalho em conjunto) com a fibra de vidro para endurecer o polipropileno. O trabalho procurou fornecer uma visão mais aprofundada sobre o comportamento do endurecimento dos compósitos de polímero e orientação prática para o projeto de compósitos com excelente equilíbrio rigidez-resistência.

Os autores chegaram à conclusão que a fibra de vidro, especialmente com seu comprimento residual maior que seu valor crítico, poderia simultaneamente aumentar a rigidez, resistência à tração e resistência ao impacto do polipropileno por transferência de carga efetiva e mecanismo de endurecimento extrínseco. O recozimento poderia trabalhar sinergicamente com a fibra de vidro, melhorando a tenacidade, independentemente do comprimento da fibra de vidro. O elastômero também pode melhorar a tenacidade dos compósitos por mecanismos de endurecimento intrínsecos sem sacrificar os mecanismos de endurecimento extrínsecos, mas sua eficiência de endurecimento será suprimida porque o efeito de endurecimento intrínseco do elastômero (com ou sem o apoio do recozimento) será perturbado pela presença de fibras de vidro.

Os resultados não deram apenas entendimento aprofundado da interação entre o mecanismo de endurecimento intrínseco e extrínseco, mas também forneceu orientação prática o projeto e produção de compósitos com excelente resistência e dureza.

A influência da natureza do agente de acoplamento (AA) e como este afeta as propriedades mecânicas do composto polipropileno/fibra de vidro (PP/FV) foram alvo de estudo dos pesquisadores Bernardes, Sakahara e Forte, (2015).

Segundo os autores para melhorar a adesão interfacial entre matriz de PP e a fibra de vidro, tem sido utilizados como agentes de acoplamento poliolefinas funcionalizadas com grupos polares. Os principais agentes de acoplamento poliméricos (AA) usados em compostos de PP e PE tem sido “grades” destes, funcionalizados com anidrido maleico (PP-g-AM e PE-g-AM), ou com ácido acrílico (PP-g-AA e PE-g-AA), assim como elastômero de etileno-propileno funcionalizado com anidrido maleico (EPDM-g-AM).

No trabalho os compostos de PP/FV modificados com AA foram processados em extrusora dupla rosca e caracterizados quanto às propriedades de impacto Izod, resistência à tração e morfologia. Teores de AA inferiores a 1,0% não tiveram efeito nas propriedades dos compostos PP/FV. O composto de PP com 30%FV e 2,0% de PP-g-AM apresentou o melhor desempenho dentre as composições, apresentando valores de propriedades superiores a 50% em comparação ao composto PP/FV. Compostos com EPDM-g-AM não apresentaram melhoria significativa se comparado ao composto sem AA, tendo tenacidade inferior à observada para os compostos com PP-g-AM. A natureza do agente de acoplamento teve influência nas propriedades mecânicas do composto PP/FV devido à interação do reforço e da matriz de PP. Estas melhorias puderam ser comprovadas pelo melhor recobrimento das fibras pela matriz, vistas na superfície de fratura. O AA PP-g-AM mostrou ser mais eficiente no incremento das propriedades mecânicas do composto PP/FV, principalmente quando utilizado um teor de 2,0%. A utilização do AA EPDM-g-AM visando tenacificar o composto, dado a sua natureza elastomérica teve menor eficiência e piora das propriedades mecânicas à medida que o teor deste aumentou no composto. Os autores chegaram a conclusão que a natureza do agente de acoplamento (AA), teve influência nas propriedades mecânicas do composto PP/FV, devido a interação do reforço e da matriz de PP. As melhorias puderam ser comprovadas pelo melhor recobrimento das fibras pela matriz, observadas na superfície de fratura. O agente de acoplamento PP-g-AM, mostrou ser mais eficiente na melhoria das propriedades mecânicas do compósito PP/FV. Melhores resultados foram obtidos num teor de 2%. A utilização do AAEPDM-g-AM, visando melhorar o compósito, teve menor eficiência

e piora das propriedades mecânicas à medida que o teor deste foi aumentando no compósito.

Youssef, et al., (2015) realizaram um estudo sobre a otimização das propriedades mecânicas do polipropileno injetado e reforçado com fibras longas. De acordo com os autores os compósitos de polipropileno reforçados com fibras de vidro longas (LGFPP) são amplamente utilizadas no campo industrial, especialmente em aplicações automotivas em função de suas excelentes propriedades mecânicas e baixo custo.

O estudo concentrou na obtenção de ótimas propriedades do LGFPP para diferentes objetivos, sendo o primeiro minimizar o uso do compósito e o segundo obter propriedades específicas, desejadas para o compósito (independentemente do custo do compósito). O último caso é útil na concepção do produto onde a qualidade do compósito não pode ser comprometida (o custo do compósito nesse caso passa a ser secundário).

As propriedades que foram otimizadas incluem módulo de elasticidade de Young, módulo de flexão de Young e teste de impacto Izod entalhado.

Modelos substitutos foram feitos e usados para prever estas propriedades como funções de correspondentes composições dos compósitos. Além disso a estrutura de otimização que emprega estes modelos, seja como restrições ou como funções objetivas, foram buscadas com o objetivo de desenvolvimento de um polipropileno, sob medida, reforçado com fibras.

Todas as simulações foram programadas usando MATLAB versão 7.10.0 (R2010a) e modelos de regressão não linear foram usados para prever propriedades mecânicas do compósito LGFPP. Também simulações foram feitas para funções com propósitos diferentes. De acordo com o resultado de minimização de custo, houve uma relação positiva entre o custo do compósito e o peso da fibra de vidro. Além disso, foi aplicado um princípio de compensação em termos de caracterização das propriedades mecânicas.

As variações entre as propriedades desejadas foram minimizadas para formar a melhor composição de compósitos, enquanto o custo ficou em plano secundário. Houve diferença no custo quando as duas funções do compósito LGFPP foi comparado, que é, a função de variância que proporcionou um custo maior devido o módulo de tensão e o módulo de flexão terem sido os principais fatores que resultaram no aumento de custo, enquanto o efeito do aumento do nível de

resistência ao impacto Izod com amostra entalhada foi em direção oposta, o que resultou na diminuição de custo.

Os autores concluíram com o estudo que projetar produtos com propriedades desejadas, usando modelagem inversa é muito vantajoso em termos de economia de tempo em comparação com realização de experiências que é muito demorado. Além disso, pode ser usado diretamente para construir um controlador onde as variáveis de entrada são incluídas no modelo. Estas variáveis de entrada podem ser tratadas como propriedades desejadas e a variável de saída é a ação dela. Portanto, quando uma nova condição é requerida, o controlador pode solicitar ao modelo para prever a ação necessária. Além disso, as simulações serão úteis em projetos de produtos onde a qualidade é mais significativa (independentemente do custo do compósito).

Maria Sonmez et al. (2015) realizaram um estudo sobre projeto e caracterização de materiais compósitos de matriz de polipropileno/fibra de vidro. No estudo os compósitos poliméricos baseados em matriz de polipropileno (PP) reforçados com fibras de vidro curtas, tipo E (GF type E) foram produzidos. Para garantir uma boa adesão interfacial e transferência de tensão através da interface, foi analisada a influência da funcionalização química das fases. A melhor adesão interfacial é assegurada pelo uso de PP alterado com anidrido maleico e fibra de vidro amino-funcionalizada.

Os materiais compósitos foram obtidos e testados do ponto de vista de composição, morfologia e propriedades mecânicas. A compatibilização das duas fases foi obtida, tratando a fibra de vidro com APTMS (aminopropyl trimethoxylane), enquanto a matriz polimérica foi misturada com 1% ou 3% de PP-g-MAH (anidrido maleico).

Pode-se concluir que a funcionalização química das duas fases é benéfica do ponto de vista da compatibilidade das fases e conseqüentemente são obtidas propriedades mecânicas superiores. A compatibilidade das duas fases aumentou muito. E baseado nas imagens SEM (scanning electron microscope) o material compósito original PP/FV-tipo E, não apresentou adesão interfacial. A melhor adesão ocorreu no caso da amostra FS₅ (contendo 25% APTMS-FV tipo E) devido a funcionalização tanto da matriz quanto do agente reforçante ocorrer com a introdução dos grupos reativos, entre os quais, ligações de hidrogênio muito fortes

podem se desenvolver. A melhor compatibilidade das fases, também induz um aumento das propriedades mecânicas destas amostras.

Já os pesquisadores Hartl, Jerabek, e Lang, (2015) verificaram o efeito da orientação da fibra, estado de tensão e raio de entalhe nas propriedades de impacto no polipropileno reforçado com fibra de vidro curta. Segundo os autores o polipropileno reforçado com fibra de vidro curta (sgf PP – short glass fiber PP) é cada vez mais utilizado na indústria automobilística, sendo as propriedades de impacto como parâmetro chave. Experimentalmente o comportamento do impacto depende fortemente da geometria da amostra, da configuração do teste bem como da temperatura, e então o método de caracterização deve ser sempre em sintonia com as condições de impacto que ocorrem na parte final. Entretanto para deduzir alguns critérios gerais de projeto, neste estudo, ampla gama de parâmetros experimentais foram investigados, especialmente focando também no efeito da regra, a distribuição local da orientação da fibra – conhecida como FOD (Fiber Orientation Distribution). Portanto, os efeitos do estado de pressão (teste de tração, punção e flexão), quantidade de concentração de tensão (raio de entalhe) e temperatura são caracterizados e discutidos. Os resultados provaram que, como o esperado, são nitidamente obtidos diferentes níveis de resistência ao impacto e diferentes dependências em entalhes e raios de entalhe para várias configurações de teste. Contudo, observam-se semelhanças na dependência da temperatura para amostras com regras de orientação de fibras semelhantes.

A resistência ao impacto de flexão e tração (entalhada e não entalhada), foi analisada em termos de dependência da média da probabilidade de orientação da fibra. Observa-se uma alteração no percurso de propagação de fissuras, com perfis planos e não planos encontrados para amostras com alta orientação das fibras, perpendicularmente à direção da carga, respectivamente. A correlação linear da energia total relacionada a verdadeira superfície recém construída e a orientação média das fibras provavelmente foi observada. O efeito da orientação da fibra sobre a dependência da temperatura, foi discutida considerando mudanças nos principais mecanismos de dissipação de energia. Com o aumento da temperatura, a resistência total do compósito e resistência ao cisalhamento da matriz são diminuídos. Para amostras com alta orientação de fibras na direção da carga este decréscimo não é suficientemente compensado por um aumento em ductilidade. Por outro lado, em amostras com alta orientação das fibras perpendicular a direção da

carga, o aumento da ductilidade na matriz causa um aumento na resistência ao impacto. Além disso, o efeito de diferentes raios de entalhe, foi caracterizado nos testes de impacto de tração. O volume da localização da deformação em função do raio de entalhe foi estudado por meio de análise de campo completo, mostrando comportamento similar para amostras com elevada orientação de fibras tanto na direção da carga como perpendicularmente a mesma. Além disso, em termos de resistência ao impacto, foram observadas dependências similares de raios de entalhe para estas duas situações de orientação. As conclusões deste artigo destacam a importância de escolher um modelo de amostra, instalação de teste e temperatura que melhor reflète as condições mais prováveis e decisivas de impacto da parte final.

Russo et al., (2013), estudaram a resposta a flexão e impacto do compósito de polipropileno e fibra de vidro. Neste trabalho testes de impacto com a queda de dardo e de flexão foram realizados em laminados a base de polipropileno reforçados com fibra de vidro. A pesquisa mostrou que a forte interface fibra/matriz obtida através de um compatibilizador aumentou o desempenho mecânico deste compósito. A adesão melhorada entre as fibras e a matriz afeta fracamente o módulo de flexão, mas influencia fortemente as propriedades finais do compósito investigado. De fato, os testes de dobra mostraram uma clara melhora na resistência à flexão para o sistema conformado, em particular quando se utilizou polipropileno de alta viscosidade/alta cristalinidade. Pelo contrário, os testes de impacto de baixa velocidade, indicaram uma dependência oposta na resistência da interface e maior absorção de energia foi detectada em compósitos não conformados. Este resultado foi explicado em termos de mecanismos de falha na interface fibra/matriz, os quais são capazes de dissipar grandes quantidades de energia através de fenômenos de fricção. As fibras de vidro se soltaram da matriz de polipropileno e foi evidenciado pela análise morfológica de superfície de fratura após falhar e tomar o lugar antes da ruptura da fibra, como confirmado pela avaliação do índice de ductilidade.

Os laminados de compósitos foram produzidos usando dois tipos de matrizes de polipropileno, diferindo por seus índices de fluidez e a estrutura das fibras de vidro. Suas propriedades de impacto estáticas foram avaliadas e comparadas com aquelas mostradas por compósitos laminados produzidos com a adição de um agente de compatibilização às matrizes. A maior quantidade da fase cristalina, detectada por análise térmica, foi responsável pelo maior módulo de flexão exibido

pelo PP de alta viscosidade em relação ao de baixa viscosidade. Esta consideração afeta também o comportamento dos laminados e pode ter uma importante contribuição sobre sua melhoria de comportamento ao impacto. O uso de compatibilizador em ambas as matrizes puras e com compósitos resultou em propriedades estruturais estáticas melhoradas, a saber, o módulo de flexão e a resistência à flexão. Enquanto o módulo de flexão foi apenas ligeiramente melhorado pela presença do compatibilizador (aumento de 3%), a resistência à flexão foi fortemente afetada, por um aumento superior a 30%, nos laminados reforçados. A resistência a flexão reduzida nos sistemas não compatibilizados, tem sido relacionada com a baixa capacidade de transferir a carga da matriz do polímero para o tecido reforçado.

Os testes de impacto de baixa velocidade, realizados por perfuração de amostras, mostraram que a interface entre a fibra e a matriz tem um papel primordial no aumento da resistência ao impacto. As curvas de força versus deflexão, mostram que os sistemas compatibilizados apresentam inclinações mais elevadas, como consequência de sua maior rigidez, mas incorrem em falhas sob forças menores em relação aos sistemas não compatibilizados. A reduzida resistência na interface entre fibras e matriz (também confirmada pela análise SEM das superfícies de fratura dos compósitos), foi responsável pela ocorrência do fenômeno de “fibras soltas”, que dissipam grande quantidade de energia através do atrito resultante dos mecanismos deslizantes. O índice de ductilidade, avaliado a partir das curvas de impacto, estabelecem que os mecanismos “dissipativos”, através do movimento relativo entre fibras e matriz foram a única razão para a melhoria da resistência ao impacto em compósitos não compatibilizados e que eles ocorreram antes da falha das fibras

Em 2012, Mariana Etcheverry e Silvia E. Barbosa, objetivaram realizar uma análise precisa dos métodos de melhoria da adesão FV/PP e propor uma nova forma baseada na polimerização “*in situ*” do PP sobre as fibras, o trabalho realizado possui o seguinte título: Melhoramento das propriedades mecânicas do polipropileno reforçado com fibra de vidro pela melhoria da adesão. Segundo as autoras Fibras de vidro são o agente de reforço mais usado em compósitos a base de polipropileno (PP), devido a um bom equilíbrio entre custo e propriedades. Entretanto, as propriedades finais são principalmente determinadas pela força e estabilidade da interface polímero-fibra. Fibras não funcionam como um material de reforço eficaz quando a adesão é fraca. Também a adesão entre fases pode ser facilmente

reduzida em condições ambientais agressivas como altas temperaturas e/ou umidade elevada e sob campos de tensão aos quais o material pode ser exposto. Muitos esforços têm sido feitos para melhorar a adesão entre polímero-fibra de vidro com melhoramento da compatibilidade.

A maioria das técnicas usadas incluem modificações na superfície do vidro, matriz polimérica ou nas duas. Entretanto, os resultados obtidos não mostram uma boa relação custo/melhoria de propriedades.

Essa nova forma, polimerização *“in situ”*, envolve a modificação das fibras com um alquil alumínio (metilaluminoxino-MAO) e hidroxí- α -olefin-[álcool(9-decen-1-ol)] e permitir o crescimento das cadeias PP utilizando copolimerização metalocênica direta. As melhorias de adesão, foram adicionalmente provadas por teste de fragmentação, bem como medição de propriedades mecânicas. A força e a tenacidade aumentam três vezes e a resistência interfacial duplica nos compósitos PP/FV preparados com *“in situ”* fibras polimerizadas.

A técnica de polimerização metalocênica *“in situ”* do polipropileno sobre a superfície da fibra de vidro, resultou num caminho promissor para aumentar a adesão no reforço entre a matriz de PP e a FV, uma vez que uma maior compatibilidade entre eles pode ser obtida. Nesse sentido as autoras relacionaram as principais conclusões do trabalho:

- a) O polipropileno PP pode ser copolimerizado na fibra de vidro utilizando catalizador metalocênico;
- b) As cadeias de polipropileno (PP) crescem a partir da superfície do vidro e melhoram a adesão através de um entrelaçamento com a matriz de polipropileno (PP) num compósito polimérico;
- c) A quantidade de PP polimerizado na fibra de vidro e a adesão interfacial parece ter ótimas condições considerando tanto a cobertura de PP quanto a força de cisalhamento interfacial medida;
- d) A resistência ao cisalhamento interfacial do compósito PP/FV, medida pelo teste de fragmentação, é consideravelmente melhorada (até um fator de 2,1) em relação ao caso de compósitos de fibra/PP não tratados;
- e) A fissura radial da matriz, desenvolvida durante os testes de fragmentação, indica a boa adesão fibra/matriz, para todas as fibras polimerizadas *“in situ”*;

- f) O polímero permanece ligado à superfície da fibra, após a fratura criogênica para todas as amostras submetidas à polimerização;
- g) Compósitos uniaxiais PP/fibra de vidro copolimerizada apresentam ductilidade e tenacidade consideravelmente maiores sem detrimento da resistência em relação aos compósitos preparados com fibras não tratadas. As propriedades melhoradas são atribuídas apenas pelo aumento da adesão causado pelo entrelaçamento molecular entre o PP/fibra de vidro modificada e PP matriz;
- h) O pré-tratamento MAO (metilaluminoxano) não modifica as propriedades mecânicas do PP/FV, uma vez que ambas as propriedades de adesão e da fibra de vidro permanecem inalteradas;
- i) Este tratamento modifica fortemente o comportamento da fratura do compósito. A descolagem da fibra de vidro da interface é o principal mecanismo dos compósitos de fibra de vidro não tratadas, enquanto o desentrelaçamento do PP é responsável pela quebra dos compósitos de fibra de vidro polimerizados.

O método de polimerização “*in situ*” é claramente uma abordagem muito boa para melhorar a compatibilidade entre fibras de vidro e polipropileno. O melhoramento da adesão bem como a melhoria das propriedades mecânicas fora demonstrado com as evidências citadas acima. Este também parece ser um método promissor para se obter PP impregnado para aumentar a performance dos compósitos de PP/FV usando-se reforços.

No ano de 1994 Freire, Monteiro e Cyrino realizaram um estudo sobre as propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. As propriedades mecânicas foram obtidas por método experimental e por modelos teóricos e os módulos de elasticidade e resistência a tração foram calculados. As proporções em peso de fibra de vidro no compósito foram de 0%,10%,20%30% e 40%. Os corpos de prova foram moldados por injeção para os testes de tração e flexão. Os resultados obtidos mostraram que os dados provenientes do modelo de Rayleigh-Maxwell para o módulo de elasticidade se aproximaram dos experimentais para um comprimento de fibra menor que o comprimento crítico para baixos teores de fibra. Quanto a resistência tração, os modelos de Cox e Kelly foram os que

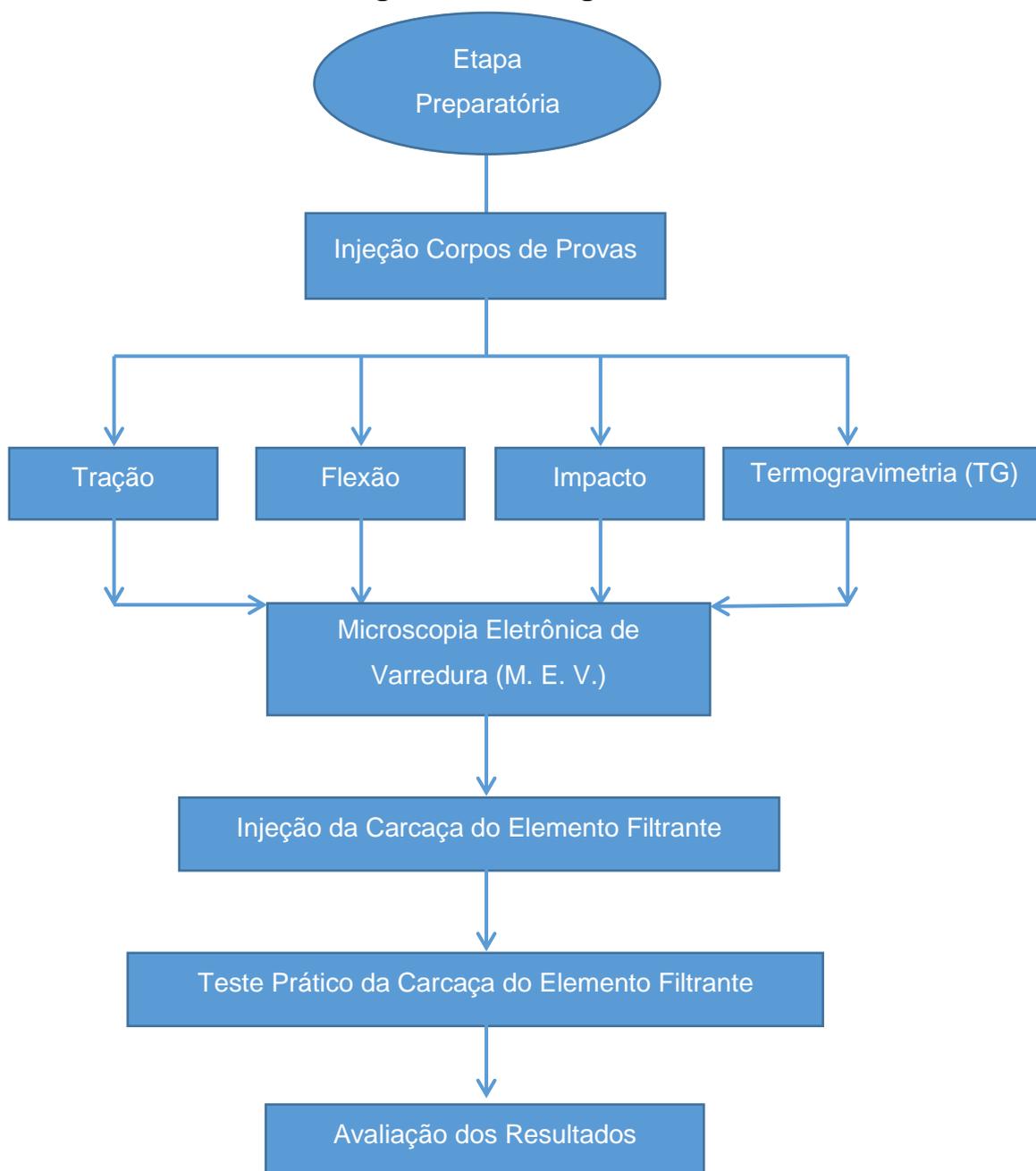
melhor corresponderam aos resultados experimentais. Os resultados da pesquisa também mostraram que a diferença dos valores de grau de cristalinidade embora não sendo marcante sofreram influência do teor de fibra nos compósitos considerados.

Em 1999 os pesquisadores Lopes e Souza avaliaram a influência do reforço polipropileno (PP) com fibra de vidro (FV). No estudo foi levado em consideração a influência das condições de processamento em uma extrusora de rosca dupla, a viscosidade da matriz polimérica e das interações interfaciais fibra-polímero em compósitos de polipropileno com 30% em peso de FV tratada com aminosilano (PP/FV30) e compatibilizante interfacial PP-g-MAH (polipropileno funcionalizado com anidro maleico). A condição otimizada de processamento que propiciou o melhor equilíbrio nas resistências a tração e ao impacto dos compósitos foi alcançada utilizando um polímero de menor viscosidade (PP20), na maior temperatura de processamento (260°C), com perfil de cisalhamento mais intenso da rosca na zona de mistura da fibra vidro e na rotação 200 rpm da rosca de extrusão. A presença do compatibilizante interfacial PP-g-MAH nos compósitos propiciou ganhos substanciais nas propriedades de resistência a tração, resistência ao impacto e deformação a ruptura, porém com a redução no módulo de elasticidade mesmo com o aumento do comprimento médio da fibra de vidro (FV). Esta combinação de propriedade é atribuída a presença de uma interfase fibra-polímero com características de alta resistência ao cisalhamento interfacial, porém mais deformável.

4 METODOLOGIA

Para avaliar e quantificar o comportamento do polipropileno em função do acréscimo percentual de fibra de vidro visando a substituição do nylon com 30% de fibra de vidro utilizado na fabricação da carcaça do elemento filtrante, foram desenvolvidas as atividades descritas a seguir visualizadas no fluxograma da Figura 29.

Figura 29 - Fluxograma



Fonte: Elaborado pelo Autor

4.1 Etapa preparatória

Nesta etapa se obteve as informações necessárias para a realização de todos os experimentos.

4.1.1 Aquisição da matéria prima

A matéria prima em análise neste trabalho é o polipropileno puro, o polipropileno com os percentuais 15%,20% e 30% de fibra de vidro e o Nylon com 30% de fibra de vidro. Os materiais foram adquiridos da empresa Petropol polímeros em embalagem de 25 Kg para cada material devidamente etiquetados.

4.1.2 Caracterização do Material

A caracterização química dos corpos de prova injetados foi feita na Empresa Fiat Chrysler Automobiles utilizando as técnicas de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) e Calorimetria exploratória Diferencial (DSC) com Rampa em atmosfera inerte com equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 300°C com razão de aquecimento de 20°C/min, resfriamento de 300°C a 50°C com razão de resfriamento de 20°C/min. A Figura 30 mostra o espectrômetro de infravermelho e a Figura 31 e 32 (Calorimetria Exploratória Diferencial – Fluxo de calor), ambos utilizados na caracterização dos corpos de prova injetados.

Figura 30 – Espectrômetro de Infravermelho por Transformada de Fourier – FTIR Thermo Nicolet Nexus 470



Fonte: Fotografia do Autor

Figura 31 – DSC(Calorimetria Exploratória Diferencial-Fluxo de calor) SC2920 Modulated DSC – TA Instruments



Fonte: Fotografia do Autor

O teste de Termogravimetria (TG) também foi feito na Empresa Fiat Chrysler Automobiles. Utilizou-se atmosfera inerte e equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 750°C com razão de aquecimento de 20°C/min; posteriormente houve a troca para atmosfera oxidante, Isoterma de 5 min, logo após outro aquecimento de 750°C a 850°C com razão de aquecimento de 20°C; Isoterma de 1 min. A Figura 32 mostra o analisador termogravimétrico utilizado.

Figura 32 – Analisador termogravimétrico Hi-Res TGA 2950 Thermogravimetric Analyser – TA Instruments



Fonte: Fotografia do Autor

4.1.3 Molde de injeção dos corpos de prova.

O molde utilizado na injeção dos corpos de prova pertence a Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Fabricado pela empresa Willtec Comércio e Indústria Ltda. Foi utilizado pela primeira vez na injeção dos corpos de prova do referido trabalho. O laudo referente a entrega técnica do molde é um dos objetivos específicos deste trabalho. Foram avaliados o dimensional das cavidades conforme normas dos corpos de prova, funcionamento do molde e do sistema de extração e refrigeração durante os testes práticos de injeção. O molde é composto de quatro posições intercambiáveis, sendo cada posição composto de duas cavidades. A Figura 33(a) apresenta a fotografia do molde e as caixas contendo os 04 posições intercambiáveis. A Figura 33(b) mostra o posição do corpo de prova para teste de tração e a Figura 33(c) mostra o posição do corpo de prova para teste de impacto.

Figura 33 – Fotografia molde de Injeção: (a) molde fechado e caixas contendo os posições, (b) posição intercambiável do corpo de prova para teste de tração e (c) posição intercambiável do corpo de prova para teste de impacto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.3.1 Medição da rugosidade superficial do molde de injeção

Para a medição da rugosidade superficial de cada posição foi utilizado um rugosímetro Taylor Hobson, modelo S128, cut-off 0,8mm com espaço amostral de 4,0mm. Na Figura 34 pode-se visualizar o posição do corpo de prova de tração com as duas cavidades, o rugosímetro utilizado, o engate rápido para conexão com a mangueira de refrigeração, o puxador e umas das regiões mensuradas na cavidade.

Figura 34 – Fotografia do postigo para injeção do corpo de prova para tração



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.3.2 Medição da dureza superficial do molde de injeção

A verificação da dureza superficial nos quatro postigos (tração, impacto, flexão e fadiga) foi realizada no laboratório de materiais de construção mecânica da PUC Minas, campus Coração Eucarístico. O equipamento durômetro Reicherter com o penetrador Vickers e aplicação de carga inicial de 200g foi utilizado para as medições de microdureza Vickers. As medições iniciais foram realizadas nas faces que contém as cavidades de injeção dos postigos. Primeiramente foi efetuado uma medida de microdureza Vickers em uma região distante da cavidade. A Figura 35(a) e (b) mostra o postigo, o microdurometro e a região da medição vista em diferentes ângulos.

Figura 35 – Região de mensuramento de dureza distante da cavidade. (a) Vista lateral em relação ao durômetro, (b) vista frontal em relação o durômetro.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2 Injeção dos corpos de prova

4.2.1 Confeção dos corpos de prova.

O processo de transformação utilizado para moldagem dos corpos de prova, foi de injeção de termoplásticos realizado na empresa Liderplast ME localizada na cidade de Betim. As injeções dos corpos de prova foram realizadas em uma injetora da marca Sinitron com capacidade de plastificação 201 cm³, força máxima de fechamento de 90 toneladas e sistema de extração automática, Figura 36.

Para cada material foi observado o tempo de aquecimento em estufa antes da realização das injeções dos corpos de prova de acordo com as especificações do fornecedor da matéria prima. Figura 37.

Antes das injeções dos corpos de prova, todo material polimérico utilizado anteriormente dentro do funil e na rosca da injetora foi retirado para não ocorrer qualquer tipo de contaminação. Para isso, o bico de injeção da máquina injetora foi recuado e todo o material indevido expelido, ou seja, extrudado até que o mesmo se esgotasse por completo da injetora. Figura 38.

Após a expurga, o primeiro material a ser injetado foi o (PP 100% virgem), para isso o material foi inserido no funil da injetora que, ainda com o bico injetor recuado, continuou a expurgar o material. Essa etapa foi realizada para que, caso ainda houvesse algum resíduo do material indevido na rosca da injetora, o mesmo fosse retirado totalizando a limpeza em tal região. Em seguida, o bico injetor avançou e acoplou no bico de injeção da parte superior do molde. Posteriormente ocorreu o fechamento do molde e início da produção dos corpos de prova.

As dez primeiras peças injetadas foram descartadas como uma terceira medida de segurança com o intuito de se eliminar qualquer possibilidade de contaminação do material e também, para garantir a estabilidade da injetora no momento da injeção dos corpos de prova. Esse procedimento foi repetido a cada troca de composição da matéria prima.

Todos os corpos de prova foram injetados em um único molde, trocando-se apenas os posições, que possuem, conforme sua norma específica, duas cavidades de cada modelo, com os percentuais de PP puro, PP/15%FV, PP/20%FV, PP/30%FV e PA/30%FV

Figura 36 – Injetora Sinitron utilizada para a injeção dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 37 (a) mostra a vista lateral das gavetas da estufa com o material a ser estufado e a Figura 37 (b) mostra a vista de frente da estufa onde pode se visualizar o pirômetro da estufa. O tempo de aquecimento em estufa foi de acordo com as especificações do fornecedor da matéria prima. Anexo A.

Figura 37 – (a) Vista lateral da estufa e (b) Vista de frente da estufa



(a) Fonte: Elaborado pelo Autor (b)

A Figura 38 mostra a fotografia de um dos momentos de realização da expurga.

Figura 38 – Expurga do material antes da injeção



Fonte: Elaborado pelo Autor .

4.2.2 Medição dos corpos de prova.

Para a avaliação do dimensional dos corpos de prova injetados foi utilizado o equipamento MM3 (Máquina de medir a três coordenadas) do fabricante Mitutoyo pertence ao laboratório de metrologia da PUC-MG, campus Contagem. Para o material PP puro e cada um dos compósitos foram usados cinco amostras de cada corpo de prova (tração, impacto, flexão e fadiga) para a avaliação no corpo de prova (espessura, largura da cabeça , largura do corpo e comprimento final).

4.3 Ensaio mecânicos e análises

Procurou-se realizar todos os ensaios deste trabalho em laboratório com temperatura ambiente controlada em torno de 23°C para se manter o mesmo critério utilizado pelo fabricante do polímero em estudo nos ensaios de impacto (IZOD), e manter-se também a média aproximada dos valores descritos nas literaturas para os demais ensaios, em torno da faixa de temperatura de 20°C -25°C.

Os ensaios relatados a seguir foram realizados na Empresa Fiat Chrysler Automobiles (FCA). Somente o teste prático da carcaça do elemento filtrante foi feito na oficina da Empresa Oilcheck.

4.3.1 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados conforme norma ASTM-D638 e executados em uma máquina universal de marca Instron, modelo 5867R, com distância entre garras de 115mm, velocidade de ensaio de 50mm/min e célula de carga de 30kN. A incerteza do equipamento é de 1,5% e as propriedades mecânicas analisadas nesse ensaio foram as de limite de resistência à tração (LRT) e alongamento na ruptura (e). O alongamento na ruptura foi determinado conforme Equação (2).

$$e = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

onde: e = Alongamento (%);

L₀ = Comprimento inicial do corpo de prova (mm);

L = Comprimento do corpo de prova após a deformação (mm).

4.3.2 Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados conforme norma ASTM-D790 e executados na mesma máquina dos ensaios de tração, com distância entre os apoios de 50mm, velocidade de ensaio de 2mm/min e célula de carga de 30kN. As propriedades mecânicas obtidas nesse ensaio foram de limite de resistência à flexão (LRF) e módulo de elasticidade na flexão (MEF). A amostra foi apoiada como uma viga e flexionada a um taxa constante. Durante o procedimento, a força aplicada à amostra foi mensurada. Os valores de tensão de flexão podem ser obtidos conforme a Equação (3) (OLIVEIRA; PANZERI, 2004).

$$\sigma_f = \frac{3P.L}{2b.h^2} \quad (3)$$

Onde: σ_f = Tensão de flexão(kgf/cm²);

P = Carga máxima (kgf);

L = Distância entre os apoios (cm)

b = Largura do corpo de prova (cm)

h = Espessura do corpo de prova (cm)

4.3.3 Ensaio de impacto

Os ensaios de impacto (IZOD) foram realizados conforme norma ASTM-D256 e executados em um equipamento universal da marca Ceast com a utilização de um martelo de 2,75J. A incerteza do equipamento é de 1,5% e a propriedade mecânica analisada nesse ensaio foi a resistência ao impacto do material.

4.3.4 Ensaio de termogravimetria

Para a caracterização química do material injetado as amostras dos corpos de prova foram analisadas utilizando as seguintes técnicas:

- a) Espectroscopia no infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR);
- b) Calorimetria exploratória Diferencial (DSC) - Rampa em atmosfera inerte com equilíbrio em 50°C, aquecimento de 50°C a 300°C com razão de aquecimento de 20°C/min, resfriamento de 300°C a 50°C com razão de resfriamento de 20°C/min.

Para os ensaios de termogravimetria foi utilizada atmosfera inerte, equilíbrio em 50°C, com aquecimento de 50°C a 750°C com razão de aquecimento de 20°C/min. Foi feita troca para atmosfera oxidante, isoterma de 5 minutos, aquecimento de 750°C a 850°C com razão de aquecimento de 20°C/min e isoterma de 1 minuto.

4.3.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para realização da microscopia da fratura, as regiões fraturadas dos corpos de prova dos ensaios de tração foram metalizadas em uma máquina de metalização com ouro. Uma amostra de cada composição de matéria prima foi verificada e em cada face, três análises foram feitas: uma na borda, e duas no núcleo com diferentes ampliações.

Para a análise da fratura dos corpos de prova dos ensaios de impacto foi utilizado um corpo de prova fraturado, para cada material em estudo, ou seja, o polipropileno puro, o polipropileno com os percentuais 15%,20% e 30% de fibra de vidro e o Nylon com 30% de fibra de vidro. Em cada amostra dessas composições foram verificadas e em cada face, duas análises foram feitas: uma na interface entalhe / região fraturada e outra no núcleo da fratura, sendo todas as análises com diferentes ampliações.

4.3.6 Injeção da Carcaça do elemento Filtrante

Foi realizada a injeção da carcaça do elemento filtrante da FTA (Filter Technology Australian) com o compósito em Nylon com 30% de fibra de vidro e também com o compósito em PP com 30% de fibra de vidro, devido ter apresentado melhor comportamento nos testes realizados. Foi utilizada uma injetora da marca Sinitron, série SYA-DT com capacidade de injeção de 433g em PS (Poliestireno). A máquina possui força de fechamento de 180t. O molde para a injeção da carcaça do elemento filtrante pertence a empresa OILCHECK. A injeção foi realizada na empresa Liderplast, localizada na cidade de Betim.

4.3.7 Teste prático na Carcaça do elemento Filtrante

Após a injeção das carcaças do elemento filtrante, as amostras foram enviadas para a empresa OILCHECK, situada na av. Severino Ballesteros Rodrigues, nº 627, bairro Ressaca, Contagem – MG. Foram realizados primeiramente teste de montagem dos elementos filtrantes na carcaça, seguido da montagem do disco de apoio. Logo após, na oficina da empresa, foram realizados os testes de filtragem em todas as amostras. Para o teste foi utilizada uma bancada composta de equipamentos necessários ao fluxo de óleo com pressão. Depois de realizado os testes, a empresa emitiu um laudo técnico de aprovação do produto, (anexo B).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos na avaliação e quantificação do polipropileno em função do acréscimo percentual de fibra de vidro em substituição do nylon com 30% de fibra de vidro utilizado na fabricação da carcaça do elemento filtrante.

5.1 Resultados etapa preparatória

Nesta etapa são apresentados os resultados referente a aquisição da matéria prima, molde de injeção dos corpos de prova, a fim de obter informações necessárias para a realização dos demais experimentos.

5.1.1 Resultados da Aquisição da matéria prima

A Figura 39 apresenta a fotografia dos materiais de PP com fibra de vidros que foram adquiridos da empresa Petropol polímeros em embalagem de 25 Kg para cada material devidamente etiquetados.

Figura 39 – Fotografia da resina de PP com fibra para injeção dos CPs



(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor

(b)

A Figura 39(a) mostra da esquerda para a direita as embalagens da resina de polipropileno puro, com 15%, 20% e 30% de fibra de vidro. A Figura 39(b) mostra a etiqueta com os códigos utilizados pela empresa Petropol para a embalagem com

20% de fibra de vidro. Em cada embalagem foi afixada a etiqueta com o seu respectivo percentual de fibra.

São apresentadas, no anexo A, as fichas técnicas do polipropileno natural e com fibra de vidro com os percentuais nas proporções de 15%, 20% e 30% encaminhadas pela empresa Petropol no ato da compra da matéria prima.

As fichas técnicas apresentam os valores de propriedades físicas, mecânicas, térmicas e de processamento. Os dados contidos nos informativos técnicos foram obtidos em laboratório e refletem a média de vários lotes produzidos.

5.1.2 Resultados da caracterização do Material

Os materiais foram caracterizados conforme (4.1.2) e os resultados estão mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos Corpos de Prova Injetados

Caracterização dos Corpos de Prova Injetados		
Amostra	Material	Temperatura de fusão
1	PP- Puro	164°C
2	PP- 15% FV	162°C
3	PP- 20% FV	164°C
4	PP- 30% FV	164°C

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A tabela 3 mostra os resultados encontrados no teste de termogravimetria (TG) para cada amostra.

Tabela 3 – Resultados da Termogravimetria

Resultados Termogravimetria				
Amostra	Material	Polímero	Carga Oxidável	Carga inorgânica
1	PP- Puro	99%	1%	0%
2	PP- 15% FV	85%	0%	15%
3	PP- 20% FV	82%	0%	18%
4	PP- 30% FV	72%	0%	28%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3 Resultados Molde de injeção dos corpos de prova.

A seguir estão os resultados encontrados para o molde dos corpos de prova

5.1.3.1 Resultados Rugosidade superficial das cavidades do Molde de injeção

Em cada posição foram realizadas três medições em cada cavidade. As medições foram realizadas no laboratório de materiais de construção mecânica da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Campus Coração Eucarístico. A Tabela 4 apresenta os valores obtidos na medição. Os valores de rugosidade superficial obtidos estão de acordo com os desenhos de projeto, ou seja, pela simbologia antiga o acabamento superficial especificado foi o retificado, que compreende a faixa de classe de rugosidade N6 a N4 com a rugosidade Ra variando de 0,8 μ m a 0,2 μ m.

Tabela 4 – Valores de Rugosidade Superficial nas cavidades dos posições de tração, fadiga, flexão e impacto

Posição	Cavidade	Rugosidade Ra	Valor médio
Tração	1	0,70 μ m	0,60 μ m
		0,50 μ m	
		0,60 μ m	
	2	0,40 μ m	0,50 μ m
		0,60 μ m	
		0,50 μ m	
Fadiga	1	0,30 μ m	0,30 μ m
		0,30 μ m	
		0,50 μ m	
	2	0,40 μ m	0,43 μ m
		0,40 μ m	
		0,40 μ m	
Flexão	1	0,20 μ m	0,30 μ m
		0,30 μ m	
		0,30 μ m	
	2	0,30 μ m	0,30 μ m
		0,30 μ m	
		0,30 μ m	
Impacto	1	0,40 μ m	0,30 μ m
		0,20 μ m	
		0,30 μ m	
	2	0,30 μ m	0,30 μ m
		0,30 μ m	
		0,30 μ m	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.1.3.2 Resultados Dureza superficial do Molde de injeção

A Tabela 5 apresenta os valores de dureza obtida, na região distante da cavidade executada no postigo de corpo de prova de impacto

Tabela 5 – Valores de microdureza Vickers e HRC em região distante da cavidade do postigo de impacto

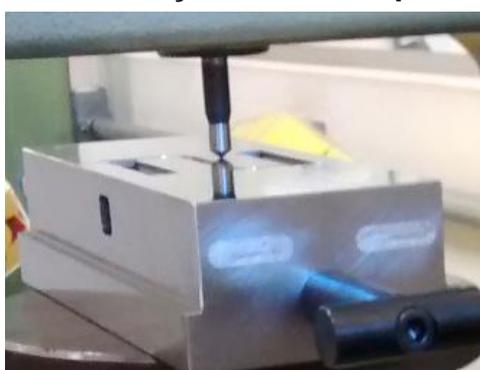
Postigo	Microdureza Vickers	Media Microdureza Vickers	Média em HRC
Corpo de prova de impacto	302 294	298	29,5

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores obtidos nesta região mensurada foram inferiores ao especificado em desenho, ou seja, 56 a 58 HRC, que correspondem a 613 a 653 Vickers, o que era de se esperar.

Como o tratamento superficial de têmpera, revenimento e nitretação foram concentrados na cavidade e na sua vizinhança, efetuou-se três novas medidas de microdureza Vickers nesse local em todos os postigos. Também foram efetuadas medições em rockwell C, utilizando um penetrador cone Brale, com pré carga de 10 Kgf e carga de 150 Kgf. As medidas de dureza em rockwell C foram realizadas com objetivo de verificar se ocorreu o aumento de dureza no substrato devido ao tratamento térmico de tempera. As medições foram realizadas no laboratório de materiais de construção mecânica da PUC no campus Contagem. A Figura 40 mostra a região em que foram realizadas as medições próximas as cavidades e o penetrador cone Brale.

Figura 40 – Região de medição de dureza próxima da cavidade.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tabela 6 mostra os valores de dureza obtidos com o penetrador Brale. Percebe-se com os resultados obtidos, que o tratamento térmico de têmpera e revenimento realizado no material foi eficaz. O material inicial foi adquirido do fornecedor Villares Metal com o estado de fornecimento recozido com dureza inicial de 207 HB, aproximadamente 20 HRC. Considerando uma dureza média final entre os quatro posições, o tratamento térmico e o revenimento proporcionou um aumento de dureza da ordem aproximada de 96%.

Tabela 6 – Valores de dureza Vickers em região próxima da cavidade no posição de impacto tração, flexão e fadiga

Posição	Medidas HRC	Média das Medidas HRC	Media das Medidas Vickers
CP de impacto	37	39,67	392
	43		
	39		
CP de Tração	38	38,34	372
	37		
	40		
CP de Flexão	39	39,34	382
	41		
	38		
CP de Fadiga	37	39,67	392
	40		
	42		

Fonte: Elaborado pelo Autor

Para a verificação do aumento de dureza obtida pelo processo de tratamento termoquímico de nitretação após o tratamento térmico de têmpera e revenimento as medições de dureza nos posições foram efetuadas no laboratório de materiais de construção mecânica da PUC – MG, campus Contagem. As medições das durezas foram realizadas em região próximas as cavidades em todos os quatro posições. A carga de 100g foi utilizada conforme Norma DIN 50190. As espessuras das camadas não foram determinadas devido ser necessário o corte do molde. Na Tabela 7 pode-se verificar que o tratamento termoquímico de nitretação foi eficiente, pois os valores alcançados promoveram um aumento de dureza da ordem de 45%.

Tabela 7 – Valores de microdureza Vickers em região próxima da cavidade no postigo de impacto, tração, flexão e fadiga

Postigo	Medidas Vickers	Média das Medidas Vickers	Media das Medidas Rockwell C
CP de impacto	613	627,7	58,5
	630		
	640		
CP de Tração	620	631	57
	635		
	638		
CP de Flexão	674	654,7	58
	650		
	640		
CP de Fadiga	660	660	58,5
	670		
	650		

Fonte: Elaborado pelo Autor

5.1.3.3 Resultados da avaliação dimensional das cavidades do molde de injeção

Para a avaliação do dimensional das cavidades dos quatro postigos foi utilizado o equipamento MM3 (Maquina de medir a três coordenadas) do fabricante Mitutoyo pertence ao laboratório de metrologia da PUC-MG, campus Contagem. Na determinação da incerteza de medição do equipamento foi primeiramente avaliado as incertezas de medição das grandezas referente ao erro padrão, resolução do equipamento, erro de indicação, incerteza herdada, incerteza combinada e incerteza expandida.

Na determinação da incerteza tipo A, ou seja, erro padrão, uma esfera padrão de medição da própria máquina foi fixada em suporte sobre a mesa do equipamento e realizou-se seis medições nesta esfera. A Tabela 8 apresenta os valores obtidos na medição juntamente com o desvio padrão das medidas e a média.

Tabela 8 – Valores medidos na esfera padrão da máquina

Número medições (n)	Medidas realizadas (n)	Desvio padrão das medidas (s)	Media das medidas \bar{X}
1	19,7883	0,00356	19,9872
2	19,9833		
3	19,9872		
4	19,9872		
5	19,9906		
6	19,9911		

Fonte: Elaborado pelo Auto

O valor da incerteza tipo A foi determinada dividindo se o valor do desvio padrão das medidas pela raiz quadrada do número de medições realizada conforme Equação 4:

$$u_A = \pm \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

O valor da incerteza da resolução foi obtida realizando a divisão da metade do valor da unidade de medida digital encontrada na máquina (0,00005) encontrada pelo valor da raiz quadrada do valor 3, ou seja, erro linear, conforme Equação 5.

$$u_{\text{resolução}} = \pm \frac{0,0001/2,0}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

Para a determinação do valor da incerteza do erro de indicação primeiro foi obtido o valor da diferença entre maior valor das seis medições obtidas e média das medições realizadas. Em seguida o valor foi dividido pela raiz quadrada do valor 3, ou seja, erro linear, conforme Equação 6.

$$u_{\text{indicação}} = \pm \frac{i_{\text{max}} - \bar{X}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

A esfera possui o valor de incerteza herdada igual a 0,0003mm e o valor da incerteza combinada foi obtido pela raiz quadrada da soma dos quadrados das

incertezas do erro padrão, resolução, erro de indicação e incerteza herdada. Conforme Equação 7.

$$u_{combinada} = \pm \sqrt{(u_a)^2 + (u_{resolução})^2 + (u_{indicação})^2 + (u_{indicação})^2} \quad (7)$$

A incerteza expandida é obtida pela Equação 8, onde o valor de abrangência K é igual a 2.

$$u_{expandida} = \pm u_{combinada} * K \quad (8)$$

O equipamento apresentou uma incerteza de medição de $\pm 3\mu\text{m}$. A Tabela 9 apresenta os valores obtidos para cada incerteza.

Tabela 9 – Avaliação da incerteza de medição

<i>Grandeza</i>	<i>Valor (\pm) mm</i>	<i>Divisor</i>	<i>Grau de liberdade</i>	<i>Resultado (\pm) mm</i>
Erro padrão	0,0035	$\sqrt{6}$	5	0,00145
Resolução	0,0001	$\sqrt{3}$	∞	0,00004
Erro de indicação	0,0039	$\sqrt{3}$	5	0,0023
Incerteza herdada	0,0003	2	∞	0,00015
Incerteza Combinada (68,27%)		1		0,0027
Incerteza Expandida (95,45%)		K=2	60,11	0,0054

Fonte: Elaborado pelo Autor

De posse da incerteza do equipamento, deu-se início à medição das cavidades. Para os postigos dos corpos de prova de tração e fadiga foram realizadas seis medidas na direção da profundidade, largura da cabeça do corpo de prova, largura do corpo prova e comprimento total. Para as cavidades dos postigos dos corpos de prova de flexão e impacto também foram realizadas seis medidas, porem para a profundidade, largura e comprimento devido a forma geométrica da cavidade. As medidas obtidas para os postigos para injeção de corpos de prova de tração, flexão, impacto e fadiga são apresentadas no Apêndice A.

5.1.3.4 Resultado Laudo. Molde de injeção entrega técnica

O laudo referente a entrega técnica do molde é apresentado no apêndice B e foi também realizado com base no funcionamento do molde durante a injeção dos corpos de prova para os testes. Observou-se o perfeito funcionamento dos pinos extratores, dutos de refrigeração e ajustes das guias de montagem em todos os quatro posições. Também foi analisado o acabamento geral do molde (arestas arredondas, pintura, superfície lisa, etc.) nas partes externas e internas. Especial atenção foi dada para as cavidades dos posições que, por sua vez, apresentaram acabamento satisfatório para os fins de aplicação.

5.2 Resultados da Injeção dos corpos de prova

A seguir estão os resultados da medição dos corpos de prova após a contração e os valores comparativos com as medidas da matriz

5.2.1 Resultados medição dos corpos de prova injetados

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 apresentam os valores dimensionais encontrados para os corpos de prova injetados em PP puro, 15%,20% e 30% com fibra de vidro respectivamente.

Tabela 10 – Polipropileno puro - Medição dos corpos de prova em milímetros

Tração	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	3,3224	19,8087 19,7850	13,4306	168,5002
Amostra 2	3,3133	19,7227 19,7740	13,4217	168,3774
Amostra 3	3,3041	19,7865 19,7898	13,4388	168,5493
Amostra 4	3,3061	19,7858 19,8118	13,4189	168,4581
Amostra 5	3,2985	19,7811 19,7953	13,4066	168,3732
Média	3,3089	19,7764 19,7912	13,4233	168,4516
Fadiga	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	4,1005	20,5162 20,4119	10,3453	152,7458
Amostra 2	4,3037	20,4667 20,5025	10,3452	152,6842
Amostra 3	4,0626	20,4403 20,3914	10,3349	152,6345
Amostra 4	4,0991	20,4994 20,4406	10,3614	152,7063
Amostra 5	4,1542	20,5099 20,5223	10,3965	152,8099
Média	4,1440	20,4865 20,4537	10,3567	152,7161
Flexão	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,3801	13,0779	129,8564	
Amostra 2	3,3651	13,0835	129,8730	
Amostra 3	3,3795	13,0728	129,8294	
Amostra 4	3,3668	13,0959	129,8689	
Amostra 5	3,3896	13,0950	129,9065	
Média	3,3762	13,0850	129,8668	
Impacto	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4670	13,1039	64,1030	
Amostra 2	3,4445	13,1176	64,0745	
Amostra 3	3,3831	13,1059	64,0469	
Amostra 4	3,3965	13,1321	64,0721	
Amostra 5	3,5469	13,0959	64,0973	
Média	3,4476	13,1111	64,0788	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 11 – Polipropileno/15% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros

Tração	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	3,3282	19,8505	13,3966	170,4753
Amostra 2	3,3462	19,8283	13,4016	170,4864
		19,7783		
Amostra 3	3,3097	19,8026	13,3945	170,3858
		19,7965		
Amostra 4	3,3246	19,8751	13,3969	170,5258
		19,7938		
Amostra 5	3,3225	19,8305	13,4021	170,5100
		19,8458		
Média	3,3262	19,8240	13,3983	170,4767
		19,8130		
		19,8321		
Fadiga	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	4,0226	20,5779	10,3304	154,6811
		20,5998		
Amostra 2	4,0208	20,5730	10,3284	154,6652
		20,6009		
Amostra 3	3,9927	20,5600	10,3276	154,5984
		20,5417		
Amostra 4	4,0257	20,5521	10,3189	154,6298
		20,5617		
Amostra 5	3,9738	20,5762	10,3247	154,6404
		20,5397		
Média	4,0071	20,5678	10,3260	154,6430
		20,5688		
Flexão	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4013	13,0811	131,2173	
Amostra 2	3,3999	13,0818	131,2687	
Amostra 3	3,4385	13,1039	131,2418	
Amostra 4	3,3984	13,0768	131,2384	
Amostra 5	3,4055	13,0842	131,2557	
Média	3,4087	13,0856	131,2444	
Impacto	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4489	13,1358	64,5647	
Amostra 2	3,4296	13,1765	64,5703	
Amostra 3	3,4401	13,0927	64,5882	
Amostra 4	3,4457	13,0789	64,5578	
Amostra 5	3,4149	13,0886	64,5876	
Média	3,4358	13,1145	64,5737	

Elaborado pelo Autor

Tabela 12 – Polipropileno/20% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros

Tração	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	3,3181	19,8320 19,8235	13,3928	170,5929
Amostra 2	3,3132	19,7746 19,7158	13,3621	170,5445
Amostra 3	3,2883	19,7762 19,7884	13,3780	170,5435
Amostra 4	3,2969	19,7927 19,7934	13,3663	170,5714
Amostra 5	3,3194	19,8277 19,7939	13,3365	170,5144
Média	3,3072	19,8001 19,7830	13,3671	170,5533
Fadiga	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	4,0548	20,5593 20,4603	10,2963	154,7540
Amostra 2	4,0161	20,5706 20,5333	10,3119	154,7429
Amostra 3	4,0325	20,5029 20,5636	10,3118	154,6876
Amostra 4	4,0056	20,5767 20,5562	10,3243	154,7268
Amostra 5	4,0606	20,5045 20,5641	10,2904	154,6773
Média	4,0339	20,5428 20,5355	10,3069	154,7187
Flexão	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,3780	13,0694	131,3065	
Amostra 2	3,4024	13,0405	131,2868	
Amostra 3	3,3969	13,0311	131,3040	
Amostra 4	3,3884	13,0553	131,2558	
Amostra 5	3,4280	13,0588	131,2809	
Média	3,3987	13,0510	131,2868	
Impacto	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4052	13,1527	64,6577	
Amostra 2	3,3991	13,0894	64,6428	
Amostra 3	3,4014	13,1429	64,6417	
Amostra 4	3,4065	13,0609	64,6073	
Amostra 5	3,3895	13,0535	64,5876	
Média	3,4003	13,0999	64,5737	

Elaborado pelo Autor.

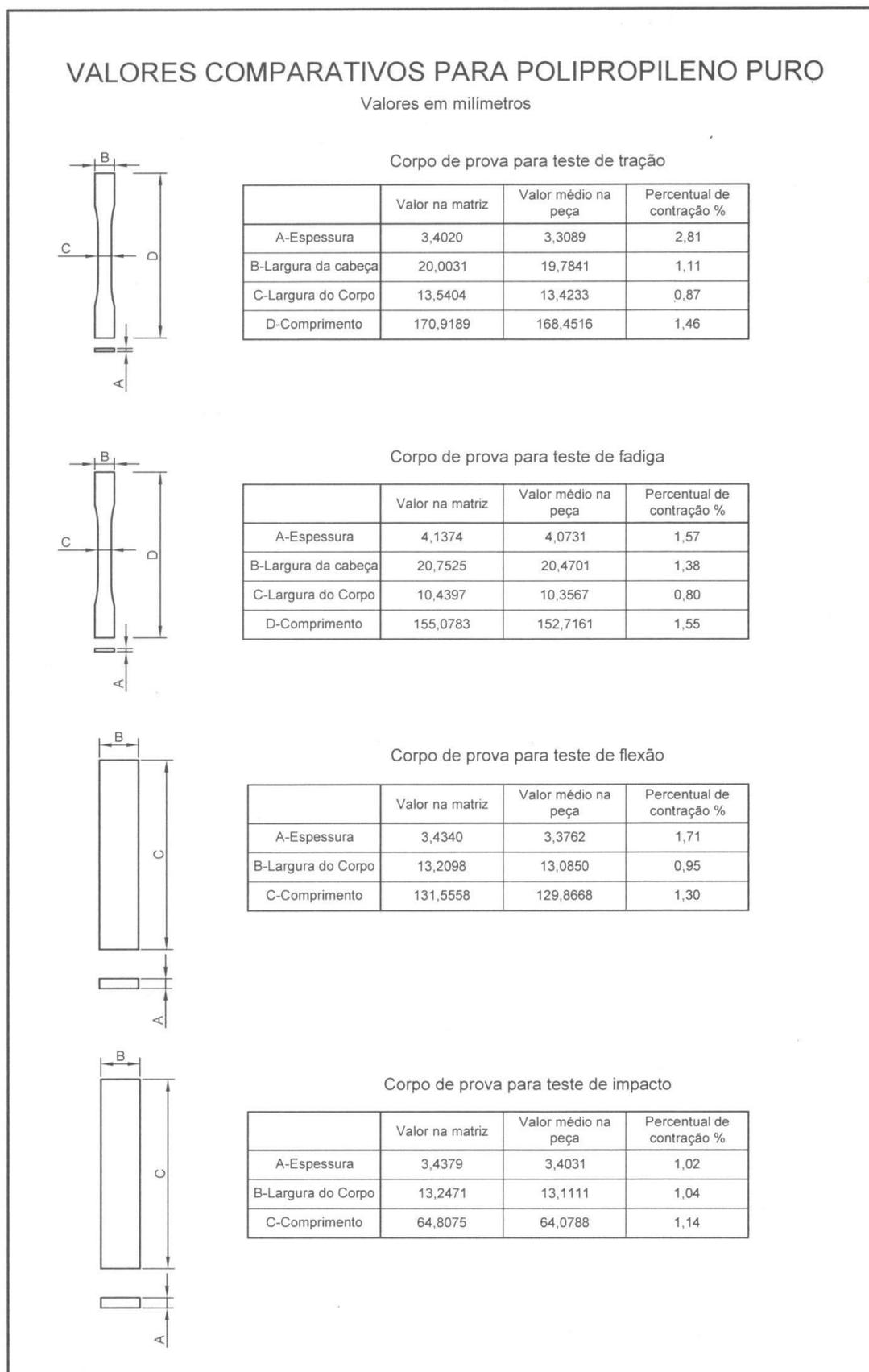
Tabela 13 – Polipropileno/30% FV - Medição dos corpos de prova em milímetros

Tração	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	3,3356	19,8213 19,8678	13,3959	170,6401
Amostra 2	3,3236	19,8176 19,8461	13,3892	170,6557
Amostra 3	3,2900	19,8285 19,8669	13,3773	170,6941
Amostra 4	3,3103	19,8631 19,8015	13,4090	170,7079
Amostra 5	3,2925	19,8082 19,8503	13,4145	170,6343
Média	3,3104	19,8277 19,8465	13,3972	170,6664
Fadiga	Espessura	Largura/cabeça	Largura/corpo	Comprimento
Amostra 1	4,1191	20,6283 20,5580	10,2532	154,8070
Amostra 2	4,0372	20,5995 20,5678	10,2873	154,8233
Amostra 3	4,0441	20,6009 20,5837	10,3195	154,8260
Amostra 4	4,0238	20,5734 20,5942	10,3341	154,8286
Amostra 5	4,0240	20,6315 20,5818	10,3339	154,7519
Média	4,0496	20,6067 20,5771	10,3056	154,8073
Flexão	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4121	13,0579	131,3446	
Amostra 2	3,4218	13,0076	131,2983	
Amostra 3	3,3749	13,0221	131,3431	
Amostra 4	3,3784	13,0447	131,3117	
Amostra 5	3,4255	13,0763	131,1971	
Média	3,4025	13,0417	131,2998	
Impacto	Espessura	Largura	Comprimento	
Amostra 1	3,4189	13,1341	64,6436	
Amostra 2	3,4430	13,1017	64,6818	
Amostra 3	3,4109	13,1249	64,6160	
Amostra 4	3,4007	13,1268	64,6239	
Amostra 5	3,4155	13,1187	64,6440	
Média	3,4178	13,1212	64,6418	

Elaborado pelo Autor.

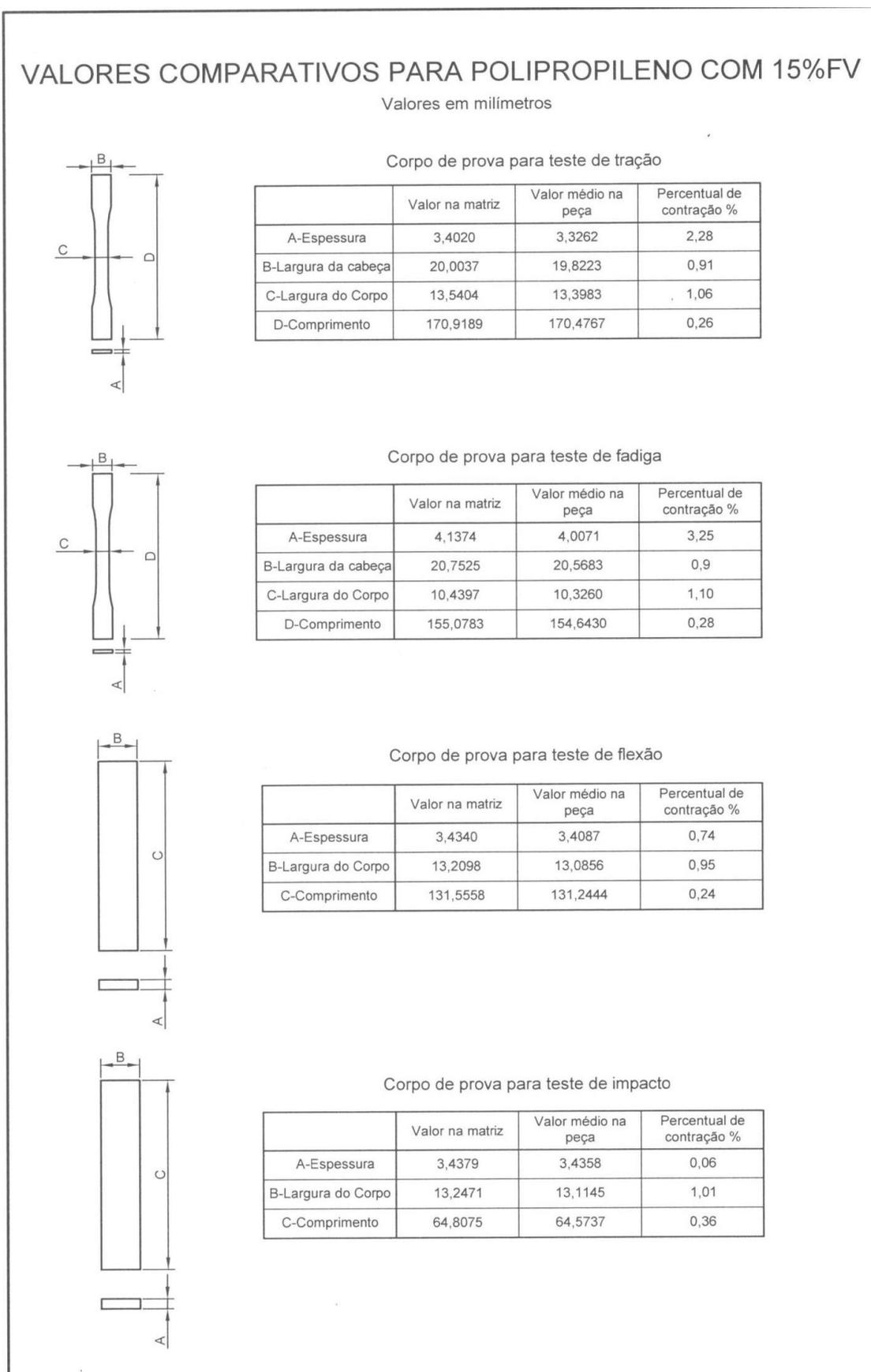
Também foi realizado um estudo comparativo entre as dimensões das cavidades do molde de injeção e as dimensões dos corpos de prova injetados. Com o procedimento realizado foi possível determinar o percentual de contração dos corpos de prova injetados. Ao analisar o valor médio do comprimento dos corpos de prova para o teste de tração, fadiga, flexão e impacto, constatou-se que ao aumentar o teor de fibra de vidro o valor médio do comprimento dos corpos de prova é maior, ou seja, com maior carga de fibra de vidro tem-se uma menor contração. As Figuras 41, 42, 43 e 44 mostram os valores comparativos para o polipropileno puro, com 15%, 20% e 30% de fibra de vidro.

Figura 41 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP puro



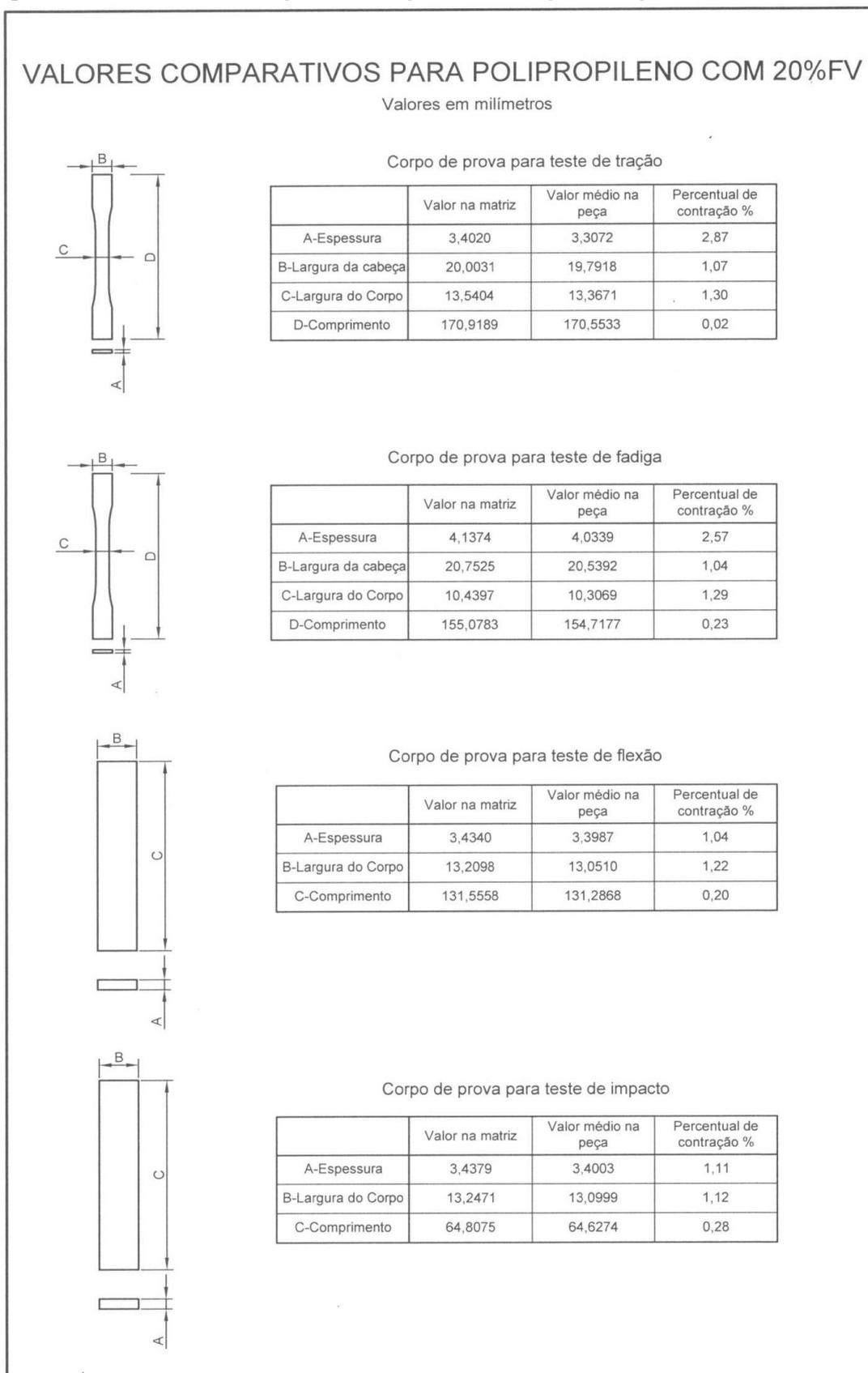
Elaborado pelo Autor.

Figura 42 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 15% FV



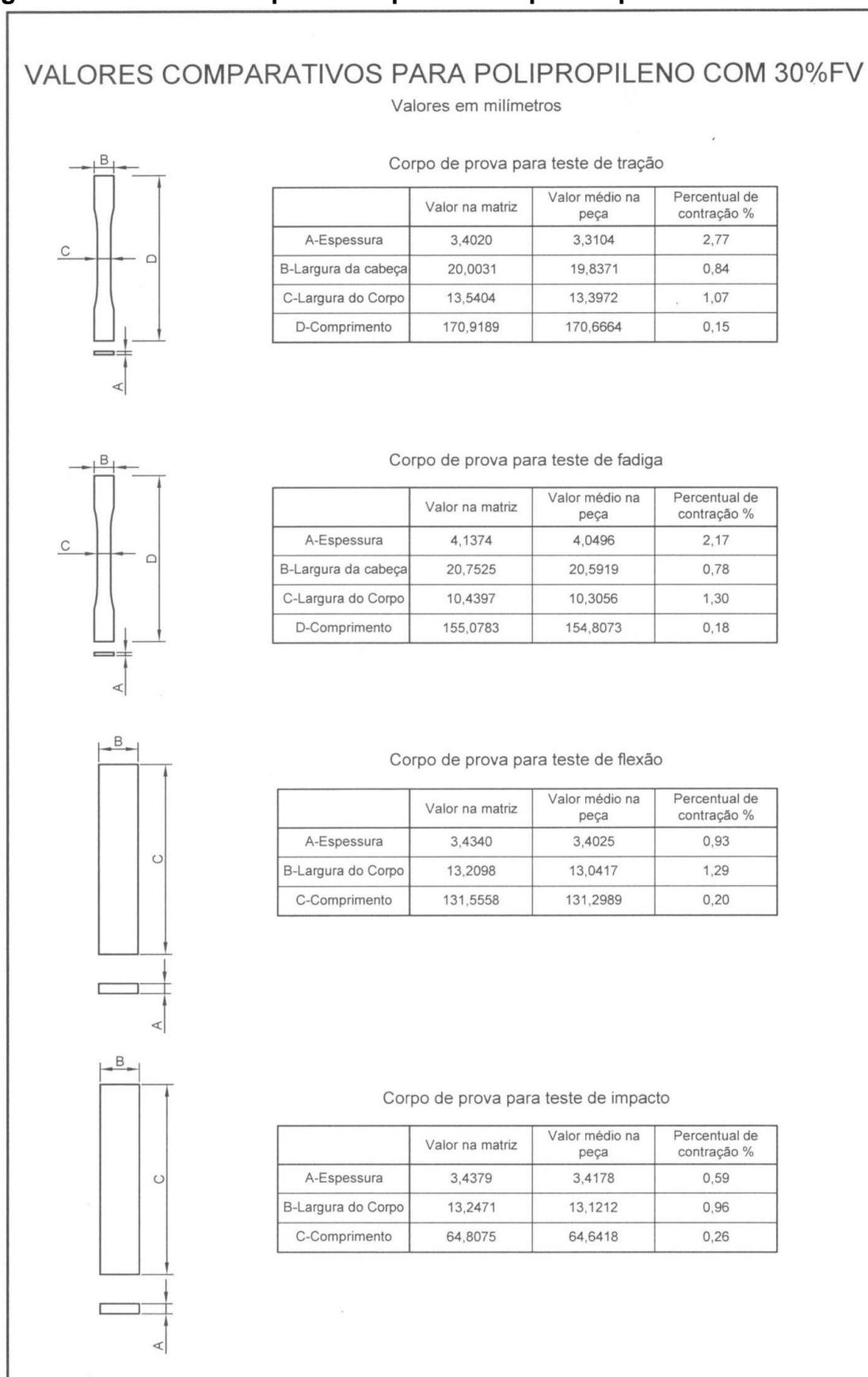
Elaborado pelo Autor.

Figura 43 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 20% FV



Elaborado pelo Autor.

Figura 44 – Valores comparativos para os corpos de prova em PP com 30% FV



Elaborado pelo Autor.

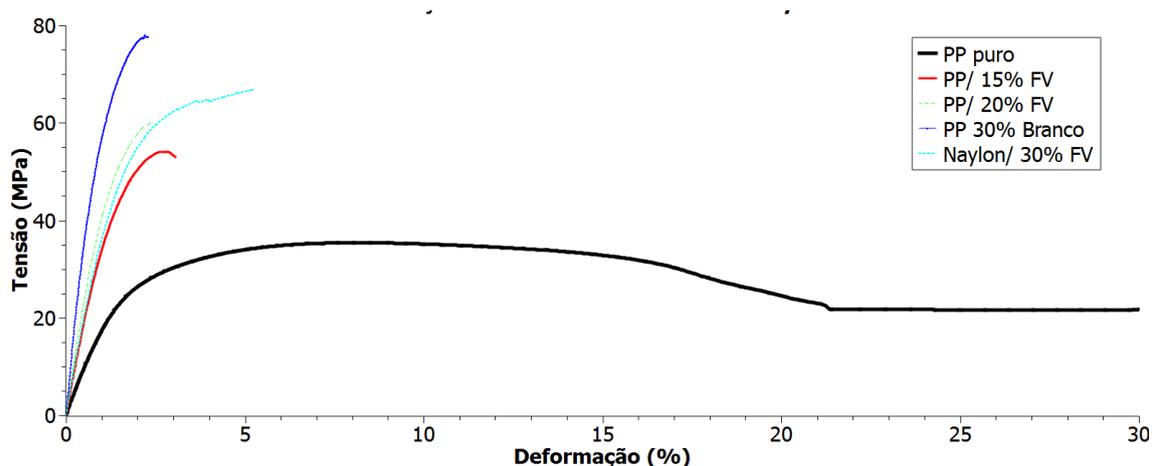
5.3 Resultados Ensaio Mecânicos

Neste tópico são apresentados os resultados dos ensaios de tração, microscopia eletrônica de varredura, (MEV), flexão e impacto para os corpos de prova de PP puro, PP/15% FV, PP/20%FV, PP/30%FV e Nylon/30%FV

5.3.1 Resultado ensaio de tração

A Figura 45 apresenta as curvas tensão versus deformação, das amostras de PP puro, com os percentuais de fibra de vidro e Nylon com 30% de FV. Os valores que foram adotados para a elaboração das curvas, são uma média dos valores encontrados para seis corpos de prova de cada proporção de carga de fibra de vidro

Figura 45 - Curvas tensão x deformação média PP e Nylon a 23 °C- ASTM



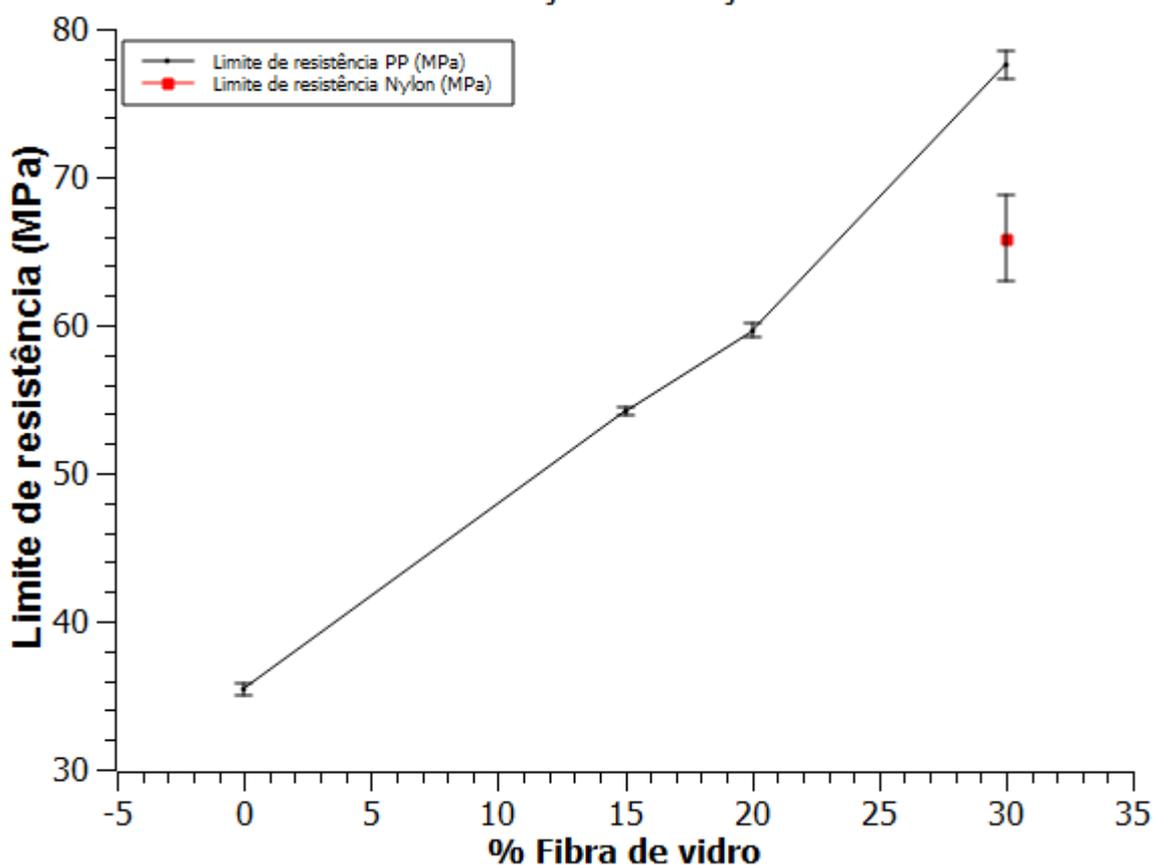
Fonte: Elaborado pelo Autor

O ensaio de tração para o PP com 0%FV, PP15%FV, PP20%FV e PP30%FV, produziu curvas de tensão x deformação distintas entre si. O PP sem carga, apresentou um comportamento dúctil característico de termoplásticos. Elevada deformação na ruptura com resistência à tração e módulos baixos. Nos compósitos, porém, o comportamento é frágil, com deformação linear em baixas tensões e deformação não linear em tensões maiores. Quando adicionadas as fibras ocorreu uma redução de alongamento e elevado aumento no módulo. Com o aumento do teor de carga, estas características foram ainda mais acentuadas, especialmente com relação a tensão e ao módulo. Quando acrescentadas as proporções de fibra de vidro ocorreu um aumento da tensão de escoamento de 35,45 MPa no corpo de

prova com PP puro para 54,15 MPa no PP com 15% de fibra de vidro. Já para os compósitos com 20% e 30% de fibra de vidro os valores das tensões de escoamento foram de 59,62MPa e 77,96MPa respectivamente, ou seja, consideráveis aumentos no valor da tensão de escoamento de 52,7%, 68,2% e 119,9% para os corpos de prova com 15%, 20% e 30% de fibra de vidro. Os valores encontrados e os gráficos com as curvas individuais, estão no apêndice B.

A Figura 46 apresenta o gráfico com os valores dos limites de resistência à tração e o desvio padrão dos corpos de prova para o PP puro e com 15%, 20%, 30% de FV. O gráfico também apresenta o limite de resistência para o Nylon com 30%FV

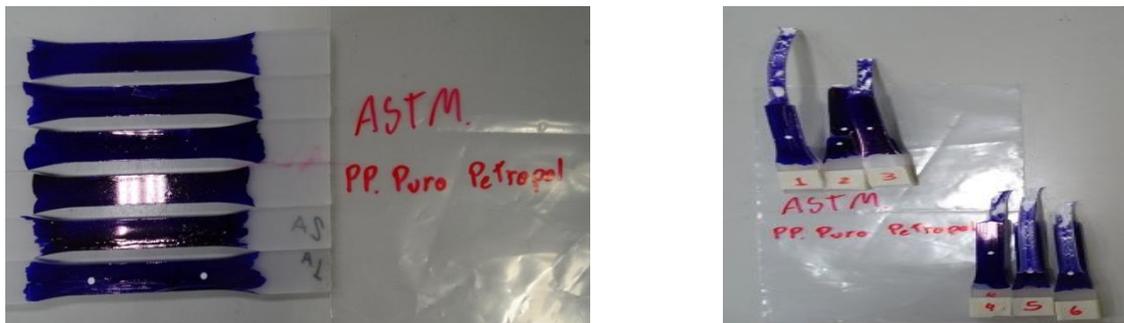
Figura 46 – Limite de resistência a tração dos CP's de polipropileno e de nylon
Limite de resistência a tração em função do % de fibra de vidro



Fonte: Elaborado pelo Autor

As Figuras 47, 48, 49 e 50 apresentam fotografias dos corpos de prova do PP puro, 15% FV, 20% FV e 30% FV antes e após a ruptura respectivamente.

Figura 47 – (a) Corpos de prova PP puro sem romper e (b) Corpo de prova rompido



(a) Fonte: Elaborado pelo Autor (b)

Figura 48 – (a) Corpos de prova PP com 15% sem romper e (b) Corpo de prova PP 15% rompido



(a) Fonte: Elaborado pelo Autor (b)

Figura 49 – (a) Corpos de prova PP com 20% sem romper e (b) Corpo de prova PP 20% rompido



(a) Elaborado pelo Autor (b)

Figura 50 – (a) Corpos de prova PP com 30% sem romper e (b) Corpo de prova PP 30% rompido



5.3.2 Resultado Microscopia eletrônica de varredura na região de fratura dos corpos de prova do ensaio de tração.

Para a realização da microscopia da fratura, as regiões fraturadas dos corpos de prova dos ensaios de tração foram metalizadas com ouro. As Figuras 51,52,53,54 e 55 apresentam as micrografias com 35x e 250x de ampliação na região de fratura dos corpos de prova injetados em PP puro e nos compósitos de PP com 15%, 20, 30% e nylon com 30% de fibra de vidro.

Figura 51 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP puro com (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.

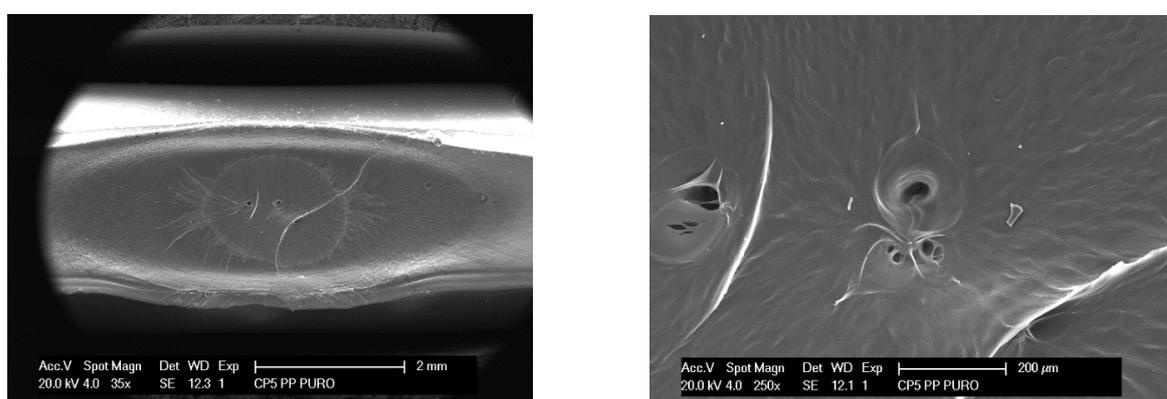
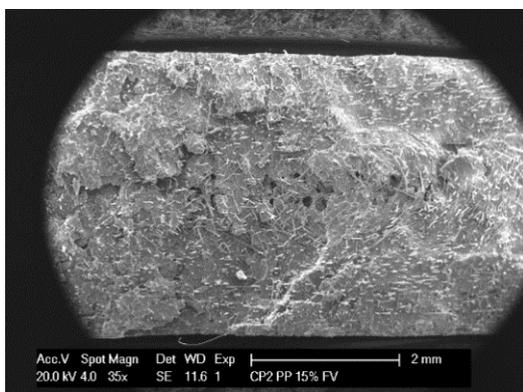
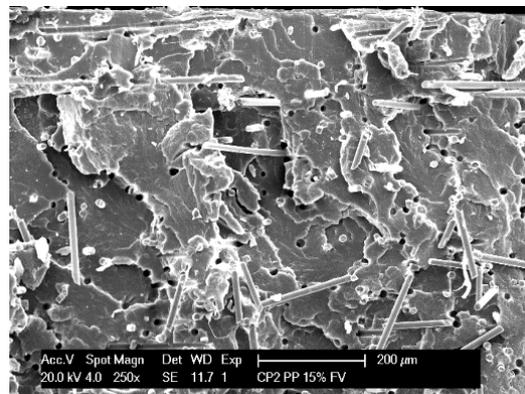


Figura 52 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 15% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.



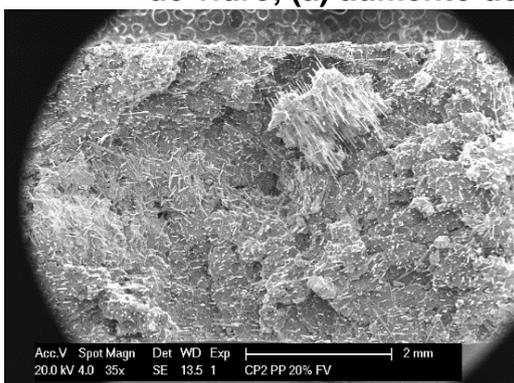
(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor



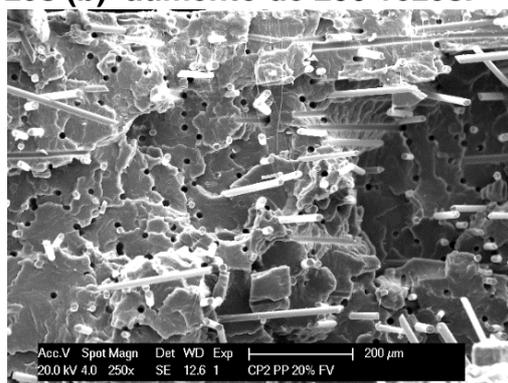
(b)

Figura 53 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 20% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.



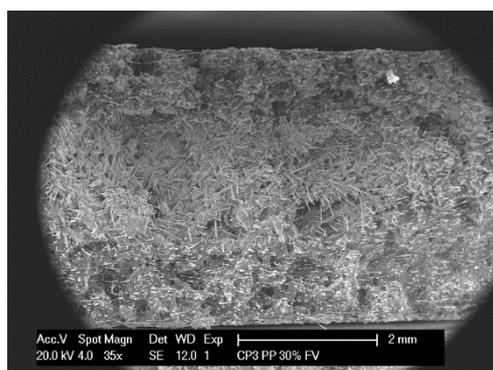
(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor



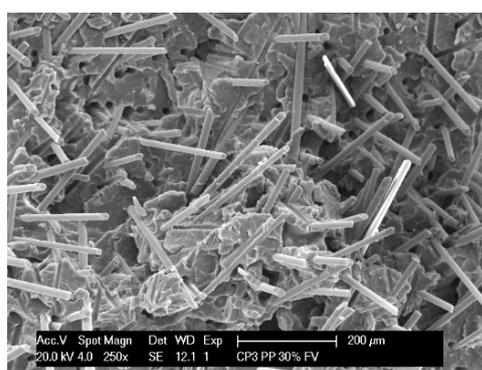
(b)

Figura 54 – Micrografia da superfície da fratura do CP em PP com 30% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes (b) aumento de 250 vezes.



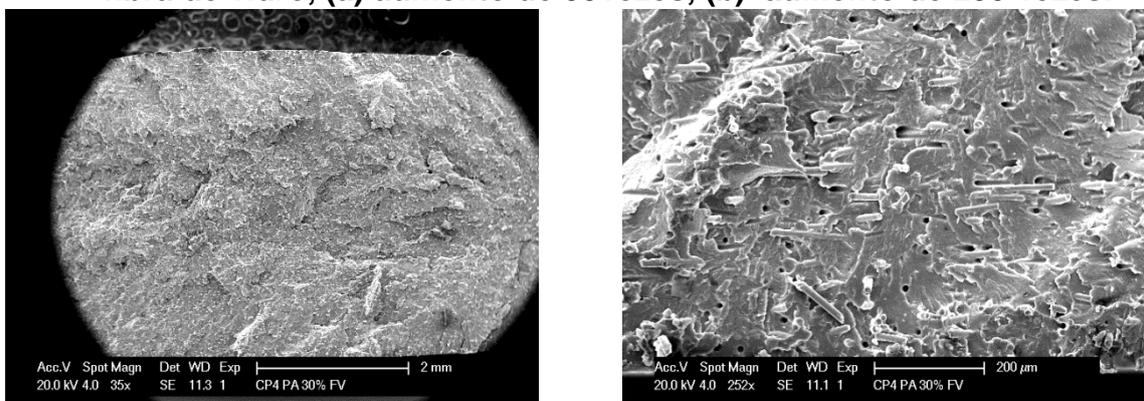
(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor



(b)

Figura 55 – (a) Micrografia da superfície da fratura do CP em Nylon com 30% de fibra de vidro, (a) aumento de 35vezes, (b) aumento de 250 vezes.



(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor

(b)

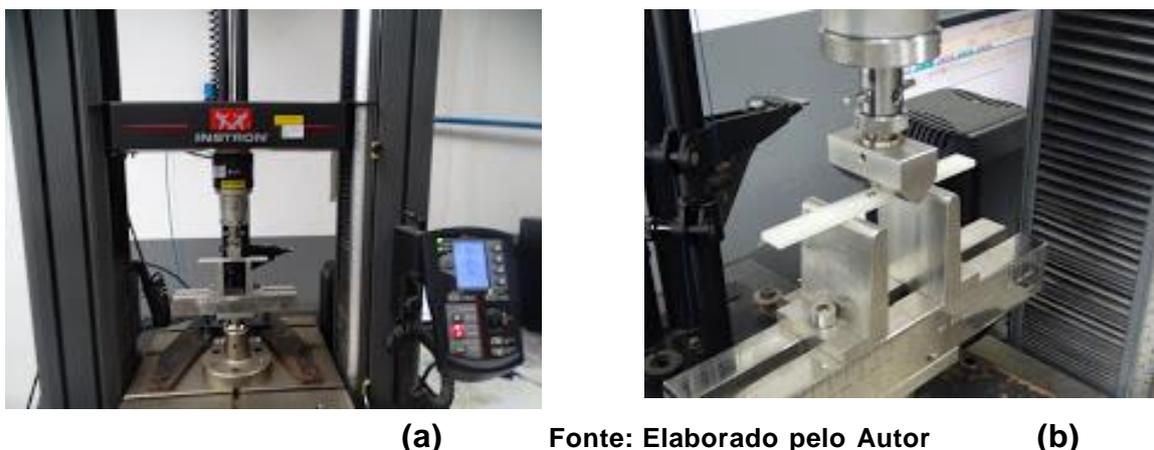
Nas Figuras 52, 53, 54 e 55, podem ser observados vazios proveniente das fibras arrancadas (pull out) e fibras quebradas. Visualmente percebe-se também uma maior concentração de fibras com o aumento do seu percentual. Com o aumento da concentração de fibra de vidro percebe-se uma redução no percentual de vazios.

Vale lembrar outros fatores não explorados neste trabalho que podem alterar este comportamento, ou seja, com o aumento da temperatura de injeção, podem ser observadas tendências similares as que ocorreram com o aumento de concentração de fibras de vidro devido ao fato de ter menos finais de fibras, onde é uma região de concentração de tensão. (OTA, 2004). A temperatura do molde também é um outro fator que pode influenciar o comportamento das fraturas destes compósitos. Uma diminuição na temperatura do molde induz um aumento da tensão de cisalhamento durante o preenchimento do molde e existe uma grande tendência das fibras se orientarem paralelamente para o fluxo de injeção. (FU et al, 2000).

5.3.3 Resultados ensaio de flexão

Os ensaios de flexão foram realizados conforme a norma ASTM-D790. Foi utilizada a mesma máquina de ensaio de tração, ou seja, a máquina Instron modelo 5867 com Capacidade de 30 kN. A Figura 56(a) mostra a máquina em vista frontal e em (b) mostra o corpo de prova apoiado sobre a ferramenta de flexão que foi afixada na área de trabalho da máquina de ensaio.

Figura 56 – Corpo de prova submetido a ensaio de flexão



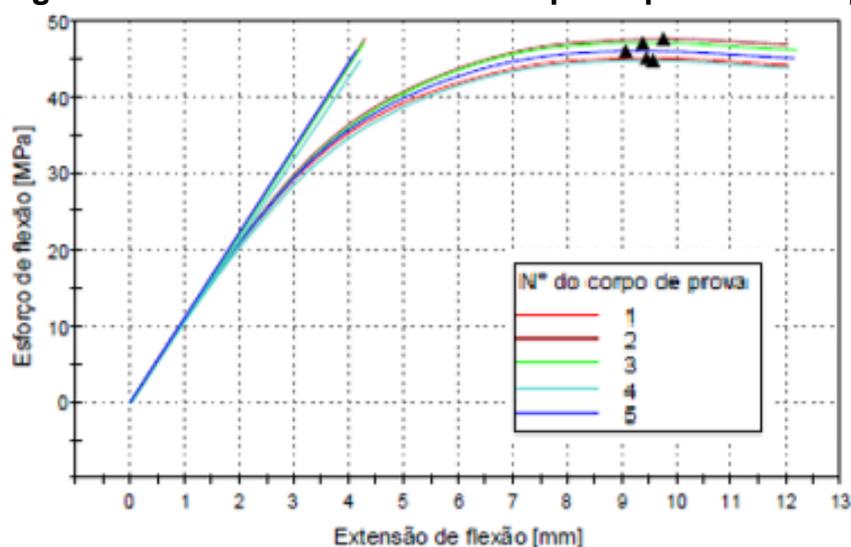
(a)

Fonte: Elaborado pelo Autor

(b)

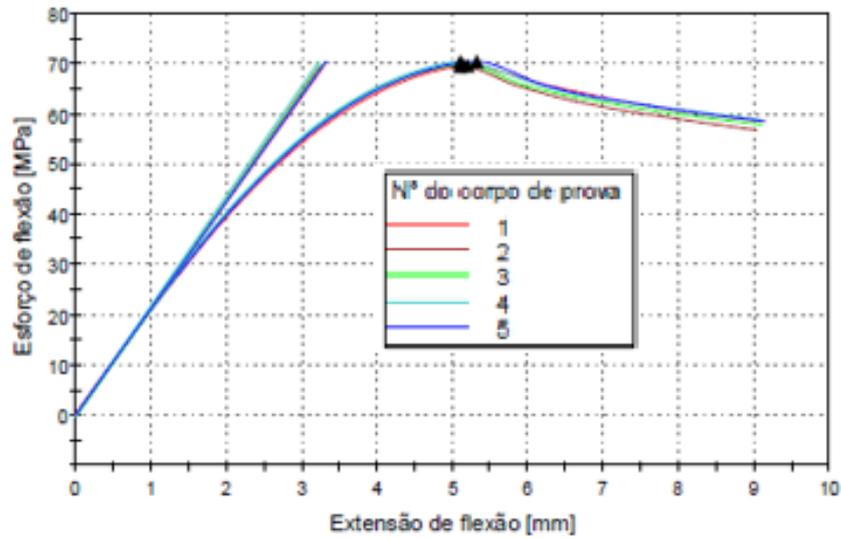
Os ensaios foram realizados a temperatura ambiente (23°C) com a umidade relativa do ar de 60%. Pode-se visualizar nas Figuras, 57, 58, 59, 60 e 61 que mostram os gráficos dos esforço de flexão em MPa versus extensão de flexão em (mm), que a medida que a carga de vidro vai aumentando, o esforço de flexão máximo necessário também vai aumentando de $46,17\text{Mpa}$ no material puro até $94,64\text{Mpa}$ no compósito com 30% de fibra de vidro. Houve aumento de 104,98% no esforço de flexão máximo necessário. O módulo de Young em MPa, também vai aumentando de $1.371,58\text{ MPa}$ no material puro para $4.802,57\text{ Mpa}$ no compósito com 30% de fibra de vidro. Houve aumento de 250,15% no valor do módulo de Young. A fibra de vidro então promoveu o aumento da rigidez do material ou a sua resistência à deformação elástica.

Figura 57 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP puro



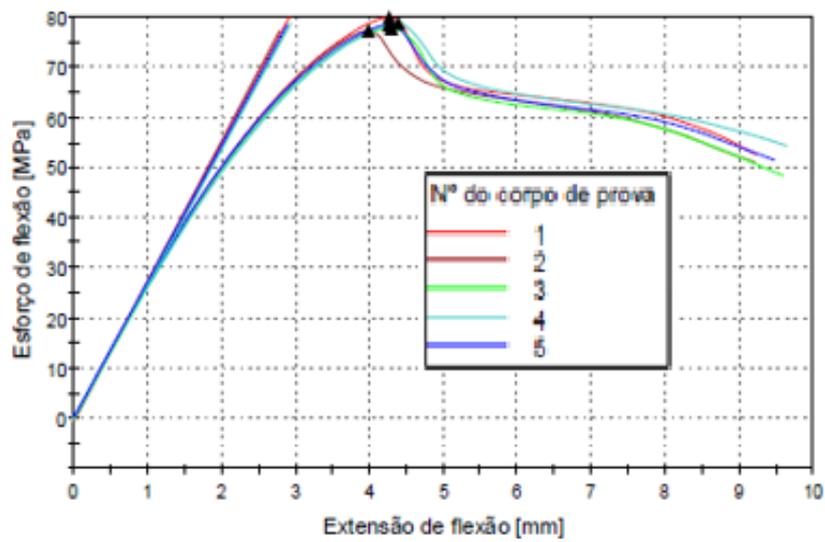
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 58 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 15% de FV



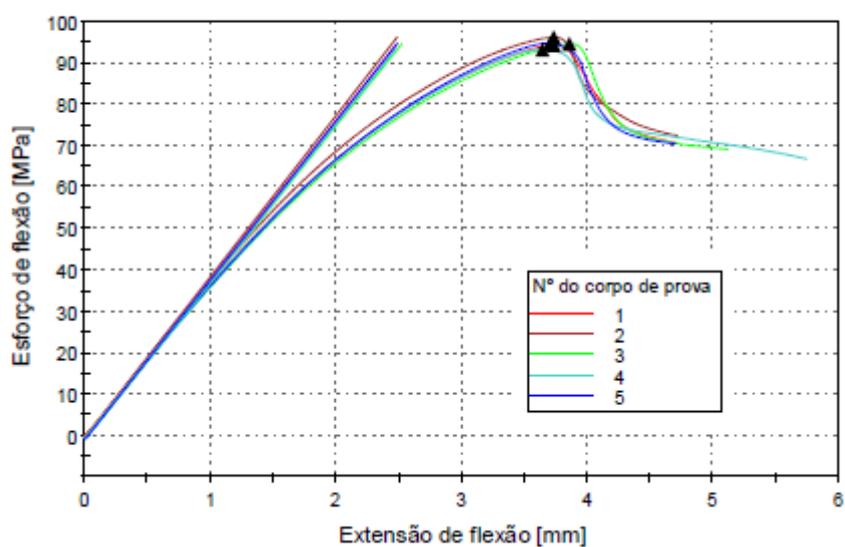
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 59 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 20% de FV



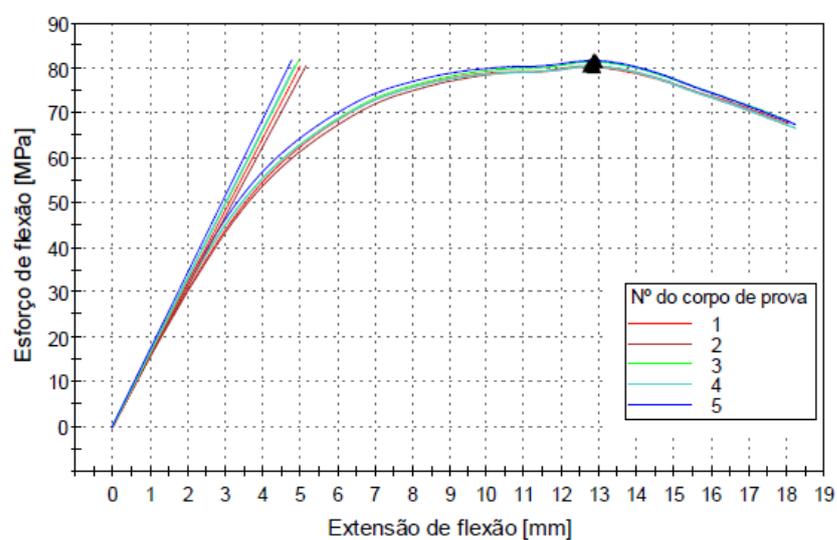
Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 60 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PP com 30% de FV
Gráfico de flexão



Fonte: Elaborado pelo Autor

Figura 61 – Gráfico de flexão do corpo de prova em PA com 30% de FV
Gráfico de flexão



Fonte: Elaborado pelo Autor

As tabelas com os valores encontrados para os corpos de prova, nos testes de flexão estão no apêndice C.

5.3.4 Resultados ensaio de impacto

No caso de ensaios de impacto, é difícil prever se um material plástico reforçado ou não reforçado terá comportamento superior. Isto ocorre porque o aumento de rigidez com o reforço produzirá maior absorção de energia para uma determinada deformação de amostra quando ocorre flexão antes da quebra, no entanto, a fratura ocorrerá a uma deformação menor do que o de uma amostra não reforçada devido ao maior caráter quebradiço. (DE SK WHITE, 1996).

Os ensaios de impacto IZOD também foram realizados na Empresa Fiat Chrysler Automobiles (FCA) conforme norma ASTM-D256. A Tabela 14 mostra os resultados obtidos em ensaio de impacto para energia (J) e resistência ao impacto (J/m) dos corpos de prova com concentração de fibra de vidro em 15%, 20% e 30%. Na Tabela 14, L = Largura, e = espessura, L' = Largura após entalhe, L'' = Entalhe, S = Área do entalhe, J = Trabalho, I = Resistencia ao Impacto Izod. Foram utilizadas cinco amostras em cada concentração estudada.

Tabela 14 – Influência da concentração da fibra de vidro na resistência ao impacto IZOD.

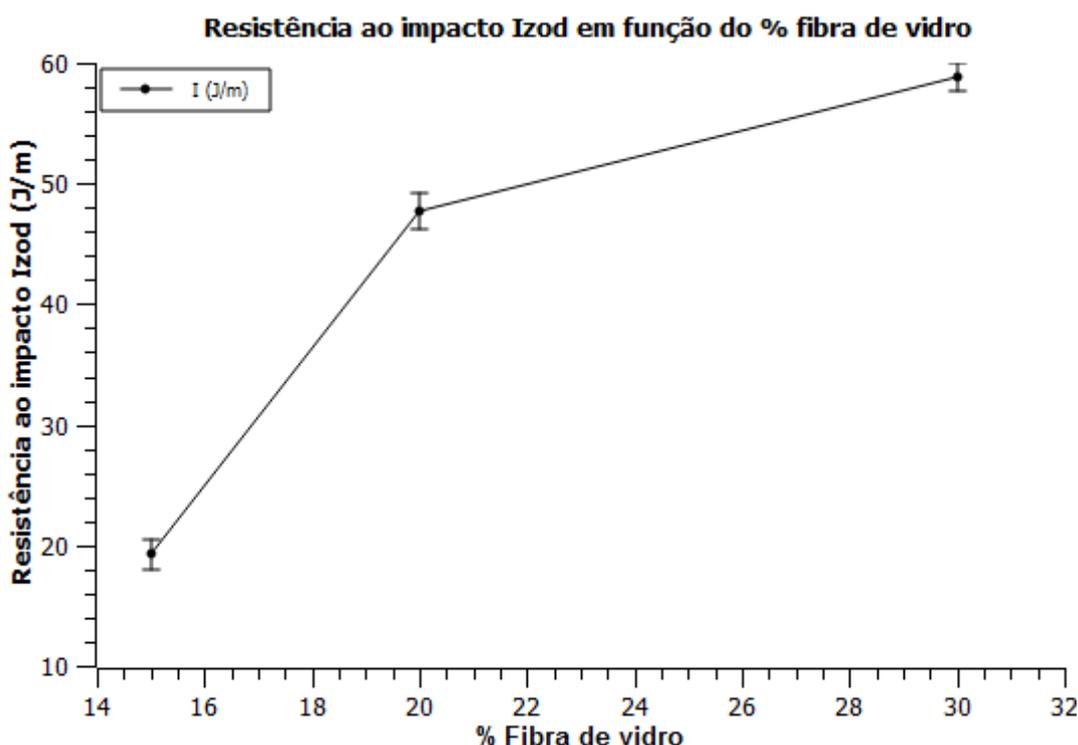
Amostra	L(mm)	e(mm)	L'(mm)	L''(mm)	S(mm ²)	J(J)	I(J/m)
	13,12	3,40	10,30	2,82	35,02	0,064	18,82
2 PP 15%FV	13,12	3,40	10,50	2,62	35,70	0,071	20,88
3 PP 15%FV	13,12	3,40	10,52	2,60	35,77	0,068	20,00
4 PP 15%FV	13,12	3,40	10,48	2,64	35,63	0,064	18,82
5 PP 15%FV	13,12	3,40	10,32	2,80	35,09	0,060	17,65
Valor médio							19,23
Desvio padrão							1,24
1 PP 20%FV	13,12	3,41	10,41	2,71	35,50	0,158	46,33
2 PP 20%FV	13,12	3,41	10,22	2,90	34,85	0,167	48,97
3 PP 20%FV	13,12	3,41	10,47	2,65	35,70	0,164	48,09
4 PP 20%FV	13,12	3,41	10,32	2,80	35,19	0,168	49,27
5 PP 20%FV	13,12	3,41	10,34	2,78	35,26	0,157	46,04
Valor médio							47,74
Desvio Padrão							1,48
1 PP 30%FV	13,13	3,41	10,48	2,65	35,74	0,197	57,77
2 PP 30%FV	13,13	3,41	10,52	2,61	35,87	0,201	58,94
3 PP 30%FV	13,13	3,41	10,55	2,58	35,98	0,207	60,70
4 PP 30%FV	13,13	3,41	10,50	2,63	35,81	0,199	58,36
5 PP 30%FV	13,13	3,41	10,55	2,58	35,98	0,198	58,06
Valor médio							58,77
Desvio padrão							1,16

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A variação encontrada da resistência ao impacto com o aumento do percentual de fibras está em concordância com os relatos da literatura (FEJES-KOZMA e KARGER-COCSIS, 1994; GUPTA et al, 1991; THOMASON e VLUG, 1997), ou seja, quanto maior o percentual de fibra, maior a resistência ao impacto das amostras testadas. Os resultados deste trabalho apontaram um aumento que variou de 148,3% a 205,6% para o valor de resistência ao impacto (J/m) quando comparado ao compósito com 15% de fibra de vidro, o que está de acordo com Chiu et all (1991), que mencionou um aumento significativo de resistência ao impacto com o aumento do teor de fibras em sistemas PP/FV. A presença da fibra no compósito tende a desviar a propagação da trinca no material, fazendo que ocorra um mecanismo de proteção da matriz polimérica.(OTA, 2004)

A Figura 62 apresenta o gráfico com os valores dos limites de resistência ao impacto e o desvio padrão dos corpos de prova para o PP puro e com 15%, 20%, 30% de FV.

Figura 62 – Gráfico de resistência ao impacto Izod em função da % de fibra de vidro



Fonte: Elaborado pelo Autor

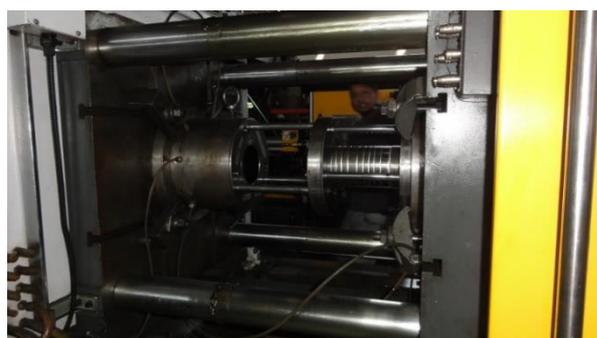
5.4 Resultados da injeção e teste prático na carcaça do elemento filtrante.

A injeção da carcaça do elemento filtrante foi realizada na empresa do autor do presente trabalho, Liderplast ME, localizada na cidade de Betim. Foi utilizada uma Máquina injetora modelo Sinitron, série SYA-DT, de 180 tons de fechamento e capacidade de injeção de 433 gramas de Poliestireno, PS. A Figura 63 (a) mostra a foto do molde de injeção da carcaça do elemento filtrante montada na injetora, pronta para início de injeção e a Figura 63 (b) mostra a foto do molde de injeção da carcaça aberto para a extração da peça de dentro da cavidade.

Figura 63 – (a) Molde da carcaça do elemento filtrante montada na injetora, (b) Molde aberto para a extração da peça de dentro da cavidade



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 15 mostra valores comparativos do processamento do Nylon/30%FV e do PP/30%FV para a fabricação da carcaça do elemento filtrante. Os dados apresentados para a injeção do Nylon com 30% de fibra, já são os usualmente utilizados na fabricação. Já os dados para a injeção do PP, foram inicialmente adotados, aqueles indicados pelo fabricante da matéria prima e foram ajustados durante a injeção das peças. Foram injetadas 30 peças de nylon e 30 peças de PP.

Tabela 15 – Valores comparativos do processamento do nylon/30%FV e do PP/30%FV

	Nylon/30% FV		PP/30% FV
Peso médio da peça	190 g		160 g
Preço de matéria prima	R\$ 13,5/kg		R\$ 8,40/kg
Pressão de injeção	90 Bar		75 Bar
Ciclo total de injeção	60 s		38 s
Recomendado pelo fabricante 230 C a 190 C temperaturas nas zonas de aquecimento do canhão	1 ^a	325° C	210° C
	2 ^a	320° C	200° C
	3 ^a	290° C	190° C
	4 ^a	280° C	180° C
	5 ^a	270° C	170° C

Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a injeção as carcaças do elemento filtrante foram encaminhadas para a Empresa Oilcheck, situada na Av. Severino Ballesteros Rodrigues, 627, no Bairro Ressaca, Contagem - MG. Foram feitos testes de bancada com equipamentos na oficina da empresa e posteriormente 08 carcaças foram enviadas pela empresa Oilcheck a seus principais clientes para testarem as carcaças em uso no campo.

A Figura 64 mostra a carcaça do elemento filtrante injetada em PP com 30%FV após a injeção.

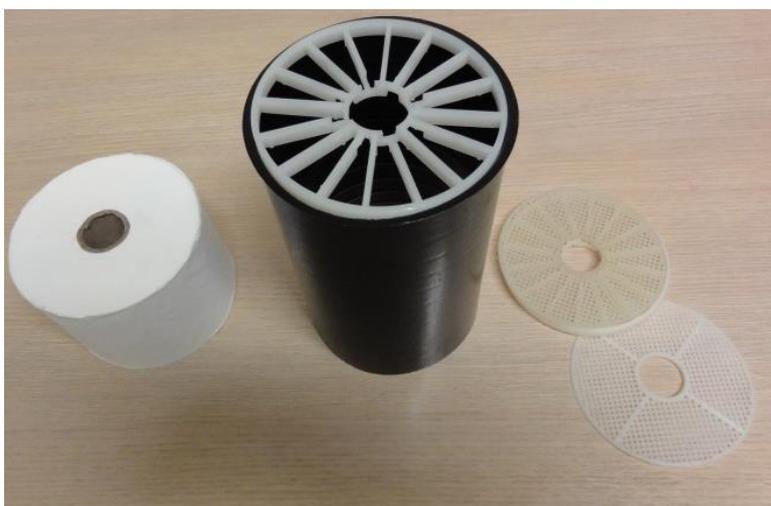
Figura 64 - Carcaça Injetada em PP com 30% FV.



Fonte: Elaborado pelo Autor

O primeiro teste pratico inicial executado na empresa Oilcheck foi a verificação da montagem dos discos de apoio e o elemento filtrante na carcaça do elemento filtrante. Os resultados foram satisfatórios. A Figura 65 (a) a carcaça com os discos de apoio e o elemento filtrante e Figura 65 (b) - Mostra o elemento filtrante sendo montado na carcaça injetada em PP com 30% de FV.

Figura 65 – (a) -carcaça com discos de apoio e o elemento filtrante, (b) elemento filtrante sendo montado na carcaça.



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Posteriormente ao teste de montagem foram realizados vários testes de filtragem com pressão, em bancada e equipamentos da empresa Oilcheck. A Figura 66 mostra um dos equipamentos onde pode-se visualizar a tampa superior aberta, visando mostrar a carcaça montada, com os discos de apoio e o elemento filtrante.

Figura 66 – Carcaça do elemento filtrante em PP/30%FV em equipamento de testes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Após vários ensaios realizados na empresa Oilcheck, a empresa emitiu um laudo técnico parcial de aprovação do produto que se encontra no Anexo B do presente trabalho. O laudo técnico final de aprovação já se encontra em fase de elaboração.

6 CONCLUSÃO

Com relação aos compósitos de Polipropileno reforçados com fibra de vidro, moldados por injeção, para estudo de suas propriedades e aplicações no presente trabalho, pode-se concluir:

- a) O aumento da concentração de fibra de vidro, promove proporcionalmente uma diminuição na contração da amostra do compósito, em função da resistência que a fibra de vidro causa pela sua menor plasticidade.
- b) A resistência a tração aumenta com o aumento da quantidade de carga de fibra. Já o alongamento na tração, diminui.
- c) Através das imagens de microscopia observou-se que a adesão entre a fibra de vidro e a matriz polimérica não se dá completamente, mesmo com a utilização de um agente de adesão como o utilizado pelo fornecedor da matéria prima desse trabalho. Aliás pelos trabalhos lidos durante o estudo, nenhum agente alcançou o valor de 100% de adesão. Quando observamos as imagens são visíveis alguns pontos de “pull-out” e a falta de indícios de matriz aderidas nas fibras arrancadas.
- d) O esforço de flexão máximo e o módulo de elasticidade (Young), aumentam com o aumento da quantidade de carga de fibra de vidro no compósito.
- e) A inclusão das fibras de vidro foi responsável também por um aumento significativo da resistência ao impacto ($19,23\text{J/m} - 15\%FV \Rightarrow 58,77\text{J/m} - 30\%FV$) que aumenta com o aumento do teor de fibra de vidro.
- f) Na análise termogravimétrica, a concentração de fibras foi confirmada em concordância com os valores apresentados pelo fornecedor da matéria prima que usamos no presente trabalho.
- g) A injeção da carcaça do elemento filtrante utilizando polipropileno com 30%/FV, apresentou resultado positivo conforme Laudo Técnico entregue pela Empresa Oilcheck após testes de bancada efetuados. Considerando os valores comparativos do processamento do nylon/30%FV e do PP/30%FV (Tabela 15), pode-se afirmar que haverá uma redução de custos entre 18% a 22% com a substituição do nylon pelo polipropileno. Apresenta ainda a vantagem da utilização de polipropileno de fabricação nacional em comparação com nylon (poliamida), que é importada.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Com as informações obtidas nos testes com os corpos de prova no presente trabalho, buscar situações em que o Polipropileno com fibra de vidro possa substituir materiais mais caros atualmente em uso na fabricação de peças e componentes.
- b) Realizar estudo com o objetivo de analisar até que ponto o aumento da proporção da fibra de vidro afeta positivamente a resistência a tração, flexão, impacto e fadiga como reforço aos polímeros.
- c) Realizar estudo sobre o que ocorre com o Polipropileno puro, com 15%, 20% e 30% de fibra de vidro com relação à fadiga, o que não foi desenvolvido no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Os plásticos**. São Paulo, 2017. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/site/os-plasticos>> Acesso em 25 jan. 2017.

ASKELAND, DR; FULAY, PP. **Ciência e engenharia dos materiais**. São Paulo : Cengage Learning, 2008., 2008. ISBN: 9788522105984.

ASTM C78 / C78M-18, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

ASTM C158-02(2017), Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure (Determination of Modulus of Rupture), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.

ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM D882-12, Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

BERNARDES, Giordano P.; SAKAHARA, Rogério M.; FORTE, Maria, M.C.. **Avaliação da eficiência do agente de acoplamento em compostos de PP/PV**. 13º Congresso Brasileiro de Polímeros. Natal, Rio Grande do Norte, 2015.

BOWEN Yu; CHENGZHEN, Geng; MI, Zhou; HONGWEI, Bai; QIANG, Fu; BOBING, He. Impact toughness of polypropylene/glass fiber composites: Interplay between intrinsic toughening and extrinsic toughening. **Journal Elsevier**. Composites Part B 92. p. 413-419, 2016.

CALLISTER, WD; RETHWISCH, DG; SOARES, SS. **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais : uma abordagem integrada**. Rio de Janeiro, RJ : LTC, 2014., 2014. ISBN: 9788521625179.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, ABPol, 2006.

CHIU, W.Y; LU, H. C, CHANG, C. L. Relationship between extrusion condition and mechanical properties of FRPP. **Journal of Applied Polymer Science**, 43 (7): 1335-1341, 1991.

DE SK, White JR. Short Fibre-Polymer Composites. **Woodhead Publishing Limited, England**, 1996, pg. 2,3,64,65

ETCHEVERRY, Mariana; BARBOSA, Silvia, E.. Glass fiber reinforced polypropylene mechanical properties enhancement by adhesion improvement. **Journal Materials**, 5(6), p. 1084-1113, 2012. Doi: 10.3390/ma5061084.

FEJES-KOZMA Z., KARGER-KOCSIS J. Fracture mechanical characterization of a glass-fiber material reinforced polypropylene by instrumented impact bending. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 13, n. 9, 822-834pp. Sep. 1994.

FERNANDES, Manoel Roberto Ferreira. **Avaliação do processamento e propriedades de compósitos de poliuretano termoplástico reforçados com fibras silexil, em comparação com outras fibras/cargas comercialmente utilizadas**. 2004. 157f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2004.

FREIRE, Estevão; MONTEIRO, Elisabeth, E. C.; CYRINO, Julio, C. R.. Propriedades Mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p. 25-32, jul/set. 1994.

FTA, Filter Technology Australian. Filter Technology: specialising in fluids filtration. 2016. Disponível em: <<http://www.filtertechnology.com.au/index.htm>>. Acesso em: 03 mar. 2017.

FU S Y, LAUKE B, MADER E, YUE CY, HU X. **Tensile properties of short –glass-fiber and short-carbon-fiber reinforced polypropylene composites**, Compos Part A-Appl S 31 (10): 1117-1125, 2000.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro, LTC, 2000.

GUPTA, A.K. SRINIVASAN, K.R. KUMAR, P.K. Glass-Fiber reinforced Polypropylene EPDM blends. II. Mechanical properties and morphology. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 43, n. 3, 451-462pp. Aug.1991

HARTL, A. M.; JERABEK, M.; LANG, R. W.. Effect of fiber orientation, stress state and notch radius on the impact properties of short glass fiber reinforced polypropylene. **Journal Elsevier Polymer Testing**. p. 43 (1-9), 2015.

HEMAIS, Carlos A.. Polímeros e a indústria automobilística. **Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 2, June 2003. Disponível em <http://www.scielo.br/sielo.php?script=sci_arttext&pid=s0104-14282003000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 jan. 2017.

HERNÁNDEZ, Mayra Iveth Llamas. **Comportamiento elástico y morfológico de composites polipropileno/grafeno**. 2014. 72f. Tese (Mestrado) – División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de Los Garza, 2014.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; PIOVESAN, Maurício; BERTOLETTI, Luísa Lima; ALTMAYER, Sabrina; VORPAGEL, Tatiane Hohm. Glass fiber: characterization, disposal and environmental impact generated. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 10, n. 10, p. 2112-2121, 2013.

LOPES, Paulo Edson; SOUZA, José Alexandrino de. Influência das condições de processamento nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibras de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. p. 85-96, jan/mar. 1999.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos**. São Paulo. Editora ArtLiber, 2004.

MARTINS, Gilmar. **G. B. Materiais didáticos: intrdução dos materiais plásticos**. São Paulo. 2016.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D.. **Composite Materials: engineering and science**. Chapman and Hall, UK, 1994.

MOL, Alberto de Souza. **Preparação e funcionalização de nano fibras (Whiskers) de quitina e sua aplicação como agente de recuperação de propriedades em polipropileno e poli (acrilonitrila-butadieno-estireno) reciclados**. 2014. 110f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

OLIVEIRA, Andrea Gomes de; PANZERI, Heitor. Resistência à flexão e à fadiga da resina acrílica quimicamente ativada acrescida de fibras híbridas. **Original Article. Uberlândia**, v.20, n.2. ago. 2004 p.103-112.

OTA, Waldyr Naoki. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 89f. Dissertação (Mestrado) – Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004.

PAIVA, Vanessa Giusti. **Desenvolvimento e caracterização de material compósito á base de PMMA reforçado com fibra de vidro para uso odontológico**. 2008. 91f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

RUSSO, P.; ACIERNO, D.; SIMEOLI, G.; IANNACE, S.; SORRENTINO, L. Flexural and impact response of woven glass fiber fabric/polypropylene composites. **Journal Elsevier**. Composites: Part B. 54, p. 415-421, 2013.

SALIBA JÚNIOR, Clémenceau Chiabi. **Avaliação das propriedades mecânicas de poliuretano tendo como agente de reforço uma nova fibra inorgânica natural**. 2003. 104f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2003.

SMITH, William, F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de engenharia: e ciência dos materiais**. Porto Alegre, RS : AMGH, 2012., 2012. ISBN: 9788580551143.

SÖNMES, Maria; GEORGESCU, Mihai; VÂLSAN, Mihaela; RADULESCU, Marius; FICAI, Denisa; VOICU, Gerogeta; FICAI, Anton; ALEXANDRESCU, Laurentia. Design and characterization of polypropylene matrix/glass fibers composite materials. **Journal of Applied Polymer Science**. p. 42163 (1-10 of 10), 2015.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos : fundamentos teóricos e práticos**. São Paulo: E. Blucher, c1982., ISBN: 9788521200123.

THOMASON, J.L. The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP, Composites Part A-Applied. **Science and Manufacturing**, v. 33, n. 12, p. 1641-1652, 2002.

THOMASON J.L, VLUG M.A. Influence of a fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene .4. Impact properties, composites, Part A – **Applied Science and Manufacturing**, 28(3): 277 – 288, 1997.

TOKUMOTO, Shinichi. **Deformação plástica do Polipropileno Isotático: aspectos do mecanismo, propriedades e morfologia**. 2003. 262f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

UFBA – Escola Politecnica da Bahia – Departamento de Construção e Estruturas. 2004. Disponível em: <<http://www.ferramentalrapido.ufba.br/>> . Acesso em: 25/02/2017.

XIAODONG, L. et al. Recycling of blends of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and polyamide. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 86, n. 10, p. 2535-2543, 2002. ISSN 1097-4628. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/app.11098>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

YOUSSEF, Al Herz; MADHURANTHAKAM, Chandra, Mouli R.; ELKAMEL, Ali; MITTAL, Vikas. Optimizing mechanical properties of injection-molded long fiber-reinforced polypropylene. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**. v. 28(6), p. 849-862, 2015.

ANEXO A – Fichas Técnicas, PP natural, PP com 15%,20% e 30% fibra de vidro.

Petrotene® PETROTENE A3 LF NTLA016 PH318		PRELIMINAR		 PETROPOL® A essência da transformação	
Product Description					
Polypropylene Homopolymer					
General Considerations					
Resin ID (ISO 1043)	· PP				
Additive					
Processing	· Injection Molding		· Extrusion		
Color	· Natural				
Physical					
	Value	Unit	Method		
Density / Specific Gravity	0,89 to 0,92	g/cm ³	ISO 1183		
Mold Shrinkage		%	ISO 294-4		
Parallel	1,4 to 1,6				
Normal	1,3 to 1,5				
Melt Mass-Flow Rate - 230°C; 2,16kg	1 to 6	g/10min	ISO 1133		
Mechanical					
	Value	Unit	Method		
Yield Stress (50 mm/min)	34	MPa	ISO 527-1-2		
Yield Strain (50 mm/min)	9	%	ISO 527-1-2		
Tensile Modulus (50 mm/min)	1500	MPa	ISO 527-1-2		
Flexural Modulus (2 mm/min)	1450	MPa	ISO 178		
Charpy Impact Strength		kJ/m ²	ISO 179/1eU		
23°C	190				
Charpy Notched Impact Strength		kJ/m ²	ISO 179/1eA		
23°C	3,5				
Izod Notched Impact Strength		kJ/m ²	ISO 180/1A		
23°C	4,0				
Thermal					
	Value	Unit	Method		
Melting Point	160 to 180	°C	--		
Heat Deflection Temperature		°C	ISO 75-1-2		
0,45 MPa	80				
1,80 MPa	50				
Vicat Softening Temperature		°C	ISO 306		
10 N ; 50°C/h	154				
50 N ; 50°C/h	90				
Process					
		Unit	Method		
Molding Process Temperature	190 to 230	°C	--		
Mold Temperature	60 to 80	°C	--		
Drying	80/4	°C/Hours	--		

Os dados contidos neste Informativo Técnico foram obtidos em Laboratório e refletem a média de vários lotes produzidos. Estas informações encontram-se atualizadas até a data em que foi autorizada a impressão deste. A Petropol reserva-se o direito de alterar desenhos, especificações e informações de seus produtos a qualquer tempo ou descontinuará-los, independente de qualquer aviso ou comunicado sem incorrer em responsabilidade de qualquer espécie.

Data contained in this Data Sheet have been obtained in laboratory and reflect the average number of batches produced. This information is current as of the date on which it was authorized to print this. The Petropol reserves the right to alter designs, specifications and information on its products at any time or discontinue them, regardless of any notice or statement without incurring liability of any kind.



INFORMATIVO TÉCNICO

Petrotene®

Resina de Polipropileno Composto

➤ PETROTENE A3 G15 NTLA010 PH307

Polipropileno com 15% de fibra de vidro, ideal para moldagem por injeção, resistente a óleo, graxa e vários solventes, apresenta alta resistência à tração e maior HDT, e excelente estabilidade dimensional.

Propriedades	Método	Unidade	Valores
Físicas	ASTM		
Peso Específico (Densidade)	D-792	g/cm ³	1,03 a 1,07
Contração na Moldagem	D-955	%	0,5 a 1,0
Absorção de Umidade	D-570	%	1,0 a 2,0
Índice de fluidez	D-1238	g/10 min.	3 a 15
Mecânicas			
Resistência à Tração	D-638	MPa	45
Alongamento na Ruptura	D-638	%	5
Resistência Flexão	D-790	MPa	80
Modulo de Flexão	D-790	MPa	3000
Impacto Izod com entalhe	D-256	J/m	55
Térmicas			
Temperatura Amolecimento Vicat (5 KG)	D-1525A	°C	120
Flamabilidade	UL-94	-	HB
Temperatura Distorsão Térmica (1,82MPa)	D-696	°C	100
Temperatura de uso contínuo	-	°C	100
Elétricas			
Fator de Dissipação Elétrico (1 kHz)	D-150	-	0,001
Resistividade Volumétrica	D-257	Ω.cm	> 10 ¹⁴
Resistência Dielétrica	D-149	KV/mm	40
Processo			
Temperatura de Processo Moldagem	-	°C	190 a 230
Temperatura do Molde	-	°C	60 a 80
Estufagem	-	°C/horas	80 / 2

Os dados contidos neste Informativo Técnico foram obtidos em Laboratório e refletem a média de vários lotes produzidos. Estas informações encontram-se atualizadas até a data em que foi autorizada a impressão deste. A Petropol Mauá reserva-se o direito de alterar desenhos, especificações e informações de seus produtos a qualquer tempo ou descontinuí-los, independente de qualquer aviso ou comunicado sem incorrer em responsabilidade de qualquer espécie.



INFORMATIVO TÉCNICO

Petrotene®

Resina de Polipropileno Composto

➤ PETROTENE A3 G20 NTLA010 PH304

Polipropileno com 20% de fibra de vidro, ideal para moldagem por injeção, resistente a óleo, graxa e vários solventes, apresenta alta resistência à tração e maior HDT, e excelente estabilidade dimensional.

Propriedades	Método	Unidade	Valores
Físicas			
Peso Específico (Densidade)	D-792	g/cm ³	1,03 a 1,07
Contração na Moldagem	D-955	%	0,5 a 1,0
Absorção de Umidade	D-570	%	1,0 a 2,0
Índice de fluidez	D-1238	g/10 min.	3 a 15
Mecânicas			
Resistência à Tração	D-638	MPa	45
Alongamento na Ruptura	D-638	%	5
Resistência Flexão	D-790	MPa	80
Modulo de Flexão	D-790	MPa	3000
Impacto Izod com entalhe	D-256	J/m	55
Térmicas			
Temperatura Amolecimento Vicat (5 KG)	D-1525A	°C	120
Flamabilidade	UL-94	-	HB
Temperatura Distorsão Térmica (1,82MPa)	D-696	°C	100
Temperatura de uso contínuo	-	°C	100
Elétricas			
Fator de Dissipação Elétrico (1 kHz)	D-150	-	0,001
Resistividade Volumétrica	D-257	Ω.cm	> 10 ¹⁴
Resistência Dielétrica	D-149	KV/mm	40
Processo			
Temperatura de Processo Moldagem	-	°C	190 a 230
Temperatura do Molde	-	°C	60 a 80
Estufagem	-	°C/horas	80 / 2

Os dados contidos neste Informativo Técnico foram obtidos em Laboratório e refletem a média de vários lotes produzidos. Estas informações encontram-se atualizadas até a data em que foi autorizada a impressão deste. A Petropol Mauá reserva-se o direito de alterar desenhos, especificações e informações de seus produtos a qualquer tempo ou descontinuí-los, independente de qualquer aviso ou comunicado sem incorrer em responsabilidade de qualquer espécie.

Petrotene®

Resina de Polipropileno Composto
 Polypropylene Resin Compound

• PETROTENE A3 G30 NTLA010 PH316

Polipropileno homopolímero com 30% de fibra de vidro, ideal para moldagem por injeção, resistente a óleo, graxa e vários solventes, apresenta alta resistência à tração e maior HDT, e excelente estabilidade dimensional.

Polypropylene homopolymer 30% glass fiber, ideal for injection molding, resistant to oil, grease and many solvents, has a high tensile strength and higher HDT, and excellent dimensional stability.

Propriedades / Properties	Método / Method	Unidade / Unit	Valores / Values
Físicas / Physical			
Identificação da resina <i>Resin Identification</i>	ISO 1043		>PP GF30<
Teor de cinzas <i>Ash Content</i>	ASTM D 2584	%	30 ± 2
Peso Específico (Densidade) <i>Density</i>	ASTM D 792	g/cm ³	1,15
Contração na Moldagem <i>Mold Shrinkage</i>	ASTM D 955	%	0,5 to 1,0
Índice de fluidez <i>Melt Flow Rate</i>	ASTM D 1238	g/10 min.	5
Absorção de Umidade <i>Humidity Absorption</i>	ASTM D 570	%	-
Mecânicas / Mechanical			
Resistência à Tração <i>Tensile strength</i>	ASTM D 638	MPa	74
Alongamento na Ruptura <i>Elongation at break</i>	ASTM D 638	%	10
Resistência Flexão <i>Flexural Strength</i>	ASTM D 790	MPa	102
Modulo de Flexão <i>Flexural modulus</i>	ASTM D 790	MPa	5100
Impacto Izod com entalhe <i>Notched Izod Impact</i>	ASTM D 256	J/m	76
Térmicas / Thermal			
Temp. de Deflexão Térmica (1,80 MPa) <i>Heat Deflection Temperature</i>	ASTM D 696	°C	147
Temperatura de Amolecimento Vicat (1 kg - 2 °C/min.) <i>Vicat Softening Temperature</i>	ASTM D 1525A	°C	145
Flamabilidade <i>Flammability</i>	UL 94	/	HB
Elétricas / Electrical			
Fator de Dissipação Elétrico (1 kHz) <i>Electrical Dissipation Factor</i>	ASTM D 150	/	0,001
Resistência Dielétrica <i>Dielectric Strength</i>	ASTM D 149	KV/mm	40
Resistividade Volumétrica <i>Volume Resistivity</i>	ASTM D 257	Ω.cm	-


INFORMATIVO TÉCNICO / DATA SHEET

<i>Processo / Process</i>			
Temperatura de Processo Moldagem <i>Molding Process Temperature</i>	/	°C	190 to 230
Temperatura do Molde <i>Mold Temperature</i>	/	°C	60 to 80
Estufagem <i>Stuffing</i>	/	°C/hours	80/2

Os dados contidos neste Informativo Técnico foram obtidos em Laboratório e refletem a média de vários lotes produzidos. Estas informações encontram-se atualizadas até a data em que foi autorizada a impressão deste. A Petropol reserva-se o direito de alterar desenhos, especificações e informações de seus produtos a qualquer tempo ou descontinuí-los, independente de qualquer aviso ou comunicado sem incorrer em responsabilidade de qualquer espécie.

Data contained in this Data Sheet have been obtained in laboratory and reflect the average number of batches produced. This information is current as of the date on which it was authorized to print this. The Petropol reserves the right to alter designs, specifications and information on its products at any time or discontinue them, regardless of any notice or statement without incurring liability of any kind.

ANEXO B – Laudo Técnico Emitido pela Empresa OILCHECK

 OILCHECK	OILCHECK ANALISE DE FLUIDOS LTDA
	Av. Severino Ballesteros Rodrigues, 627 – B. Ressaca CEP: 32110-005 – Contagem/MG CNPJ: 10.916.685/0001-74 Inscr. Estadual: 0012927020078 Site: www.grupoilcheck.com.br Fone: (0XX31) 2566-7877

LAUDO TÉCNICO

Recebemos do Eng. Geraldo Flávio Ximenes Ladeira, carcaças para o filtro de óleo e combustível da FTA – Filter Technology Australia - fabricado com um compósito de polipropileno e 30% de fibra de vidro, PP/30%FV.

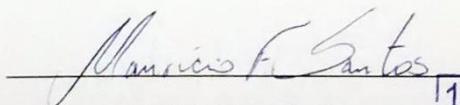
O objetivo é a utilização das carcaças em substituição às fabricadas em "Zitel" (Nylon – Poliamida), uma vez que o custo da matéria prima é menor, bem como o tempo de fabricação de cada peça (ciclo de injeção) também menor. A temperatura para a injeção do PP/30%FV é mais baixa que a do Ny/30%FV, ou seja, menor consumo de eletricidade para o amolecimento do material na plastificação. A peça também tem um peso menor, cerca de 18%, o que permitirá economia de matéria prima. Tudo isso resultará no final em um preço menor da peça.

Testamos as carcaças em nosso laboratório e oficina e nestes testes constatamos o seguinte:

1. Os elementos que compõe o cartucho completo de filtragem, foram montados na carcaça de PP/30%FV e se comportaram perfeitamente com relação aos seus valores dimensionais, como se estivessem montados nas carcaças de Ny/30%FV.
2. Na bancada de teste o óleo foi forçado a passar por este novo conjunto montado durante 2 horas e 30 minutos, sob uma pressão inicial de 05 Bar e atingindo uma temperatura máxima de 36°C.
Estes valores são similares aos usados quando se utiliza a carcaça de Ny/30%FV.
3. Um número de 08 carcaças foram enviadas à para cada um dos 03 clientes da Oilcheck que farão testes das mesmas em campo, ou seja, utilizando-as nas condições normais de trabalho.

Uma vez, aprovadas pelos clientes consideraremos aprovadas para a substituição das carcaças de Ny/30%FV em função da economia de custo que trará.

Belo Horizonte, 26 de julho de 2017



Maurício Fraga Santos
Supervisor de Suprimentos

10.916.685/0001-74
Insc. Est. 0012927020078

OILCHECK ANALISE DE FLUIDOS LTDA.

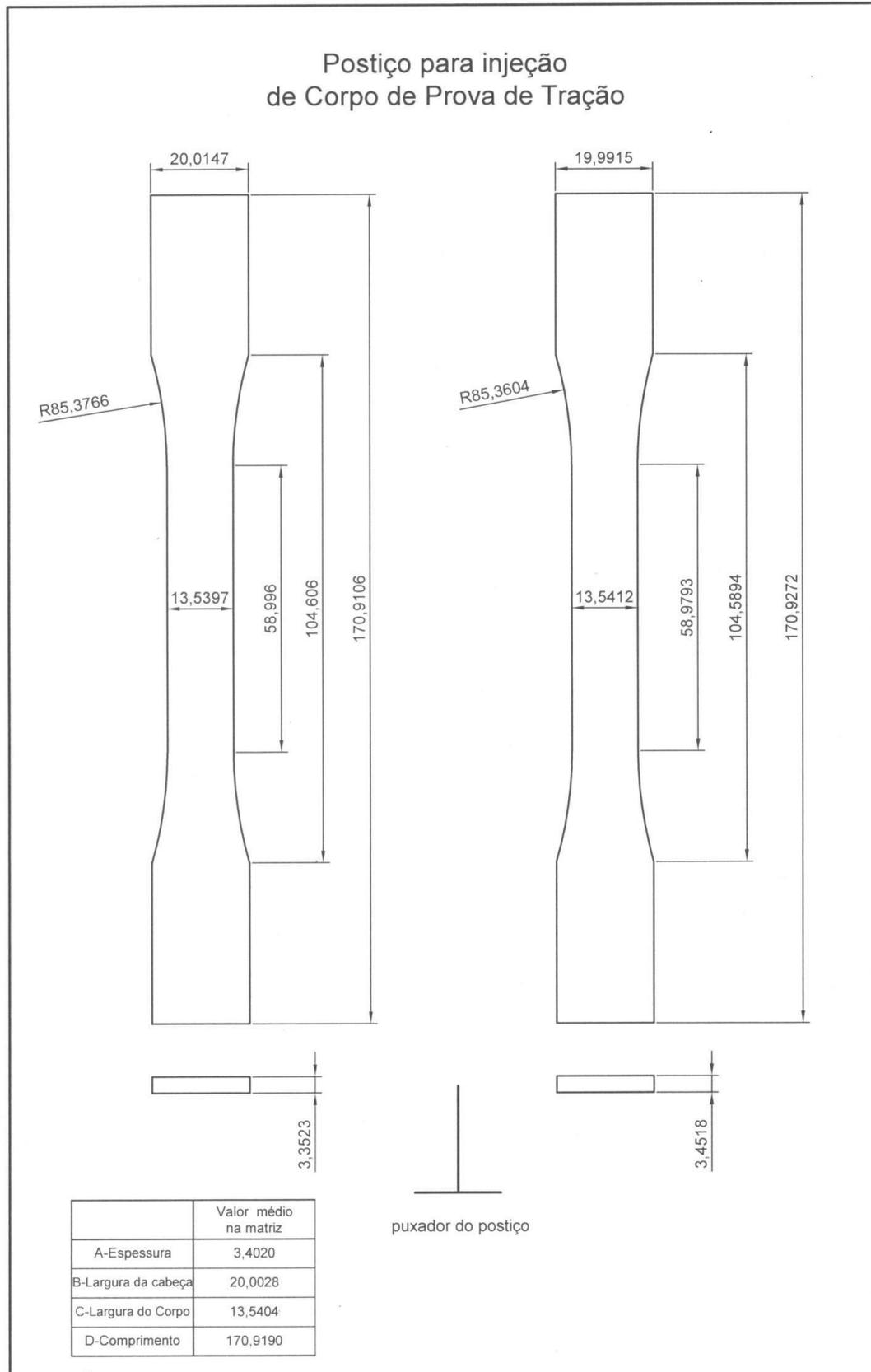
Av. Severino Ballesteros Rodrigues, nº 627
B. Ressaca - CEP: 32110-005

OILCHECK ANALISE DE FLUIDOS LTDA

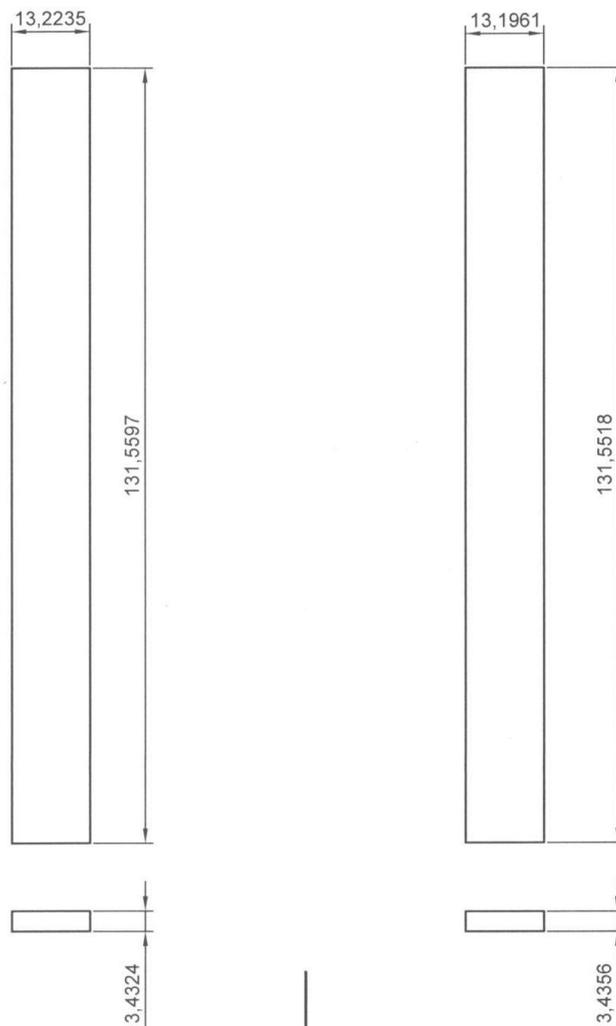
CONTAGEM - Minas Gerais

Av. Severino Ballesteros Rodrigues, 627 – B. Ressaca - CEP: 32110-005 – Contagem/MG

APÊNDICE A – Medidas das cavidades dos Postiços



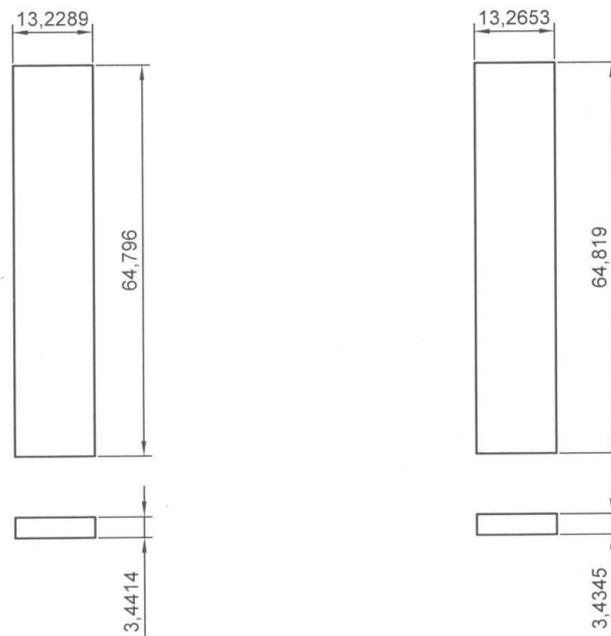
Postiço para injeção de Corpo de Prova de Flexão



puxador do postiço

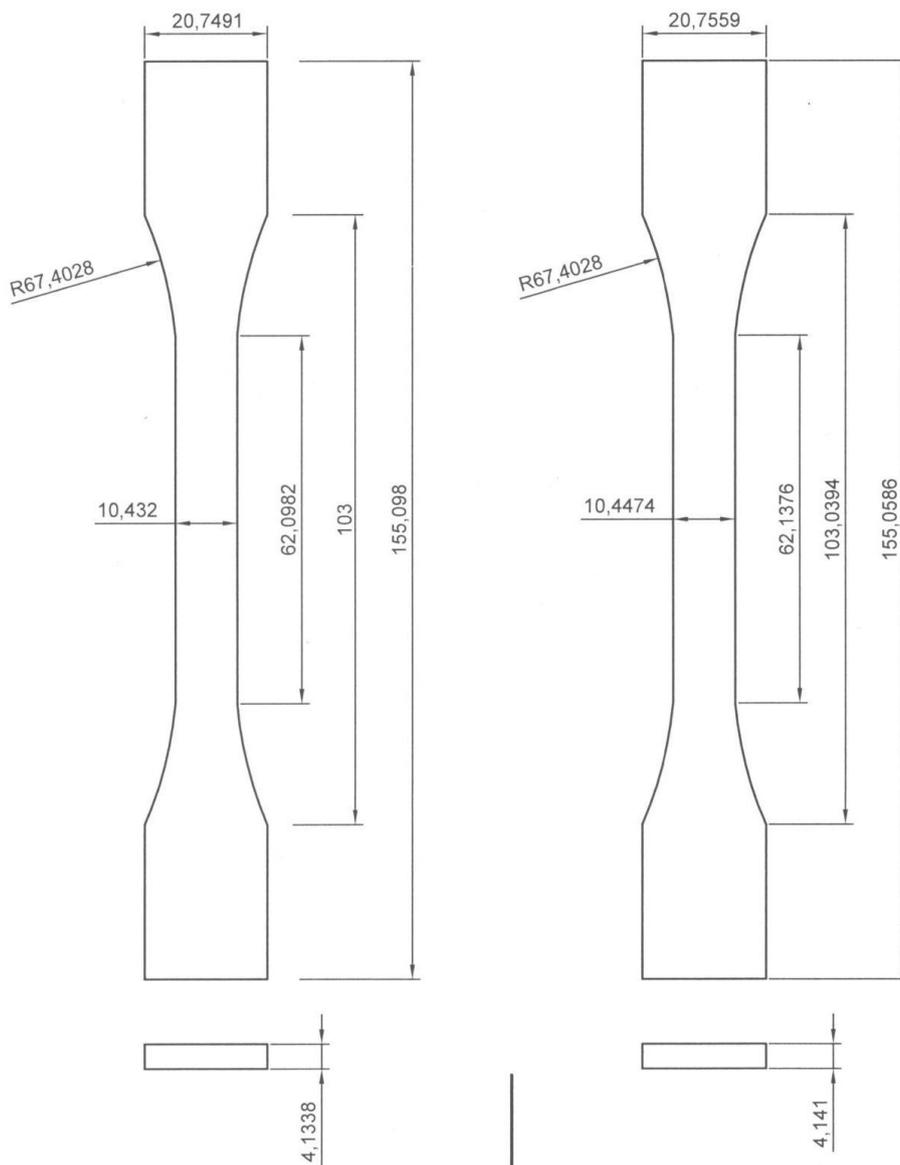
	Valor médio na matriz
A-Espessura	3,3434
B-Largura do Corpo	13,2101
C-Comprimento	131,5558

Postiço para injeção de Corpo de Prova de Impacto



	Valor médio na matriz
A-Espessura	3,4379
B-Largura do Corpo	13,2471
C-Comprimento	64,8075

Postiço para injeção de Corpo de Prova de Fadiga



	Valor médio na matriz
A-Espessura	4,1374
B-Largura da cabeça	20,7525
C-Largura do Corpo	10,4397
D-Comprimento	155,0783

puxador do postiço

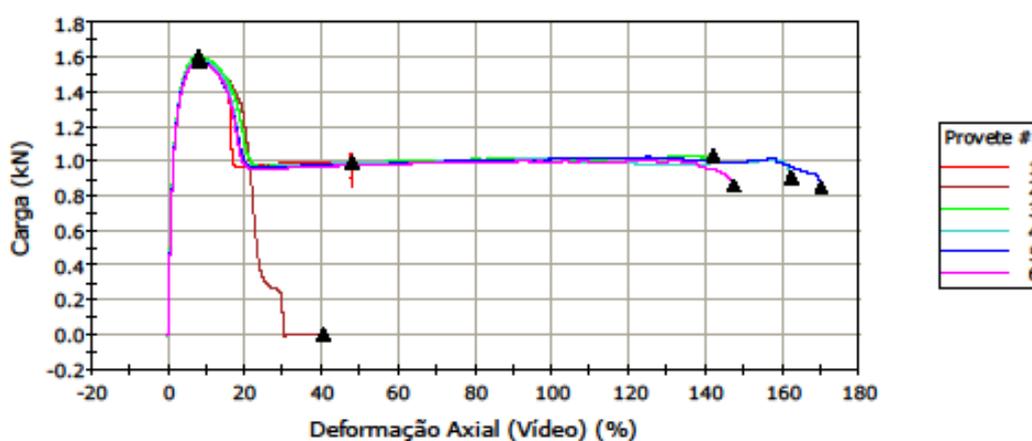
APÊNDICE B – Gráficos dos testes de tração

relatório de ensaio

ASTM - Plásticos - extensômetro Video

Documento	
Fornecedor	
Material	PP Puro Petropol
Tabela	
Temperatura	23
Umidade	60

Gráfico de Tração



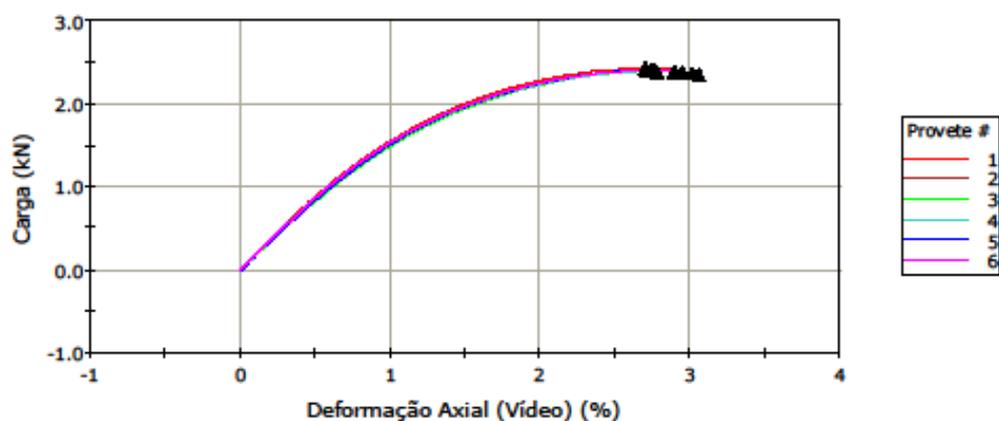
	Espessura (mm)	Largura (mm)	Carga Máxima Load (N)	Tensão Máxima (MPa)	Máximo Deformação Axial (Vídeo) (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Deformação Axial (Vídeo) em Elasticidade (Declive Zero) (%)
1	3,35	13,50	1.591,93	35,20	47,86	35,20	8,04
2	3,35	13,45	1.590,48	35,30	40,38	35,30	8,07
3	3,30	13,45	1.601,74	36,09	141,92	36,09	8,09
4	3,30	13,45	1.584,64	35,70	162,27	35,70	8,21
5	3,35	13,45	1.574,35	34,94	170,16	34,94	8,07
6	3,30	13,40	1.569,31	35,49	147,14	35,49	8,13
Mínimo	3,30	13,40	1.569,31	34,94	40,38	34,94	8,04
Máximo	3,35	13,50	1.601,74	36,09	170,16	36,09	8,21
Média	3,33	13,45	1.585,41	35,45	118,29	35,45	8,10
Desvio Padrão	0,02739	0,03162	11,97685	0,40389	58,38819	0,40389	0,06182
Coefficiente de Variação	0,82	0,24	0,76	1,14	49,36	1,14	0,76

relatório de ensaio

ASTM - Plásticos - extensometro Vídeo

Documento	
Fornecedor	
Material	PP 15% fv - ASTM
Tabela	
Temperatura	23
Umidade	60

Gráfico de Tração



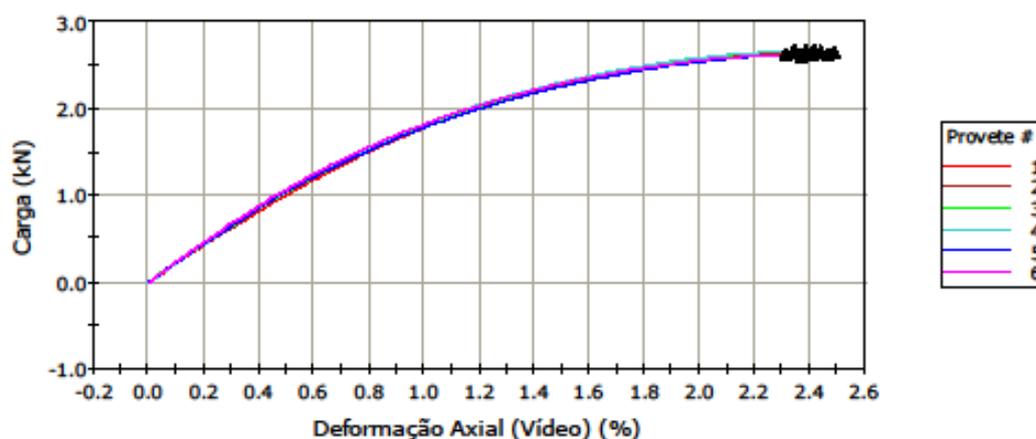
	Espessura (mm)	Largura (mm)	Carga Máxima Load (N)	Tensão Máxima (MPa)	Máximo Deformação Axial (Vídeo) (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Deformação Axial (Vídeo) em Elasticidade (Declive Zero) (%)
1	3,30	13,45	2.424,13	54,62	2,95	54,62	2,70
2	3,30	13,45	2.397,09	54,01	3,02	54,01	2,76
3	3,30	13,40	2.387,21	53,98	2,78	53,98	2,71
4	3,30	13,45	2.387,79	53,80	3,06	53,80	2,78
5	3,30	13,40	2.401,48	54,31	2,95	54,31	2,75
6	3,30	13,40	2.396,12	54,19	2,90	54,19	2,74
Mínimo	3,30	13,40	2.387,21	53,80	2,78	53,80	2,70
Máximo	3,30	13,45	2.424,13	54,62	3,06	54,62	2,78
Média	3,30	13,43	2.398,97	54,15	2,94	54,15	2,74
Desvio Padrão	0,00000	0,02739	13,52141	0,28825	0,09896	0,28825	0,02961
Coefficiente de Variação	0,00	0,20	0,56	0,53	3,36	0,53	1,08

relatório de ensaio

ASTM - Plásticos - extensômetro Video

Documento	
Fornecedor	
Material	PP 20% fv - ASTM
Tabela	
Temperatura	23
Umidade	60

Gráfico de Tração



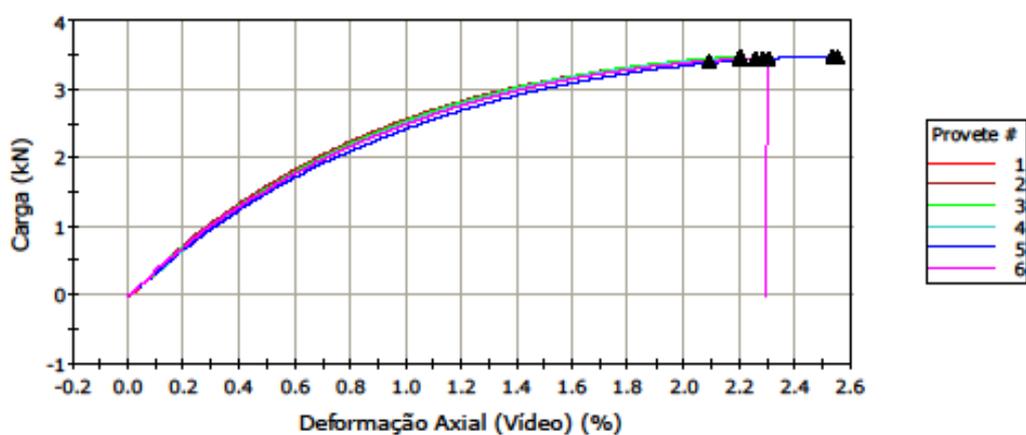
	Espessura (mm)	Largura (mm)	Carga em Máximo Load (N)	Tensão Máxima (MPa)	Máximo Deformação Axial (Vídeo) (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Deformação Axial (Vídeo) em Elasticidade (Declive Zero) (%)
1	3,30	13,40	2.649,38	59,91	2,44	59,91	2,42
2	3,30	13,40	2.650,19	59,93	2,49	59,93	2,41
3	3,30	13,40	2.652,24	59,98	2,42	59,98	2,34
4	3,30	13,45	2.655,08	59,82	2,38	59,82	2,35
5	3,30	13,45	2.621,76	59,07	2,47	59,07	2,41
6	3,30	13,40	2.609,94	59,02	2,37	59,02	2,31
Mínimo	3,30	13,40	2.609,94	59,02	2,37	59,02	2,31
Máximo	3,30	13,45	2.655,08	59,98	2,49	59,98	2,42
Média	3,30	13,42	2.639,77	59,62	2,43	59,62	2,37
Desvio Padrão	0,00000	0,02582	18,99909	0,45021	0,04580	0,45021	0,04543
Coefficiente de Variação	0,00	0,19	0,72	0,76	1,88	0,76	1,91

relatório de ensaio

ASTM - Plásticos - extensometro Video

Documento	
Fornecedor	
Material	PP 30% fr - ASTM
Tabela	
Temperatura	23
Umidade	60

Gráfico de Tração



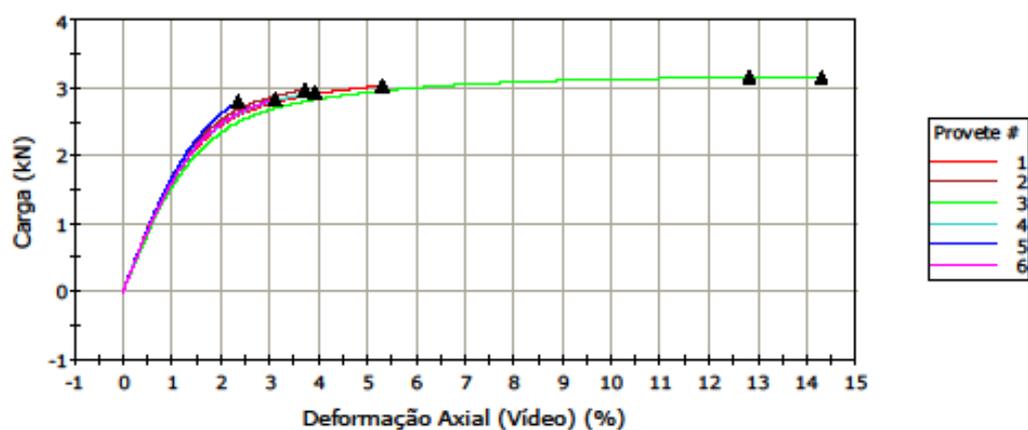
	Espessura (mm)	Largura (mm)	Carga Máxima Load (N)	Tensão Máxima (MPa)	Máximo Deformação Axial (Vídeo) (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Deformação Axial (Vídeo) em Elasticidade (Declive Zero) (%)
1	3,30	13,45	3.438,79	77,48	2,20	-----	-----
2	3,35	13,45	3.413,39	75,76	2,09	-----	-----
3	3,30	13,45	3.472,53	78,24	2,20	-----	-----
4	3,30	13,45	3.448,60	77,70	2,31	77,70	2,28
5	3,30	13,45	3.475,80	78,31	2,55	78,31	2,53
6	3,30	13,40	3.443,69	77,88	2,30	77,88	2,25
Mínimo	3,30	13,40	3.413,39	75,76	2,09	77,70	2,25
Máximo	3,35	13,45	3.475,80	78,31	2,55	78,31	2,53
Média	3,31	13,44	3.448,80	77,56	2,27	77,96	2,36
Desvio Padrão	0,02041	0,02041	23,11831	0,93805	0,15759	0,31516	0,15293
Coefficiente de Variação	0,62	0,15	0,67	1,21	6,93	0,40	6,49

relatório de ensaio

ASTM - Plásticos - extensometro Video

Documento	
Fornecedor	
Material	Nylon 30% fv Amarelo - ASTM
Tabela	
Temperatura	23
Umidade	60

Gráfico de Tração



	Espessura (mm)	Largura (mm)	Carga Máxima Load (N)	Tensão Máxima (MPa)	Máximo Deformação Axial (Video) (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Deformação Axial (Video) em Elasticidade (Declive Zero) (%)
1	3,30	13,40	3.028,99	68,50	5,30	-----	-----
2	3,30	13,50	2.968,90	66,64	3,70	-----	-----
3	3,35	13,50	3.147,82	69,60	14,27	69,60	12,80
4	3,35	13,50	2.930,91	64,81	3,92	-----	-----
5	3,30	13,50	2.800,44	62,86	2,36	-----	-----
6	3,35	13,45	2.831,16	62,83	3,11	-----	-----
Mínimo	3,30	13,40	2.800,44	62,83	2,36	69,60	12,80
Máximo	3,35	13,50	3.147,82	69,60	14,27	69,60	12,80
Média	3,32	13,48	2.951,37	65,87	5,44	69,60	12,80
Desvio Padrão	0,02739	0,04183	128,51043	2,85809	4,43226	-----	-----
Coefficiente de Variação	0,82	0,31	4,35	4,34	81,42	-----	-----

APÊNDICE C - Tabelas dos valores no teste de flexão dos corpos de prova

PP - Puro

	Espessura [mm]	Largura [mm]	Máximo Carga de Flexão [N]	Esforço de flexãoemMáximo Carga de Flexão [MPa]	Módulo (Young's Automático) [MPa]
1	3,50	13,20	95,78	45,14	1.365,70
2	3,40	13,10	94,70	47,65	1.405,05
3	3,42	13,10	94,77	47,13	1.391,32
4	3,49	13,10	93,93	44,86	1.313,10
5	3,47	13,10	95,34	46,06	1.382,70
Mínimo	3,40	13,10	93,93	44,86	1.313,10
Máximo	3,50	13,20	95,78	47,65	1.405,05
Média	3,46	13,12	94,91	46,17	1.371,58
Desvio padrão	0,04	0,04	0,70	1,22	35,67

PP – 15%FV

	Espessura [mm]	Largura [mm]	Máximo Carga de Flexão [N]	Esforço de flexãoemMáximo Carga de Flexão [MPa]	Módulo (Young's Automático) [MPa]
1	3,45	13,10	142,60	69,69	2.626,11
2	3,46	13,09	143,14	69,60	2.685,79
3	3,45	13,08	142,89	69,94	2.677,05
4	3,44	13,00	142,13	70,40	2.734,35
5	3,44	13,07	143,05	70,48	2.654,57
Mínimo	3,44	13,00	142,13	69,60	2.626,11
Máximo	3,46	13,10	143,14	70,48	2.734,35
Média	3,45	13,07	142,76	70,02	2.675,57
Desvio padrão	0,01	0,04	0,41	0,40	40,15

PP- 20%FV

	Espessura [mm]	Largura [mm]	Máximo Carga de Flexão [N]	Esforço de flexãoemMáximo Carga de Flexão [MPa]	Módulo (Young's Automático) [MPa]
1	3,40	13,08	158,58	79,91	3.480,67
2	3,45	13,10	158,04	77,23	3.488,59
3	3,45	13,10	159,14	77,77	3.369,27
4	3,44	13,08	159,89	78,71	3.356,13
5	3,45	13,05	159,92	78,45	3.386,13
Mínimo	3,40	13,05	158,04	77,23	3.356,13
Máximo	3,45	13,10	159,92	79,91	3.488,59
Média	3,44	13,08	159,11	78,42	3.416,16
Desvio padrão	0,02	0,02	0,82	1,02	63,47

PP- 30%FV

	Espessura [mm]	Largura [mm]	Máximo Carga de Flexão [N]	Esforço de flexãoemMáximo Carga de Flexão [MPa]	Módulo (Young's Automático) [MPa]
1	3,45	13,10	192,94	94,29	4.767,85
2	3,42	13,06	192,91	96,23	4.906,32
3	3,44	13,08	192,22	94,63	4.728,13
4	3,43	13,08	188,33	93,26	4.783,56
5	3,43	13,05	191,00	94,80	4.827,00
Mínimo	3,42	13,05	188,33	93,26	4.728,13
Máximo	3,45	13,10	192,94	96,23	4.906,32
Média	3,43	13,07	191,48	94,64	4.802,57
Desvio padrão	0,01	0,02	1,93	1,07	67,95

PA-30%FV

	Espessura [mm]	Largura [mm]	Máximo Carga de Flexão [N]	Esforço de flexãoemMáximo Carga de Flexão [MPa]	Módulo (Young's Automático) [MPa]
1	3,45	13,10	164,54	80,41	2.007,38
2	3,45	13,08	164,64	80,58	1.942,38
3	3,43	13,10	164,98	81,57	2.062,66
4	3,44	13,09	163,73	80,54	2.069,05
5	3,45	13,10	167,39	81,80	2.129,50
Mínimo	3,43	13,08	163,73	80,41	1.942,38
Máximo	3,45	13,10	167,39	81,80	2.129,50
Média	3,44	13,09	165,06	80,98	2.042,20
Desvio padrão	0,01	0,01	1,38	0,65	70,60

APÊNDICE D – Laudo Ferramenta de Injeção Plástica.

Identificação
<p>A matriz de injeção plástica é feita de aço AISI H13 nos postigos de injeção dos corpos de prova e aço SAE 1045 nas placas porta molde da matriz. O peso da base do molde é de 250 Kg sem os postigos e cada postigo pesa cerca de 30 kg cada um sendo um total de 4 postigos. A matriz foi, projetada para fabricar corpos de prova para ensaios de tração uniaxial, flexão, fadiga e impacto. A matriz possui duas partes e permite a substituição de postigos, conforme a necessidade de injeção dos diferentes corpos de prova</p>
Aplicação
<p>A ferramenta foi desenvolvida para utilização no laboratório de conformação e processos de fabricação da PUC Minas, onde será utilizada para injeção de corpos de prova a ser utilizado em aulas práticas. A ferramenta pode ser utilizada para a injeção de diferentes tipos de material termoplástico, bem como misturas de diferentes tipos de compósitos a base de polímeros com carga de fibra de vidro, talco, fibras, etc.</p>
Avaliação
<p>A matriz foi testada na empresa Liderplast com todos os seus postigos, atendendo todas as especificações dos projetos conforme Normas Técnicas citadas em anexo.</p> <p>Também, foi verificado o perfeito funcionamento dos ajustes como guias, dutos de refrigeração e extratores. Foi analisado visivelmente o acabamento da ferramenta como um todo, onde as cavidades das peças apresentaram acabamento satisfatório para os fins de aplicação, baseando-se em normas.</p> <p>A ferramenta apresenta dureza nos postigos de 56 a 58 HRC dentro do especificado nos desenhos do fabricante.</p> <p>Foram avaliadas as dimensões das cavidades, onde cada postigo produz dois corpos de prova simultaneamente por ciclo. Os valores encontrados são condizentes com norma e seguem em desenhos anexos. O equipamento utilizado para as medições foi uma MM3C (Maquina de Medir a 3 Coordenadas) do fabricante Mitutoyo, onde este equipamento, apresentou uma incerteza de medição de $\pm 3 \mu\text{m}$.</p>

A máquina pertence a PUC Minas unidade Contagem, e fica localizada no laboratório de metrologia

Conclusão

Os corpos de prova obtidos pela injeção, apresentaram as dimensões e geometria dentro das tolerâncias especificadas pelas normas citadas em anexo, onde pode ser comprovada a eficiência do ferramental, portanto deixando-o apto para uso dentro das condições normais de processo.