

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DE CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**GUILHERME DALL'AGNOL FURLANETTO**

**INFLUÊNCIA DA FIBRA DE VIDRO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM  
POLÍMERO COM ADIÇÃO DE GRAFENO**

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**GUILHERME DALL'AGNOL FURLANETTO**

**INFLUÊNCIA DA FIBRA DE VIDRO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM  
POLÍMERO COM ADIÇÃO DE GRAFENO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Área de concentração: Análise de Tensões.

Orientador: Prof. Me. Eng. Joel Vicente Ciapparini

**CAXIAS DO SUL**

**2021**

**GUILHERME DALL'AGNOL FURLANETTO**

**INFLUÊNCIA DA FIBRA DE VIDRO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM  
POLÍMERO COM ADIÇÃO DE GRAFENO**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Universidade de Caxias do Sul como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Área de concentração: Análise de Tensões.

**Aprovado em 26/06/2021**

**Banca Examinadora**

Prof. Me. Joel Vicente Ciapparini  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Vagner do Nascimento  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Diego Piazza  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## RESUMO

A otimização de materiais representa competitividade, produtividade e evolução na engenharia e na indústria. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar uma poliamida 6.6 com adição de fibra de vidro e grafeno comparando o desempenho mecânico dos materiais, utilizando como base, conceitos de materiais e ensaios mecânicos. Foram adquiridas quatro matérias primas dos fornecedores X e Y, sendo elas poliamida 6.6 com adição de 30% de fibra de vidro, poliamida 6.6 com adição de 30% de fibra de vidro e 1% de grafeno, poliamida 6.6 com adição de 25% de fibra de vidro e poliamida 6.6 com adição de 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno e foram utilizadas para manufaturar os corpos de prova através do processo de injeção. Assim, foram subdivididos em vinte grupos para realização dos ensaios de tração e flexão conforme as normas ASTM D638 e ASTM D790. Com os resultados de desempenhos mecânicos obtidos, realizou-se a interpretação dos dados e comparou-se as propriedades entre os grupos de materiais, sendo possível verificar que o compósito com base poliamida 6.6 e adição de 30% de fibra de vidro foi o material que apresentou melhor resistência à tração e flexão, mas quando adicionado 1% de grafeno há perda de propriedades, já o com matriz poliamida 6.6 com 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno como aditivos resultou em um aumento dos módulos de elasticidades em relação ao material somente com 25% de fibra de vidro aditivada . Então, o trabalho foi bastante satisfatório e servirá como base para novos estudos e projetos envolvendo materiais compósitos com fibra de vidro e grafeno.

**Palavras-chaves:** Materiais Compósitos. Poliamida. Fibra de vidro. Grafeno. Propriedades Mecânicas.

## ABSTRACT

The material optimization represents competitiveness, productivity and evolution in engineering and industry. In this context, the present study has the objective to characterize a polyamide 6.6 with the addition of fiberglass and graphene comparing the mechanical performance of materials, using as a basis, material concepts and mechanical tests. Four raw materials were purchased from suppliers X and Y, polyamide 6.6 with the addition of 30% fiberglass, polyamide 6.6 with the addition of 30% fiberglass and 1% of graphene, polyamide 6.6 with the addition of 25% of fiberglass and polyamide 6.6 with the addition of 25% fiberglass and 3% graphene and used to manufacture the specimens through the injection process. Thus, they were subdivided into twenty groups to perform traction and flexion test according to ASTM D638 and ASTM D790 standards. With the results of mechanical performance obtained, the interpretation of the data was performed and the properties between the groups of materials were compared, making it possible to verify that the composite with polyamide 6.6 base and 30% of fiberglass additive was the material that showed better tensile and flexural strength, but when 1% graphene is added there is loss of properties, however the one with a polyamide 6.6 matrix with 25% fiberglass and 3% graphene as additives resulted in an increase of the modulus of elasticity in relation to the material with only 25% additive fiberglass. The work was satisfactory and will serve as a basis for new studies and projects involving composite materials with fiberglass and graphene.

**Keywords:** Composite Materials. Polyamide. Fiberglass. Graphene. Mechanical Properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento tensão deformação de polímeros.....	16
Figura 2 – Interações do tipo ligações de hidrogênio.....	17
Figura 3 – Classificação de compósitos. ....	19
Figura 4 – Distribuições da fibra na matriz .....	20
Figura 5 - Padrão de deformação do compósito em carregamento axial.....	22
Figura 6 – Estrutura do grafeno.....	24
Figura 7 – Resumo da esfoliação química do grafite .....	26
Figura 8 - Representação do óxido de grafeno reduzido (rGO). ....	26
Figura 9 – Fluxograma de atividades .....	27
Figura 10 – Fluxograma para a simulação utilizando o software Inspire Mold.....	28
Figura 11 – Simulação de injeção do corpo de prova.....	29
Figura 12 – Simulação de injeção central de peça plana.....	30
Figura 13 – Pellets da matéria prima adquirida.....	31
Figura 14 – Injetora Milacron Roboshot 110 .....	32
Figura 15 – Ferramenta para injeção de corpo de prova .....	32
Figura 16 – Corpos de prova extraídos da ferramenta.....	32
Figura 17 – Modelo 3D tampa.....	33
Figura 18 – Injetora Battenfeld HM .....	33
Figura 19 – Modelamento do corpo de prova .....	34
Figura 20 – Placa com recorte dos corpos de prova.....	34
Figura 21 – Máquina universal de ensaios .....	35
Figura 22 – Marcação do corpo de prova.....	35
Figura 23 – Rompimento do corpo de prova em região indesejada .....	36
Figura 24 – Corpo de prova após redução do perfil .....	36
Figura 25 – Ensaio de tração .....	37
Figura 26 – Corpo de prova para ensaio de flexão .....	37
Figura 27 – Ensaio de flexão .....	38
Figura 28 – Gráfico de tensões para materiais do fornecedor X .....	40
Figura 29 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais do fornecedor X .....	40
Figura 30 – Possível distribuição dos aditivos na fase matriz.....	41
Figura 31 – Gráfico de tensões para materiais do fornecedor Y .....	41
Figura 32 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais do fornecedor Y .....	42

Figura 33 – Gráfico de tensões para materiais dos fornecedores X e Y.....	42
Figura 34 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais dos fornecedores X e Y .....	43
Figura 35 – Gráfico da tensão em corpos de prova em diferentes posições.....	44
Figura 36 – Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova em diferentes direções..	44
Figura 37 – Posicionamento dos corpos de prova e orientação das fibras na placa .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades típicas de polímeros .....	15
Tabela 2 – Métodos de obtenção de grafeno .....	25
Tabela 3 – Itens adquiridos.....	31
Tabela 4 – Ensaio realizado.....	39
Tabela 5 – Resultados.....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PVC	Policloreto de Vinila
PP	Polipropileno
PE	Polietileno
PMMA	Acrílico
PET	Poliéster
PA	Poliamida
PS	Poliestireno
EVA	Acetato de Vinila
PC	Policarbonato
PPO	Polioxi Fenileno
CVD	<i>Chemical Vapor Deposition</i>
GR-O	Óxido de Grafite
GO	Óxido de Grafeno
rGO	Óxido de Grafeno Reduzido
T	Tera ( $10^{12}$ )
Pa	Pascal
GNP	Grafeno
FV	Fibra de vidro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
1.2	AMBIENTE DE TRABALHO .....	11
1.3	OBJETIVO GERAL.....	11
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	13
<b>2.1.1</b>	<b>Classificação dos polímeros .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Poliamida.....</b>	<b>16</b>
2.2	MATERIAIS COMPÓSITOS.....	18
<b>2.2.1</b>	<b>Compósito com fibra de vidro .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Compósito com grafeno .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
3.1	FLUXOGRAMA E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES .....	27
3.2	MÉTODOS.....	28
3.3	MATERIAIS .....	30
<b>3.3.1</b>	<b>Matéria prima.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Fabricação dos corpos de prova injetados na matriz.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.3</b>	<b>Fabricação de peça para recorte de corpos de prova.....</b>	<b>32</b>
<b>3.3.4</b>	<b>Ensaio de tração.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3.5</b>	<b>Ensaio de flexão .....</b>	<b>37</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, há uma crescente preocupação em relação aos impactos ambientais causados por veículos automotores. Assim, veículos comerciais estão sendo submetidos cada vez mais a novas tendências como motorização elétrica e legislações voltadas a segurança. Porém, essas mudanças acarretam acréscimo de massa ao produto, limitando a capacidade de passageiros e influenciando no consumo de combustível e desgaste de componentes. Assim, surge a necessidade de buscar novas tecnologias e inovações nos produtos com, principalmente, o desenvolvimento de materiais alternativos.

Dessa forma, algumas características exigidas do componente não podem ser atendidas com a aplicação de apenas um material. Então, busca-se adequar cada aplicação ao tipo de material, a formulação e a composição adequada para oferecer o melhor desempenho e eficiência. Os materiais compósitos são soluções para obter combinações de propriedades que não são alcançadas com os materiais convencionais (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

Os compósitos de matriz polimérica são amplamente utilizados principalmente com reforços de fibras para soluções em aplicações que necessitam de alta resistência mecânica, pois a fibra de vidro pode aumentar os módulos de elasticidade e flexão, as tensões de tração e de flexão e ter custo de produção e aquisição relativamente baixos (VLASVELDA *et al.*, 2005).

Com essa evolução do mercado, a otimização de elementos ganha força, em busca de maior resistência, maior flexibilidade, menor massa, entre outros. Assim, busca-se converter peças metálicas em poliméricas, ao encontro disso, polímeros de engenharia com adição de grafeno começam a ser utilizados em aplicações de engenharia, justamente por sua baixa densidade e resistência relativa elevada, podendo facilmente substituir peças metálicas. (CANEVAROLO, 2006)

Assim, após a realização do isolamento do grafeno em camadas através da esfoliação mecânica do grafite em 2010, diversos estudos envolvendo o material apontam que combiná-lo a uma matriz polimérica pode haver ganhos consideráveis de propriedades mecânicas, térmica e elétricas em comparação ao polímero original (SONG *et al.*, 2011).

Nesse contexto, o presente trabalho se destina a combinar a busca de matérias primas alternativas com a caracterização do material. Assim, submetendo corpos de prova a ensaios para coleta de dados a fim de avaliar o comportamento mecânico dos materiais desenvolvidos e comparar os resultados entre as diferentes configurações.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento da tecnologia, a corrente motorização elétrica dos veículos e aumento nos preços dos combustíveis, o trabalho para redução de massa nas carrocerias cresce proporcionalmente. Assim, buscar meios de tornar componentes veiculares mais leves e resistentes é uma realidade e desenvolver peças com novas classes de materiais pode representar competitividade para o setor automotivo. Então, busca-se diminuir a utilização de materiais metálicos e aumentar o desenvolvimento de materiais alternativos.

Devido à complexidade e comportamento não linear, o estudo de materiais compósitos ainda é pouco difundido na graduação de engenharia mecânica, diferentemente de materiais metálicos muito utilizados na engenharia. Assim, a realização deste trabalho, direcionado para o desenvolvimento de um compósito envolvendo poliamida 6.6, fibra de vidro e grafeno, abrange atividades de seleção e aquisição de matérias primas e ensaios mecânicos, proporcionando resultados de extrema importância tecnológica com base nas investigações científicas e resultados realizados ao longo do desenvolvimento.

Nesse contexto, a utilização de um compósito de matriz polimérica justifica-se por apresentar diversas vantagens ao setor automotivo, principalmente por possuir boa relação entre massa e desempenho mecânico. Além disso, os polímeros garantem uma excelente resistência e durabilidade quando expostos aos agentes atmosféricos e capacidade de reaproveitamento através da reciclagem contribuindo para a sustentabilidade dos projetos. Também, esse tipo de material permite a fabricação de produtos através da injeção, permitindo produzir peças mais complexas, diminuindo a necessidade de pré-montagem de componentes.

## 1.2 AMBIENTE DE TRABALHO

O trabalho será desenvolvido na empresa Marcopolo S.A, unidade Ana Rech através do Departamento de Engenharia em parceria com a Universidade de Caxias do Sul.

## 1.3 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da fibra de vidro nas propriedades mecânicas de um compósito de base polimérica com adição de grafeno.

#### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender o objetivo geral, serão estipulados alguns objetivos específicos os quais serão tratados com maior detalhe neste trabalho, sendo eles:

- a) realizar simulação virtual de polímeros com fibra de vidro;
- b) através de corpos de prova, realizar ensaios mecânicos de tensão e flexão;
- c) interpretar os resultados dos ensaios;
- d) comparar os resultados entre os distintos materiais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, encontra-se a revisão bibliográfica necessária para embasar o desenvolvimento da caracterização do material compósito.

### 2.1 MATERIAIS POLIMÉRICOS

Os polímeros, obtidos através de processos de síntese química e conhecidos como polimerização a partir de um produto denominado monômero, são tipicamente orgânicos e incluem elastômeros, resinas e demais classes poliméricas. Normalmente são bons isolantes térmicos e elétricos, havendo algumas exceções. Assim, têm milhares de aplicações, desde coletes à prova de balas até componentes eletroeletrônicos e utensílios domésticos.

Em comparação aos metais, os polímeros têm resistência mecânica inferior, porém a relação entre a resistência e o peso é equivalente e muitas vezes superior ao metal, além de suportar de forma mais satisfatória produtos químicos corrosivos e agentes atmosféricos (DONALD et al., 2010).

Nas últimas décadas, novas descobertas em materiais poliméricos foram realizadas. Como, por exemplo, o Prêmio Nobel de Química do ano de 2000 conquistado por Alan Heeger, Alan McDiarmid e Hideki Shirakawa por desenvolverem polímeros com propriedades de condução elétrica e térmica (CANEVAROLO, 2006).

Também, fazem parte de desenvolvimentos recentes os polímeros reforçados ou compósitos com matriz polimérica, como este trabalho.

#### 2.1.1 Classificação dos polímeros

Conforme Canevarolo (2006), os polímeros são divididos em quatro diferentes classificações, quanto à estrutura química, ao seu método de preparação, ao seu comportamento mecânico e ao seu desempenho mecânico.

##### 2.1.1.1 Quanto à estrutura química

Analisa-se o polímero através da estrutura química do seu mero. São subdivididos em polímeros de cadeia carbônica e polímeros de cadeia heterogênea.

### 2.1.1.2 Quanto ao método de obtenção

Os polímeros são classificados conforme o método de preparação. Divide-se em polímeros de adição e de condensação.

Para o primeiro grupo, durante a formação não há perda de massa na forma de compostos. Assim, é realizada a conversão total e o peso final é igual ao peso de monômero acionado. Como, por exemplo, policloreto de vinila (PVC), polipropileno (PP), polietileno (PE), acrílico (PMMA), entre outros.

Por condensação, ocorre a reação de dois grupos funcionais reativos, eliminando moléculas de baixo peso molecular, como água e amônio. Assim, obtendo peso final inferior ao inicial, característica do náilon.

### 2.1.1.3 Quanto a fusibilidade

Os polímeros **termoplásticos** têm a característica de, quando exposto a um aumento substancial de temperatura e marginal de pressão, amolecem e fluem, adquirindo a forma do molde. Ainda, podem retornar com as características iniciais, ou seja, são recicláveis.

São exemplos de termoplásticos o polietileno, polipropileno, policloreto de vinila e poliamida (PA).

Os polímeros **termorrígidos** possuem característica semelhante aos termoplásticos quando aplicada temperatura e pressão, porém forma-se ligações cruzadas entre cadeias e se solidificam. Assim, uma vez o material endurecido não é mais fundido ou amolecido pelo calor e se decompõem quando aquecidos acima do limite.

São exemplos de **termorrígidos** os fenólicos (baquelite) e epóxi.

### 2.1.1.4 Quanto ao desempenho mecânico

Os polímeros são avaliados quanto ao desempenho mecânico quando usado em um item ou peça.

**Termoplásticos convencionais** são polímeros de baixo custo e pouca exigência mecânica, com alta facilidade de processamento e produção, e os mais produzidos no mundo. Como exemplo, o polipropileno (PP), poliestireno (PS) e o PVC.

**Termoplásticos especiais** são polímeros com o custo levemente superior aos convencionais, porém com algumas características um pouco melhores. Nesta classe têm-se o etileno acetato de vinila (EVA), acrílicos, entre outros.

**Termoplásticos de engenharia** são utilizados em peças que necessitem de melhor desempenho para aplicações em dispositivos mecânicos, como alta resistência mecânica, boa tenacidade e estabilidade dimensional. Como exemplo, as poliamidas, poliésteres termoplásticos, o policarbonato (PC) e polioxi fenileno (PPO).

Ainda, conforme a finalidade da utilização do polímero, é importante realizar a avaliação das propriedades mecânicas, como tração, compressão, flexão, resistência ao impacto, resistência térmica e química. Conforme Tabela 01 é possível avaliar as propriedades típicas de alguns dos principais polímeros utilizados na indústria para obtenção de produtos (MANO; MENDES, 1999).

Tabela 01 – Propriedades típicas de polímeros

Polímero	Transição térmica (°C)		Propriedades típicas					Aplicação
	Vítrea (T <sub>g</sub> )	Fusão (T <sub>m</sub> )	Transparência	Rigidez	Resistência tração (Mpa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (Mpa)	
LDPE	-30	120	Translúcido	Dúctil	16	650	250	Sacos
PP	10	165	Opaco	Rígido	55	160	1210	Frascos
OS	100	235	Transparente	Rígido	23	3	3100	Utensílios
PMMA	105	160	Transparente	Rígido	31	6	3000	Painéis
PC	150	268	Transparente	Rígido	47	80	2500	Janelas
PA-6	50	215	Opaco	Rígido	39	250	2500	Têxteis
NR	-72	28	Translúcido	Elástico	16	800	70	Lurvas

Fonte: Adaptado de MANO e MENDES (1999).

Conforme Mano (1991), a resistência à tração avalia o material em função de uma carga aplicada por unidade de área. Normalmente polímeros convencionais apresentam valores de resistência à tração muito baixos, cerca de 98 MPa, porém fibras poliméricas podem atingir cerca de 980 MPa. Também, aplicada a materiais mais rígidos, a resistência à flexão apresenta a tensão máxima gerada na superfície do corpo de prova quando apoiado em dois pontos.

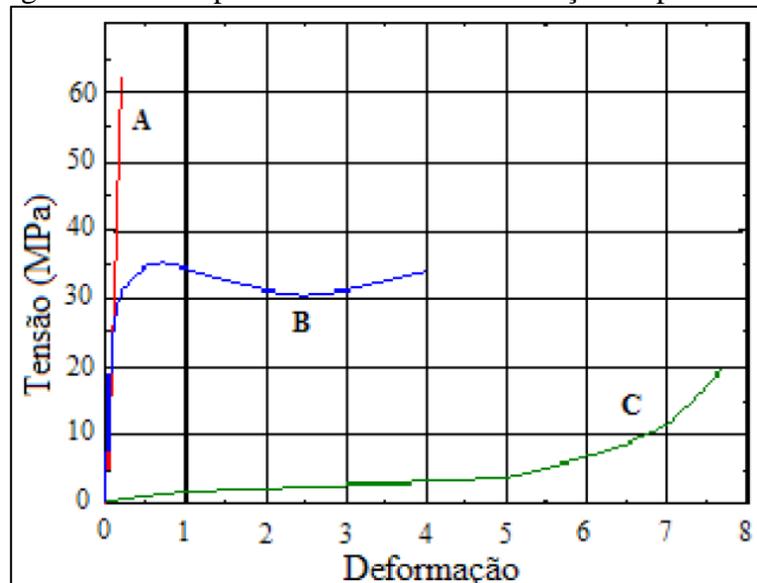
A propriedade de alongamento na ruptura representa o aumento em percentual do comprimento do corpo de prova tracionando no momento da ruptura. Em comparação com os metais, os poliméricos plásticos e borrachas apresentam alongamento centenas de vezes maior.

Já a resistência ao impacto representa a aplicação de uma tensão com alta velocidade. Geralmente, a resistência ao impacto apresenta uma diminuição gradual com o aumento da temperatura.

Assim, a partir das propriedades ensaiadas, é possível verificar o módulo de elasticidade ou módulo de Young do material. Apresenta a rigidez ou a resistência do material à deformação elástica, quanto maior o módulo mais rígido será, gerando menor deformação elástica ao tensionar o corpo de prova. Em geral, os módulos dos polímeros e fibras não ultrapassam 15 GPa.

Assim, normalmente, as propriedades mecânicas dos polímeros são avaliadas através do ensaio de ensaio de tensão deformação que também gera os valores de módulo de elasticidade, limite de escoamento e resistência à tração. A partir disso, é obtido o diagrama tensão deformação conforme Figura 01 que exemplifica o comportamento de três classes de polímeros (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

Figura 01 – Comportamento tensão deformação de polímeros



Fonte: CALLISTER JÚNIOR, (2008).

A curva A do diagrama representa o comportamento de um polímero frágil, pois atua de maneira puramente elástica até ocorrer a fratura. Já a curva B apresenta um material plástico, por apresentar uma região inicial viscoelástica seguida por um escoamento e após sofre grande deformação plástica. Por fim, a curva C demonstra o comportamento de um elastômero por ter uma grande faixa de deformação elástica em baixas tensões (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

### 2.1.2 Poliamida

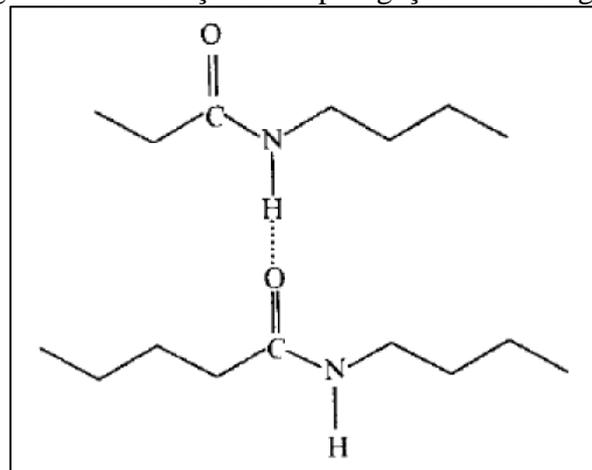
As poliamidas foram desenvolvidas por Wallace H. Carothers em 1929 através de reações de condensação. As poliamidas são também conhecidas como nylon (CANEVAROLO, 2006).

Foram os primeiros polímeros termoplásticos utilizados como materiais de engenharia e a poliamida 6.6 é a classe mais utilizada no Brasil, então sendo encontrada em várias formulações para diversos processos e aplicações. O segundo tipo mais utilizado é a poliamida 6, com propriedades semelhantes a PA 6.6, porém com absorção de umidade mais rápida e ponto de fusão cerca de 20 graus Celsius mais baixo.

Alguns tipos de poliamidas são obtidos através da polimerização por condensação de um diácido orgânico com uma diamina. Já a poliamida 6.6 é produzida por uma reação de polimerização entre o hexametileno diamina e o ácido adípico. Assim, a característica de reconhecimento de uma poliamida é a repetição da amida.

A característica de alta resistência mecânica desse material em parte é devido a formação de ligações de hidrogênio entre as cadeias moleculares através da amida, ligação do tipo NHO, representada na Figura 02 (SMITH, 1998).

Figura 02 – Interações do tipo ligações de hidrogênio



Fonte: HARADA *et al.* (2011).

Assim, as poliamidas possuem elevada resistência mecânica e temperatura de flexão. As cadeias de carbono proporcionam elevada flexibilidade molecular, facilitando o processamento, aumentando a lubrificação e conseqüentemente diminuindo o atrito, garantindo boa resistência à abrasão.

Porém, a polaridade e as ligações de hidrogênio provocam absorção de umidade, causando variações dimensionais do material alterando negativamente a força de atração entre as cadeias moleculares, reduzindo a resistência e rigidez, mas aumentando o alongamento e resistência ao impacto. Normalmente, a PA 6.6 atinge equilíbrio com absorção de 2,5 % de umidade podendo ocorrer variação dimensional de 0,2 a 0,3 % a cada 1 % de umidade absorvida, já a PA 6 pode apresentar valores de absorção próximos a 3 % (ALBUQUERQUE, 2000, SMITH, 1998).

Também as propriedades de rigidez, resistência a tração, resistência ao calor, poder de alongamento e resistência ao impacto são alteradas conforme o grau de cristalinidade do polímero. Diferentemente dos materiais metálicos, os poliméricos formam arranjos cristalinos complexos pelo empacotamento de longas cadeias, fazendo com que nunca se alcance a cristalização completa do material. Quanto maior o grau, melhores são as propriedades mecânicas e químicas do polímero.

O grau de cristalinidade do polímero depende da estrutura química, da presença de impurezas e contaminação e das condições de processamento e resfriamento. Dessa forma, os parâmetros como temperatura da massa e do molde, pressão e velocidade de injeção alteram a taxa de resfriamento do material. Por exemplo, diminuindo a temperatura do molde o grau de cristalinidade tende a diminuir rapidamente, podendo alterar as propriedades mecânicas e gerar deformações na peça acabada. Também, aditivos ou impurezas podem tornar-se moléculas consideradas estranhas para a cadeia polimérica, alterando a cristalinidade (CANEVAROLO, 2006).

De maneira geral, as poliamidas apresentam boas propriedades mecânicas, como resistência ao impacto, à fadiga, tenacidade e resistência à abrasão por ter baixo coeficiente de atrito. Também, possuem ótima resistência química, resistência a queima, absorção de vibrações e temperatura de trabalho entre - 40 a 120 graus Celsius. Porém menor estabilidade dimensional comparadas a maioria dos plásticos de engenharia, mas uma boa característica de compatibilidade com aditivos (ALBUQUERQUE, 2000).

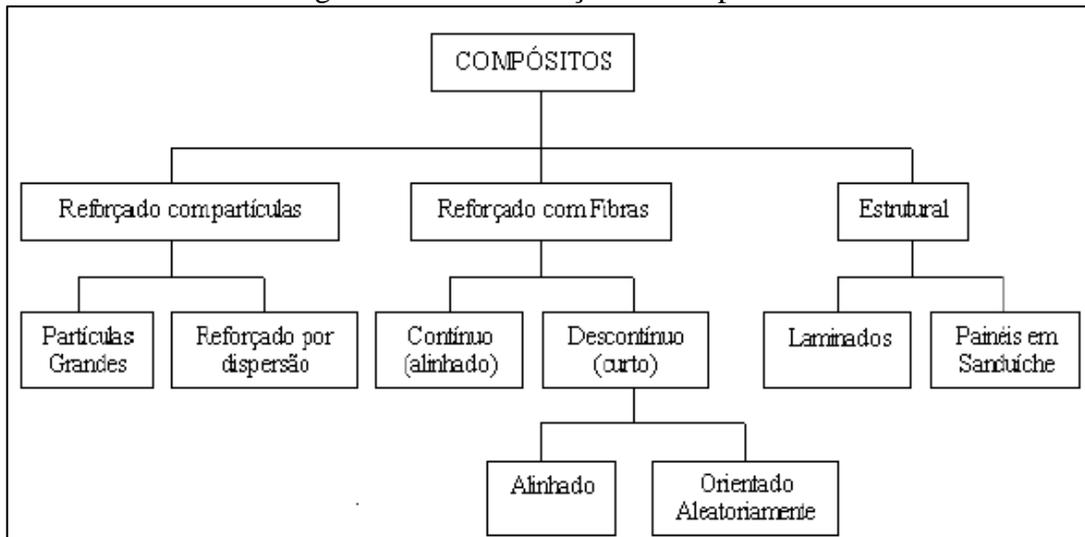
## 2.2 MATERIAIS COMPÓSITOS

O desenvolvimento das civilizações só foi possível com o auxílio de utensílios e materiais. Apesar de não haver uma data precisa do uso de materiais alternativos compostos, dados históricos relatam que construções do antigo Egito utilizaram tijolos de barro com fibras vegetais. Com a evolução tecnológica após o desenvolvimento da indústria, observou-se que a maioria dos materiais utilizados estavam em seu limite de desempenho, forçando assim o desenvolvimento de materiais metálicos, cerâmicos e poliméricos com propriedades diferenciadas para suprir as características necessárias para cada aplicação, principalmente na indústria aeroespacial, subaquática e de transporte. Assim, surge a união de materiais para buscar a melhor combinação de propriedades mecânicas e químicas para cada necessidade (CALLISTER JÚNIOR, 2008, MARINHO, 2005).

Os compósitos são obtidos quando dois materiais são unidos para gerar uma combinação de propriedades que não podem ser obtidas nos materiais individuais. São amplamente utilizados nos dias de hoje em vários campos devido à sua capacidade de redução de peso e aumento de resistência (MUTHUKUMARASAMY; KARTHICKEYAN; KANNAN, 2020).

Diversos compósitos como, por exemplo, concreto, madeira, fibra de vidro, polímeros, entre outros, são muito utilizados e estão em constante evolução para aperfeiçoamento de propriedades. Assim, os compósitos de maneira geral são classificados conforme Figura 03.

Figura 03 – Classificação de compósitos



Fonte: CALLISTER JÚNIOR, (2008).

Para os compósitos reforçados com partículas, praticamente as partículas dispersas no material tem as mesmas dimensões e direções. Nos materiais reforçados com fibras, a razão entre comprimento e diâmetro é grande, gerando uma fase dispersa com geometria de uma fibra. Já os compósitos estruturais são formados por sanduíches combinando compósitos e materiais homogêneos (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

### 2.2.1 Compósito com fibra de vidro

Os principais objetivos dos compósitos reforçados com fibras, onde a fase dispersa está na forma de fibra, é elevar a resistência específica e o módulo específico do material, ou seja, obter melhor razão entre as propriedades mecânicas e o peso específico (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

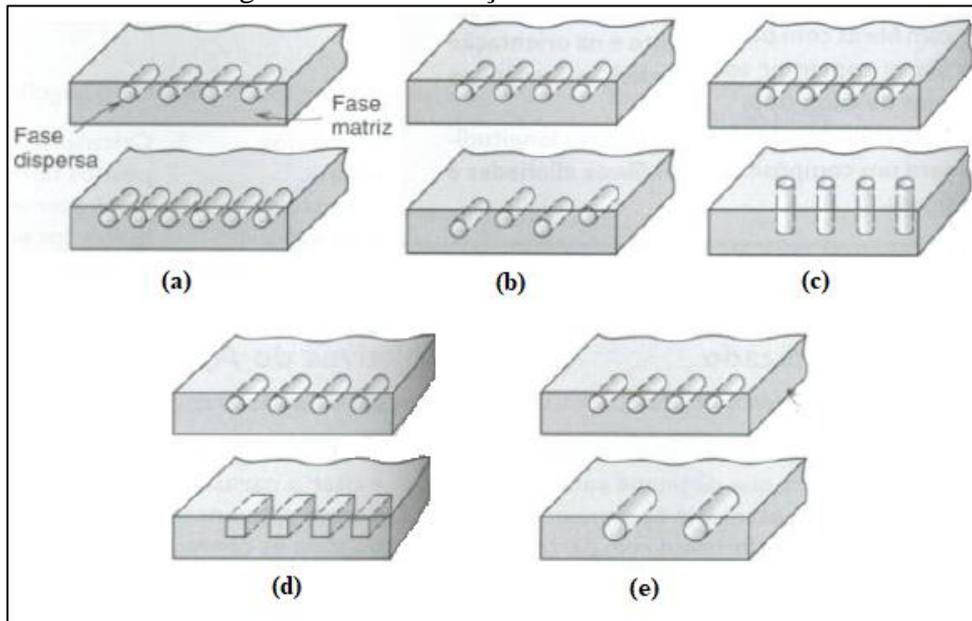
Como matriz para materiais compósitos, podem ser utilizados tanto um metal, polímero ou cerâmica, a escolha depende dos ganhos de propriedades desejados. A fase matriz, em compósitos reforçados com fibra, tem as funções de atuar como meio para unir as fibras para garantir a distribuição de cargas aplicadas, proteger as fibras da abrasão mecânica, danos

superficiais e reações com o ambiente para evitar trincas superficiais em baixos níveis de tensão e garantir uma boa dispersão das fibras para evitar aglomeração e causar falha total no material ao invés de falhas individuais da fibra (CALLISTER JÚNIOR, 2008, ABMACO, 2010).

Geralmente, para componentes que necessitam de grande escala produtiva e propriedades mecânicas razoáveis, as resinas termoplásticas são as mais usuais como, por exemplo, as poliamidas. Já para materiais estruturais que necessitam de maior resistência, são utilizadas as matrizes termofixas como as resinas epóxi, poliéster e fenólica (MARINUCCI, 2011).

Assim, as propriedades do compósito dependem de alguns fatores principais, como as propriedades dos materiais constituintes, a adesão das fibras com a matriz e a forma, tamanho, distribuição e orientação das fibras (CALLISTER JÚNIOR, 2008). A Figura 04 demonstra graficamente algumas das distribuições da fase dispersa na fase matriz, o item (a) apresenta a diferença de concentração, (b) a distribuição da fibra na matriz, (c) a orientação da fase dispersa, (d) a forma geométrica do aditivo e (e) o tamanho da fibra.

Figura 04 – Distribuições da fibra na matriz



Fonte: Adaptado de CALLISTER JÚNIOR, (2008).

### 2.2.1.1 Influência do comprimento da fibra

Os materiais reforçados com fibras são divididos em duas categorias, fibras longas ou contínuas e fibras curtas ou descontínuas. Em geral, as fibras longas apresentam comprimento superior a 50 mm e as curtas inferior a esta medida (CHEREMISINOFF, 1997).

A força de ligação entre as fases é um fator muito importante para a eficácia de transmissão da carga aplicada na fase matriz para a fase dispersa. Para isso ocorrer, é necessário que a fibra tenha um comprimento mínimo, conhecido como crítico que depende do diâmetro da

fibra, da resistência máxima e da resistência da ligação entre a fibra e a matriz. Geralmente a ordem de grandeza do comprimento crítico é de um milímetro, o que significa estar entre 20 e 150 vezes maior que o diâmetro da fibra. Assim, são consideradas contínuas quando o comprimento da fibra é cerca de quinze vezes maior que o comprimento crítico (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

De modo geral, quanto maior for o comprimento das fibras, maior será o aumento de propriedades mecânicas. Porém, existem limites, que acima deles haverá dificuldade de incorporação da fibra na matriz polimérica e até mesmo na produção dos componentes finais conforme geometrias das peças. Também, o diâmetro da fibra pode afetar a resistência à tração e ao impacto de termoplásticos. As poliamidas, por exemplo, apresentam menores resistências a essas propriedades com o aumento do diâmetro da fibra (ABMACO, 2010).

#### 2.2.1.2 Influência da orientação e concentração das fibras

Conforme ilustrado anteriormente na Figura 04, a orientação e concentração das fibras geram grandes influências na resistência mecânica dos compósitos reforçados com fibra. Com relação a orientação, avaliando as situações mais extremas, as fibras podem estar orientadas paralelamente ao eixo longitudinal, ortogonalmente ou apresentarem comportamento aleatório, geralmente as fibras contínuas apresentam melhor índice de alinhamento. Para ensaios mecânicos como, por exemplo, de tração é preferível que as fibras estejam paralelas ao eixo de aplicação da força.

Já em relação a concentração, é desejável que as fibras estejam dispersas uniformemente pela matriz. Assim, não haverá falhas do material por acúmulo de fibras ou fadiga precoce da região que apresenta somente o material matriz (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

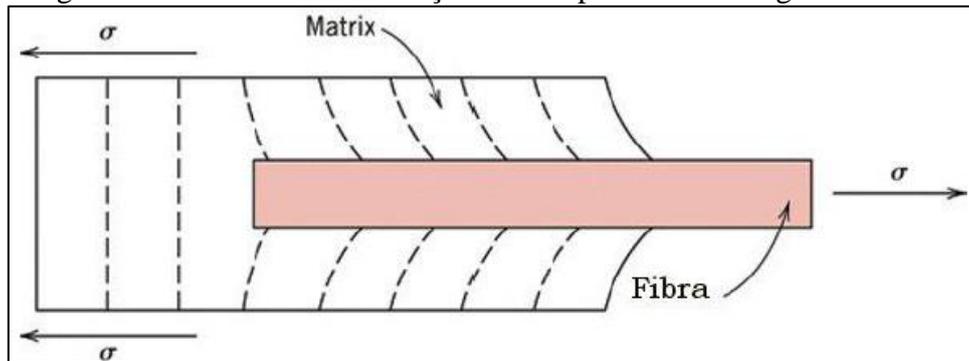
#### 2.2.1.3 Interface matriz e fibra

A ligação de interface entre a fase matriz e a fase dispersa deve ser a melhor possível para garantir melhoria nas propriedades, devido a matriz fazer ligações químicas e mecânicas com o reforço. Então, para essa ligação ocorrer e ser o mais forte possível, é preciso que haja compatibilidade química entre as fases (MARINUCCI, 2011).

Assim, as propriedades de um compósito com fibra não dependem somente das propriedades dos materiais fase, mas também da transmissão da carga realizada sobre o material da matriz para a fibra, que gera um padrão de deformação na matriz devido as grandes diferenças de propriedades mecânicas entre o polímero base e o reforço. Conforme ilustrado em escala

microscópica na Figura 05, ao submeter o compósito a um carregamento axial, é provocado deslocamentos axiais desiguais, fazendo com que sejam produzidas deformações cisalhantes em planos paralelos aos eixos dos reforços. Essa característica é a causa de ocorrer a distribuição da carga aplicada da matriz para as fibras (ABMACO, 2010, CALLISTER JÚNIOR, 2008, MARINUCCI, 2011).

Figura 05 – Padrão de deformação do compósito em carregamento axial



Fonte: CALLISTER JÚNIOR, (2008).

#### 2.2.1.4 Fibra de vidro

Conforme Smith (1998), para utilização como reforços em matrizes de base polimérica, as fibras de vidro são as mais antigas e utilizadas para obtenção de compósitos com ganho de propriedades.

Elas começaram a ser utilizadas principalmente por apresentarem baixo custo e espessura, possibilitando a fabricação de malhas trançadas. Apresentam comportamento elástico linear em uma faixa estreita de deformação, ou seja, material frágil com ruptura súbita sem deformação permanente. Também, a fratura das fibras de vidro pode ser acelerada com a presença de água e ambientes corrosivos (MARINHO, 2005).

Devido à alta utilização das fibras de vidro no mercado, é realizada a produção do material conforme a necessidade de aplicação requerendo propriedades específicas e alteração da estrutura química. Porém, basicamente elas são produzidas pelo estiramento do vidro fundido a uma temperatura aproximada de 550 graus Celsius por uma fieira de platina, após os filamentos são estirados através de rolos para redução do diâmetro da fibra entre 5 a 25  $\mu\text{m}$ . Por fim, devido ao vidro ser um material frágil podendo apresentar microfissuras na superfície, as fibras recebem um tratamento superficial que atua como revestimento protetor e também melhorar a flexibilidade e compatibilidade com a matriz polimérica. Em suma, as fibras para fabricação de compósitos poliméricos são a união de milhares de monofilamentos contínuos, orientados em uma direção e unidos por um aglomerante.

As fibras de vidro apresentam boa resistência à tração, na ordem de 3,5 GPa e módulo de elasticidade de aproximadamente 70 GPa. Assim, além das propriedades mecânicas satisfatórias, baixo custo e facilidade de aquisição dessa matéria prima no mercado, esse material é muito utilizado na fabricação de compósitos poliméricos (ABMACO, 2010, MARINHO, 2005, MARINUCCI, 2011).

### 2.2.2 Compósito com grafeno

Os estudos sobre nanomateriais estão sendo uma das mais proeminentes revoluções tecnológicas ao longo dos últimos 20 anos. Assim, com a tecnologia envolvida no estudo, permitiu-se a manipulação de átomos para a formulação de novos materiais através de técnicas para combinação de átomos e moléculas (BORSCHIVER et al., 2005).

Em 2010, os cientistas Andre Geim e Konstantin Novoselov conseguiram isolar fragmentos de grafeno multicamada com a utilização do método de microesfoliação mecânica do grafite. Assim, pela obtenção do grafeno em forma livre, os russos receberam o prêmio Nobel de Física (HANCOCK, 2011).

Por gerar melhores propriedades mecânicas e grande variação de formas estruturais, as nanoestruturas de carbono são muito utilizadas como aditivos em materiais poliméricos, têxteis, cerâmicos e componentes eletrônicos (KHOLMANOV et al., 2010).

As propriedades finais dos compósitos dependem de vários fatores, sendo que as propriedades das fases constituintes, as quantidades, a geometria da fase dispersa bem como a orientação das partículas e adesão da partícula na matriz são as principais.

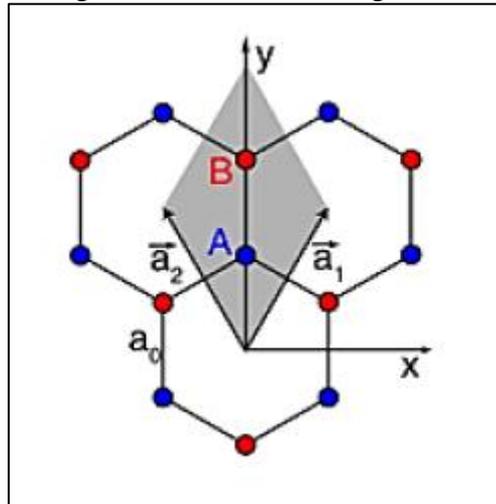
Quando utilizado material particulado para reforço, o compósito passa a comportar-se praticamente como material isotrópico. Assim, as partículas aderidas tendem a restringir o movimento da fase matriz, transferindo parte da tensão aplicada para as partículas, dividindo o suporte da carga (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

#### 2.2.2.1 Estrutura cristalina

O grafeno é um material com espessura nanométrica e bidimensional, formado por ligações covalentes de hibridização  $sp^2$  dos carbonos, organizados em uma rede hexagonal., cada átomo de carbono se liga a outros três átomos de carbono (GEIM *et al.*, 2007).

A célula unitária do grafite é de dois átomos de carbono, A e B, com distância interatômica,  $a_0$ , que origina duas sub redes. Demonstrado na Figura 06 (MOLITOR *et al.*, 2011).

Figura 06 – Estrutura do grafeno



Fonte: Adaptado de MOLITOR *et al.* (2011).

#### 2.2.2.2 Propriedades

O estudo do material se fundamenta por conta de suas propriedades físicas, além de ser um dos materiais existentes com menor espessura para uma camada de átomos, com grande razão entre superfície e massa, cerca de  $2700 \text{ m}^2/\text{g}$ . Além disso, o módulo de elasticidade é extremamente elevado, cerca de 1 TPa, e deformação elástica aproximada, sem demonstrar ruptura, de aproximadamente 20%. Ainda, a condutividade térmica é superior a do diamante e a condutividade elétrica é centena de vezes maior que a do cobre e silício (GEIM *et al.*, 2007).

Também, o grafeno pode ser utilizado inserindo-o em uma matriz polimérica como aditivo para compósito, elevando consideravelmente as propriedades mecânicas do elemento, aumentando a condutividade térmica e elétrica do compósito em comparação ao polímero original (SONG *et al.*, 2011).

#### 2.2.2.3 Síntese

O primeiro método para obtenção do grafeno foi o de esfoliação mecânica do grafite que apresenta boa qualidade, porém a produção em larga escala é dificultada. Após, muitos pesquisadores iniciaram estudos e promoveram a expansão dos métodos de obtenção do grafeno (GEIM *et al.*, 2007). Conforme a Tabela 02, apresenta-se a obtenção de grafeno através do método de esfoliação mecânica, da deposição química na fase vapor em folhas de cobre (CVD) e o crescimento epitaxial do grafeno a partir de carbeto de silício (SiC), este último possui grande custo de produção devido ao elevado valor do SiC (BAE *et al.*, 2012).

Tabela 02 – Métodos de obtenção do grafeno

Método	Esfoliação Mecânica	Redução Química a partir de óxido de grafeno	Crescimento apitaxial a partir do SiC	CVD
Tamanho	10 a 100 $\mu\text{m}$	> 15 cm	< 10 cm	> 15 cm
Mobilidade	Ótima	Ruim	Alta	Alta
Transferência	Possível	Possível	Não	Possível
Aplicações	Nenhuma	Limitadas	Limitadas	Diversas

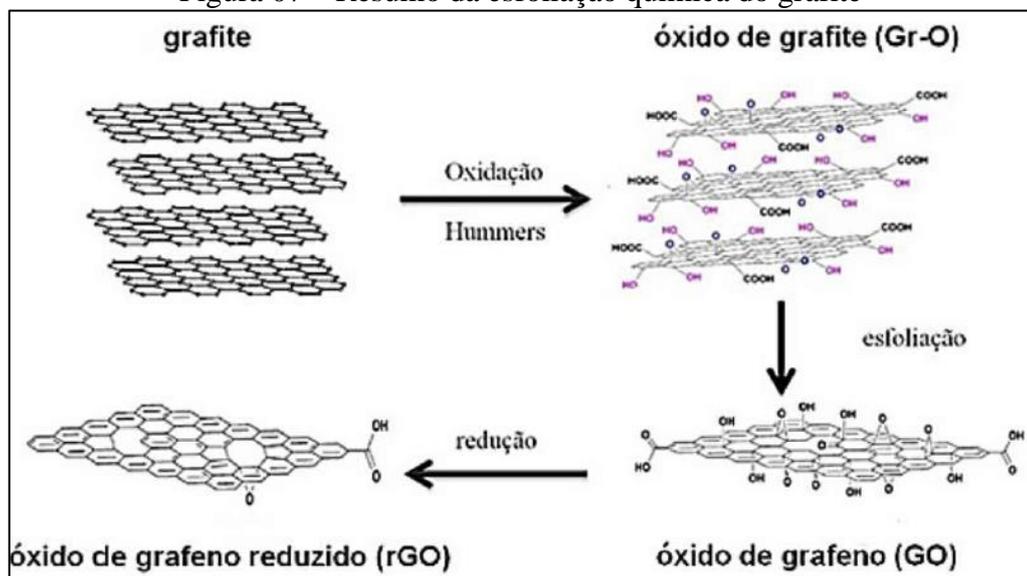
Fonte: BAE *et al.* (2012).

Um dos métodos mais utilizados para a obtenção do óxido de grafeno reduzido, grafeno, é o da esfoliação química do grafite, que consiste em etapas sequentes de oxidação, esfoliação e redução das folhas de grafite, resumido na Figura 7. Assim, obtém-se alto rendimento do material multicamadas e boa relação entre custo e capacidade de processamento, porém é um método que exige cautela para prevenir a geração de produtos defeituosos (DOMINGUES, 2013).

A obtenção do óxido de grafite (Gr-O) é realizada através de processos químicos ou térmicos. O método mais utilizado é o de Hummers Offeman, que utiliza o óxido de manganês através da reação entre ácido sulfúrico e permanganato de potássio (DREYER, 2010).

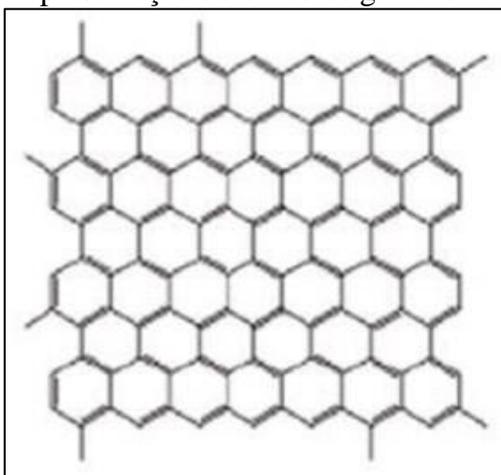
A dispersão do Gr-O é realizada através de métodos variados, desde micro-ondas, até ondas ultrassônicas, processos sonoquímicos. Assim, é obtido o óxido de grafeno (GO), com uma diminuição da razão entre carbono e oxigênio (KUILA *et al.*, 2012). Assim, com o GO, utilizando agentes químicos redutores, gera-se o óxido de grafeno reduzido (rGO) geralmente na forma de pó, conforme representação na Figura 08 (DOMINGUES, 2013).

Figura 07 – Resumo da esfoliação química do grafite



Fonte: Adaptado de DOMINGUES, (2013).

Figura 08 – Representação do óxido de grafeno reduzido (rGO)



Fonte: DOMINGUES, (2013).

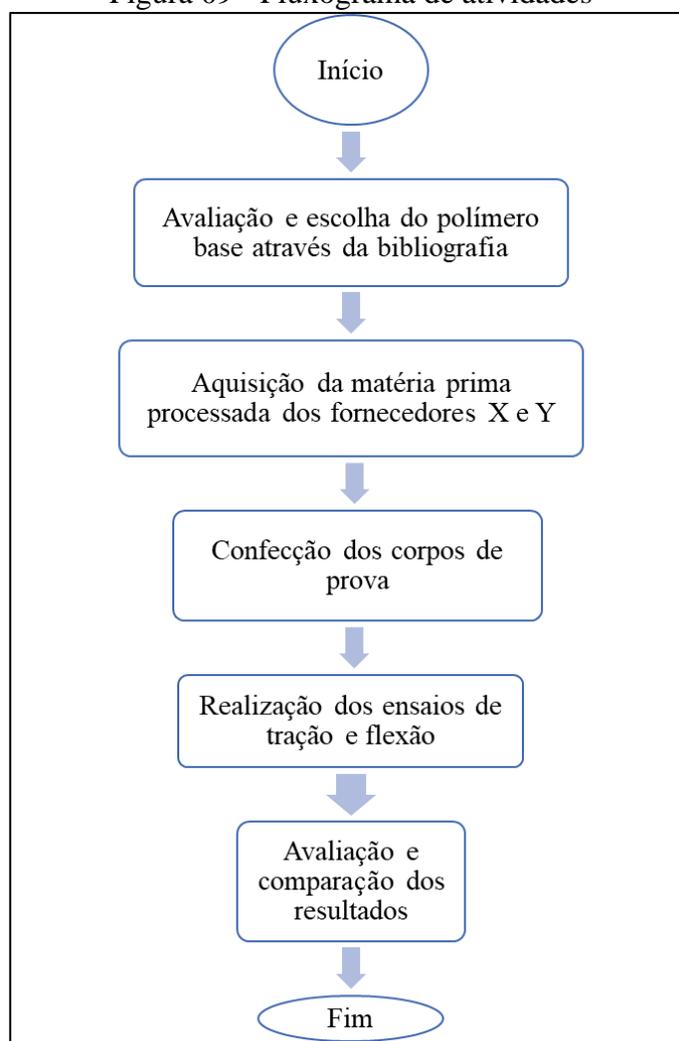
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a metodologia a ser utilizada para a caracterização do polímero poliamida aditivos de distintos fornecedores e desenvolvimento dos procedimentos a fim de gerar dados para posterior análise e comparação do desempenho mecânico dos materiais.

#### 3.1 FLUXOGRAMA E CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O processo de desenvolvimento será de acordo com a Figura 09, que apresenta o fluxograma de trabalho.

Figura 09 - Fluxograma de atividades

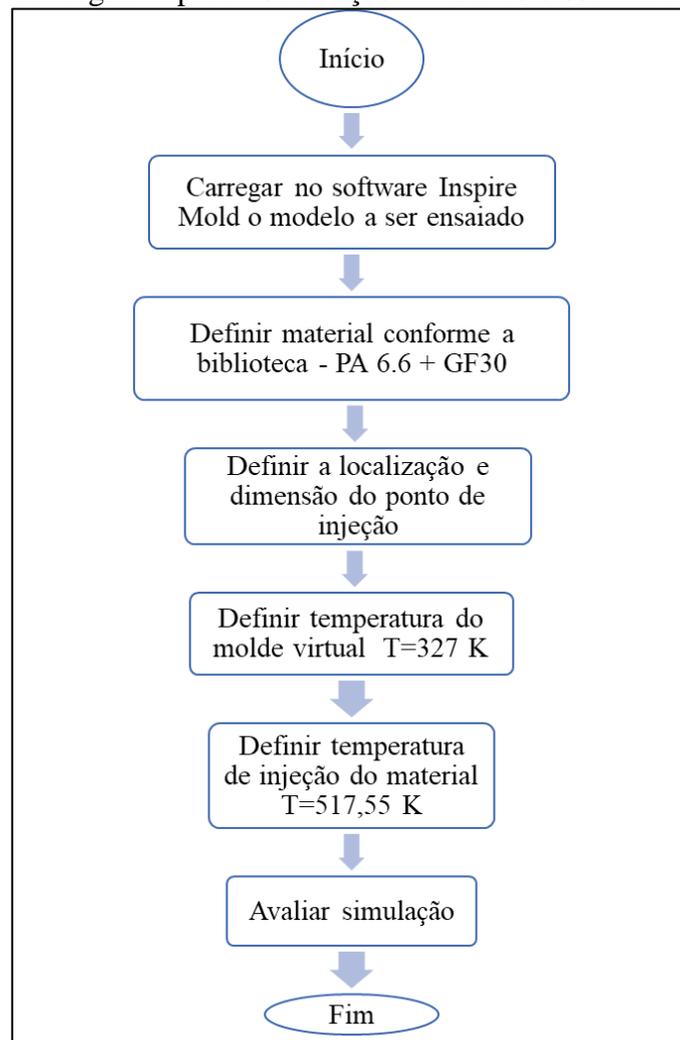


Fonte: o autor (2021).

### 3.2 MÉTODOS

Para aprimorar o estudo do comportamento do direcionamento das fibras de vidro após injeção de material polimérico, foi utilizado o software *Inspire Mold*. Assim, os passos para realização da simulação foram realizados conforme o fluxograma da Figura 10, utilizando a biblioteca de materiais do próprio programa para selecionar o compósito poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro curta em sua composição e parâmetros de injeção

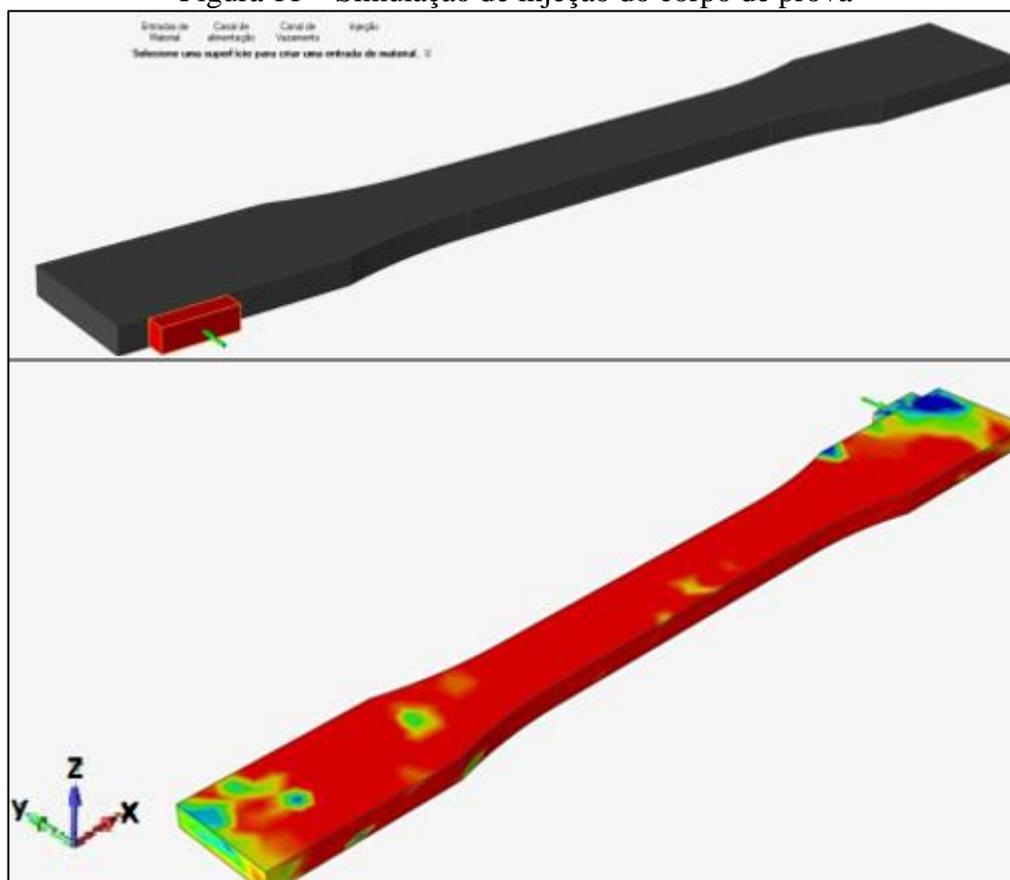
Figura 10 – Fluxograma para a simulação utilizando o software Inspire Mold



Fonte: o autor (2021).

Para os resultados, quanto mais vermelha for a tonalidade da ilustração, menor é o ângulo de inclinação da fibra de vidro em relação ao eixo cartesiano selecionado para a análise. Assim, avaliando a Figura 11, é possível verificar que a matriz de injeção do corpo de prova resulta em fibras alinhadas quase em sua totalidade com o eixo cartesiano X, contribuindo para obter melhor resistência mecânica na tração do corpo de prova.

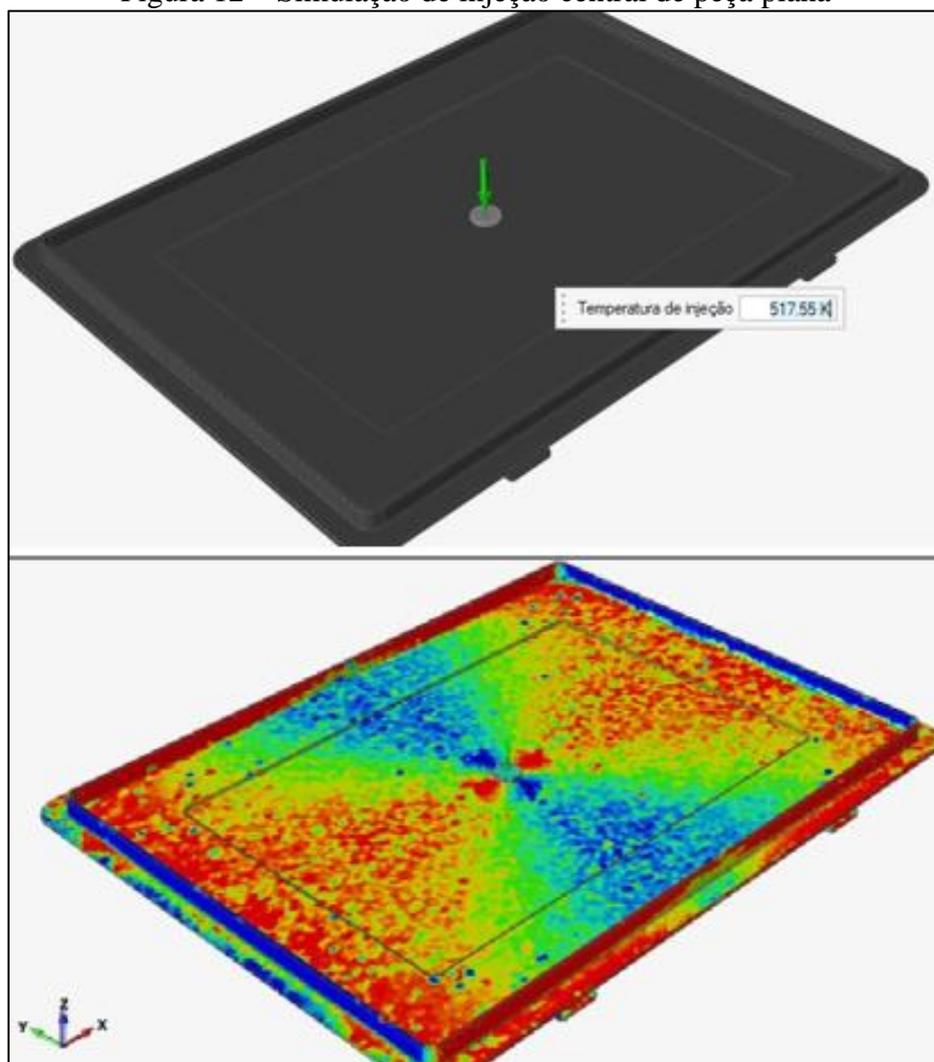
Figura 11 – Simulação de injeção do corpo de prova



Fonte: o autor (2021).

Também, para verificar o comportamento do posicionamento do aditivo em uma peça com ponto de injeção central, foi realizada a mesma simulação descrita anteriormente para uma peça plana, ilustrado na Figura 12. Dessa forma, analisando através do eixo cartesiano X, admite-se que as fibras de vidro majoritariamente estão alinhadas radialmente a partir do ponto de injeção.

Figura 12 – Simulação de injeção central de peça plana



Fonte: o autor (2021).

### 3.3 MATERIAIS

Para a realização do procedimento experimental, foi realizada a aquisição da matéria prima processada de distintos fornecedores, a fabricação dos corpos de prova a partir de uma matriz e de uma peça e, por fim, a realização dos ensaios de tração e flexão. O procedimento será descrito conforme seções a seguir.

#### 3.3.1 Matéria prima

Foi realizada a aquisição da matéria prima processada em forma de granel, *pellets*, conforme Figura 13, com diferentes composições e oriunda de fornecedores distintos.

Figura 13 – Pellets da matéria prima adquirida



Fonte: o autor (2021).

Os materiais foram comprados de dois fornecedores, os quais não é possível identificar devido a existência de termos de confidencialidade. Mas, destaca-se que o Fornecedor X é uma indústria brasileira e o Fornecedor Y é um centro de pesquisa localizado na Inglaterra. Também, uma das dificuldades encontradas foi o alto custo dos materiais, chegando a 750 reais ao Kg. Assim, os itens adquiridos estão listados na Tabela 03.

Tabela 03 – Itens adquiridos

<b>Fornecedor</b>	<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>
X	Poliamida 6.6 e 30% de fibra de vidro	8 Kg
	Poliamida 6.6, 30% de fibra de vidro e 1% de grafeno	5 Kg
Y	Poliamida 6.6 e 25% de fibra de vidro	10 Kg
	Poliamida 6.6, 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno	15 Kg

Fonte: o autor (2021).

Também, o *datasheet* dos materiais compostos por poliamida e fibra de vidro estão no anexo A deste trabalho.

### 3.3.2 Fabricação dos corpos de prova injetados na matriz

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizada a injetora Milacron Roboshot 110, conforme Figura 14, com temperatura de injeção de 245 graus Celsius, 50 cm<sup>3</sup>/s de velocidade e 1500 bar de pressão de injeção em uma ferramenta de alumínio demonstrada na Figura 15.

Figura 14 – Injetora Milacron Roboshot 110



Fonte: o autor (2021).

Figura 15 – Ferramenta para injeção de corpo de prova



Fonte: o autor (2021).

A matriz produz os corpos de prova de tração, flexão e impacto, demonstrado na Figura 16, conforme normas ASTM D638/14, ASTM D790/17 e ASTM D256, respectivamente.

Figura 16 – Corpos de prova extraídos da ferramenta

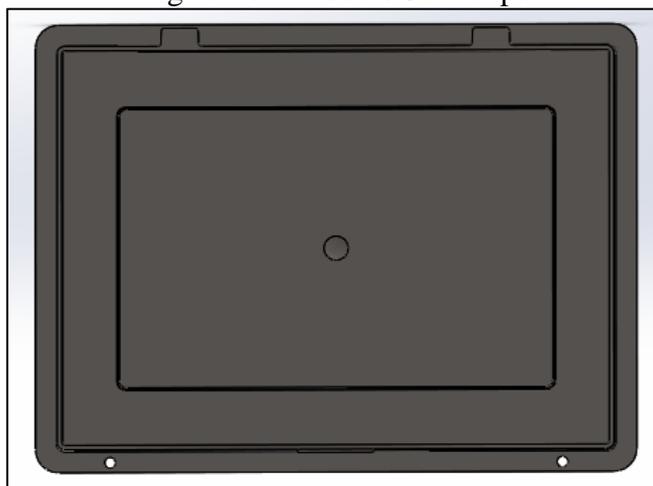


Fonte: o autor (2021).

### 3.3.3 Fabricação de peça para recorte de corpos de prova

Para maior coleta de dados experimentais dos quatro materiais, foi realizada a fabricação de uma peça em formato de placa, conforme o modelamento ilustrado na Figura 17, com o ponto de injeção da região central para obtenção de um fluxo de injeção radial.

Figura 17 – Modelo 3D tampa



Fonte: o autor (2021).

Para a fabricação, foi utilizada a injetora Battenfeld HM, conforme Figura 18, com temperatura de injeção de 245 graus Celsius, 50 cm<sup>3</sup>/s de velocidade e 1500 bar de pressão de injeção.

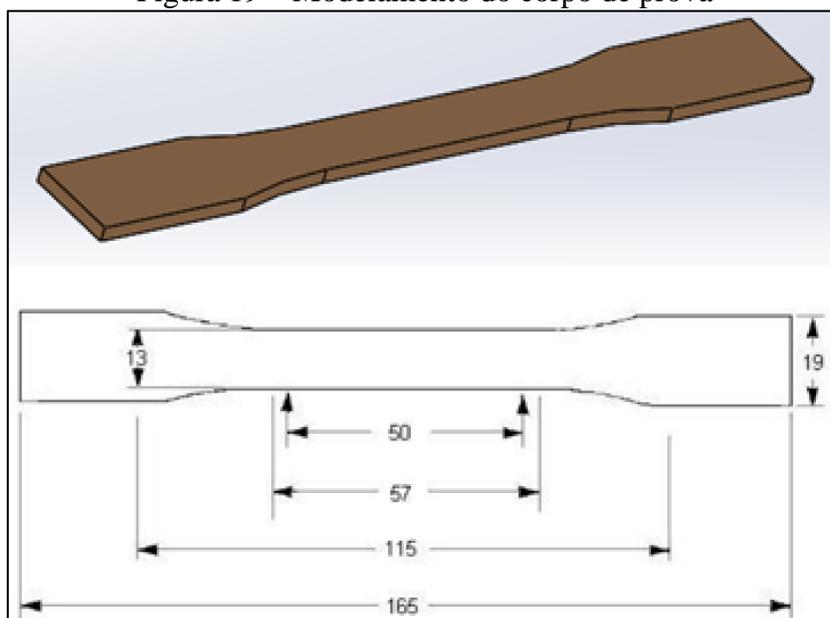
Figura 18 – Injetora Battenfeld HM



Fonte: o autor (2021).

Para avaliação do comportamento das propriedades do ensaio de tração dos corpos de prova em diferentes direções em relação ao fluxo de injeção, foi realizado o recorte dos corpos de prova conforme modelamento da Figura 19 através da norma ASTM D638/14 em centro de usinagem por jato de água.

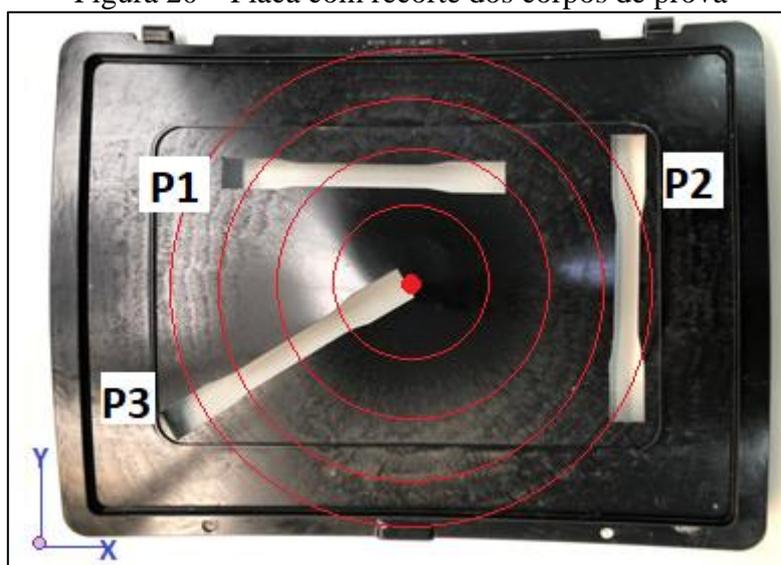
Figura 19 – Modelamento do corpo de prova



Fonte: o autor (2021).

Dessa forma, foi realizado o recorte em três regiões distintas da placa. Com base no eixo cartesiano X, a Figura 20 demonstra a posição P1 com inclinação a 0 graus, P2 a 90 graus e P3 a 45 graus, também como as linhas de fluxo radial a partir do ponto de injeção. As posições dos corpos de prova foram escolhidas com auxílio da simulação realizada através do *Inspire Mold*, demonstrado na Figura 12.

Figura 20 – Placa com recorte dos corpos de prova



Fonte: o autor (2021).

### 3.3.4 Ensaio de tração

Para a realização dos ensaios de tração, foi utilizada a máquina universal de ensaios EMIC série 23-100, conforme Figura 21, célula de carga com capacidade de 10KN e extensômetro videográfico Instron AVE2 através do laboratório de ensaios mecânicos da Marcopolo S.A. Todos os ensaios foram executados seguindo os critérios da norma ASTM D638/14 para corpos de prova com espessura inferior a 7 mm e os certificados de calibração estão disponíveis no anexo B desse trabalho.

Figura 21 – Máquina universal de ensaios



Fonte: o autor (2021).

Para a captação da deformação do material através do equipamento videográfico, foi realizado a marcação nos corpos de prova com espaçamento de 50 mm e diâmetros entre 2 e 4 mm, conforme Figura 22.

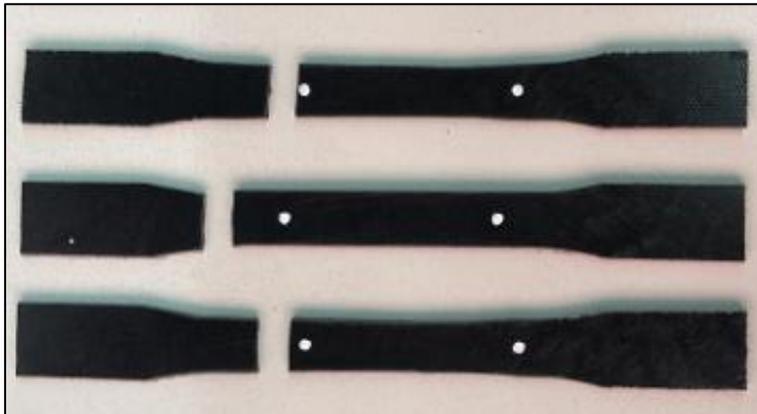
Figura 22 – Marcação do corpo de prova



Fonte: o autor (2021).

Por estar ensaiando um material bastante rígido, conforme Figura 23 não ocorreu o rompimento de parte dos corpos de prova ensaiados na área de análise.

Figura 23 – Rompimento do corpo de prova em região indesejada



Fonte: o autor (2021).

Dessa forma, foi necessário lixar o material a ser ensaiado com o intuito de reduzir as dimensões da secção transversal para garantir a fratura na região desejada, ilustrado na Figura 24. O lixamento foi realizado em baixa velocidade para evitar a descaracterização do material por aquecimento excessivo.

Figura 24 – Corpo de prova após redução do perfil



Fonte: o autor (2021).

Após todos os materiais estarem preparados, foram realizados os ensaios propriamente ditos com velocidade de 5 mm/min demonstrados na Figura 25, levando em conta as medidas nominais de menor espessura e largura para o cálculo da área de secção transversal. Assim, o software utilizado para controle da máquina, coleta de dados e geração de relatórios foi o Instron Bluehill 3.

Figura 25 – Ensaio de tração



Fonte: o autor (2021).

### 3.3.5 Ensaio de flexão

Os ensaios foram executados conforme os critérios da norma ASTM D790/17 a uma velocidade de avanço de 1,281 mm/min e corpo de prova ilustrado na Figura 26 com espessura de 3,2 mm.

Figura 26 – Corpo de prova para ensaio de flexão



Fonte: o autor (2021).

Para a realização dos ensaios de flexão, foram utilizados os mesmos equipamentos e softwares citados na seção anterior. Porém, utilizando um dispositivo com dois pontos de apoio para aplicação de força crescente no corpo de prova bi apoiado, demonstrado na Figura 27.

Figura 27 – Ensaio de flexão



Fonte: o autor (2021).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos procedimentos experimentais descritos anteriormente, bem como as discussões referentes as análises de dados, a fim de alcançar o objetivo de comparar o desempenho dos materiais.

A caracterização de algumas propriedades mecânicas dos materiais poliméricos é realizada através dos ensaios de tração e flexão, conforme normas descritas no capítulo 3. Os grupos de amostras manufaturadas foram submetidos aos ensaios conforme resumo da Tabela 04. Também, os relatórios e imagens dos corpos de prova ensaiados estão no anexo C deste trabalho e os resultados que serão avaliados detalhadamente estão resumidos na Tabela 05.

Tabela 04 – Ensaios realizados

Fornecedor	Material	Corpos de prova
X	PA6.6 + 30% fibra de vidro	•Injetado para ensaio de tração
	PA6.6 + 30% fibra de vidro + 1% grafeno	•Injetado para ensaio de flexão
Y	PA6.6 + 25% fibra de vidro	•Recortado na posição P1 da placa para ensaio de tração
	PA6.6 + 25% fibra de vidro + 3% grafeno	•Recortado na posição P2 da placa para ensaio de tração •Recortado na posição P3 da placa para ensaio de tração

Fonte: o autor (2021).

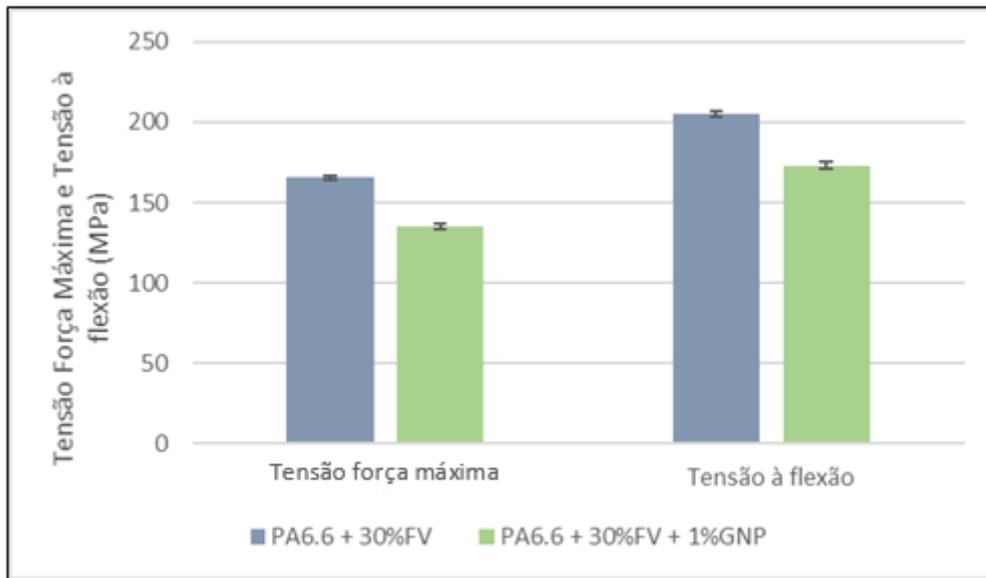
Tabela 05 – Resultados

	Fornecedor X			Fornecedor Y		
	PA 6.6 Virgem	PA 6.6 + 30%FV	PA 6.6 + 30%FV + 1%GNP	PA 6.6 Virgem	PA 6.6 + 25%FV	PA 6.6 + 25%FV + 3%GNP
Tensão Força Máxima (MPa)	85	165,3	134,9	80	128,8	127,5
Módulo de Elasticidade Tensão (MPa)	3800	8388	7226	3000	6023	6211
Tensão à Flexão (MPa)	125	205,179	172,873	110	180,484	183,175
Módulo de Elasticidade Flexão (MPa)	3700	5656,739	4864,127	2800	5145,432	5823,531

Fonte: o autor (2021).

Através dos resultados obtidos dos materiais do fornecedor X, pode-se observar que, avaliando os valores de tensão da Figura 28, o material PA6.6 com 30% de fibra de vidro e 1% de grafeno apresentou um decréscimo de 18,4% e 15,74% nos valores de tensão força máxima e tensão à flexão, respectivamente, em relação a poliamida 6.6 com 30% de fibra de vidro.

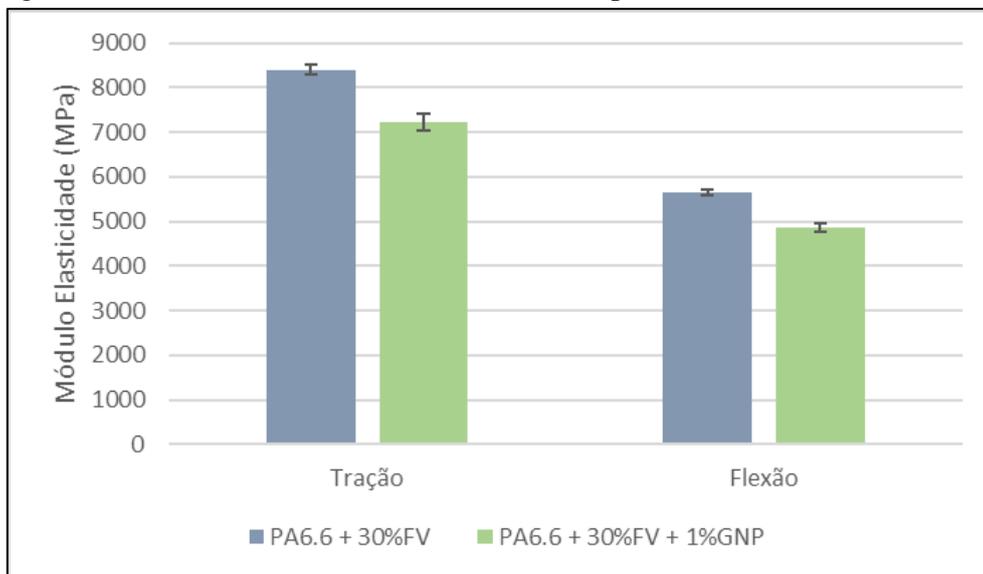
Figura 28 – Gráfico de tensões para materiais do fornecedor X



Fonte: o autor (2021).

Também, avaliando os valores de módulos de elasticidades da Figura 29 dos materiais do mesmo fornecedor X, o material com 1% de grafeno como aditivo reduziu em 13,85% no módulo de elasticidade da tração e em 14,01% no módulo de elasticidade de flexão em comparação ao material com 30% de fibra de vidro como aditivo, porém sem grafeno.

Figura 29 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais do fornecedor X

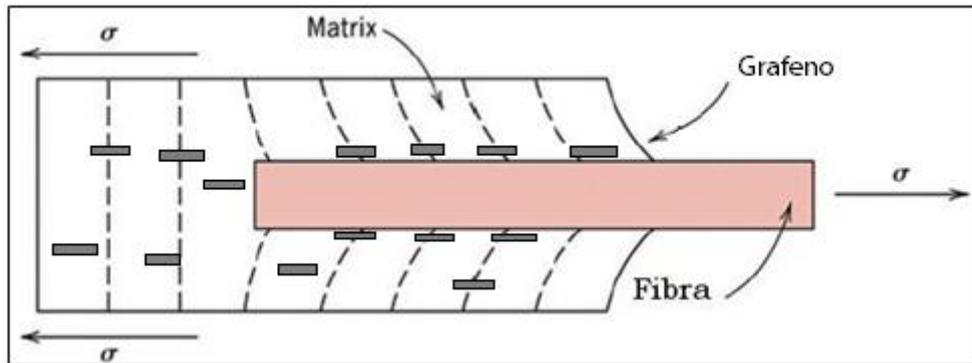


Fonte: o autor (2021).

Assim, possíveis causas podem levar o compósito a apresentar uma redução nas propriedades mecânicas. Uma delas é a falha na dispersão dos aditivos na matriz, causando acúmulo de fibras de vidro e de partículas de grafeno, podendo gerar uma fadiga precoce do material por não estarem bem aderidos a matriz. Outra possível causa está ilustrada na Figura 30,

onde as partículas de grafeno ficaram dispersas em sua maioria sobre a superfície da fibra de vidro e quando esforços mecânicos são aplicados no material, como entre os dois aditivos não há boa compatibilidade química e aderência, a transmissão da carga não é efetiva pois ocorre o deslizamento entre o grafeno e a fibra de vidro.

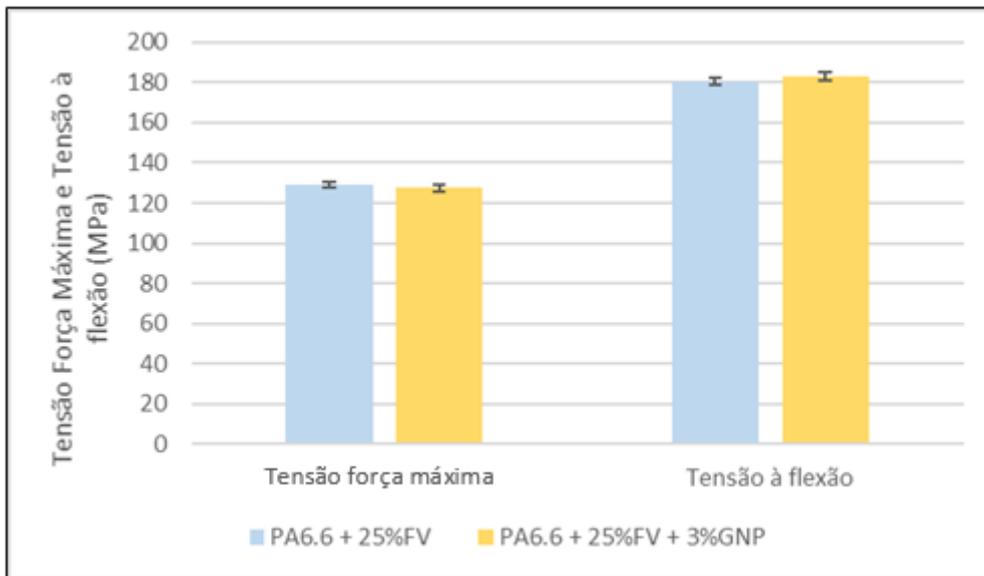
Figura 30 – Possível distribuição dos aditivos na fase matriz



Fonte: Adaptado de CALLISTER JÚNIOR, (2008).

Já para os materiais do fornecedor Y, através da Figura 31 não é observado diferença expressiva na variação de tensão força máxima, -1%, e tensão à flexão, 1,5%, entre o material poliamida 6.6 com 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno e o material com a mesma matriz porém com apenas reforço de fibra de vidro.

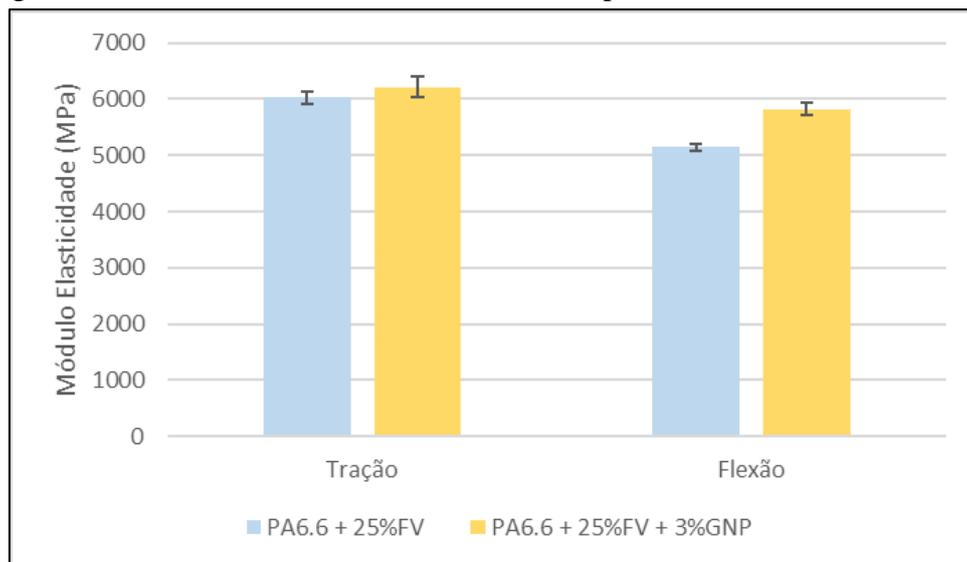
Figura 31 – Gráfico de tensões para materiais do fornecedor Y



Fonte: o autor (2021).

Porém, verificando através da Figura 32, observa-se que os corpos de prova do fornecedor Y compostos por PA 6.6, 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno apresentaram um acréscimo dos módulos de elasticidades em relação ao material do mesmo provedor, mas sem grafeno aditivado. Assim, ocorreu um aumento de 3,12% no módulo de elasticidade no ensaio de tração e 13,18% no ensaio de flexão, propriedade muito importante aos polímeros por aumentar a rigidez do material.

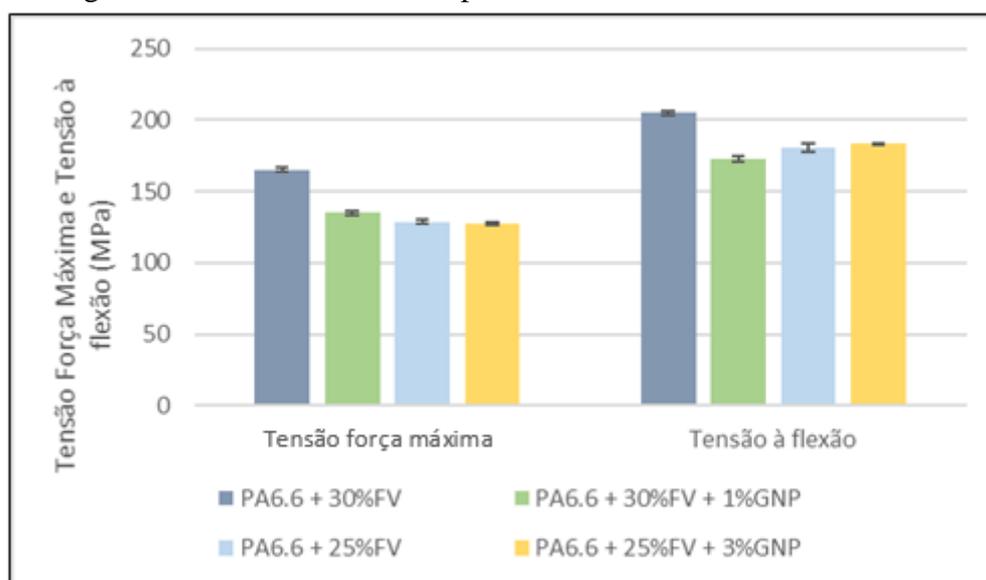
Figura 32 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais do fornecedor Y



Fonte: o autor (2021).

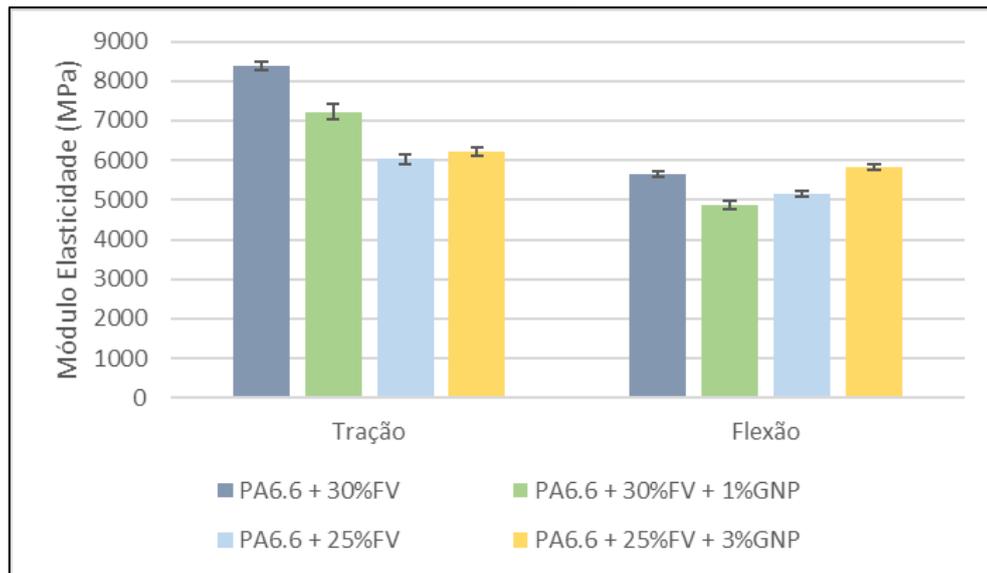
Dessa forma, comparando os resultados ilustrados nas Figuras 33 e 34, de modo geral, os materiais do fornecedor Y apresentam propriedades inferiores aos materiais do fornecedor X. A principal causa dessa diferença é devido aos primeiros apresentarem em sua composição 5% de fibra de vidro a menos que os demais materiais. Porém, essa mesma característica pode estar resultando no aumento dos módulos de elasticidade dos materiais com adição de grafeno, pois com uma concentração inferior de fibra de vidro os aditivos podem estar melhor dispersos na matriz, reduzindo o acúmulo de materiais e diminuindo a probabilidade de as partículas de grafeno estarem aderidas nas superfícies das fibras de vidro.

Figura 33 – Gráfico de tensões para materiais dos fornecedores X e Y



Fonte: o autor (2021).

Figura 34 – Gráfico de módulos de elasticidade para materiais dos fornecedores X e Y

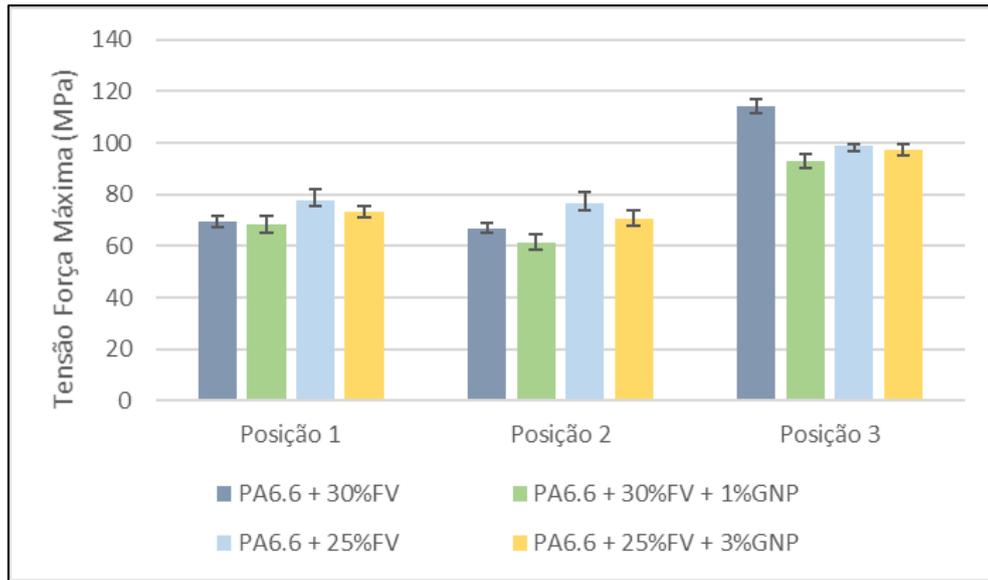


Fonte: o autor (2021).

Através dos resultados dos ensaios realizados através dos corpos de prova recortados das placas, demonstrados nas Figuras 35 e 36, observa-se que o valor da tensão força máxima dos materiais com adição de grafeno de ambos os fornecedores reduziram quando comparados aos materiais sem grafeno. Já o módulo de elasticidade do compósito poliamida 6.6 com reforço de 25% de fibra de vidro e 3% de grafeno aumentou em relação ao PA 6.6 com 25% de fibra de vidro e do material PA 6.6 com 30% de fibra de vidro e 1% de grafeno diminuiu quando comparado ao sem grafeno do mesmo fornecedor, comportamento semelhante as Figuras 33 e 34 avaliadas anteriormente.

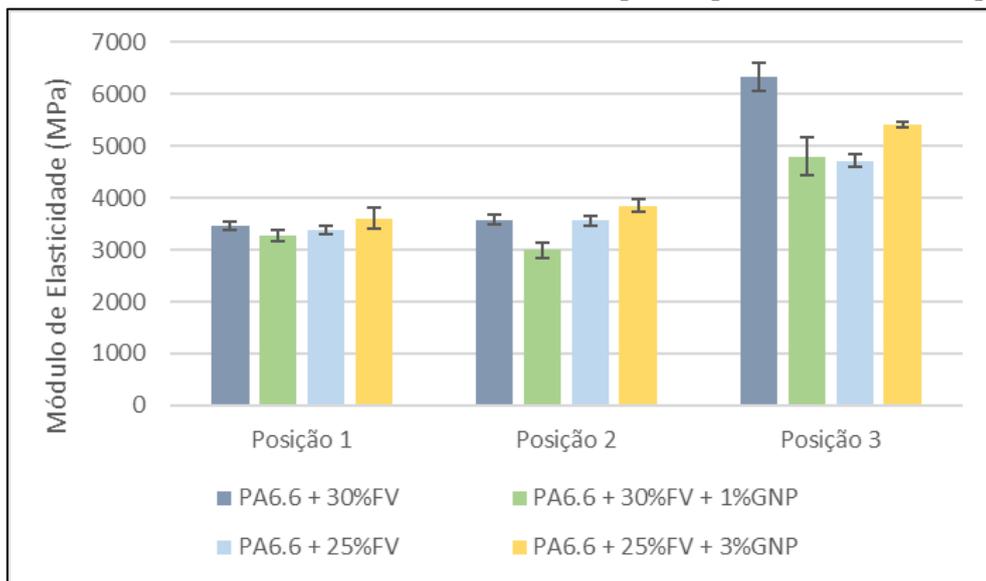
Assim, avaliando os materiais em diferentes posições em relação ao ponto de injeção da placa pode-se observar através dos gráficos das Figuras 35 e 36 que as propriedades mecânicas dos corpos de prova nas posições 1 e 2 são semelhantes, porém significativamente inferiores a posição 3.

Figura 35 – Gráfico da tensão em corpos de prova em diferentes posições



Fonte: o autor (2021).

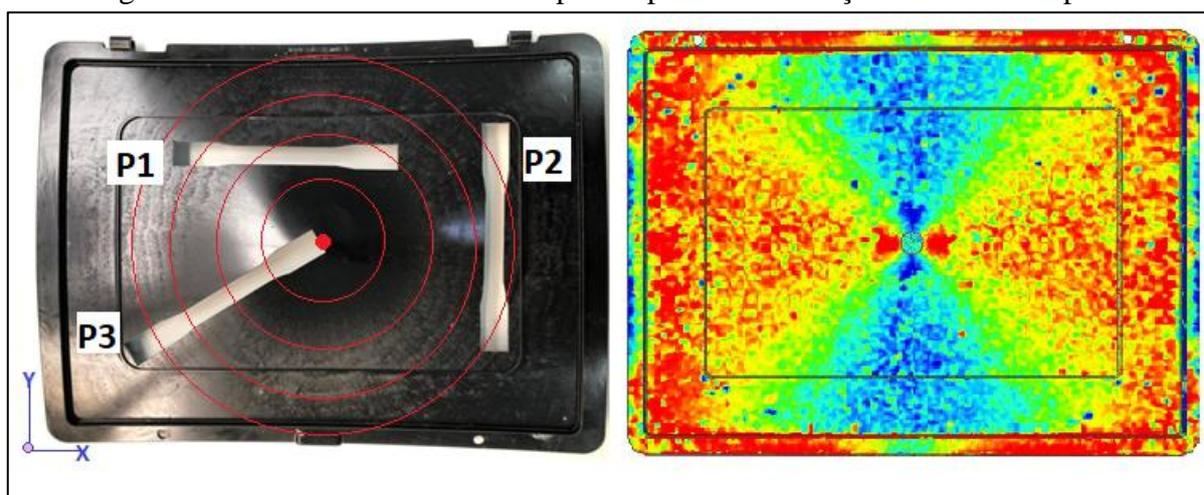
Figura 36 – Gráfico do módulo de elasticidade dos corpos de prova em diferentes posições



Fonte: o autor (2021).

O resultado pode ser explicado analisando a Figura 37, que demonstra o posicionamento dos corpos de prova recortados e a orientação das fibras de vidro da placa, quanto mais vermelha a região, mais fibras estão paralelas ao eixo cartesiano X. Assim, as posições 1 e 2 podem apresentar grande quantidade de fibras com posicionamento ortogonais ou dispersas em relação ao eixo principal do corpo de prova, desfavorecendo a resistência à tração, já a 3 pode apresentar maior quantidade de fibras paralelas ao eixo do corpo de prova, colaborando para o aumento de resistência.

Figura 37 – Posicionamento dos corpos de prova e orientação das fibras na placa



Fonte: o autor (2021).

Além disso, por conta de os fabricantes não disponibilizarem todas as especificações da matéria prima devido a segredos industriais, outros fatores não atribuídos podem influenciar os resultados dos ensaios realizados como as diferenças dos materiais base, dos métodos produtivos dos compósitos, das espessuras e comprimentos das fibras de vidro e das camadas e especificações do grafeno.

Também, levando em comparação os materiais compósitos ensaiados com os *datasheets* das poliamidas virgens no anexo A, nota-se que a presença da fibra como aditivo aos materiais provocou um grande aumento de resistência mecânica, chegando a 96% no aumento da tensão máxima.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi baseado na necessidade de desenvolver materiais com ganho de propriedades para redução de massa de veículos comerciais. Assim, buscou-se entender o comportamento de um polímero com aditivos e também avaliar os resultados de desempenhos mecânicos dos compósitos de base polimérica.

Após a realização dos estudos e ensaios mecânicos dos compósitos envolvendo os materiais poliamida 6.6, fibra de vidro e grafeno, pode-se concluir que, de modo geral, a adição de grafeno em um compósito com grande concentração de fibra de vidro não acarreta em ganhos significativos de propriedades mecânicas, porém quando reduzida a quantidade de fibras e acrescentado maior percentual de grafeno pode-se obter uma maior razão entre a tensão e a deformação do material, ou seja, maior módulo de elasticidade.

Porém, avaliando somente a adição de fibra de vidro, verificou-se que ocorreu o aumento da tensão máxima de tração e de flexão. Isso ocorre porque as fibras de vidro se comportam efetivamente como elementos de reforço da matriz. Então, quanto maior a quantidade percentual de fibra, maior será a capacidade de transferência de carga da matriz polimérica para a matriz fibra, entretanto há um limite de saturação. Dessa forma, a poliamida com adição de fibras de vidro é um material promissor para aplicação na indústria automobilística por apresentar grande ganhos de propriedades.

Também, quando avaliado corpos de prova em diferentes posições em relação ao ponto de injeção de uma peça foi possível avaliar que existe grande variação nas propriedades mecânicas devido a não uniformidade das fibras de vidro. Dessa forma, para desenvolvimentos futuros é de extrema importância avaliar a aplicação de tensão em todas as direções que o componente deverá suportar.

Ainda, durante o desenvolvimento do trabalho, pôde-se concluir que existem diversas variáveis para avaliar o desempenho mecânico de materiais poliméricos compósitos. Pois, além das propriedades variarem conforme a composição do material base, comprimento e concentração de fibras de vidro e características do grafeno, são afetadas também pelos parâmetros de processo e produção da matéria prima e dos corpos de prova.

Assim, a partir dos ensaios e análises realizadas, pode-se dizer que o trabalho teve resultados satisfatórios, pois os objetivos propostos foram atendidos. Este trabalho servirá de base para novos estudos e projetos envolvendo materiais compósitos.

## 6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para futuros estudos foram relacionados os seguintes itens:

- Avaliar a poliamida somente com o grafeno como aditivo, eliminando as variáveis das fibras de vidro;
- Adquirir diferentes matérias primas como, polímeros base, porcentagens distintas de fibra de vidro e grafeno para aumentar a coleta de dados a fim de encontrar a melhor combinação de materiais;
- Estender as investigações para outras propriedades do compósito, como resistência ao impacto, estabilidade dimensional, absorção de água e flamabilidade;
- Realizar ensaios experimentais a fim de avaliar a utilização na prática.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D 638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. Staff. Cincinnati, 1993. Section 8 – Plastics, V. 08-01.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D 790: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Staff. Cincinnati, 1993. Section 8 – Plastics, V. 08-01.
- ASKELAND, R.D.; FULAY, P.P.; WRIGHT, J.W. **The Science and Engineering of Materials**. 6. ed. Cengage Learning, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS COMPÓSITOS. **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Abmaco, 2010.
- BAE, S.; KIM, H.; LEE, Y.; XU, X.; PARK, J.; ZHENG, Y. Roll -to-roll production of 30-inch graphene films for transparente electrodes. Direct writing of graphene patterns and devices on graphene oxide films by inkjet reduction. **Nat Nanotechnol** **2012**, 5: 574-578.
- BORSCHIVER, S.; GUIMARÃES, M.J.O.C.; SANTOS, T.N.; SILVA, F.C.; BRUM, P.R.C. Patenteamento em nanotecnologia: estudo do setor de materiais poliméricos nanoestruturados. **Polímeros** **2005**, 15: 245-248.
- CALLISTER JÚNIOR, Willian D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**; Tradução de Sérgio Murilo Stamile Soares. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- CANEVAROLO, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros**. 2 ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2006.
- CHEREMISINOFF, Nicholas P. **Handbook of Engineering Polymeric Materials**. New York: Marcel Dekker, 1997.
- DOMINGUES, S.H. **Filmes finos, transparentes e condutores, baseados em grafeno**. Tese de doutorado em química na Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 2013.
- DREYER, D.R.. PARK, S.; BIELAWSKI, C.W.; RUOFF, R.S. The chemistry of graphene oxide. **Chemical Society Reviews**, v.39, p.228-240, 2010.
- GEIM, A.K.; NOVOSELOV, K.S. **The rise of graphene**. *Nat Mater* 2007, 6:183-191.
- HANCOCK, Y. **The 2010 Nobel Prize in physics – ground breaking experiments on graphene**. *Journal of Physics D : Applied Physics*. v. 44, 2011.
- HARADA, J. WIEBECK, H. **Poliamida 6 e poliamida 66: Plásticos de engenharia: Tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber, 2011.

KHOLMANOV, I.N.; CAVALIERE, E.; CEPEK, C.; GAVIOLI, L. Catalytic chemical vapor deposition of methane on grafite to produce graphene structures. Healing of structural defects in the topmost layer of grafite by chemical vapor deposition. **Carbon** **2010**, 48: 1619 -1625.

KUILA, T.; BOSE, S.; MISHRA, A.K.; KHANRA, P.; KIM, N.H.; LEE, J.H. Chemical functionalization of graphene and its applications. **Progress in Materials Science**, v.57, p. 1061-1105, 2012.

MANO, B.E.; MENDES, C.L. **Intrrodução a Polímeros**. 2. ed. Editora Edgar BlUcher LTDA, 2004.

MANO, Eloisa Biasotto. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1991.

MARINHO, Jean R. D. **Macromoléculas e Polímeros**. Barueri- SP: Manole, 2005.

MARINUCCI, Gerson. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**. São Paulo: Artliber, 2011.

MOLITOR, F.; GUTTINGER, J.; STAMPFER, C.; DROSCHE, S.; JACOBSEN, A.; IHNM, T.; ENSSLIN, K. Eletronic Properties of Graphene Nanostructures. **J. Phys, Condens. Matter**, v.23, p.1-15, 2011.

MUTHUKUMARASAMY, S.; KARTHICKEYAN, N.K.; KANNAN, S. **Design and fabrication of welding shield by using hybrid composite material**. Materials today: proceedings. 2020.

SMITH, Willian F. **Princípio de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3. ed. Lisboa: McGraw-Hill, 1998.

SONG, P.; CAO, Z.; CAI, Y.; ZHAO, L.; FANG, Z.; FU, S. **Fabrication of exfoliated graphene based polypropylene nanocomposites with mechanical and termal properties**. Polymer; 52: 4001-4010.

VLASVELD, D.P.N. et al. Fibre–matrix adhesion in glass–fibre reinforced polyamide-6 silicate nanocomposites. **Composites Part A: applied science and manufacturing**. v. 36, p. 1-11, 2005.

## **ANEXOS**

## ANEXO A – DATASHEETS DOS MATERIAIS

<b>Durethan A30SFN31 00000</b>						
<b>PA 66, non-reinforced, injection molding, halogen free flame retardant, improved flowability, heat-aging stabilized</b>						
<b>ISO Shortname: ISO 16396-PA 66+PA 6,FR(30),GF2HR,S12-040</b>						
<b>Property</b>	<b>Test Condition</b>	<b>Unit</b>	<b>Standard</b>	<b>guide value</b>		
				<small>d.a.m.</small>	<small>cond.</small>	
<b>Rheological properties</b>						
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2; 260 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	1.1		
C Molding shrinkage, transverse	60x60x2; 260 °C / MT 80 °C; 600 bar	%	ISO 294-4	1.1		
Post- shrinkage, parallel	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.1		
Post- shrinkage, transverse	60x60x2; 120 °C; 4 h	%	ISO 294-4	0.1		
<b>Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)</b>						
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	3800	1500	
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	85	50	
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4.1	>20	
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU	60	N	
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU	50	80	
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA	<10	<10	
Izod impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1U	55	N	
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1U	55	60	
Izod notched impact strength		kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1A	<10	<10	
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	3700	1600	
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	125	55	
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178-A	5.8	7,8	
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	120	40	
<b>Thermal properties</b>						
C Melting temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-3	260		
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	80		
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	212		
Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	230		
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 <sup>-6</sup> /K	ISO 11359-1,-2	0.8		
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 <sup>-6</sup> /K	ISO 11359-1,-2	0.7		
C Burning behavior UL 94	1.5 mm	Class	UL 94	V-0		
C Burning behavior UL 94	0.4 mm	Class	UL 94	V-0		
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	34		
Glow wire test (GWFI)	0.4 mm	°C	IEC 60695-2-12	960		
Glow wire test (GWFI)	0.75 mm	°C	IEC 60695-2-12	960		
Glow wire test (GWFI)	1.5 mm	°C	IEC 60695-2-12	960		
Glow wire test (GWFI)	3.0 mm	°C	IEC 60695-2-12	960		
Glow wire test (GWIT)	0.4 mm	°C	IEC 60695-2-13	775		

Anexo A – Datasheet da poliamida 6.6 sem aditivos do fornecedor X

## Durethan AKV 30 H2.0 901510

PA 66, 30 % glass fibres, injection moulding, heat-ageing stabilized

ISO Shortname: ISO 1874-PA 66,GHR,14-100,GF30

Property	Test Condition	Unit	Standard	guide value	
				d.a.m.	cond.
<b>Rheological properties</b>					
Molding shrinkage, parallel	150x105x3; 290 °C / MT 80 °C; 500 bar	%	acc. ISO 2577	0.35	
Molding shrinkage, transverse	150x105x3; 290 °C / MT 80 °C; 500 bar	%	acc. ISO 2577	1.27	
Post- shrinkage, parallel	150x105x3; 120 °C; 4 h	%	acc. ISO 2577	0.04	
Post- shrinkage, transverse	150x105x3; 120 °C; 4 h	%	acc. ISO 2577	0.07	
<b>Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)</b>					
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	10000	6000
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	4.4	6.7
C Tensile Stress at break	5 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	170	110
C Tensile Strain at break	5 mm/min	%	ISO 527-1,-2	3.0	6.0
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU	75	85
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eU	60	60
C Charpy notched impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA	< 10	14
C Charpy notched impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA	< 10	< 10
Charpy notched impact strength	-40 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1eA	< 10	< 10
Izod impact strength	23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1U	55	
Izod impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1U	50	
Izod notched impact strength	-30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1A	< 10	< 10
Izod notched impact strength	-40 °C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 180-1A	< 10	< 10
Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	8100	5700
Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178-A	270	180
Flexural strain at flexural strength	2 mm/min	%	ISO 178-A	4.0	6.0
Flexural stress at 3.5 % strain	2 mm/min	MPa	ISO 178-A		150
C Puncture maximum force	23 °C	N	ISO 6603-2	835	1161
C Puncture maximum force	-30 °C	N	ISO 6603-2	768	
C Puncture energy	23 °C	J	ISO 6603-2	2.8	5.4
C Puncture energy	-30 °C	J	ISO 6603-2	2.3	
Ball indentation hardness		N/mm <sup>2</sup>	ISO 2039-1	220	120
<b>Thermal properties</b>					
C Melting temperature	10 °C/min	°C	ISO 11357-1,-3	263	
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	>240	
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	250	

Anexo A – Datasheet da poliamida 6.6 com adição 30% de fibra de vidro do fornecedor X

Polyamide 66		www.radiciplastics.com		
Radici Group High Performance Polymers				
Technical Data				
<b>Product Description</b>				
PA66 injection moulding grade. Internally lubricated. Fast cycling. Natural colour.				
General purpose grade, suitable for parts requiring high productivity like fasteners, connectors, cable ties.				
<b>General</b>				
Material Status	• Commercial: Active			
Literature <sup>1</sup>	• Technical Datasheet (English)			
UL Yellow Card <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E116324-219880</li> <li>• E148796-101473263</li> <li>• E195505-101510668</li> <li>• E337835-101516858</li> <li>• E195508-101520660</li> </ul>			
Search for UL Yellow Card	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radici Group High Performance Polymers</li> <li>• Radilon®</li> </ul>			
Availability	• Africa & Middle East	• Europe	• North America	
	• Asia Pacific	• Latin America		
Additive	• Lubricant			
Features	• Fast Molding Cycle	• General Purpose	• Lubricated	
Uses	• Connectors	• Fasteners	• Wire & Cable Applications	
RoHS Compliance	• RoHS Compliant			
Appearance	• Natural Color			
Processing Method	• Injection Molding			
Resin ID (ISO 1043)	• PA66			
ISO Designation (ISO 16396)	• PA66, MN,S14-030			
<b>Physical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Density	1.14	--	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183
Molding Shrinkage <sup>4</sup>				ISO 294-4
Across Flow	1.3	--	%	
Flow	1.2	--	%	
Water Absorption				ISO 62
Saturation, 23°C, 2.00 mm	8.9	--	%	
Equilibrium, 23°C, 2.00 mm, 50% RH	2.1	--	%	
Viscosity Number (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Sulphuric Acid))	135	--	cm <sup>3</sup> /g	ISO 307
<b>Mechanical</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Tensile Modulus	3000	1300	MPa	ISO 527-2/1A/1
Tensile Stress (Yield)	80.0	50.0	MPa	ISO 527-2/1A/50
Tensile Strain (Yield)	4.6	30	%	ISO 527-2/1A/50
Nominal Tensile Strain at Break	30	> 50	%	ISO 527-2/1A/50
Flexural Modulus <sup>5</sup>	2800	--	MPa	ISO 178
Flexural Stress <sup>5</sup>	110	--	MPa	ISO 178
<b>Impact</b>	<b>Dry</b>	<b>Conditioned</b>	<b>Unit</b>	<b>Test Method</b>
Charpy Notched Impact Strength				ISO 179/1eA
-30°C	4.5	--	kJ/m <sup>2</sup>	
23°C	5.0	15	kJ/m <sup>2</sup>	
Charpy Unnotched Impact Strength (23°C)	No Break	--		ISO 179/1eU

Anexo A – Datasheet da poliamida 6.6 sem aditivos do fornecedor Y

PROPERTY		STANDARD	UNIT	VALUE	
				DAM*	Cond**
<i>Physical Properties</i>					
Density		ISO 1183	Kg/m <sup>3</sup>	1350	
Moulding shrinkage – Parallel / Normal	300/90/60***	ISO 294-4	%	0,3 / 1	
Moisture absorption 23°C – 50%RH	2mm thk	ISO 62	%	1,6	
Water absorption, immersion at 23°C	2mm thk	ISO 62	%	6,2	
<i>Mechanical Properties</i>					
Tensile Modulus	1mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	9500	7500
Stress at Break	5mm/min	ISO 527-2/1A	MPa	185	140
Strain at Break	5mm/min	ISO 527-2/1A	%	3,9	6
Flexural Modulus	2mm/min	ISO 178	MPa	8700	
Flexural Strength	2mm/min	ISO 178	MPa	280	
Charpy Impact Strength	+23°C	ISO 179/1 eU	KJ/m <sup>2</sup>	100	105
Charpy Impact Strength	-30°C	ISO 179/1 eU	KJ/m <sup>2</sup>	80	
Charpy Notched Impact Strength	+23°C	ISO 179/1 eA	KJ/m <sup>2</sup>	14	18
Charpy Notched Impact Strength	-30°C	ISO 179/1 eA	KJ/m <sup>2</sup>	11	
<i>Thermal Properties</i>					
Melting Temperature	10°C/min	ISO 11357-1-3	°C	260	
Heat Deflection Temperature	1.8 MPa	ISO 75/2 A f	°C	245	
Heat Deflection Temperature	0.45 MPa	ISO 75/2 B f	°C	255	
Vicat Softening Temperature	50°C/h	ISO 306/B50 50N	°C	255	
<i>Flammability Properties</i>					
Flammability	0.8mm	UL 94	class	HB	
Glow Wire Flammability Index	2mm	IEC 60695-2-12	°C	700	
Automotive interior flammability	3mm thk	ISO 3795	mm/min	0	
<i>Electrical Properties</i>					
Volume resistivity	500V	IEC 60093	ohm · m	1 E+13	1 E+11
Surface resistivity	500V	IEC 60093	ohm	1 E+12	1 E+10
Comparative Tracking Index	SoLA	IEC 60112	-	550	

\*DAM = Dry As Moulded state \*\*Cond = Conditioned state similar to ISO 1110 \*\*\*Melt Temp [°C] / Mold Temp [°C] / Cavity press [MPa]

Anexo A – Datasheet da poliamida 6.6 com adição 25% de fibra de vidro do fornecedor Y

## ANEXO B – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

<b>CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO</b> EMITENTE: LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRON		
DATA DE EMISSÃO: 5-abr-21	NÚMERO DO CERTIFICADO: 210405010A	
	<b>INSTRON Brasil Equipamentos Científicos Ltda</b> Rua Quirino Zagonei, 257 - Vila Braga São José dos Pinhais, PR CEP 83020-250 Telefone: +55 41 30359400	<b>SIGNATÁRIO AUTORIZADO</b>  <b>SILVIO OYAMA</b> 25489838892
Tipo de calibração: Força Norma relevante: NBR ISO 7500-1: 2018 Data da calibração: 6-abr-21		Técnico: Gustavo Arnecke
<b>Ciente</b>		
Nome: MARCOPOLO SA Local: AV RIO BRANCO , 4889 CAXIAS DO SUL / RS / 95060-145 País: BRASIL Cid: 15769 Contato: Jackson Douglas Camilo da Silva E-mail: jackson.silva@marcopolo.com.br Temperatura Inicial: 22,2 °C Temperatura Final: 23,2 °C Local da Calibração: LABORATÓRIO MECÂNICO		
<b>Máquina:</b>		<b>Transdutor:</b>
Fabricante: INSTRON ID do sistema: 23100P-0025 Identificação: ME 002 Patrimônio: 10012024		Fabricante: INSTRON ID do transdutor: 100KN - 12395 Capacidade: 100 kN
<b>Classificação:</b>		
A máquina de testes acima foi verificada com os indicadores e nos modos mostrados abaixo somente para o aumento de força, de acordo com a norma ISO 7500-1 usando um equipamento de verificação calibrado de acordo com a norma ISO 375.		
Classificação da célula: Classe 1 Classe 1	Sentido: TRACÇÃO Sentido: COMPRESSÃO	
* A classe do sistema para um intervalo deriva do seguinte erro, repetibilidade, retorno para zero, resolução e classificação do dispositivo de teste.		
<b>Método de verificação</b>		
A calibração é realizada conforme procedimento baseado na norma NBR ISO 7500-1. A máquina de teste foi verificada na condição "conforme encontrada".		
. Este certificado é válido exclusivamente para o equipamento calibrado nas condições desta ocasião, não sendo estendido a qualquer outro lote, mesmo que similares. . Este certificado só deve ser reproduzido completo. Reprodução de partes requer aprovação escrita do laboratório. . Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela Cgcre que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida. . A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k, o qual para uma distribuição t com v=∞ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95,45%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-402. Antes da calibração a máquina foi verificada se estava em boas condições de funcionamento, tendo sido considerada APROVADA conforme norma NBR ISO 7500-1. Nenhum acessório vinculado mecanicamente foi montado para realizar essa calibração.		



## Certificado de Calibração

EMITENTE: LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRON

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número 0197

número: 21040501GA

escala calibrada: 100		unidade: kN		sentido: <b>TRAÇÃO</b>		classificação conforme NBR NM-ISO 7500-1:		Classe 1			
Identificação do transdutor: 100KN - 12395											
% do fim de escala	força indicada	resolução da escala	VC médio	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetitividade	Classe por Força Aplicada	resolução relativa	Incerteza expandida de medição U		grau de liberdade efetivo	fator de abrangência
	kN	kN	kN	%	%		%	kN	%	$\nu_{eff}$	k
20,0	20,000	0,0010	20,056	-0,278	0,159	Classe 1	0,005	0,060	0,30	33	2,08
40,0	40,000	0,0010	40,080	-0,199	0,181	Classe 1	0,003	0,120	0,30	23	2,11
60,0	60,000	0,0010	60,062	-0,103	0,154	Classe 1	0,002	0,180	0,30	37	2,07
80,0	80,000	0,0010	79,998	0,002	0,122	Classe 1	0,001	0,240	0,30	79	2,03
100,0	100,000	0,0010	99,995	0,005	0,103	Classe 1	0,001	0,300	0,30	143	2,02

erro relativo de zero (%)	série 1 $f_0 = 0,00$	série 2 $f_0 = 0,00$	série 3 $f_0 = 0,00$

padrões utilizados na calibração						
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe ISO 378	calibração	validade
célula de carga	100kN	7992 T	172438-101	Classe 1	12/04/19	12/06/21
Padrão		identificação	certificado		calibração	validade
Termômetro		1045177	8005210/2021		04/02/21	04/02/23



## Certificado de Calibração

EMITENTE: LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRON

Laboratório de calibração acreditado pela Cgcre de acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o número 0197

número: 21040501GA

escala calibrada: 100		unidade: kN		sentido: COMPRESSÃO		classificação conforme NBR NM-ISO 7500-1:		Classe 1			
Identificação do transdutor: 100KN - 12395											
% do fim de escala	força indicada	resolução da escala	VC médio	erro relativo de exatidão	erro relativo de repetibilidade	Classe por Força Aplicada	resolução relativa	Incerteza expandida de medição U		grau de liberdade efetivo $\nu_{eff}$	fator de abrangência k
	kN	kN	kN	%	%		%	kN	%		
20,0	20,000	0,0010	19,959	0,206	-0,039	Classe 1	0,005	0,060	0,30	332	2,01
40,0	40,000	0,0010	39,903	0,243	-0,018	Classe 1	0,003	0,120	0,30	> 501	2,00
60,0	60,000	0,0010	59,841	0,266	-0,017	Classe 1	0,002	0,180	0,30	> 501	2,00
80,0	80,000	0,0010	79,764	0,296	-0,013	Classe 1	0,001	0,240	0,30	> 501	2,00
100,0	100,000	0,0010	99,741	0,259	-0,021	Classe 1	0,001	0,300	0,30	> 501	2,00

erro relativo de zero [%]:	série 1 $f_0 = 0,00$	série 2 $f_0 = 0,00$	série 3 $f_0 = 0,00$

padrões utilizados na calibração						
padrão	capacidade	identificação	certificado	classe 180 378	calibração	validade
célula de carga	100kN	7992 C	172438-101	Classe 1	12/04/19	12/06/21
Padrão		identificação	certificado		calibração	validade
Termômetro		1045177	8005210/2021		04/02/21	04/02/23

# CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

EMITENTE: LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRON

DATA DE EMISSÃO:  
05-abr-2021

NÚMERO DO CERTIFICADO:  
21648938892



**INSTRON Brasil Equipamentos Científicos Ltda**  
Rua Quirino Zaganel, 257 - Vila Brage  
São José dos Pinhais, PR CEP 83020-250  
Telefone: +55 41 3035-0400  
E-mail: servicebrazil@instron.com



Página 1 de 4 páginas

SIGNATÁRIO APROVADO

**SILVIO OYAMA:**  
25489838892

REGISTRO Nº 01/2017/0001-00000000  
DE 0001-00000000-00000000-00000000  
00000000000000000000000000000000  
00000000000000000000000000000000  
LABOR. DE CALIBRAÇÃO, PR - 83020-250  
CAXIAS DO SUL, RS - 95060-140  
DATA DE CRIAÇÃO: 15/05/2017

Tipo de calibração: Força  
Padrão relevante: ISO 7500-1:2018  
Data da calibração: 05-abr-2021

## ... RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO ...

ID do sistema: 23100P-0025

Número Série Transdutor: 10KN - 10729638

Indicador 1. - Porta de Serviço: BLUEHILL 3.69.4584 (kN)

PASSOU Classe 0.5: 100% da Faixa no modo Tração (2.000 to 10.011)

PASSOU Classe 0.5: 100% da Faixa no modo Compressão (-2.000 to -10.0083)

A Classe do Sistema para um intervalo específico é baseada na avaliação das seguintes variáveis: erro, repetibilidade, retorno a zero, metragem, classe do padrão utilizado e reprodutibilidade na aplicação.

Cliente		Temperatura	
Nome:	MARCOPOLO SA	Temperatura Mínima:	23,4 °C
Endereço:	AV RIO BRANCO, 4889 CAXIAS DO SUL, RS 95060-140 BRASIL	Temperatura Máxima:	23,9 °C
Contato:	Jackson Douglas Camilo da Silva		
E-mail:	jackson.silva@marcopolo.com.br		
O.C./Nº do contrato:	OS 16769		

Máquina		Transdutor	
Fabricante:	INSTRON	Fabricante:	INSTRON
Tipo:	Eletromecânica Intervalo único	Capacidade:	10 kN
Ano de fabr.:	2005	Sensível:	Tração/Compressão

### Metodologia

A avaliação da máquina de ensaio foi realizada nas instalações do cliente acima mencionada, em conformidade com a norma ISO 7500-1:2018 «Materiais metálicos - Calibração e Verificação de máquinas de ensaio estáticas uniaxiais - Parte 1: Máquinas de ensaio de tração / compressão - Calibração e Verificação do sistema de medição de força utilizando o procedimento Instron PTEC 001.

O Sistema foi calibrado na condição "Conforme Encontrado" sem que ajustes ou reparos tenham sido realizados. Esta também é a condição "Conforme Deixado".

Instron CalproCR, Versão 3.46

Este certificado está em conformidade com os requerimentos do Comitê Brasileiro para a análise e competência do laboratório e prazos na rastreabilidade aos padrões nacionais e internacionais. Os resultados indicados neste certificado e o relatório seguem o relatório apenas em itens calibrados. Qualquer solicitação de um novo relatório ao resultado desta calibração, será indicada no e-mail correspondente. Este relatório não deverá ser reproduzido, mesmo na totalidade, sem a aprovação do laboratório emissor.

# CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

EMITENTE: LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO INSTRON

DATA DE EMISSÃO:  
05-abr-2021

NÚMERO DO CERTIFICADO:  
21040505GA



**INSTRON Brasil Equipamentos Científicos Ltda**  
Rua Quirino Zagonel, 257 - Vila Braga  
São José dos Pinhais, PR CEP 83025-250  
Telefone: +55 41 3095-0400  
E-mail: servicebrazil@instron.com

Página 1 de 4 páginas

SIGNATÁRIO APROVADO

**SILVIO OYAMA**  
25489838892

Assinatura do responsável técnico do Laboratório de Calibração Instron Brasil Ltda. O número de registro profissional do profissional responsável pela emissão do certificado é 25489838892.

Tipo de calibração: Deformação  
Norma relevante: ASTM E83-16  
Data da calibração: 05-abr-2021

## - - - RESULTADO DA CALIBRAÇÃO - - -

ID do sistema: 23100P-0025

Número Série Transdutor: 2883-001 / AVE18111602

Indicador 1. - Leitura digital: LUEHLL 3.89.4584 (% strain)

APROVADO Classe B-2: 100 Intervalo % no modo Tração

### Cliente

Nome: MARCOPOLO SA  
Endereço: AV RIO BRANCO, 4889  
CAXIAS DO SUL, RS 95066-145  
BRASIL.  
Contato: Jackson Douglas Camilo da Silva  
E-mail: jackson.silva@marcopolo.com.br  
O.C./Nº do contrato: OS 18769

### Máquina

Fabricante: INSTRON  
Número de série: 23100P-0025  
Tipo de intervalo: Único

### Transdutor

Fabricante: INSTRON  
Tipo de actuômetro: Tipo 3  
Deslocamento (Tração): 170 mm  
Comprimento do gabarito: 25 mm  
Sentido: Estático (Tração)

### Metodologia

A avaliação da máquina de ensaio foi realizada nas instalações do cliente acima mencionada, de acordo com a norma ASTM E83-16 "Prática padrão para verificação e classificação de Sistemas Extensômetros" usando o procedimento Instron PTEC 002.

O Sistema foi calibrado na condição "Conforme Encontrado" sem que ajustes ou reparos tenham sido realizados. Esta também é a condição "Conforme Deixado".

### Classificação do Sistema

### Instron Calpro Versão 3.46

Este certificado está em conformidade com os requisitos de tipo/versão que avaliam a competência do laboratório e prova sua confiabilidade aos padrões Nacional e Internacional. Os resultados indicados neste certificado e o relatório seguinte é relativo apenas aos itens calibrados. Qualquer limitação de uso com relação ao resultado desta calibração, será indicada no campo comentários. Este relatório não deverá ser reproduzido, exceto na totalidade, sem a aprovação do laboratório emissor.

# CERTIFICATE OF CALIBRATION

ISSUED BY: INSTRON CALIBRATION LABORATORY

DATE OF ISSUE:  
06-Apr-2021

CERTIFICATE NUMBER:  
21040601GA



**INSTRON Brasil Equipamentos Científicos Ltda**  
Rua Quirino Zaganel, 257 - Vila Braga  
São José dos Pinhais, PR CEP 83020-250  
Telephone: +55 41 3035-9400  
Email: servicebrazil@instron.com



Page 1 of 5 pages

APPROVED SIGNATORY:

**SILVIO OYAMA:**  
25489838892

VALIDAR APÓS 30 DIAS (VALIDAR APÓS 30 DIAS)  
VALIDAR APÓS 30 DIAS (VALIDAR APÓS 30 DIAS)

Type of Calibration: Displacement  
Relevant Standard: ASTM E2309/E2309M-20  
Date of Calibration: 06-Apr-2021

## \* \* \* VERIFICATION RESULTS \* \* \*

System ID: 23100P-0025

Indicator 1. - Service Port: BLUEHILL 3.69.4584 (mm)

System Class: PASSED Class A

Range: 25.0034 mm to 250.0278 mm - Asc

Starting Position: 781.00 mm

Maximum Error: -0.020%

Range: -34.9966 mm to -250.0210 mm - Desc

Starting Position: 1,034.00 mm

Maximum Error: -0.017%

*The starting position is measured from the base beam to the bottom of the crosshead.*

### Customer

Name: MARCOPOLO SA  
Address: AV RIO BRANCO, 4889  
CAXIAS DO SUL, RS 95060-145  
BRASIL  
Contact: Jackson Douglas Camilo da Silva  
Email: jackson.silva@marcopolo.com.br

P.O./Contract No.: 05 16769

### Machine/System

Manufacturer: INSTRON  
Condition: Good

### Temperature

Starting Temperature: 22.7 °C  
Final Temperature: 23.2 °C

### Methodology

The assessment of the testing machine was conducted on site at the above customer location in accordance with ASTM E2309/E2309M-20 "Standard Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices Used in Material Testing Machines" (Follow-the-Displacement Method) using Instron procedure PTEC 003.

The system was calibrated in the 'As Found' condition with no adjustments or repairs carried out. This is also the 'As Left' condition.

Prior to verification, a pre-calibration inspection was conducted. During the inspection, the testing system was found to be in Good condition.

The calibrated range of displacement includes only those displacements which are greater than or equal to the ASTM Lower Limit.

Three calibration tests were made with the testing machine in the vertical position.

Instron CalproCR Version 3.46

This Certificate attests to the requirements of Customers who maintain the competence of the Laboratory and proved their traceability to National and International standards. The results indicated on this certificate and the following report relate only to the items calibrated. Any limitations of use or a result of this calibration will be indicated in the comments. This report shall not be reproduced, except in full, without the approval of the issuing laboratory.

# MEC-Q<sup>®</sup> Metrologia, Engenharia e Consultoria da Qualidade

Rua Francisco Biondi, 19 - Vila Príncipe de Galas - Santo André - SP - 09060-550 - Fone(11) 3463-8211 - Fax(11) 3463-8224 - mecq@meq.com.br

**Laboratório de Calibração Accreditado pela Cgcre de  
acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o N° 0149  
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° GUDCY020  
Chave de Autenticidade (QRCode): P9EXD5NYMRG72VCQEN249R**



Pág. 1/2

**1. CLIENTE:** Marcopolo SA  
Endereço: Av. Rio Branco, Nº 4889 - Ara Recz - Cachoeiro do Sul - RS - Brasil  
Contato: Jackson Douglas Carrilo da Silva / (54) 2101-2137

**2. INSTRUMENTO CALIBRADO:** PAQUIMETRO

Código: PQ636  
Marca: METUTOYO                      Modelo: 500-197-30B  
N° Série: 1500659                      Tipo: DIGITAL  
Usuário responsável: JACKSON  
Local de Instalação: 452 METROLOGIA



**3. IDENTIFICAÇÃO DA CALIBRAÇÃO:**

Data de recebimento: 14/07/2020                      Período de calibração: 14/07/2020                      Data de emissão: 23/07/2020  
Local de calibração: Cliente                      Unidade móvel: LMD  
Endereço: Av. Rio Branco, Nº 4889 - Ara Recz - Cachoeiro do Sul - RS - Brasil

**4. CONDIÇÕES AMBIENTAIS:**

Temperatura Ambiente                      Umidade Relativa do Ar  
( 20±2 ) °C                      ( 55±15 ) %ur  
Incerteza de medição referente as condições ambientais:  
Temperatura: 0,4 °C                      Umidade: 2 %ur

**5. RESUMO DO MÉTODO DE CALIBRAÇÃO:**

Método(s): M-001 Rev - 09  
Descrição do Método: A Calibração foi realizada conforme método citado comparando-se o instrumento com o padrão listado no item 8. A série de medições (números de leituras e pontos na escala) estão definidas nas tabelas de valores encontrados.

**6. COMENTÁRIOS:**

A reprodução deste documento somente poderá ser feita integralmente. Reprodução de partes requer a aprovação prévia e por escrito da MEC-Q. Os resultados apresentados referem-se exclusivamente ao equipamento/código em questão, submetido à calibração nas condições especificadas, não sendo extensivo a qualquer lote. Eventuais ajustes, laudo e interpretações dos resultados não fazem parte do escopo de acreditação deste Laboratório. Este certificado atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, a qual avaliou a competência de medição do Laboratório e comprovou sua rastreabilidade à padrões nacionais de medida. A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência (k), o qual para uma distribuição t com graus de liberdade efetivos (Veff) corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão de medição foi determinada de acordo com a publicação EA-402. O valor de referência (Vref) e o Erro não foram dados em função da Incerteza Expandida conforme orientações da Cgcre.

**7. EQUIPAMENTOS AUXILIARES:**

THM019 - TERMOMOROMETRO - EXEN619 (METROSUL CAL 0325) - Válido até:31/08/2020

**8. PADRÕES UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO:**

APP02 - PADRAO ESCALONADO - 01333/17 (SENAI CAL-0013) - Válido até:30/09/2020  
BLP001 - BLOCO PADRAO - MRA61Q19 (MEC-Q CAL 0149) - Válido até:28/02/2022  
ANP032 - CALIBRADOR ANEL LISO CILINDRICO - ICQFY020 (METROSUL CAL 0325) - Válido até:31/01/2022

ERICK VINICIUS MOTTA DO COUTO  
Executante

MAICON LUIS DE SOUZA  
Signatário autorizado

**Laboratório de Calibração Acreditado pela Cgcre de  
acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 17025, sob o N° 0149  
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO N° GUDCY020**

Pág. 2/2

**9. VALORES ENCONTRADOS:**

Faixa de indicação: 0,00 mm à 200,00 mm

Valor de uma divisão: 0,01 mm

Valores Encontrados - Bico			
VRef	VI - Média de 3 Leituras	Erro	Unidade de Medida
0,00	0,00	0,00	mm
1,01	1,01	0,00	mm
50,00	50,01	0,01	mm
100,00	100,00	0,00	mm
150,00	150,01	0,01	mm
200,00	200,00	0,00	mm

Valores Encontrados - Extremidade do Bico			
VRef	VI - Média de 3 Leituras	Erro	Unidade de Medida
50,00	50,01	0,01	mm

Valores Encontrados - Orilha			
VRef	VI - Média de 3 Leituras	Erro	Unidade de Medida
50,00	50,02	0,02	mm

Valores Encontrados - Profundidade			
VRef	VI - Média de 3 Leituras	Erro	Unidade de Medida
50,00	50,00	0,00	mm

Valores Encontrados - Resulto			
VRef	VI - Média de 3 Leituras	Erro	Unidade de Medida
50,00	50,00	0,00	mm

Incerteza Expandida: 0,01 mm     $k = 2,00$      $V_{eff} = \infty$

Paralelismo entre Bico e Extremidade do Bico: 0,00 mm

Incerteza do Paralelismo: 0,003 mm

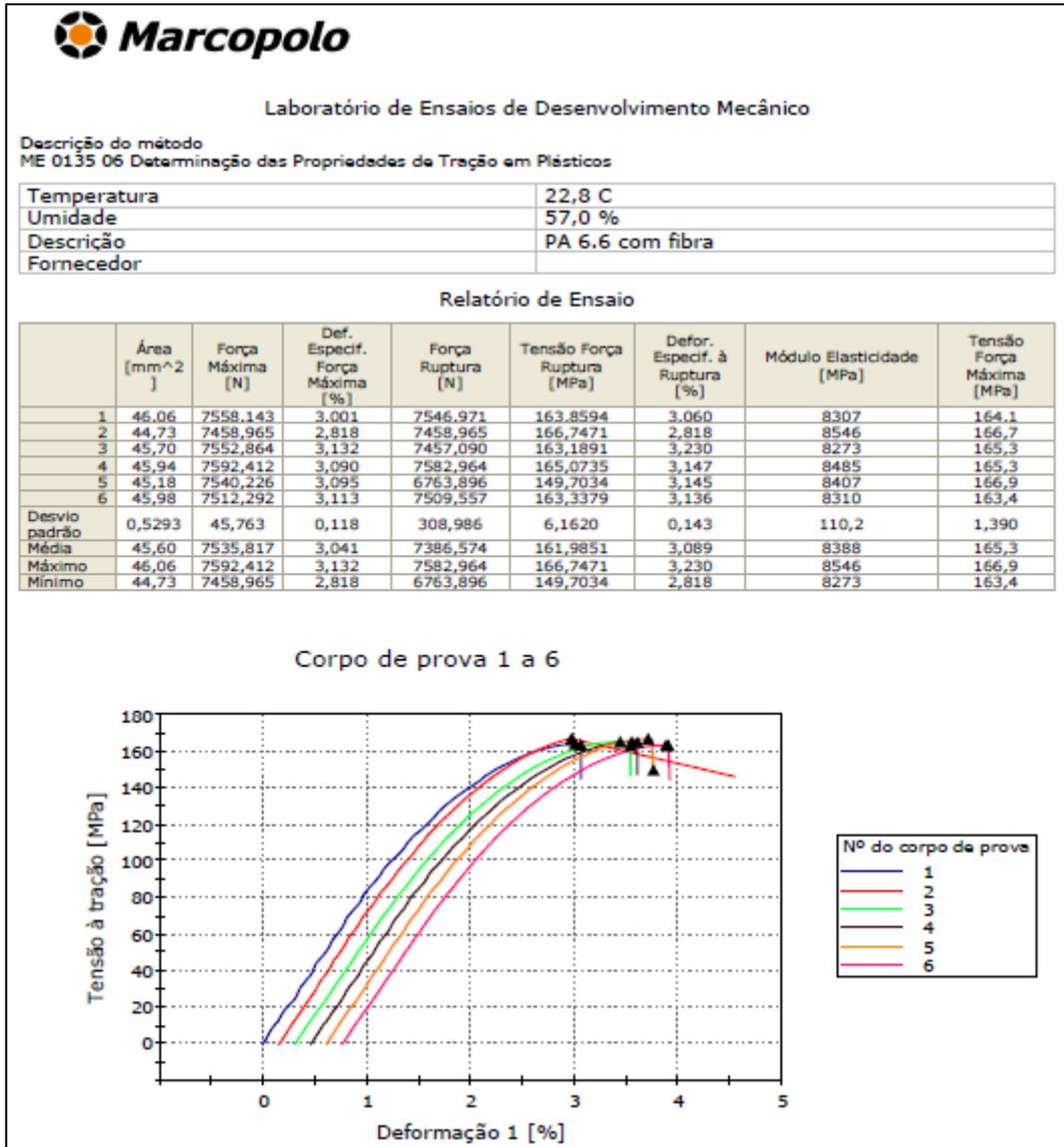
VI - Valor Indicado pelo Instrumento    VRef - Valor de Referência

----- Fim do certificado -----

**INFORMAÇÕES ADICIONAIS**

Calibração realizada sem ajuste prévio.

## ANEXO C – RELATÓRIOS E IMAGENS DOS CORPOS DE PROVA



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV, fornecedor X



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

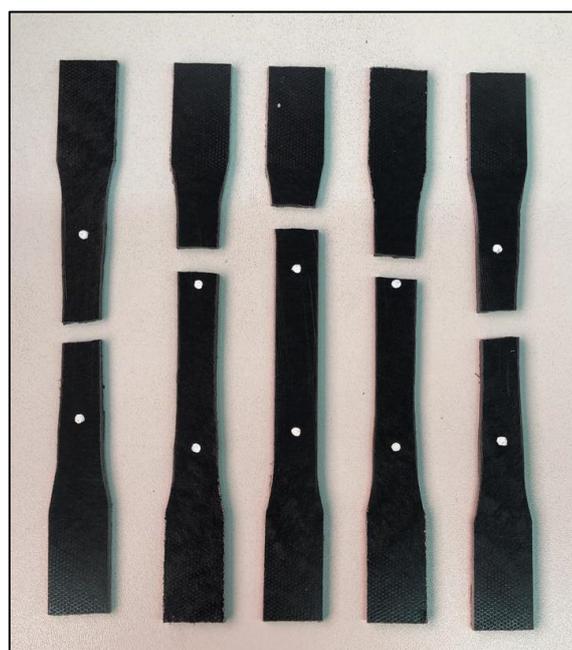
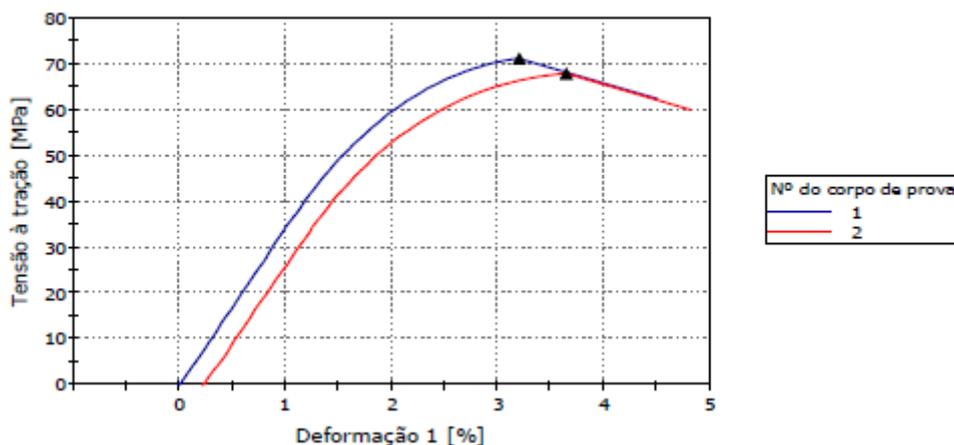
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	23,2 C
Umidade	50,0 %
Descrição	Chapa PA 6.6 com fibra P1
Fornecedor	

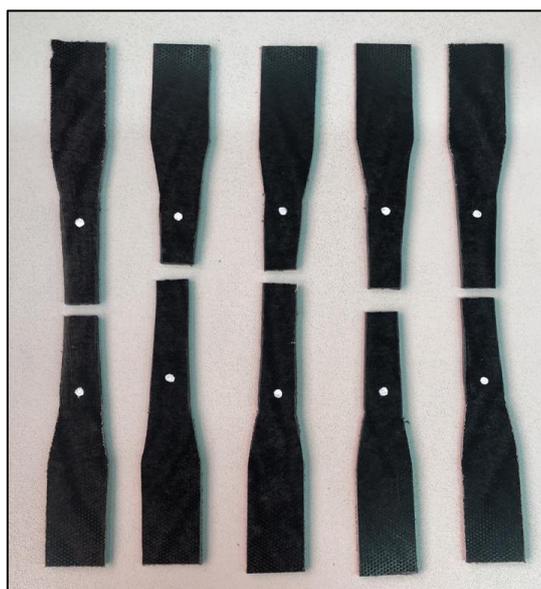
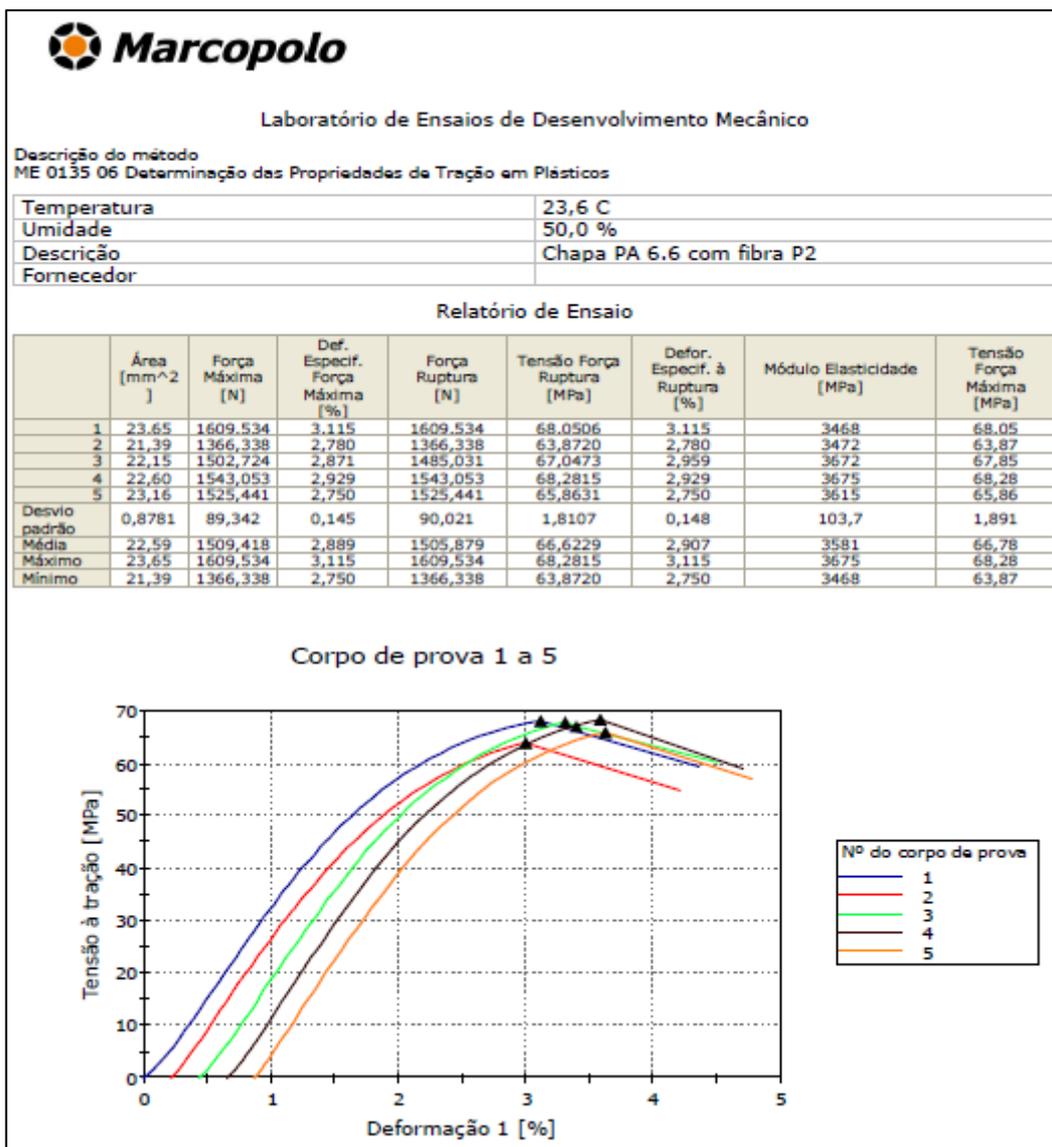
#### Relatório de Ensaio

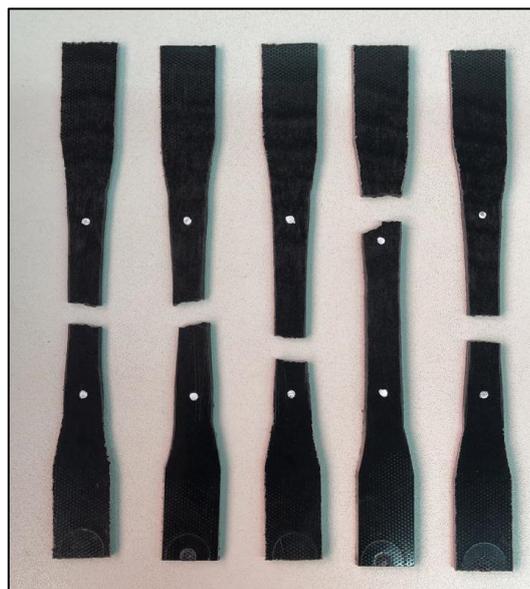
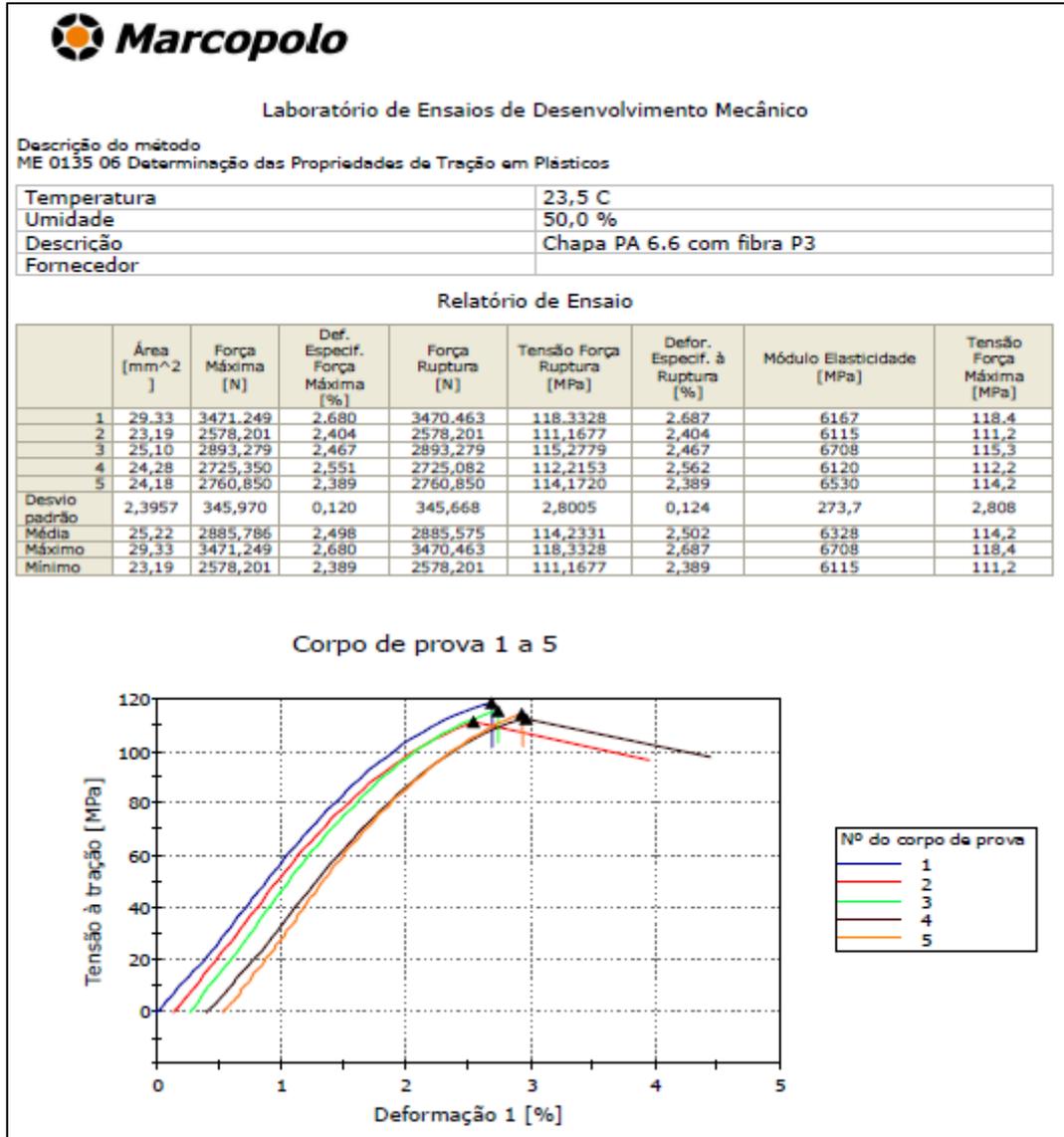
	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	29,41	2091,154	3,204	2091,154	71,0928	3,204	3525	71,09
2	25,72	1744,650	3,419	1744,650	67,8356	3,419	3399	67,84
Desvio padrão	2,6132	245,015	0,152	245,015	2,3032	0,152	88,95	2,303
Média	27,57	1917,902	3,311	1917,902	69,4642	3,311	3462	69,46
Máximo	29,41	2091,154	3,419	2091,154	71,0928	3,419	3525	71,09
Mínimo	25,72	1744,650	3,204	1744,650	67,8356	3,204	3399	67,84

#### Corpo de prova 1 a 2



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV na P1, fornecedor X





Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV na P3, fornecedor X



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

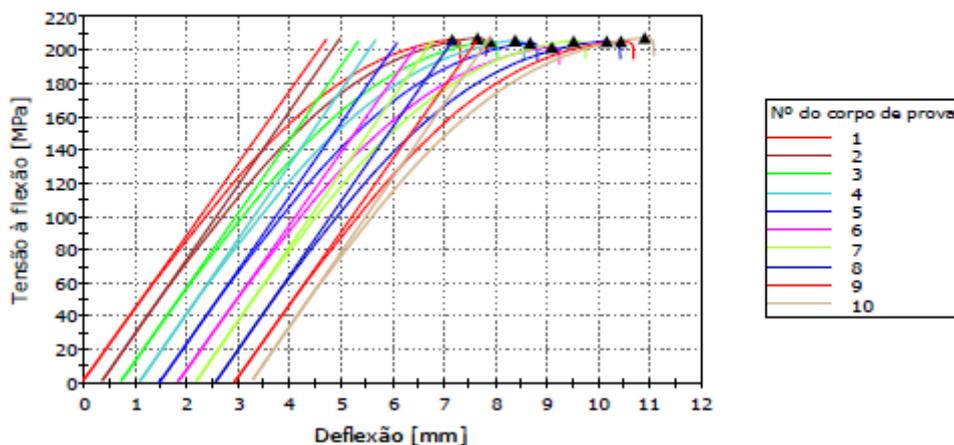
Descrição do método  
ME 0051 03 Determinação das Propriedades de Flexão em Polímeros

Temperatura	22,5 C
Umidade Relativa	55, %
Descrição	PA 6.6 com fibra
Fornecedor	

#### Relatório de Ensaio

	Largura [mm]	Espessura [mm]	Velocidade [mm/min]	Força Máxima [N]	Tensão à flexão [MPa]	Módulo Elasticidade [MPa]	Deflexão For. Máx. [mm]
1	12,33	3,20	1,281	349,743	206,035	5551,465	7,175
2	12,28	3,20	1,281	349,918	206,977	5697,468	7,261
3	12,27	3,20	1,281	346,255	204,950	5667,101	7,161
4	12,28	3,20	1,281	347,645	205,689	5721,045	7,276
5	12,28	3,20	1,281	345,205	204,214	5651,905	7,208
6	12,28	3,20	1,281	340,742	201,545	5567,532	7,285
7	12,27	3,19	1,285	344,484	205,187	5721,167	7,295
8	12,29	3,20	1,281	346,893	205,053	5700,884	7,560
9	12,28	3,20	1,281	346,654	205,076	5575,756	7,498
10	12,28	3,19	1,285	347,781	207,061	5713,070	7,586
Desvio padrão	0,02	0,00	0,002	2,672	1,563	67,327	0,15817
Média	12,28	3,20	1,282	346,532	205,179	5656,739	7,330
Máximo	12,33	3,20	1,285	349,918	207,061	5721,167	7,586
Mínimo	12,27	3,19	1,281	340,742	201,545	5551,465	7,161

#### Corpo de prova 1 a 10



Anexo C – Relatório do ensaio de flexão do material PA6.6 + 30%FV , fornecedor X



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

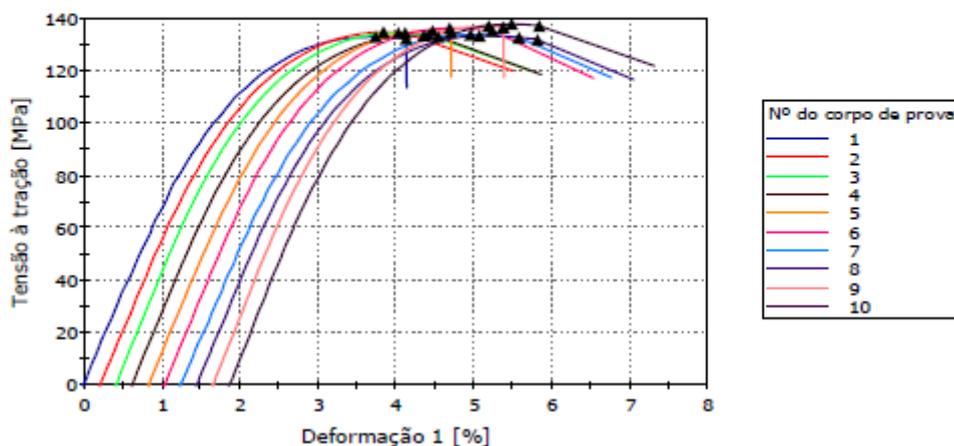
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	22,8 C
Umidade	57,0 %
Descrição	PA 6.6 com fibra+Grafeno
Fornecedor	

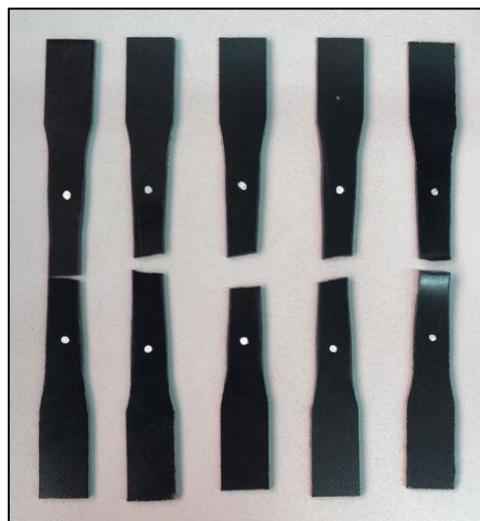
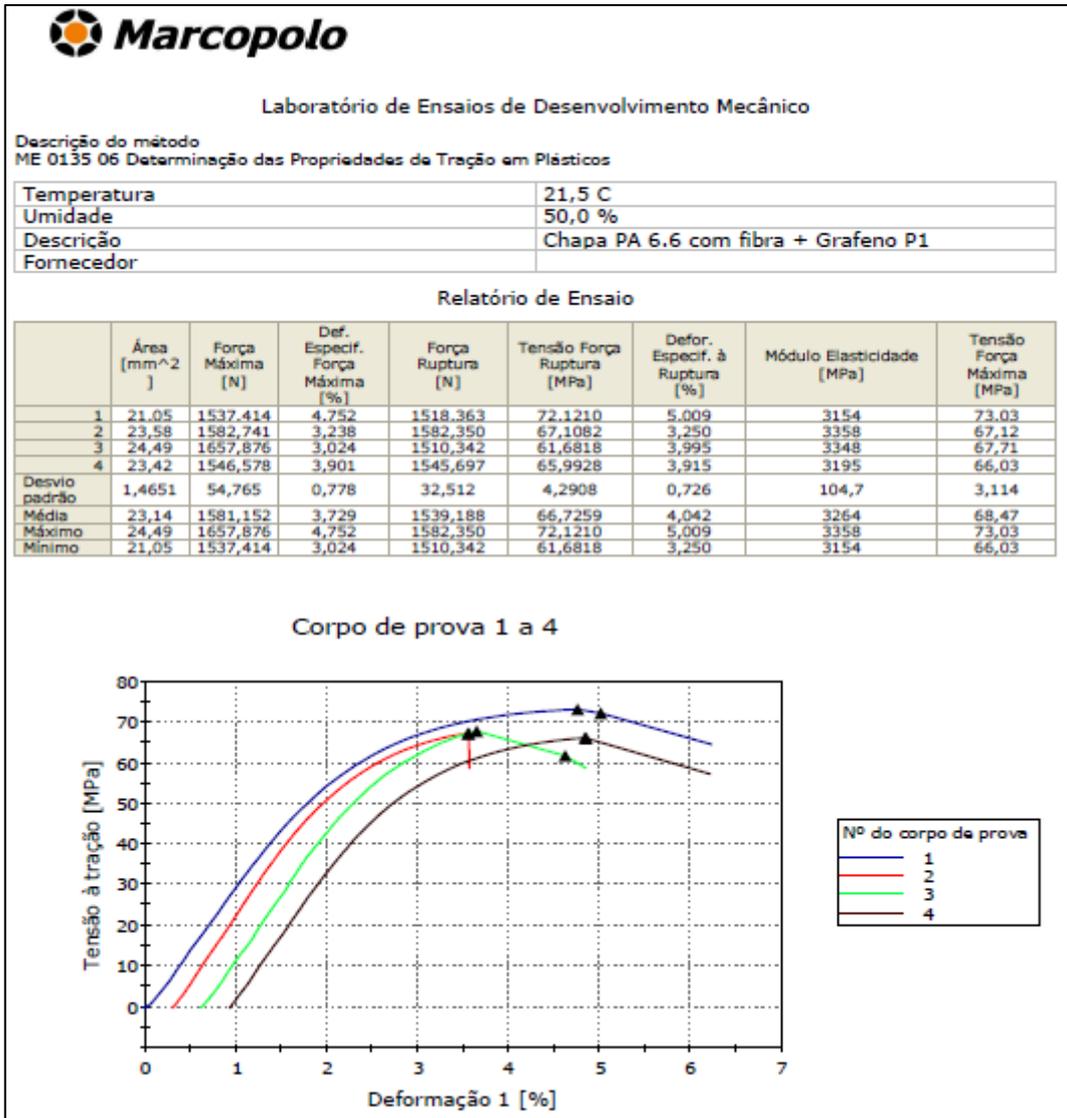
#### Relatório de Ensaio

	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	46,43	6170,639	3,745	6140,914	132,2589	4,133	7142	132,9
2	45,58	6143,578	3,636	6126,150	134,3925	3,913	7145	134,8
3	45,74	6149,398	3,618	6110,971	133,5924	4,004	7273	134,4
4	46,12	6154,337	3,740	6136,370	133,0569	3,921	7124	133,4
5	44,93	6072,373	3,646	6047,863	134,6186	3,884	7218	135,2
6	45,49	6196,383	3,658	6155,384	135,3087	4,200	7095	136,2
7	46,35	6203,824	3,716	6149,330	132,6602	4,336	6921	133,8
8	46,16	6155,069	3,624	6084,011	131,7984	4,369	7314	133,3
9	44,24	6062,296	3,536	6044,354	136,6363	3,719	7560	137,0
10	45,04	6205,674	3,622	6173,703	137,0783	3,975	7466	137,8
Desvio padrão	0,7074	49,844	0,064	44,655	1,8015	0,209	186,5	1,655
Média	45,61	6151,357	3,654	6116,905	134,1401	4,045	7226	134,9
Máximo	46,43	6205,674	3,745	6173,703	137,0783	4,369	7560	137,8
Mínimo	44,24	6062,296	3,536	6044,354	131,7984	3,719	6921	132,9

#### Corpo de prova 1 a 10



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV + 1%GNP, fornecedor X



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV + 1%GNP na P1, fornecedor X



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

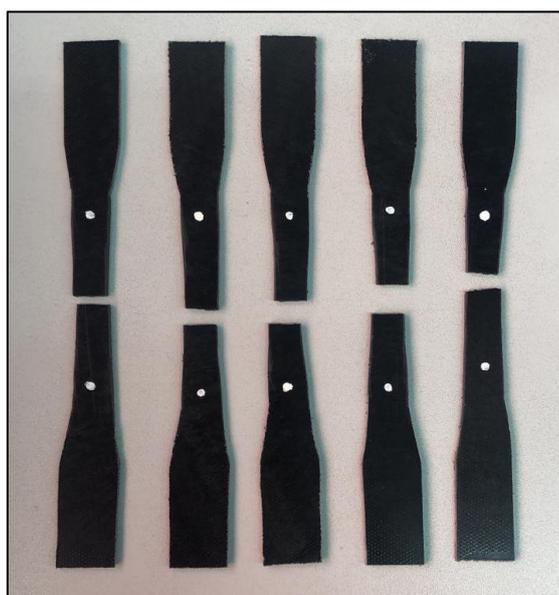
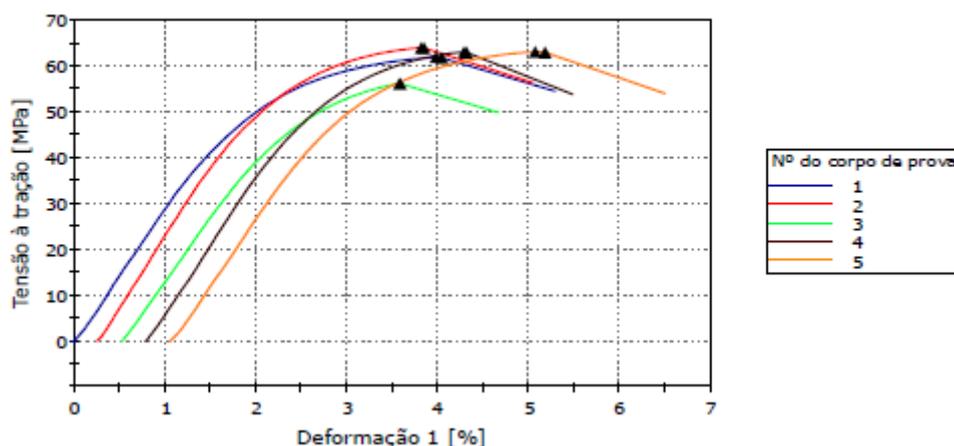
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	21,6 C
Umidade	52,0 %
Descrição	Chapa PA 6.6 com fibra + Grafeno P2
Fornecedor	

#### Relatório de Ensaio

	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	19,97	1235,078	3,980	1232,888	61,7432	4,043	2915	61,85
2	24,56	1569,699	3,554	1568,683	63,8611	3,582	3193	63,90
3	21,22	1190,116	3,055	1190,116	56,0846	3,055	2810	56,08
4	23,63	1487,949	3,494	1487,241	62,9334	3,520	3111	62,96
5	18,43	1161,153	4,010	1159,122	62,8997	4,118	2919	63,01
Desvio padrão	2,5385	186,737	0,394	186,992	3,1214	0,433	157,1	3,147
Média	21,56	1328,799	3,619	1327,610	61,5044	3,664	2990	61,56
Máximo	24,56	1569,699	4,010	1568,683	63,8611	4,118	3193	63,90
Mínimo	18,43	1161,153	3,055	1159,122	56,0846	3,055	2810	56,08

#### Corpo de prova 1 a 5



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV + 1%GNP na P2, fornecedor X



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

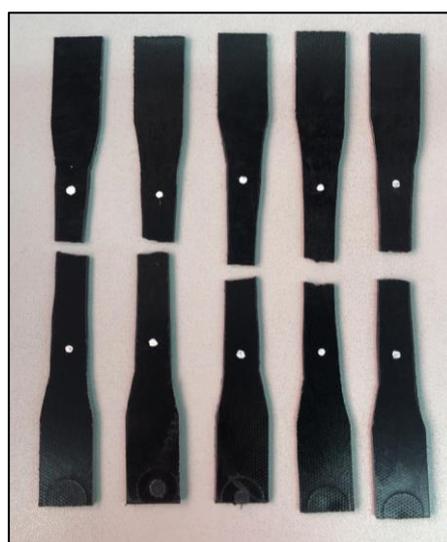
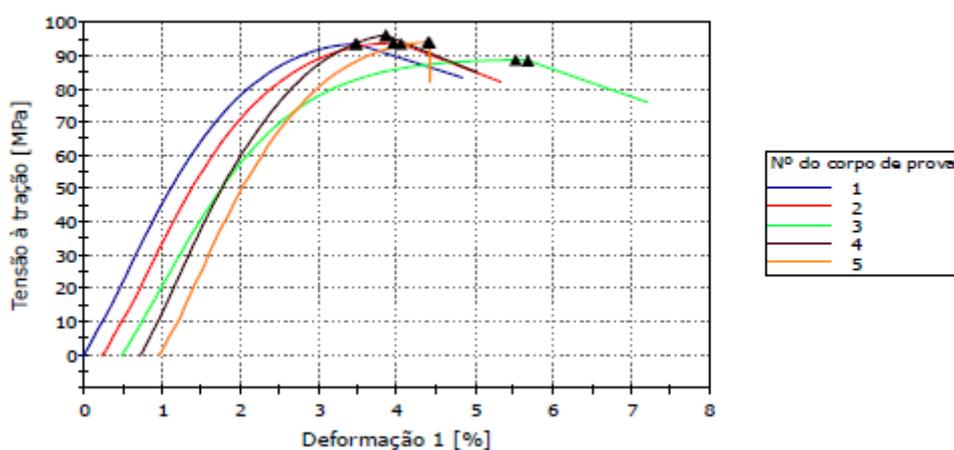
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	22,0 C
Umidade	52,0 %
Descrição	Chapa PA 6.6 com fibra + Grafeno P3
Fornecedor	

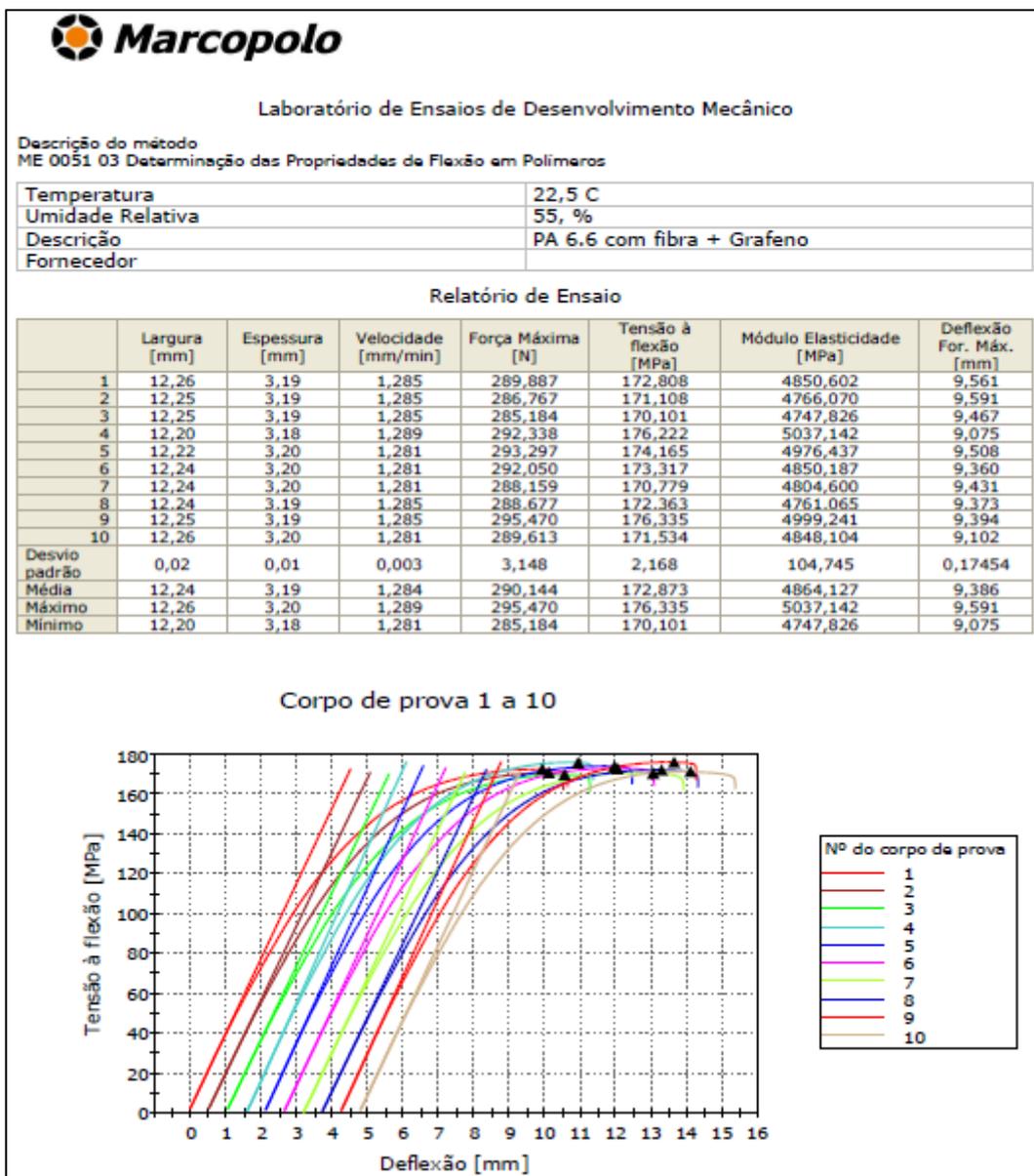
#### Relatório de Ensaio

	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	22,63	2113,412	3,474	2113,009	93,3613	3,490	4890	93,38
2	19,86	1859,119	3,714	1854,311	93,3870	3,813	4841	93,63
3	21,11	1869,922	5,033	1865,895	88,3954	5,190	4163	88,59
4	24,50	2351,686	3,137	2351,686	95,9746	3,137	5076	95,97
5	23,92	2245,605	3,431	2243,042	93,7731	3,455	5022	93,88
Desvio padrão	1,9317	220,771	0,742	222,545	2,7806	0,804	367,8	2,720
Média	22,40	2087,948	3,758	2085,588	92,9783	3,817	4798	93,09
Máximo	24,50	2351,686	5,033	2351,686	95,9746	5,190	5076	95,97
Mínimo	19,86	1859,119	3,137	1854,311	88,3954	3,137	4163	88,59

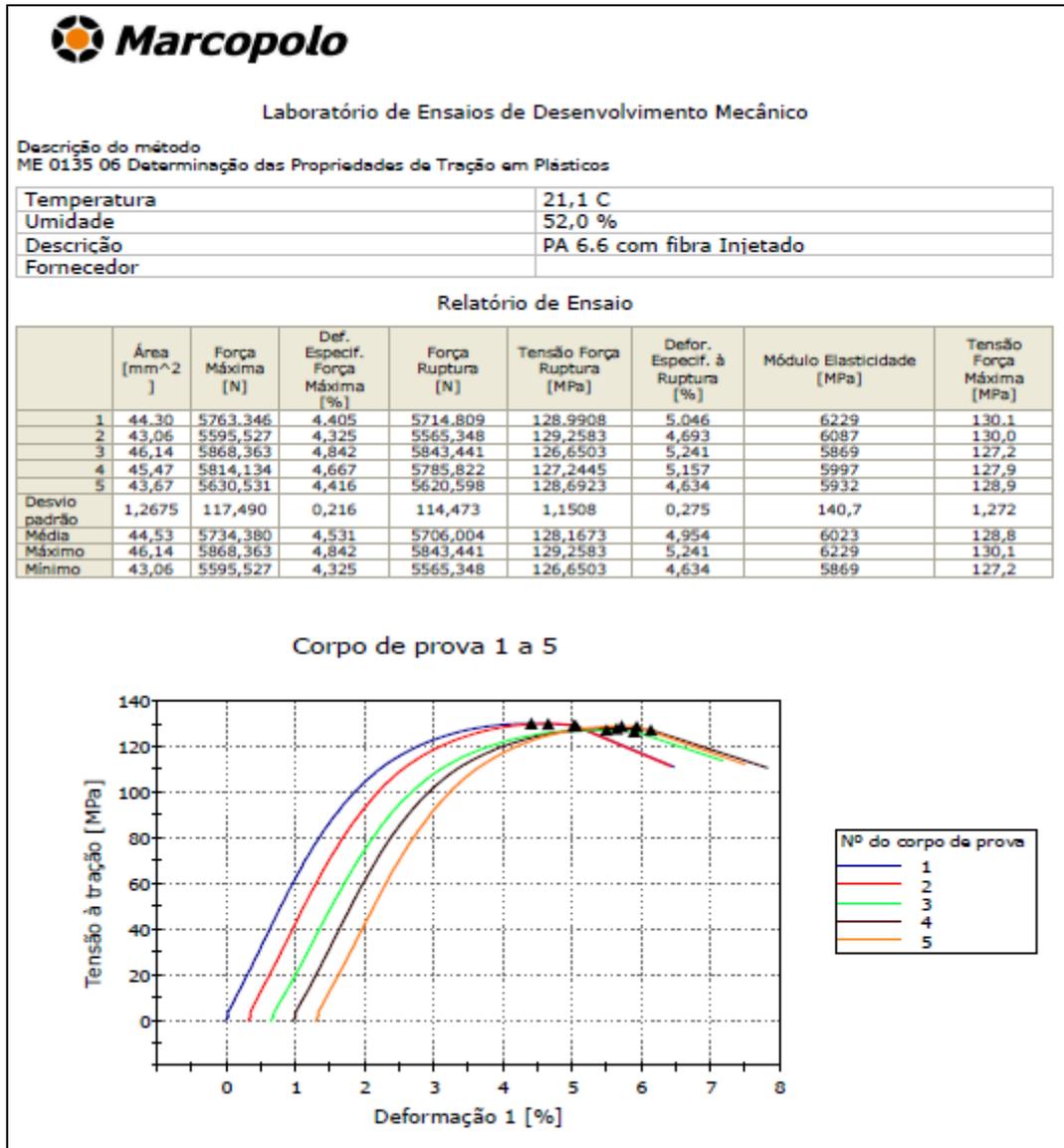
#### Corpo de prova 1 a 5



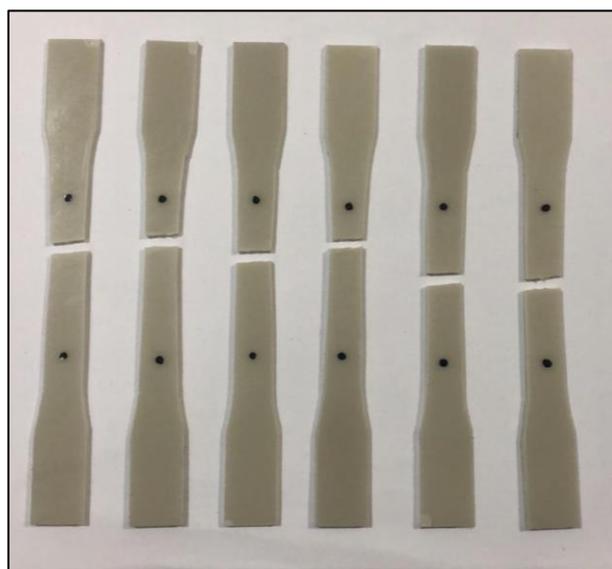
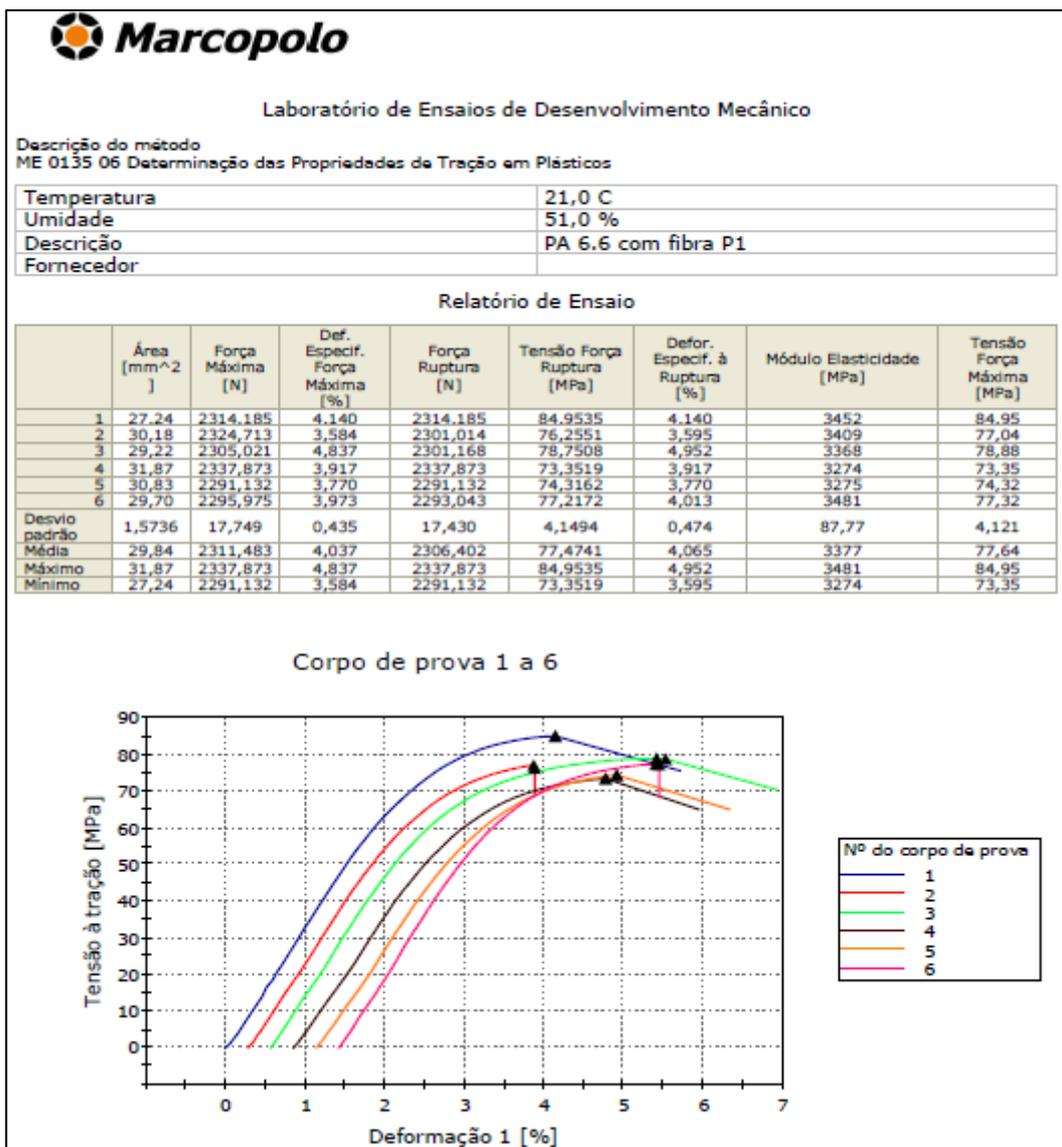
Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 30%FV + 1%GNP na P3, fornecedor X



Anexo C – Relatório do ensaio de flexão do material PA6.6 + 30%FV + 1%GNP, fornecedor X



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV, fornecedor Y



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV na P1, fornecedor Y



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

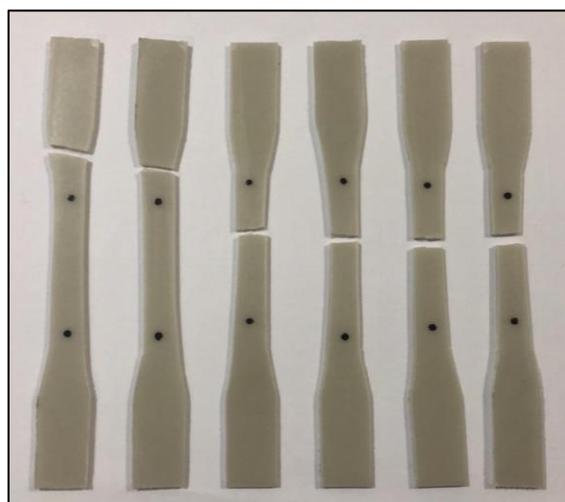
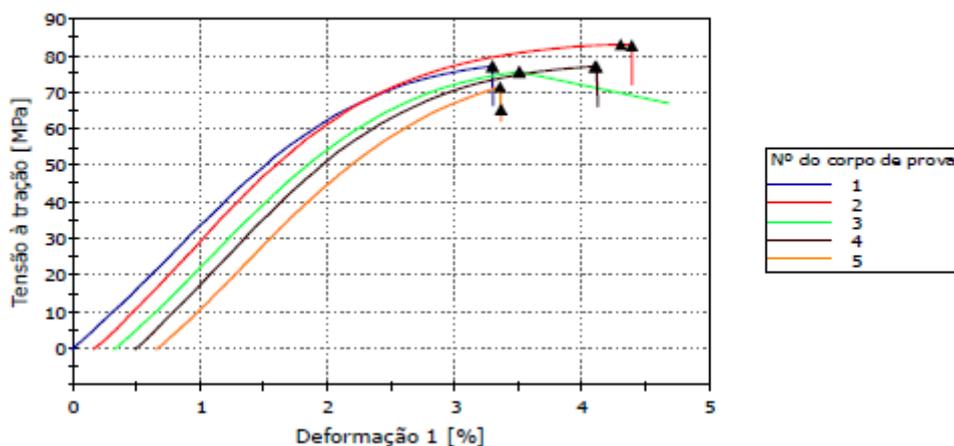
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	21,4 C
Umidade	53,0 %
Descrição	PA 6.6 com fibra P2
Fornecedor	

#### Relatório de Ensaio

	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	31,64	2436,921	3,293	2436,921	77,0227	3,293	3449	77,02
2	30,56	2534,498	4,135	2527,204	82,7100	4,221	3693	82,95
3	30,21	2281,409	3,172	2281,409	75,5153	3,172	3515	75,52
4	31,28	2407,598	3,600	2407,439	76,9740	3,612	3621	76,98
5	33,20	2370,385	2,693	2169,500	65,3403	2,701	3536	71,39
Desvio padrão	1,1671	92,549	0,534	140,080	6,3185	0,564	95,42	4,147
Média	31,38	2406,162	3,379	2364,495	75,5125	3,400	3563	76,77
Máximo	33,20	2534,498	4,135	2527,204	82,7100	4,221	3693	82,95
Mínimo	30,21	2281,409	2,693	2169,500	65,3403	2,701	3449	71,39

#### Corpo de prova 1 a 5



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV na P2, fornecedor Y



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

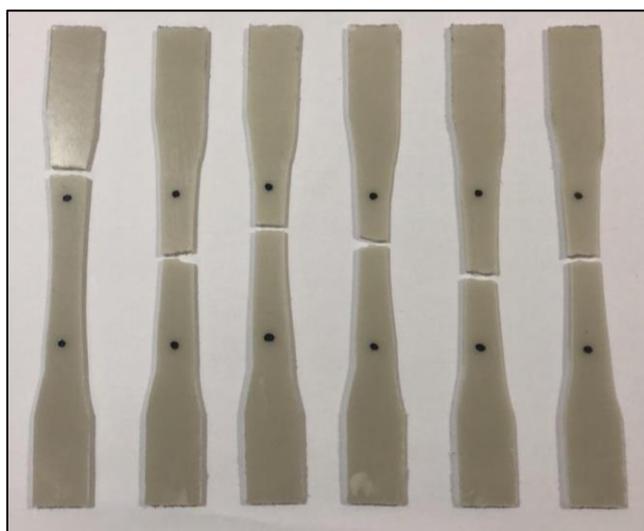
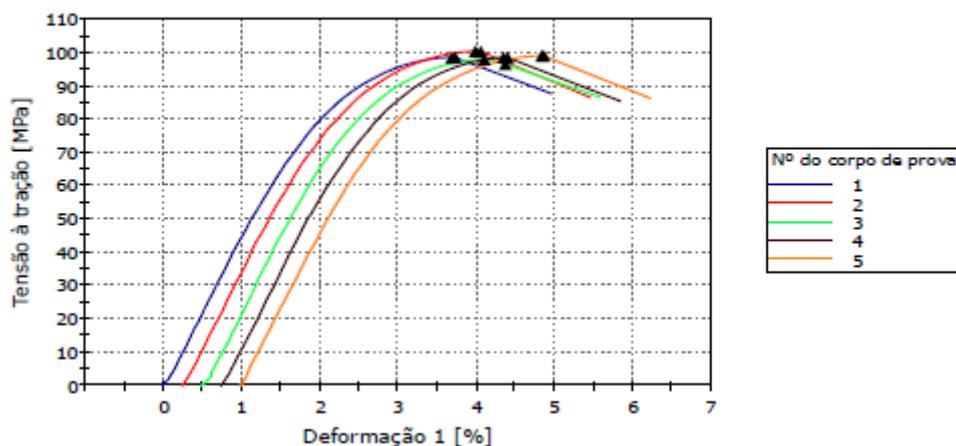
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

Temperatura	21,9 C
Umidade	52,0 %
Descrição	PA 6.6 com fibra P3
Fornecedor	

#### Relatório de Ensaio

	Área (mm <sup>2</sup> )	Força Máxima (N)	Def. Especif. Força Máxima (%)	Força Ruptura (N)	Tensão Força Ruptura (MPa)	Defor. Especif. à Ruptura (%)	Módulo Elasticidade (MPa)	Tensão Força Máxima (MPa)
1	26,65	2623,566	3,692	2621,413	98,3645	3,732	4662	98,45
2	25,39	2544,959	3,740	2542,586	100,1349	3,811	4697	100,2
3	24,76	2420,772	3,609	2385,823	96,3712	3,875	4927	97,78
4	24,45	2405,802	3,604	2404,403	98,3356	3,657	4688	98,39
5	25,50	2522,110	3,844	2520,949	98,8433	3,872	4604	98,89
Desvio padrão	0,8479	90,650	0,100	98,799	1,3535	0,094	123,4	0,91661
Média	25,35	2503,442	3,698	2495,035	98,4099	3,789	4716	98,75
Máximo	26,65	2623,566	3,844	2621,413	100,1349	3,875	4927	100,2
Mínimo	24,45	2405,802	3,604	2385,823	96,3712	3,657	4604	97,78

#### Corpo de prova 1 a 5





Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

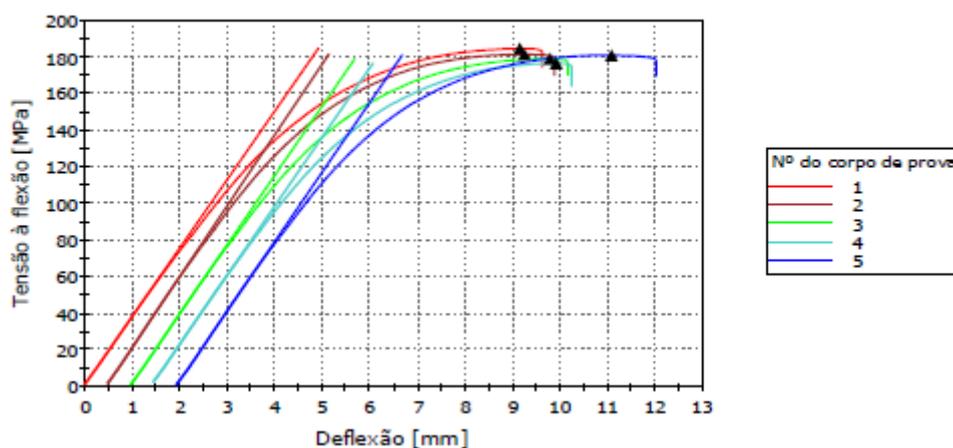
Descrição do método  
ME 0051 03 Determinação das Propriedades de Flexão em Polímeros

Temperatura	22,5 C
Umidade Relativa	55, %
Descrição	PA 6.6 com fibra Injetado
Fornecedor	

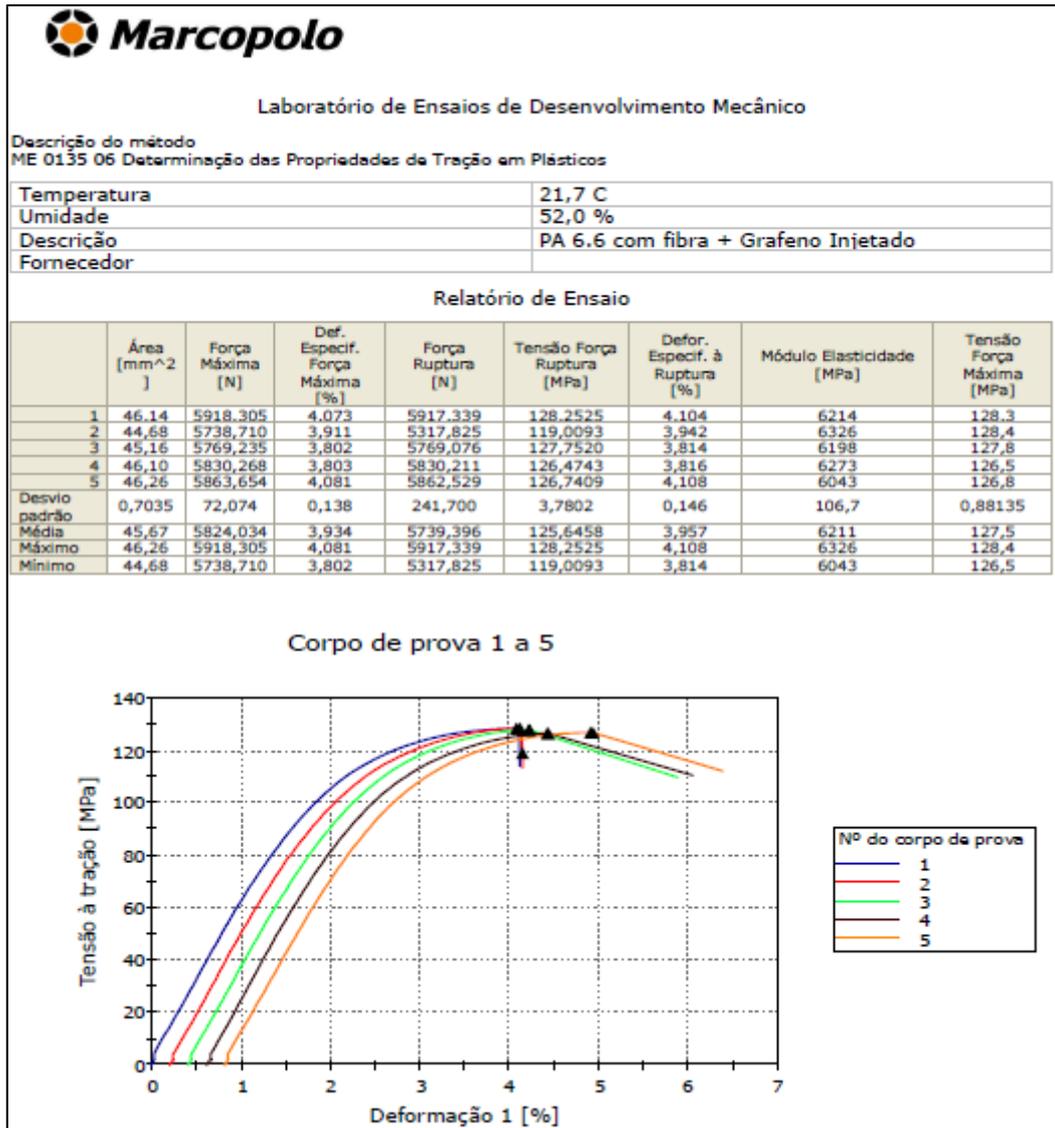
Relatório de Ensaio

	Largura [mm]	Espessura [mm]	Velocidade [mm/min]	Força Máxima [N]	Tensão à flexão [MPa]	Módulo Elasticidade [MPa]	Deflexão For. Máx. [mm]
1	12,28	3,19	1,359	301,596	184,581	5070,710	9,132
2	12,28	3,19	1,359	296,313	181,366	5251,036	8,709
3	12,25	3,19	1,359	291,714	178,950	5131,318	8,824
4	12,28	3,19	1,359	288,510	176,591	5117,790	8,385
5	12,25	3,19	1,359	294,929	180,932	5156,305	9,087
Desvio padrão	0,02	0,00	0,000	4,935	2,969	66,740	0,30428
Média	12,27	3,19	1,359	294.613	180.484	5145.432	8.827
Máximo	12,28	3,19	1,359	301,596	184,581	5251,036	9,132
Mínimo	12,25	3,19	1,359	288,510	176,591	5070,710	8,385

Corpo de prova 1 a 5



Anexo C – Relatório do ensaio de flexão do material PA6.6 + 25%FV, fornecedor Y



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV + 3%GNP, fornecedor Y



### Laboratório de Ensaios de Desenvolvimento Mecânico

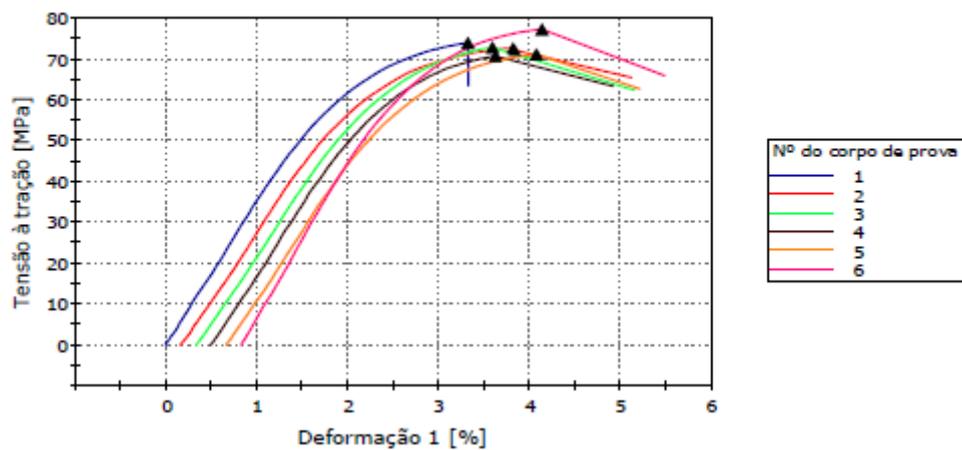
Descrição do método  
ME 0135 06 Determinação das Propriedades de Tração em Plásticos

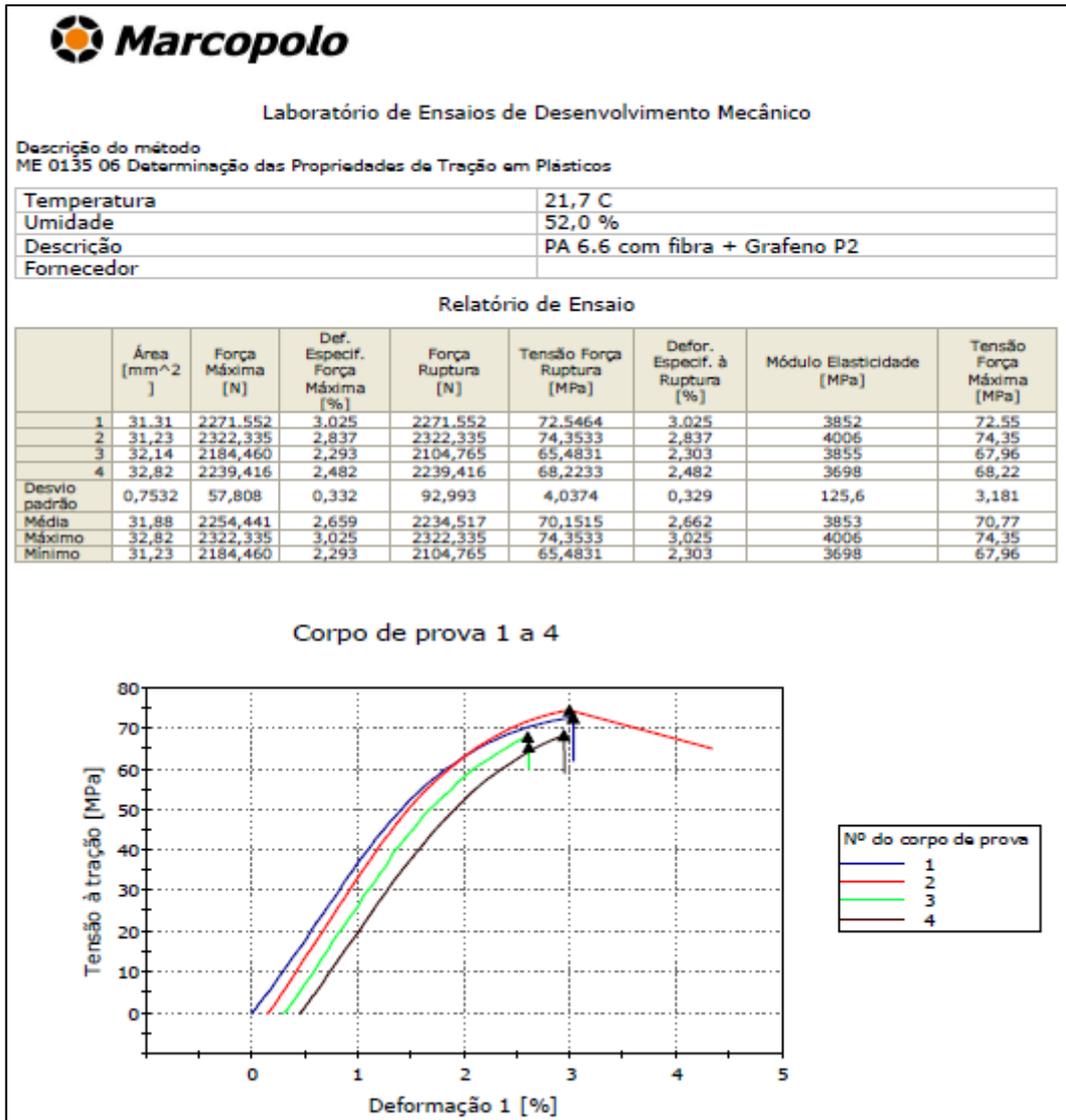
Temperatura	21,3 C
Umidade	52,0 %
Descrição	PA 6.6 com fibra + Grafeno P1
Fornecedor	

#### Relatório de Ensaio

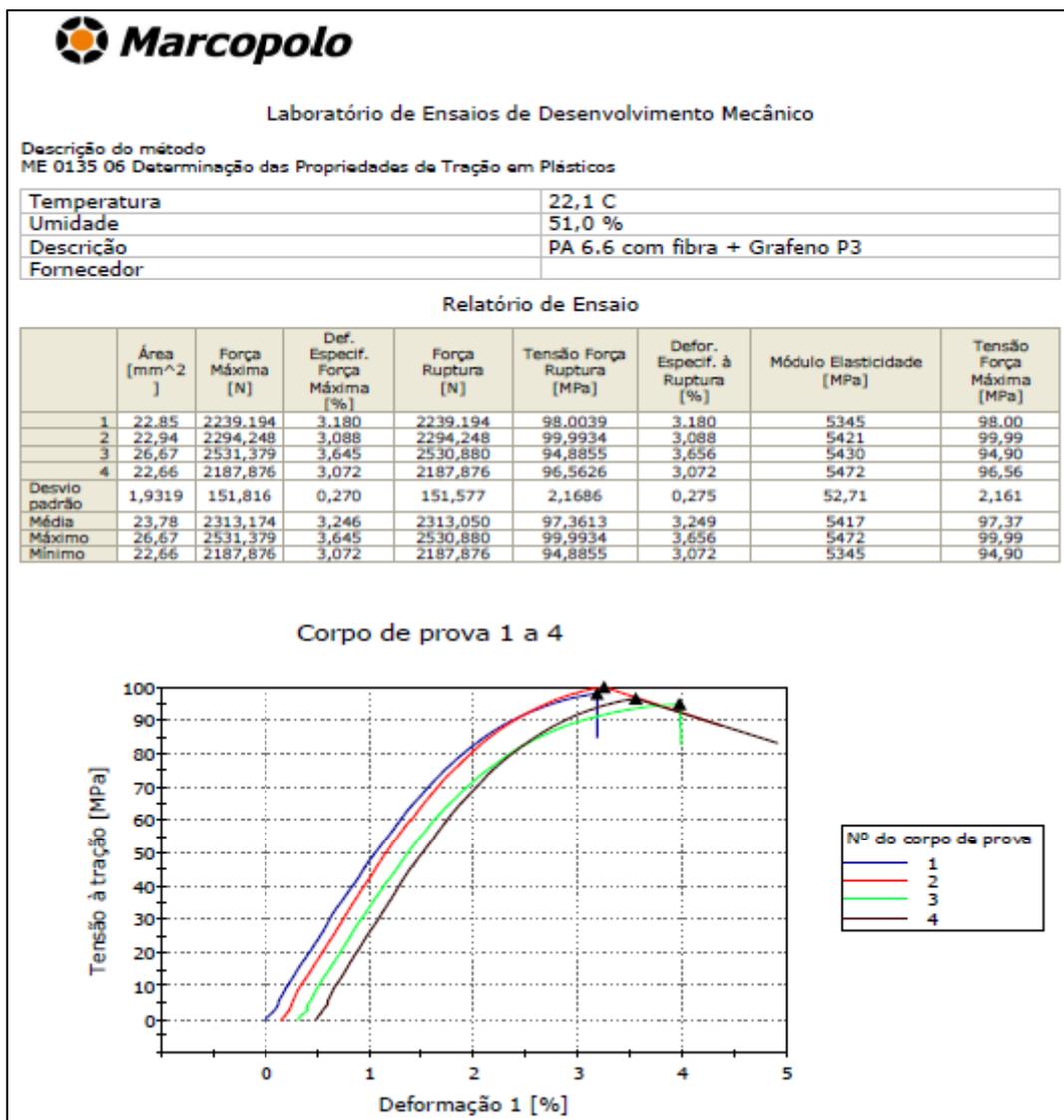
	Área [mm <sup>2</sup> ]	Força Máxima [N]	Def. Especif. Força Máxima [%]	Força Ruptura [N]	Tensão Força Ruptura [MPa]	Defor. Especif. à Ruptura [%]	Módulo Elasticidade [MPa]	Tensão Força Máxima [MPa]
1	31,95	2366,605	3,318	2366,605	74,0687	3,318	3613	74,07
2	30,93	2253,112	3,646	2235,416	72,2699	3,664	3501	72,84
3	30,23	2205,393	3,254	2205,393	72,9451	3,254	3503	72,95
4	31,88	2256,958	3,122	2256,958	70,8043	3,122	3486	70,80
5	31,08	2214,061	3,400	2213,384	71,2054	3,410	3508	71,23
6	27,43	2122,059	3,301	2122,059	77,3655	3,301	4016	77,37
Desvio padrão	1,6726	80,237	0,176	79,856	2,3960	0,183	206,8	2,363
Média	30,58	2236,365	3,340	2233,302	73,1098	3,345	3604	73,21
Máximo	31,95	2366,605	3,646	2366,605	77,3655	3,664	4016	77,37
Mínimo	27,43	2122,059	3,122	2122,059	70,8043	3,122	3486	70,80

#### Corpo de prova 1 a 6

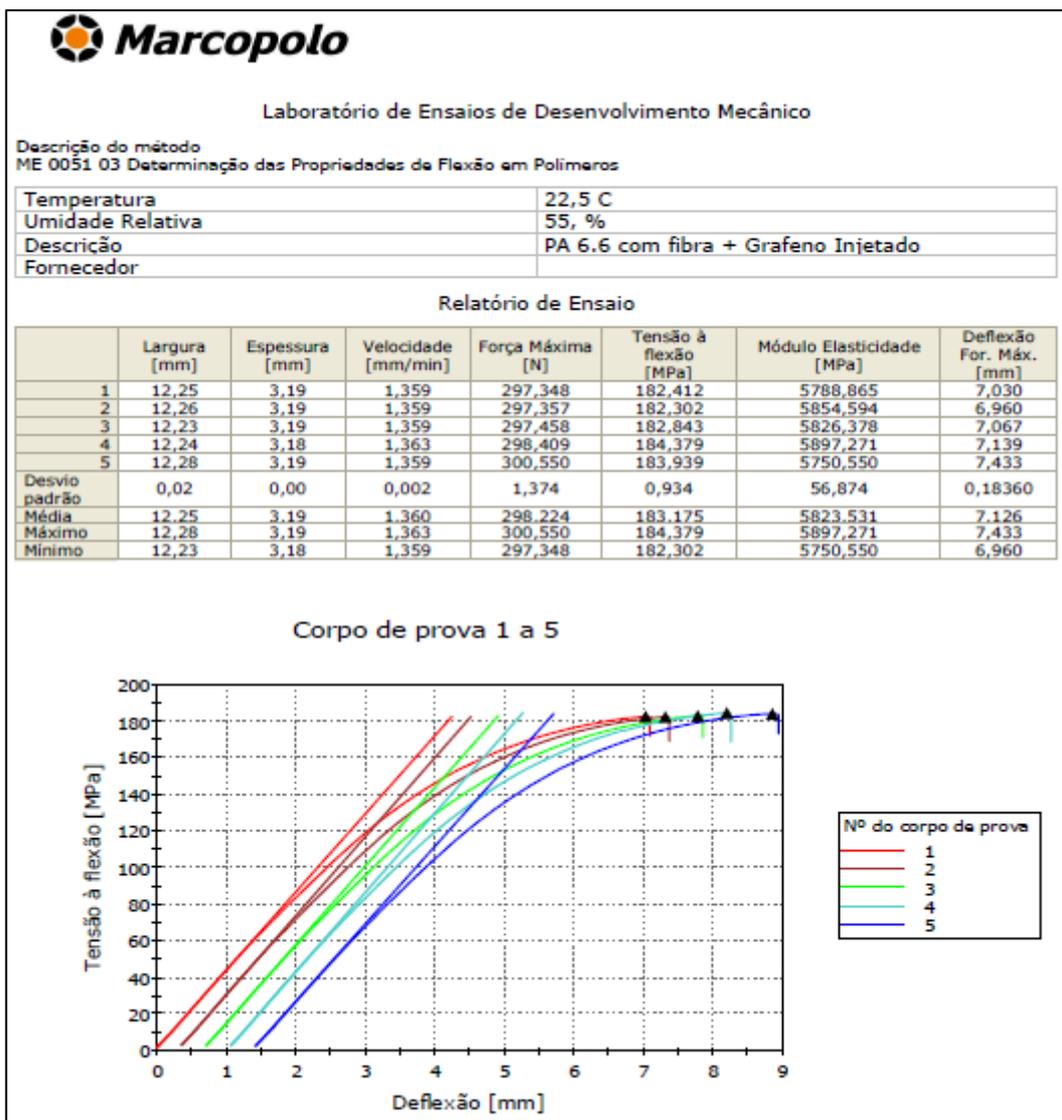




Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV + 3%GNP na P2, fornecedor Y



Anexo C – Relatório do ensaio de tração e imagem dos corpos de prova, PA6.6 + 25%FV + 3%GNP na P3, fornecedor Y



Anexo C – Relatório do ensaio de flexão do material PA6.6 + 25%FV + 3%GNP, fornecedor Y