

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO DE
POLIPROPILENO REFORÇADO COM RESÍDUO DE ESCOVAS
ELÉTRICAS DE GRAFITE UTILIZADAS EM MOTORES ELÉTRICOS**

ANDRÉ LUIZ CURY DE PAULA CÓPIO

ORIENTADORA : RENATA MARTINS PARREIRA

Sustentabilidade e inovação tecnológica devem caminhar lado a lado para resolver problemas industriais complexos e, ao mesmo tempo, criar materiais mais eficientes e ecologicamente responsáveis.

Entre as inovações, o desenvolvimento de compósitos à base de polipropileno (PP) e grafite propõe uma solução sustentável e eficiente. Enquanto o PP é um dos plásticos mais utilizados, o grafite se destaca pela condutividade térmica e elétrica bem como características mecânicas diferenciadas. Essa união pode criar materiais ideais para vários setores da economia, reaproveitando o PP e o grafite descartado de escovas elétricas e reduzindo o impacto ambiental.

Esta pesquisa foca em um compósito de PP e proporções de grafite entre 5% e 20%, com expectativa de resultados que superem as propriedades do PP puro mecânica e termicamente.

Além de atender à Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a demanda por sustentabilidade, essa iniciativa alinha inovação e responsabilidade ambiental.

Objetivo

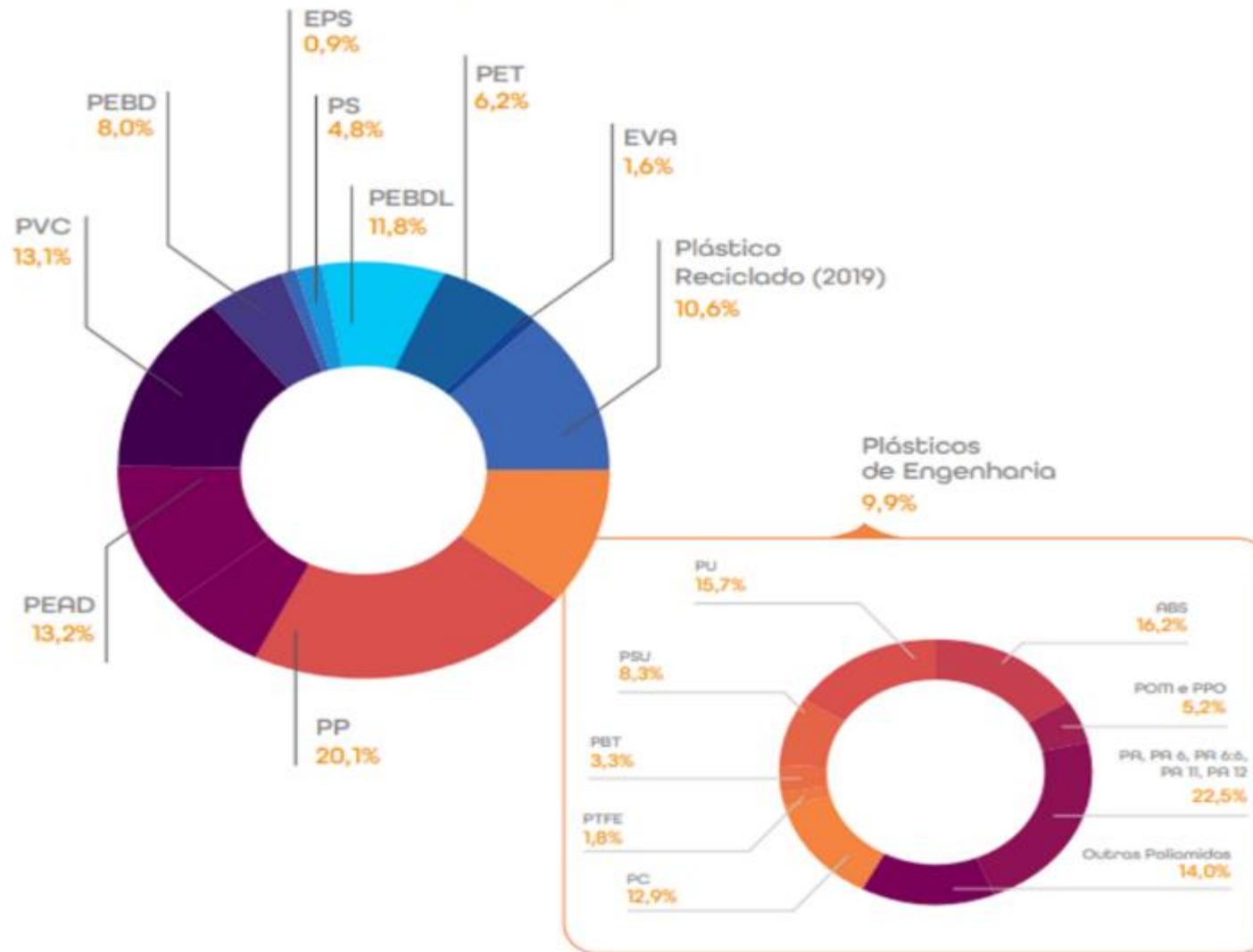
Desenvolver um compósito de matriz polimérica baseado em polipropileno (PP) reforçado com grafite, avaliando suas propriedades mecânicas e térmicas, com vistas à sua aplicação em diversos segmentos, promovendo a reutilização sustentável de materiais e a redução de desperdício.

Objetivo específico

- Desenvolver um compósito polimérico
- Produzir os corpos de prova via injeção a 300°C
- Caracterizar o compósito realizando ensaios mecânicos de tração, flexão e dureza nos corpos de prova;
- Avaliar as características térmicas através do TGA e DSC nos corpos de provas variando de 30°C a 800°C

Imagem 1 :Polímeros mais consumidos no mundo

O t
contendo os
na prática é
(SANTOS, 2
De
plástico em t
Em
(ABIPLAS



moléculas orgânicas
opriedades químicas,
ase que infinitamente
ões de toneladas de
) (ONU,2023).
eladas de polímeros

Compósito

Os compósitos são materiais compostos por dois ou mais materiais, em geral um polímero e um reforço, quando combinados produzem propriedades mecânicas superiores e ampla aplicação (TORRES, 2024).

Eles também apresentam alta resistência ao impacto, dureza, rigidez, estabilidade dimensional e resistência térmica (TORRES, 2024). Como os desafios que ainda precisam ser superados para maximizar seu desempenho e sustentabilidade bem como estudos envolvendo o grafite quando adicionado ao PP.

Grafite

A estrutura molecular do grafite é composta por camadas de átomos de carbono em uma rede hexagonal, com ligações fortes dentro das camadas e ligações fracas entre as camadas. Isso resulta em um material que é ao mesmo tempo forte e macio.

Imagem 4 : Pó de grafite da escova

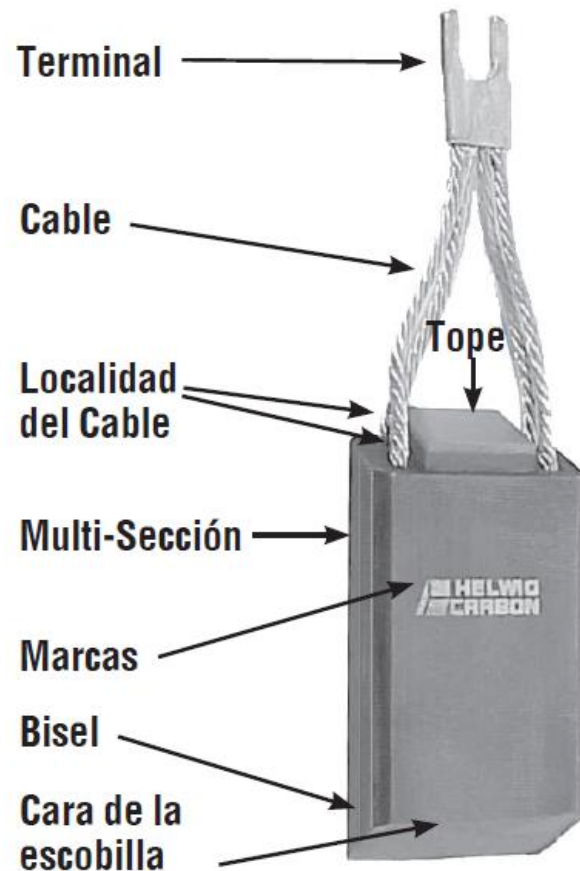


- Condutor elétrico e térmico
- Lubrificante
- Estrutura atômica hexagonal
- Resistência química
- Biocompatibilidade
- Ponto de fusão de 3500°C

Fonte (autor, 2024)

Escovas Elétricas

Imagem 6: Escova elétrica de grafite



Fonte (ADETECH,2024)

A escova de grafite funciona como um contato elétrico entre um circuito imóvel e móvel. Faz parte de um sistema elétrico e mecânico, é um condutor de corrente no sistema elétrico e é submetido a uma força mecânica pelo contato com uma superfície em movimento (MERSEN, 2024).

- Atuam como condutores de corrente e térmicos, mantendo baixo atrito através de suas propriedades lubrificantes (estrutura lamelar);
- Utilizam como matéria prima o grafite isotrópico ou policristalino
- Poucos fabricantes mundiais como TOYO TANSO, MERSEN, MORGAN, SEECIL e HEWIG CARBON

Imagem 4 : Motor com 200 escovas elétricas de grafite

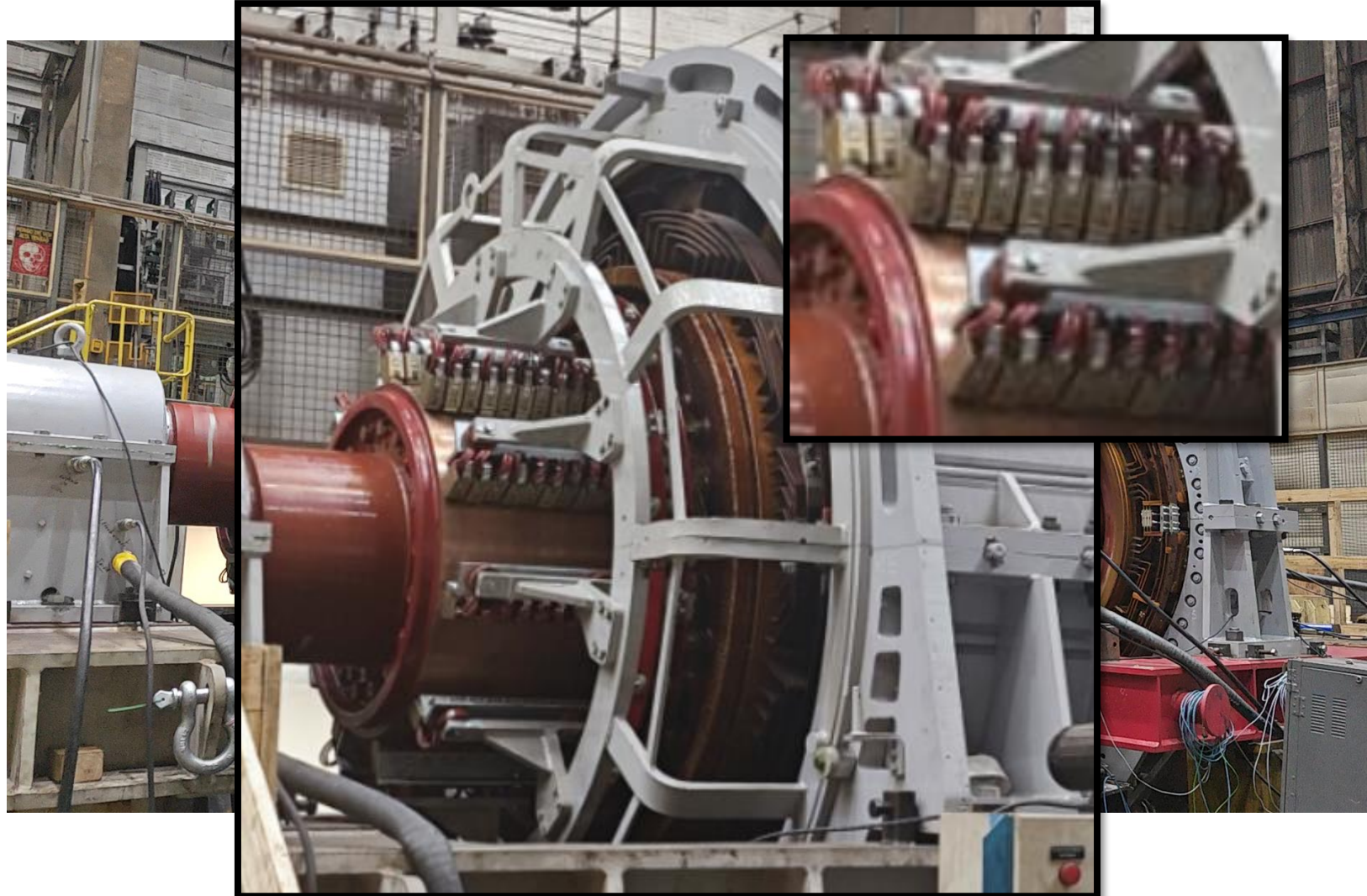


Imagem 7 : Descarte de escovas de grafite



Fonte (autor, 2024)

Corrente Alternada

Motores de indução,
universais, trifásicos

Corrente Contínua

Caracterizados por torque
constante e velocidade
variável

Imagem 8 : Fluxo para produção dos corpos de prova do compósito



Fonte (autor, 2024)

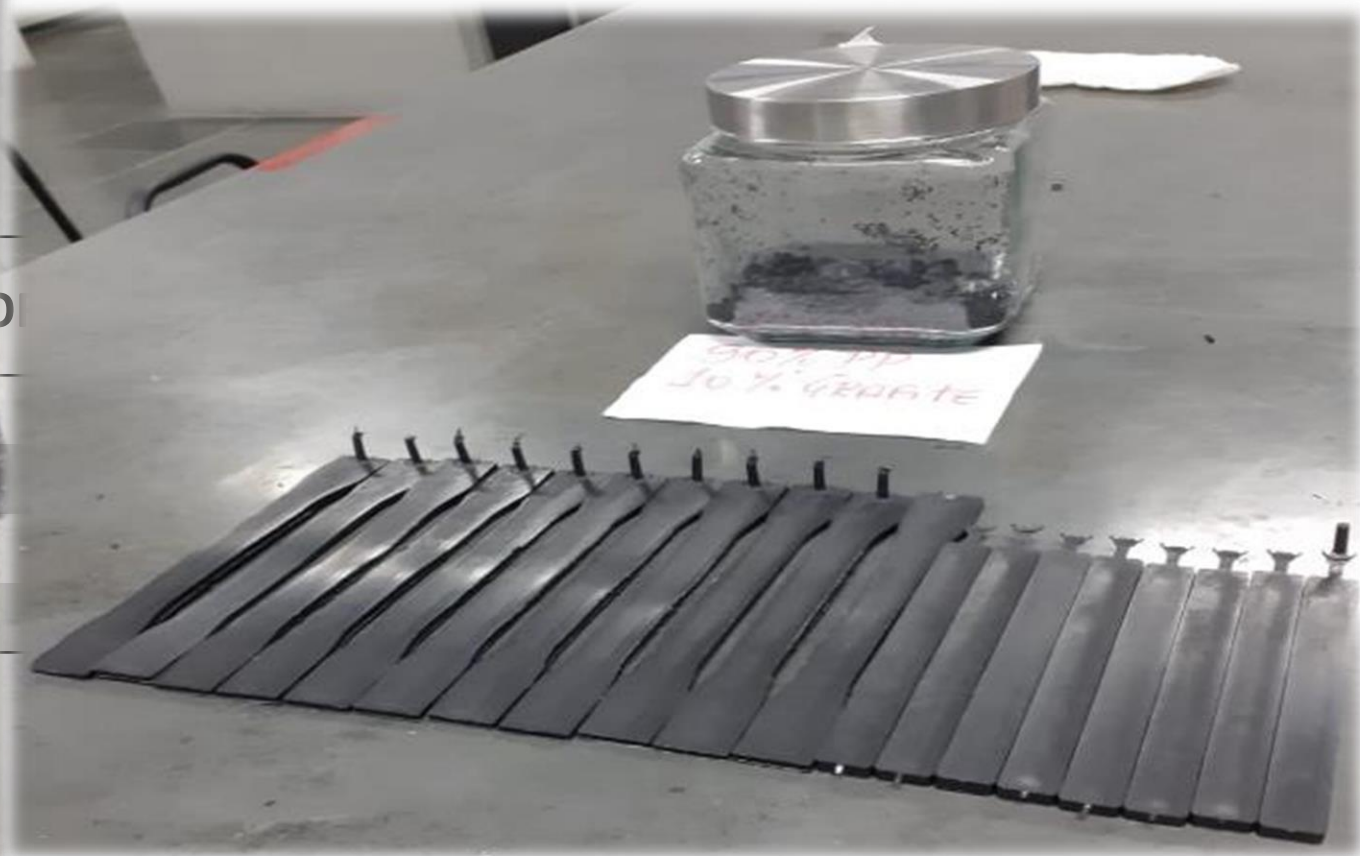
Materiais e Métodos

Imagem 10 : Balança de precisão Maateo
AY220



Fonte (autor, 2024)

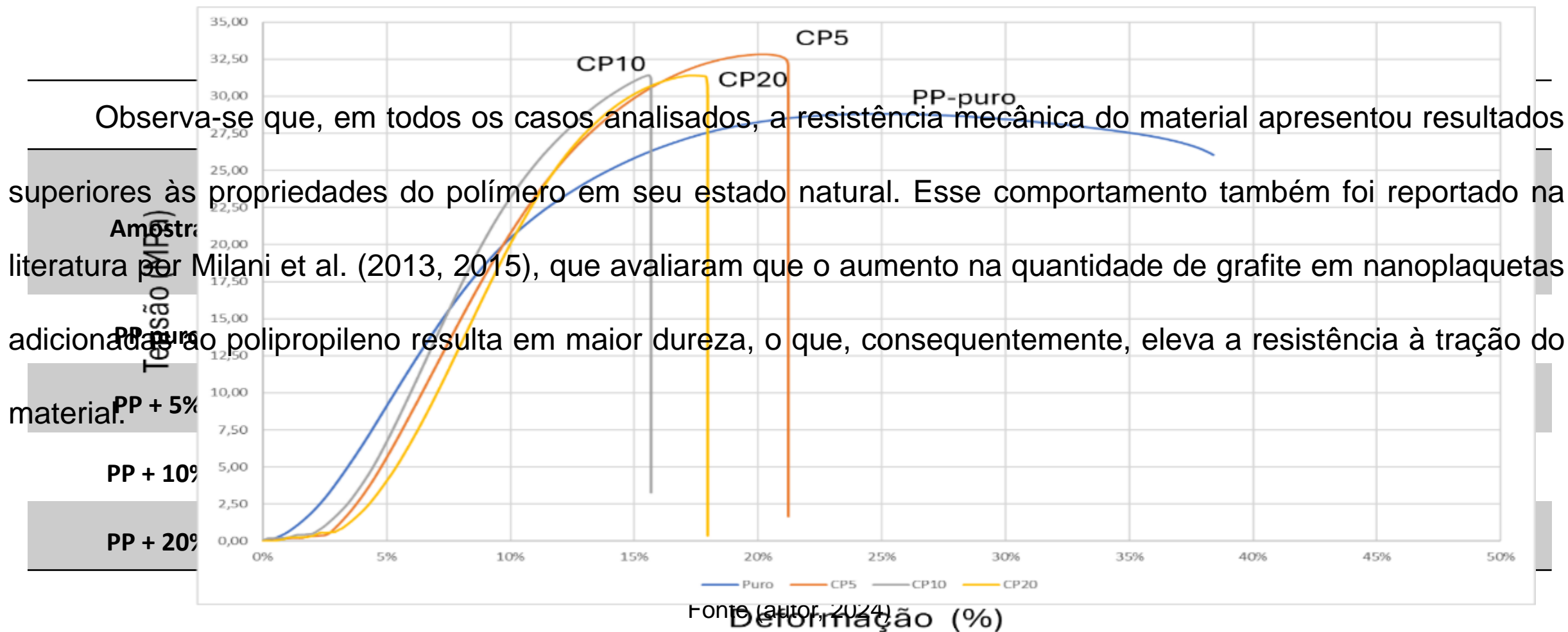
Imagem 11 : Corpos de prova injetados e
preparados para ensaios mecânicos



Fonte (autor, 2024)

Resultados e Discussões - Ensaio Tração

Grafico 1 : Curva de tração do CPs

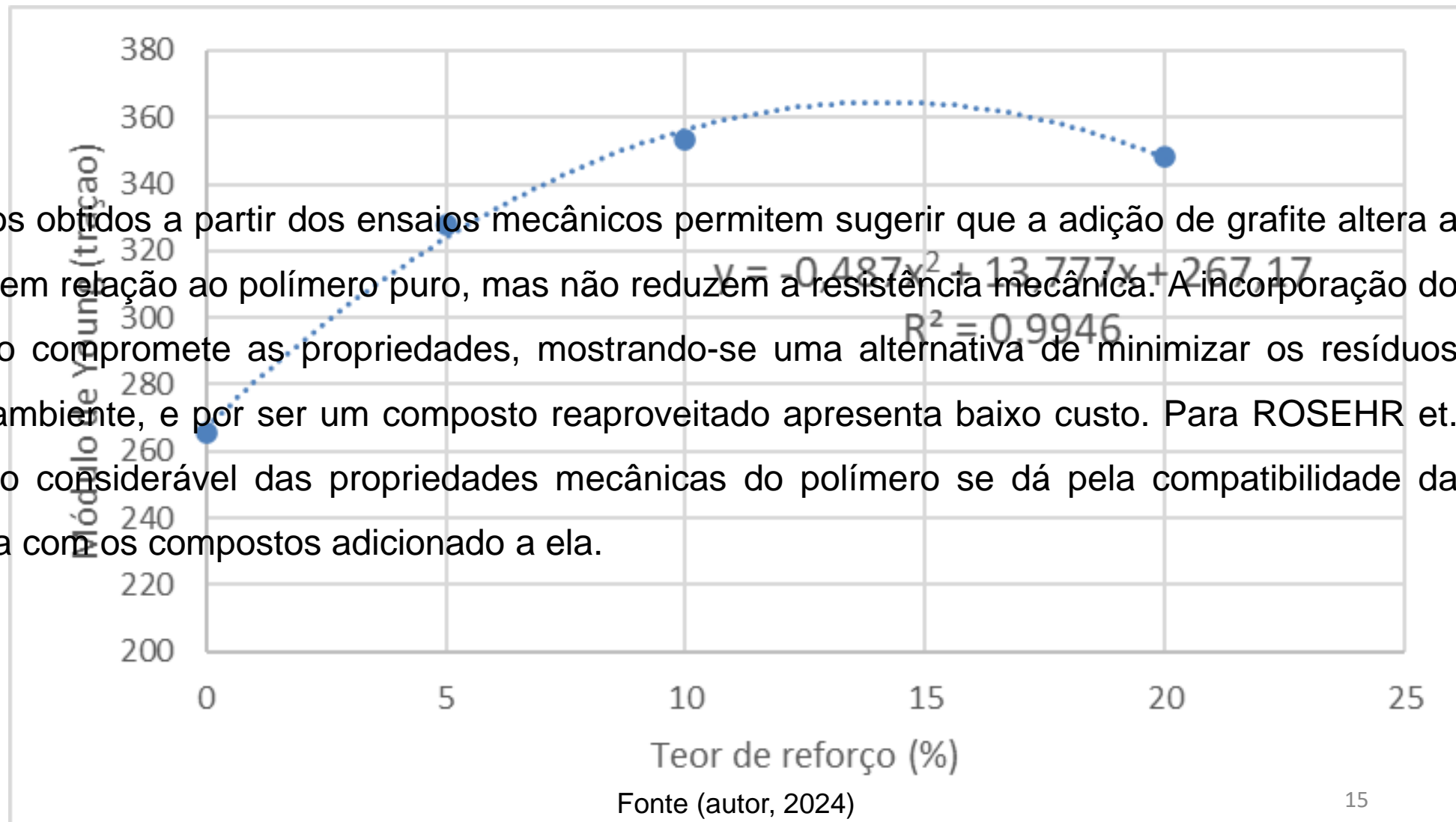


Fonte (autor, 2024)

Fonte (autor, 2024)

Resultados e Discussões - Ensaio Tração

Gráfico 2 : Curva de tendência do ensaio de tração



Resultados e Discussões - Ensaio Flexão

Observou-se um aumento na resistência à flexão, nas amostras com as porcentagens de grafite em relação do PP Puro. Com o aumento do teor de grafite, as tensões são mais bem distribuídas e o material passa a apresentar maior resistência.

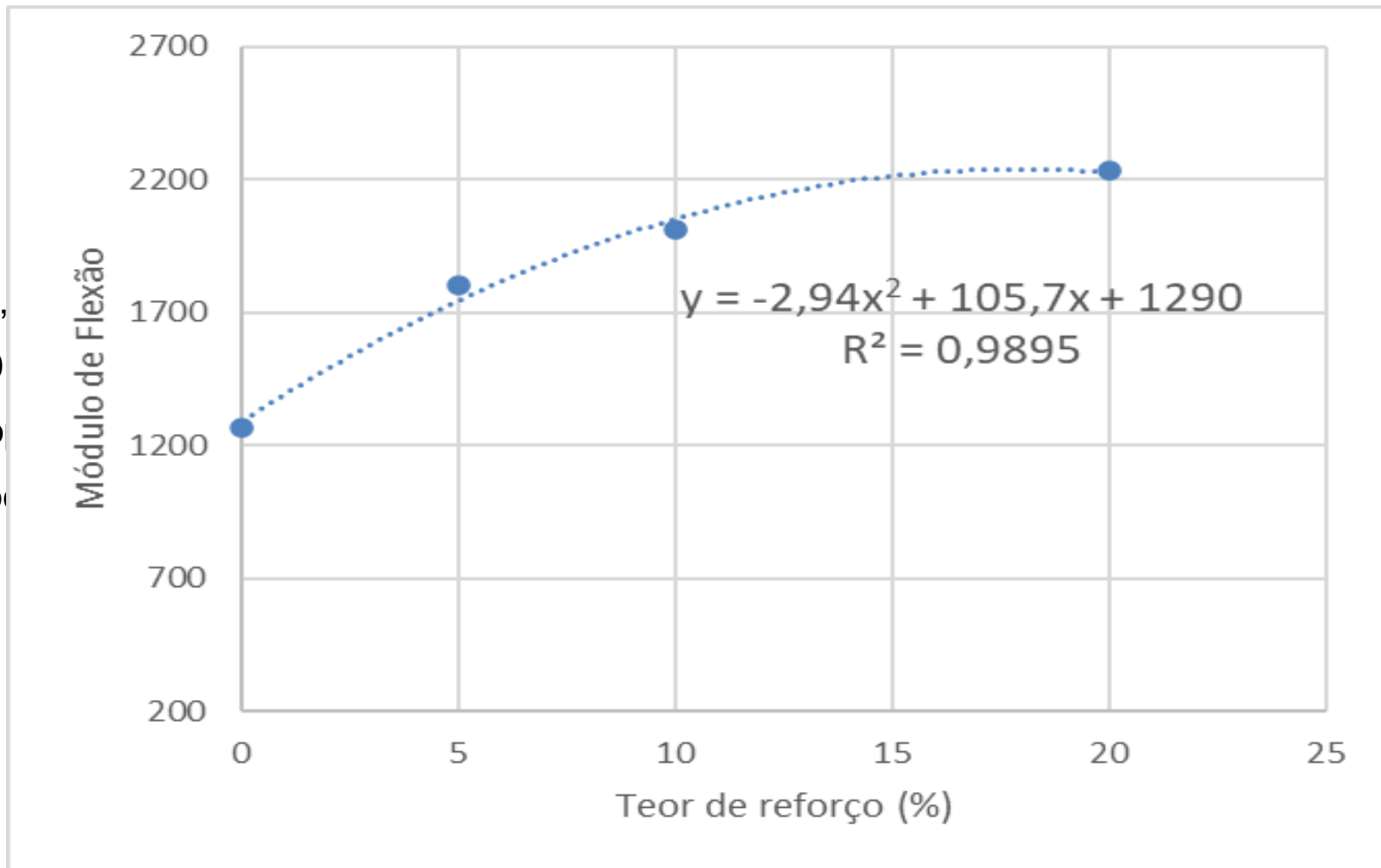
Tabela 2 : Resultados do ensaio de Resistência à Flexão (MPa) e do Módulo de Tração na Ruptura (Mpa).

Flexão		
Amostras	Resistência à Flexão - σ_F (MPa)	Módulo de Flexão ϵ_F (MPa)
PP puro	47.69	1269
PP + 5%	55.61	1801
PP + 10%	49.05	2011
PP + 20%	53.96	2235

Resultados e Discussões - Ensaio Flexão

Gráfico 3 : Curva de tendência do ensaio de flexão.

Neste contexto, flexão um valor de 2240 com que eleve suas pro rigidez do polímero, o SINGH,2013).



Resultados e Discussões – Dureza Shore D

Tabela 3: Dureza Shore D – PP puro

Polipropileno	Dureza Shore D (HD)	Média (HD)
PP.1	70,6	70,6
	70,8	
	71,0	
	70,8	
	70,0	
PP.2	68,6	70,0
	69,7	
	70,2	
	71,0	
	70,6	

Fonte (autor, 2024)

Tabela 4: Dureza Shore D – PP + 20%

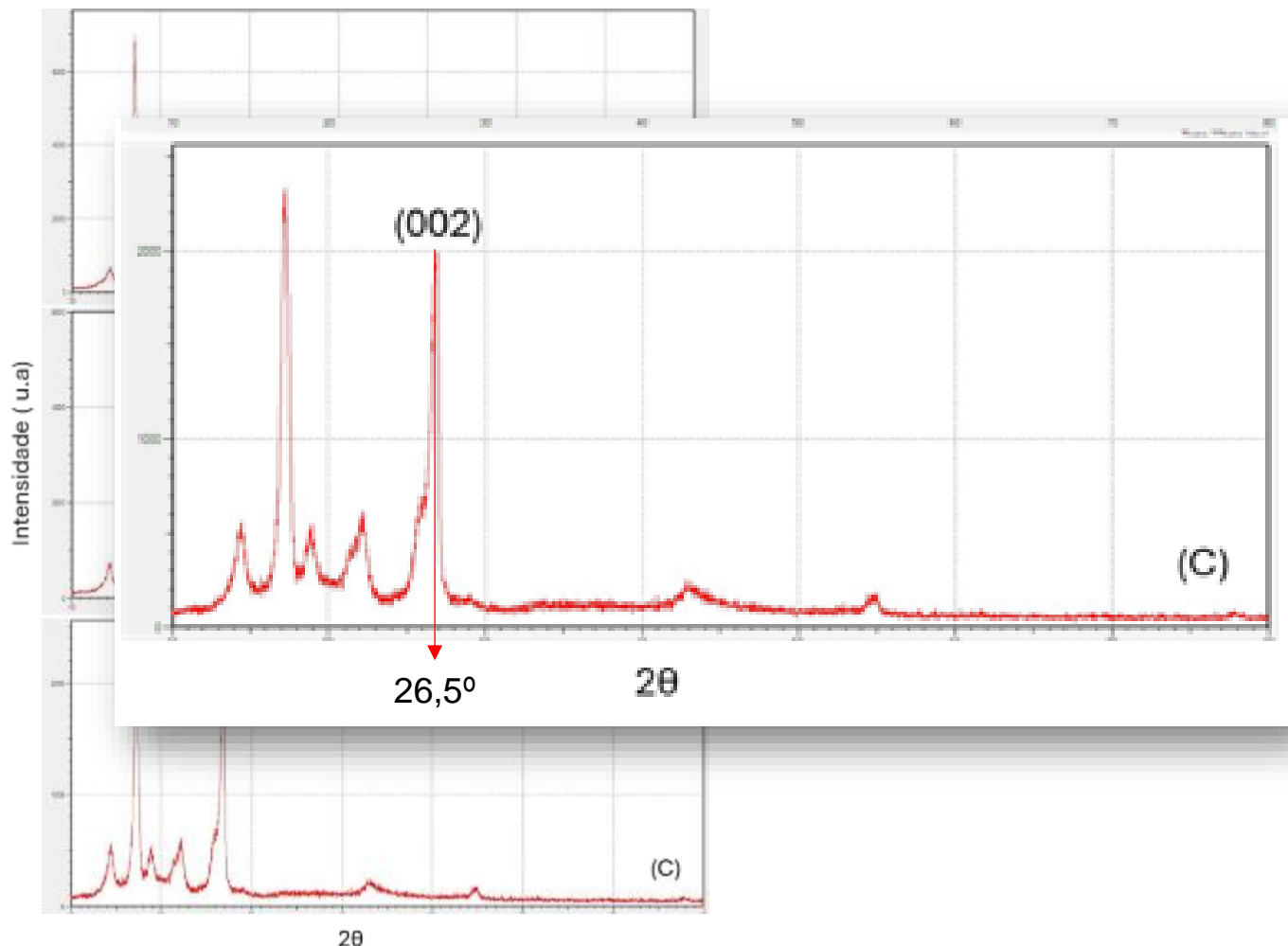
Compósito (PP + 20% Grafite)	Dureza Shore D (HD)	Média (HD)
20.1	73,6	74,1
	74,0	
	74,2	
	74,6	
	74,0	
20.2	73,8	74,0
	74,4	
	73,4	
	73,8	
	74,6	

Fonte (autor, 2024)

Os testes de dureza demonstraram um comportamento semelhante ao observado nos ensaios de impacto, com a dureza aumentando proporcionalmente à concentração de grafite até atingir 8%. No entanto, ao atingir 10%, houve uma redução na dureza, possivelmente devido à saturação, conforme descrito por Kumar e Singh (2013) e Alves (2018).

Resultados e Discussões – DRX - Difração de Raios-X

Imagem 12 : difratometria de raios-X (DRX) das amostras de grafite - (a) 5% (b) 10% (c) 20% grafite



Fonte (autor, 2024)

Os difratogramas característicos do grafite, na literatura, apresentam pico no plano (002) $26,5^\circ$ (Siburian,2018).

Conforme esperado, o aumento da quantidade de grafite aumenta a intensidade do pico característico do grafite nos espectros.

O polipropileno (PP) puro exibe picos de difração específicos correspondentes aos planos da fase cristalina do PP.

Sendo assim a difração de raios X do grafite, é descrita com um pico intenso na escala de $2\theta = 26,35^\circ$ (Milani, 2015).

Resultados e Discussões – TGA e DSC

•Resultados gerais da amostra 100% PP:

- Temperatura de fusão (T_m): 167,43°C.
- Temperatura de cristalização (T_c): 118,65°C.
- Cristalinidade (x_c): 42,3%.
- Valores compatíveis com a literatura (Melo et al., 2013).

•Impacto da adição de grafite:

- Aumento em T_m : 157,21°C a 166,36°C.
- Aumento em T_c : 119,62°C a 127,09°C.

•Cristalinidade:

- Redução com maior concentração de grafite.

•Comportamento atípico da amostra com 4% de grafite:

- Interação do grafite com imperfeições na matriz.
- Formação de cristais menores (Milani et al., 2015).

•Cristalinidade com 2% e 4% de grafite:

- Redução média de 12% em relação ao PP puro.
- Corroborar estudos prévios (Montagna, 2010).

Conclusão

- **Módulo de elasticidade à flexão:**

- Aumento de aproximadamente 966 MPa com a adição de 20% de grafite reciclado, em comparação ao PP puro.

- **Resistência à tração:**

- Melhoria de 28 MPa (PP puro) para 31 MPa (com 20% de grafite).

- **Dureza Shore D:**

- Aumento de 70 HD (PP puro) para 74 HD nos compósitos.
- Menor desvio padrão nas amostras reforçadas.

- **TGA e DSC:**

- A adição de grafite ao PP afeta diretamente as temperaturas de fusão e cristalização, com redução na cristalinidade.
- Comportamentos atípicos podem ser atribuídos às interações entre o grafite e a matriz polimérica, favorecendo cristais menores.
- Os resultados são consistentes com a literatura e indicam que a modificação estrutural depende da concentração de grafite.

Os compósitos PP/grafite apresentam propriedades superiores ao PP puro e representam uma alternativa sustentável e economicamente viável para diversas aplicações. O reaproveitamento do PP bem como do grafite contribui para a redução do impacto ambiental da indústria e promove a conformidade com as regulamentações ambientais.

Os resultados apresentados abrem várias oportunidades para futuros trabalhos, entre os quais destacam-se:

- Investigar teores de grafite entre 5% e 10%, bem como entre 10% e 20%, para determinar faixas de composição que maximizem o desempenho mecânico e térmico sem comprometer outras propriedades como a tenacidade;
- Realizar ensaios complementares, como resistência ao impacto e análise térmica dinâmica (DMA), para avaliar o comportamento dos compósitos em condições de uso dinâmicas e a altas temperaturas;
- Avaliar a propriedade elétrica;

Referências Bibliográficas

ABIPLAST. **Perfil 2019**. Associação Brasileira da Indústria do Plástico, v. 6, n. 1, p. 1-46. 2019. Disponível em: . Acesso em: 17 out. 2021.

ADETECH. **Escovas de carvão para motores elétricos**. Disponível em: <https://www.adetech.com.br>. Acesso em: 21 nov. 2024.

ALMEIDA, B. S. de et al. **Estudo da viabilidade técnica por simulação computacional da alteração de polipropileno para policarbonato para produção de peças injetadas**. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2240: Standard test method for rubber property – durometer hardness**. United States, 2010.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D638: Standard test method for tensile properties of plastics**. United States, 2008.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D790: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials**. United States, 2010.

AUD, B. N. et al. **Modificação química do polipropileno através da introdução de grupos sulfônicos para aplicação como catalisador em reações de esterificação, visando a produção de biodiesel**. 2022.

Referências Bibliográficas

- BENTO, F. D. **Fabricação e caracterização mecânica e estrutural de compósitos cerâmica-grafeno.** 2022.
- BORGES, Aldo Nonato. **Caracterização de escovas de grafite e avaliação do seu desempenho em função da microestrutura.** 2007. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- BOTARO, V. R.; RODRIGUES, J. S. de S. **Hidrogéis derivados de polímeros naturais: desenvolvimento e aplicações.** São Carlos: Edufscar, 2022.
- CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CARDOSO, J. V. F.; BRUSCHI, J. V. G. **Grafeno e sua relação com super e semicondutores.** Environ. Sci. Technol. Innov., v. 2, n. 1, 2023.
- CARRILHO, R. F. A. **Influência do PP reciclado nas propriedades mecânicas em peças injetadas.** 2024. Tese (Doutorado).
- Cerezo, F. **Thermal stability and mechanical property of polymer layered graphite oxide composites.** 2006.
- CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Motores elétricos.** AMGH editora, 2013.
- CLAUS, J., SANTOS, R.A.M., GORBATIKH, L., et al. **"Effect of matrix and fibre type on the impact resistance of woven composites"**. Composites Part B: Engineering, V. 183, 2020.