

## **DEFESA DE MESTRADO**

# **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO RECICLADO REFORÇADOS COM SERRAGEM E RESÍDUOS INDUSTRIAIS**

**Aluna: Júlia Dutra Braz**

**Orientador: Bruno Chaboli Gambarato**

Volta Redonda, 2019

# SUMÁRIO

- Panorama
- Objetivos
- Revisão Bibliográfica
- Materiais e Métodos
- Resultados e Discussão
- Conclusão

# Panorama - Busca de Processos mais limpos

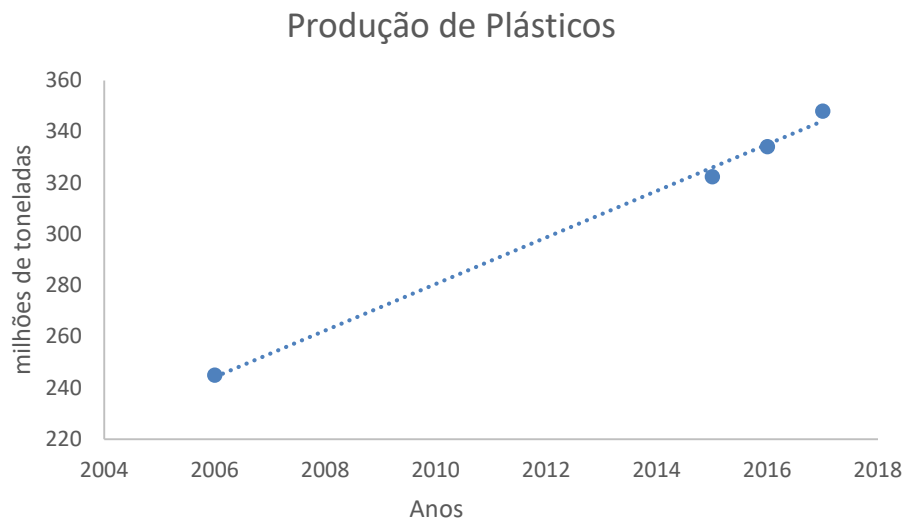


## Compósito:

- Polipropileno proveniente de coleta doméstica
- Serragem de madeira
- Escória de aciaria



# Panorama - Busca de Processos mais limpos



Fonte: Abiplast, 2018

Produção de plástico vêm aumentando cerca de 4% por ano

No Brasil, apenas cerca de 7,8% dos plásticos são reciclados



# Panorama - Busca de Processos mais limpos



Morte de  
animais por se  
prenderem a  
plásticos



# Panorama - Busca de Processos mais limpos

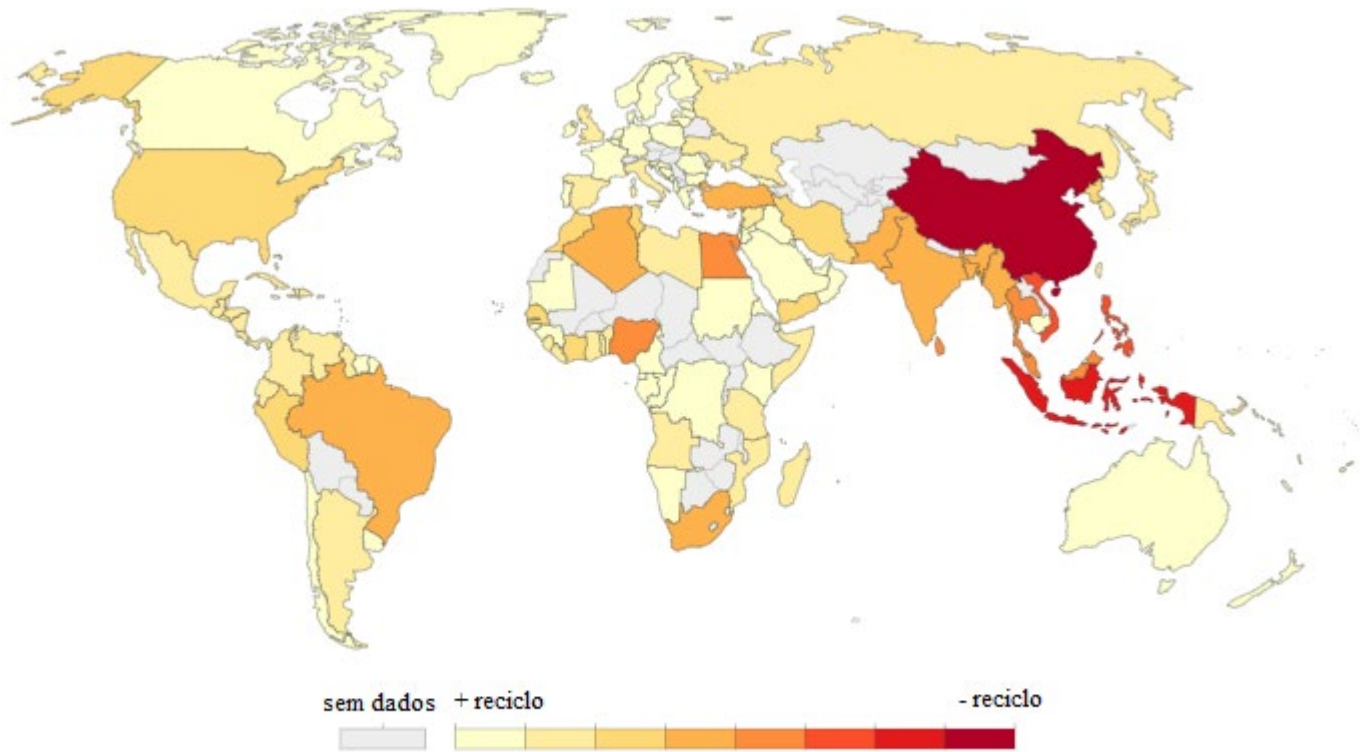


Morte de  
animais por  
ingestão de  
plásticos



# Panorama - Busca de Processos mais limpos

Resíduos não gerenciados



Fonte: Jambeck et al. (2015)

# Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e caracterizar um material compósito a partir da reciclagem de embalagens de polipropileno, serragem de madeira *Pinus taeda* e escória de aciaria.

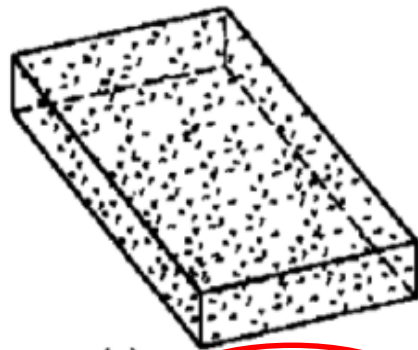
- ✓ Obter formulações de compósitos com os 3 materiais em diferentes proporções;
- ✓ Avaliar a influência da composição sobre as propriedades mecânicas em tração dos materiais obtidos;
- ✓ Realizar análise térmica e obter informações acerca das propriedades térmicas e da cristalinidade dos compósitos.



# Revisão Bibliográfica: Materiais Compósitos

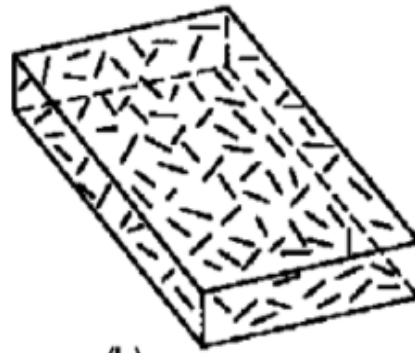
São materiais de naturezas diferentes misturados, que geram um novo material com propriedades de ambos.

- Matriz
- Fase dispersa



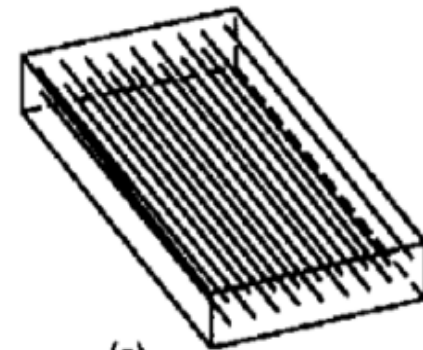
(a)

Fibras particuladas



(b)

Fibras curtas desalinhas



(c)

Fibras longas alinhadas

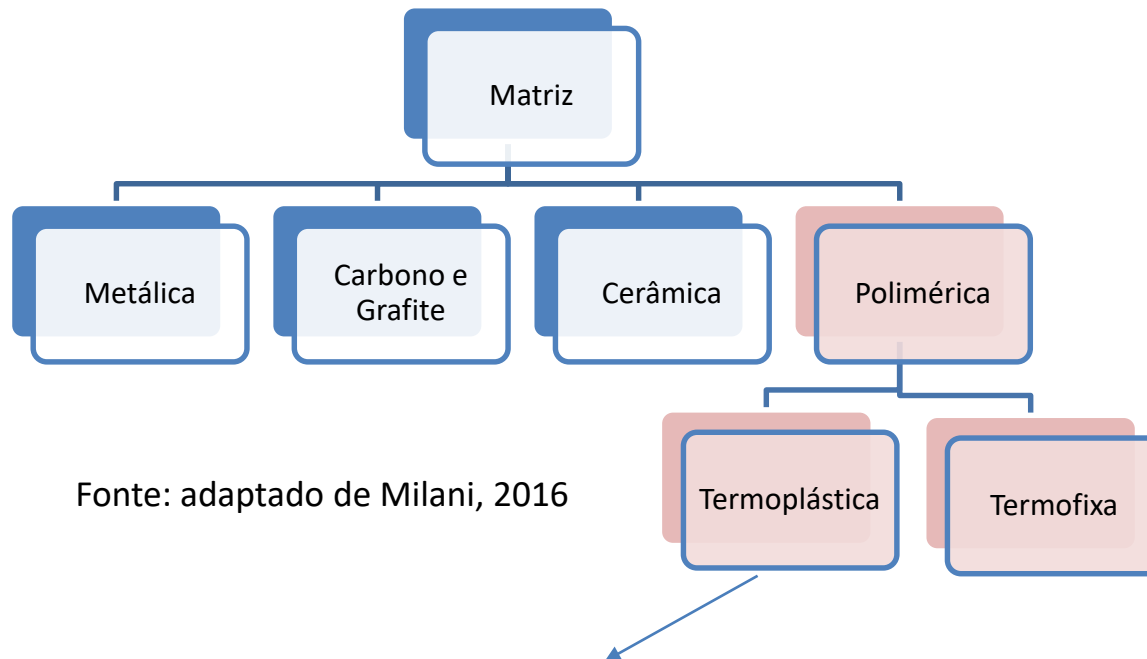
Fonte: Moraes, 1999

# Revisão Bibliográfica: Materiais Compósitos

## Matriz

- Mantém o reforço no lugar e o protege contra danos superficiais (abrasão mecânica ou reações químicas)
  - Distribui a carga do reforço
  - Barreira contra propagação de trincas e falhas
  - Confere adesividade e rigidez ao compósito
- 
- ✓ **CMC:** Compósito de matriz cerâmica
  - ✓ **CMM:** Compósito de matriz metálica
  - ✓ **CMP:** Compósito de matriz polimérica

# Matriz Polimérica



- Boa resistência química, boa tenacidade, baixa densidade, baixo custo de produção
- Fundem por temperatura e endurecem quando resfriam
  - Propriedades físicas reversíveis
  - Cadeias lineares flexíveis**PODEM SER REPROCESSADAS!**

Exemplos:  
Polietileno (PE)  
Poliestireno (PS)  
Polipropileno (PP)  
Policloreto de Vinila (PVC)

# Polímeros

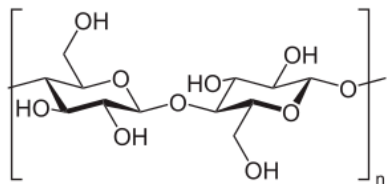
São macromoléculas formadas pela união de monômeros.

- ✓ Alta massa molecular
- ✓ Dúctil
- ✓ Flexível
- ✓ Podem ser conformados em diversas formas complexas
- ✓ Amolecimento a baixas temperaturas

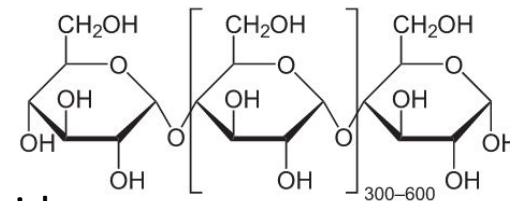


# Polímeros

**□ Naturais:** São aqueles derivados de plantas e animais além de proteínas, enzimas, amido e celulose.



Celulose



Amido



**□ Sintéticos:** São aqueles obtidos através da reação de polimerização, tais como polipropileno, polietileno, poliestireno, poliamida, polietilenotereftalato, etc.

Apresentam baixo custo de produção



Polietileno



Polipropileno



Poliestireno



PVC (Policloreto de vinila)



Teflon



Poliacilonitrila



PVA (Poliacetato de vinila)

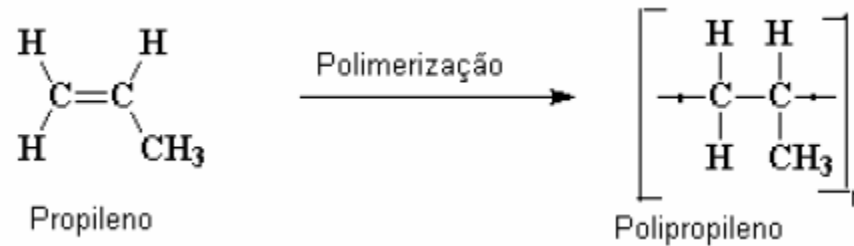


Borrachas sintéticas



Plexiglass (Polimetacrilato de metila)

# Polipropileno



Fonte: Callister, 2015

Polímero termoplástico

Pode ser processado facilmente por injeção, extrusão, termoformagem, sopro

Pode possuir até 60% de cristalinidade

Alta resistência mecânica

Usado para fabricação de tanques, tubulações, brinquedos, embalagens, cosméticos, etc.



# Polipropileno



## Curva tensão x deformação



a. Polímeros frágeis

b. polímeros plásticos

c. polímeros altamente elásticos

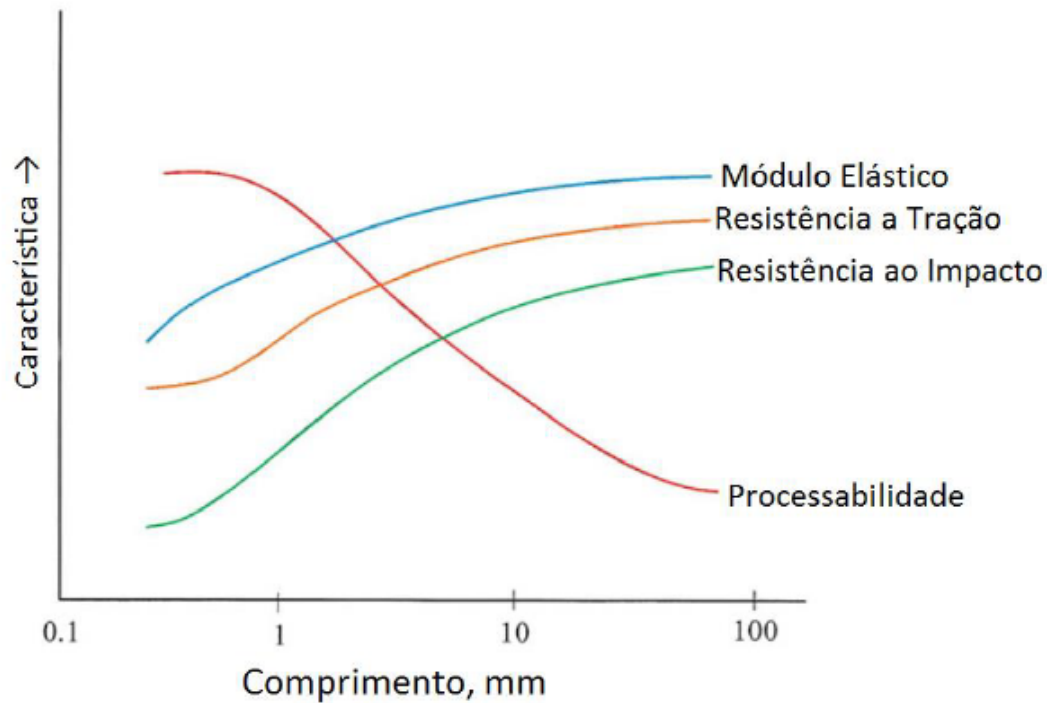
Fonte: Mendes, 2007

a. Ruptura no trecho elástico

b. Trecho inicial elástico, limite de escoamento e deformação plástica até ruptura

c. Totalmente elástica (elastômeros)

# Características do reforço



Fonte: Schaedler, 2015

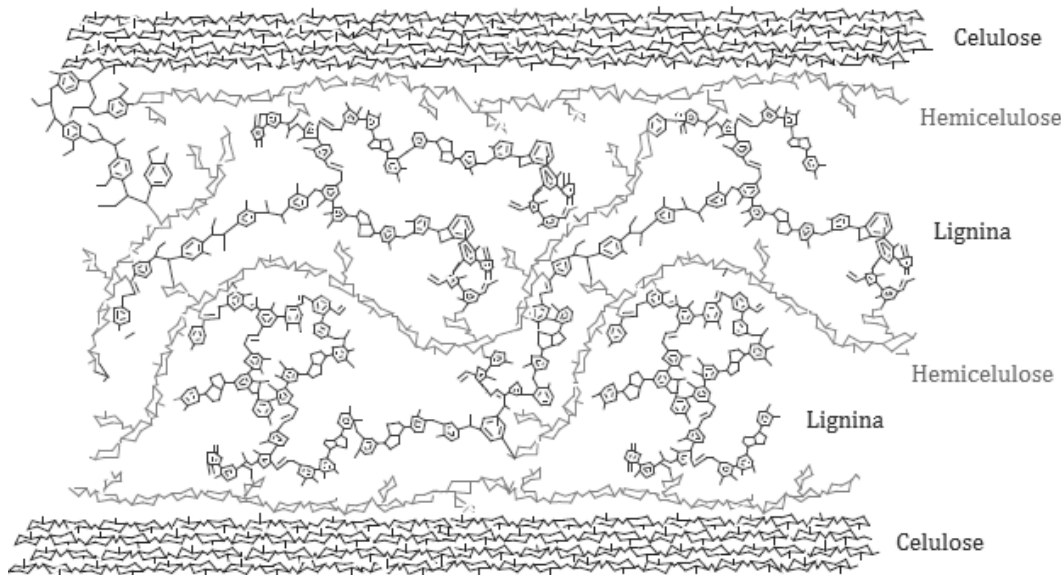


# Fibras

- Naturais: provenientes de vegetais, animais ou minerais.
  - ✓ Animais: Proteínas
  - ✓ Vegetais: Celulose

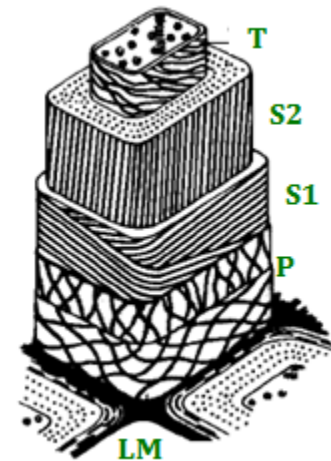
## Fibras Vegetais

Distribuição de lignina e polissacarídeo em nível molecular



Fonte: Henriksson, 2009

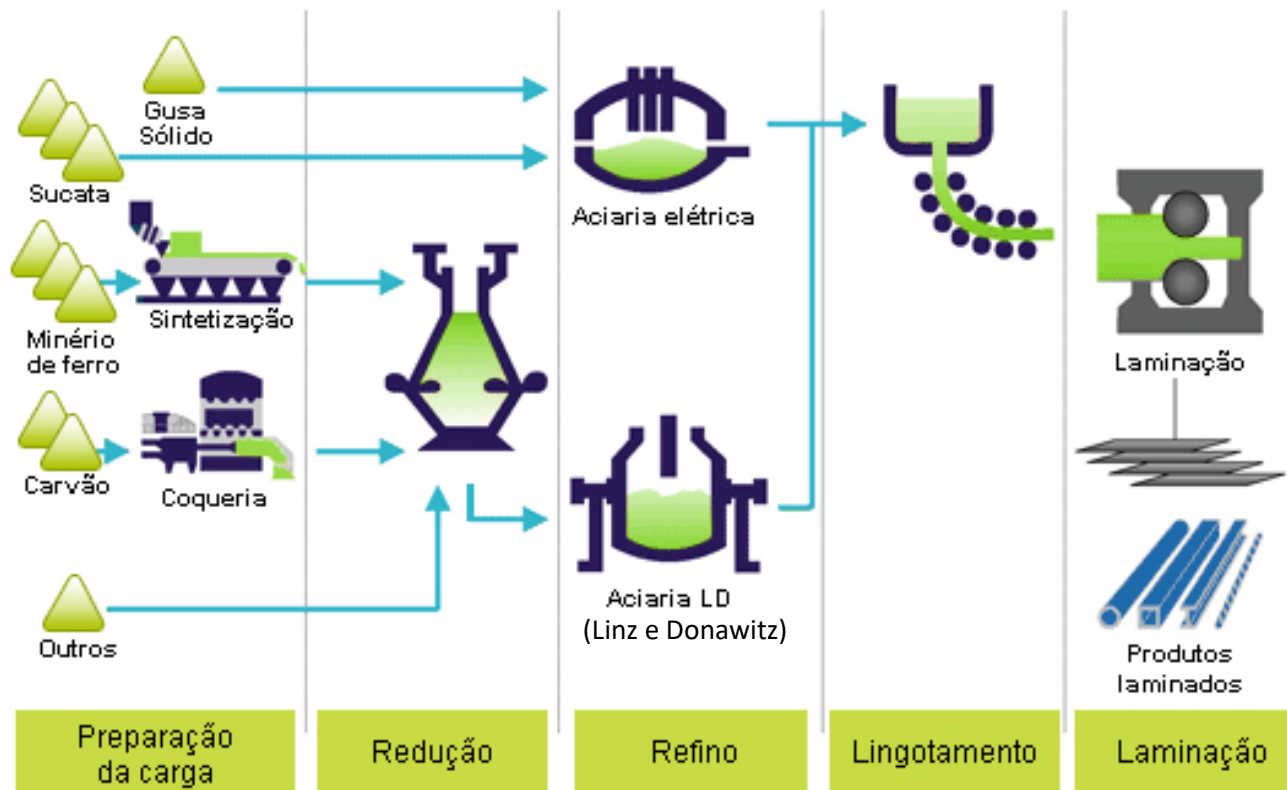
Modelo da estrutura da parede celular de traqueídes de madeira mole e de fibras libriformes de madeira dura



Fonte: Fengel e Wegnwe, 1989

# Escória de aciaria

## Fluxo simplificado de produção

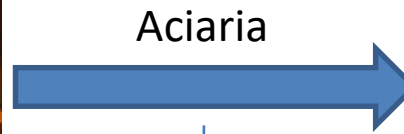


Fonte: Aço Brasil, 2018

# Escória de aciaria



Ferro Gusa



Aço

C, Si, Mn, P, S

## Escória

rica em óxido de cálcio, óxido de magnésio, dióxido de silício, óxido de alumínio e ferro

1 kg aço produzido = 15% escória

# Escória de aciaria



Produção de Aço no Brasil =  
34 milhões de toneladas/ano

Produção Escória =  
5,1 milhões de toneladas/ano



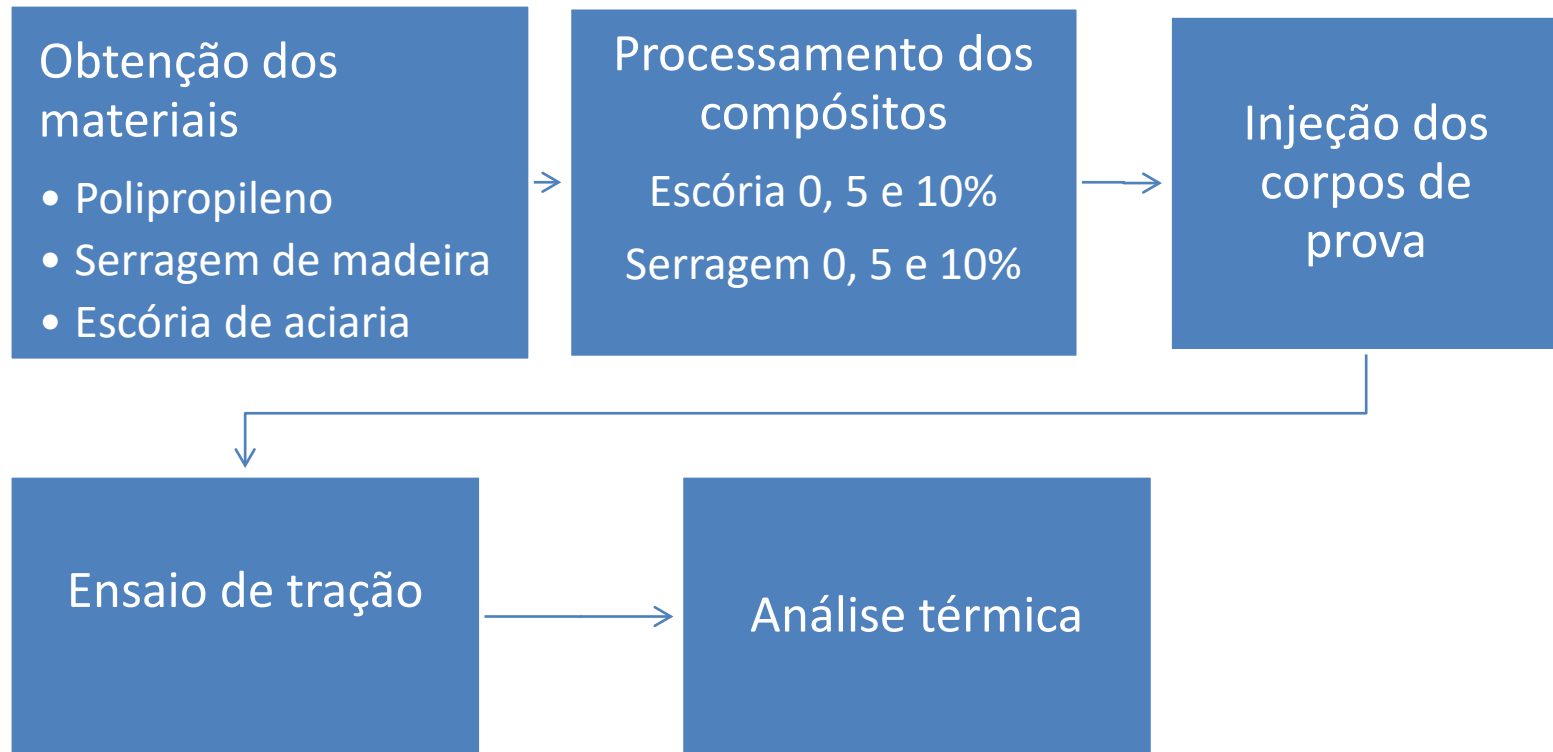
# Escória de aciaria



Usada como reforço na indústria da construção civil



# Materiais e Métodos: Desenvolvimento do estudo



Fonte: autora, 2018

# Materiais e Métodos: Obtenção dos materiais

- Polipropileno: proveniente de coleta doméstica
- Serragem: proveniente da carpintaria na UniFOA – partículas entre 50 e 60 mesh
- Escória de aciaria: granulada, obtida de uma Siderúrgica situada em Volta Redonda



# Materiais e Métodos:

## Proporções dos materiais

Planejamento Fatorial Completo 3<sup>2</sup>

Denominação	Teor do componente (%)		
	Polipropileno (P)	Serragem de Madeira (S)	Escória de Alto Forno (E)
P <sub>100</sub>	100	00	00
P <sub>95</sub> S <sub>5</sub> E <sub>0</sub>	95	05	00
P <sub>90</sub> S <sub>10</sub> E <sub>0</sub>	90	10	00
P <sub>95</sub> S <sub>0</sub> E <sub>5</sub>	95	00	05
P <sub>90</sub> S <sub>5</sub> E <sub>5</sub>	90	05	05
P <sub>85</sub> S <sub>10</sub> E <sub>5</sub>	85	10	05
P <sub>90</sub> S <sub>0</sub> E <sub>10</sub>	90	00	10
P <sub>85</sub> S <sub>5</sub> E <sub>10</sub>	85	05	10
P <sub>80</sub> S <sub>10</sub> E <sub>10</sub>	80	10	10

Fonte: autora



# Materiais e Métodos: Processamento dos compósitos

- **Homogeneizador termocinético:**

Homogeneizador para plásticos (Dryser), fabricado pela MH Equipamentos, de modelo MH-50H



Fonte: autora



Fonte: autora

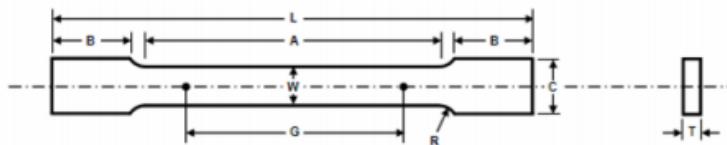
- **Moinho de facas:**  
fabricado pela empresa Plastmix



Fonte: autora

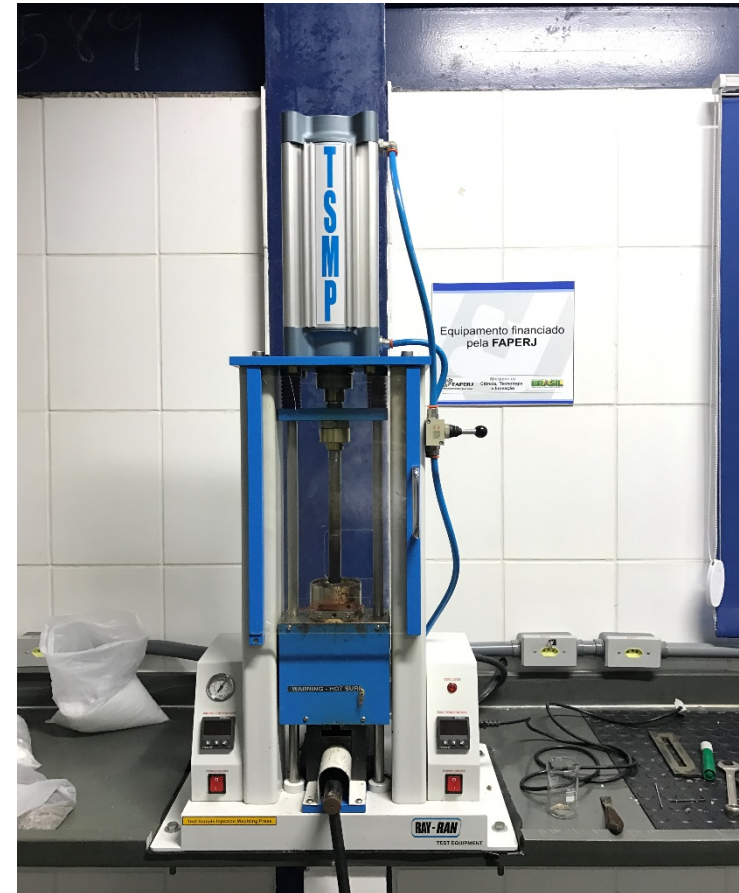
# Materiais e Métodos: Processamento dos compósitos

- **Injeção dos corpos de prova:**  
Na injetora da marca RAY RAM, modelo TSMP
- **Corpos de prova:**  
processados conforme a norma ASTM D 638, possuindo 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3 mm de espessura.



Dimensão nominal	Dimensões, mm		
	Corpos de prova padrões		Corpo de prova reduzido
	Chapa grossa 40 mm	Chapa fina 12,5 mm	6 mm
G – Comprimento da parte útil	200,0 ± 0,2	50,0 ± 0,1	25,0±0,1
W – Largura da parte útil	40,0 ± 2,0	12,5 ± 0,2	6,0±0,1
T – Espessura	Espessura do material		
R – Raio de concordância, min.	25	12,5	6
L – Comprimento total	450	200	100
A – Comprimento da parte útil	225	57	32
B – Comprimento da cabeça	75	50	30
C – Largura da cabeça, aprox.	50	20	10

Fonte: ASTM D 638



Fonte: autora

# Materiais e Métodos:

## Processamento dos compósitos

- **Ensaio de Tração:**

Máquina Universal para Ensaio de Tração, fabricada por EMIC

- Carga de 5 kN

- Velocidade de aplicação de 5 mm/min.

conforme regulamentado pelo padrão ASTM D 638-03.

- **Análise térmica:**

Analizador Térmico Simultâneo Perkin Elmer STA 6000  
Calorimetria Diferencial Exploratória – DSC

- amostras de cerca de 10 mg

- atmosfera de nitrogênio,

- fluxo de 20 mL.min<sup>-1</sup>,

- programa de temperatura: aquecimento de 30°C a 250°C, sob taxa de 10°C.min<sup>-1</sup>



# Resultados & Discussão

## Módulo de Young

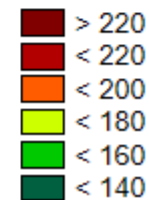
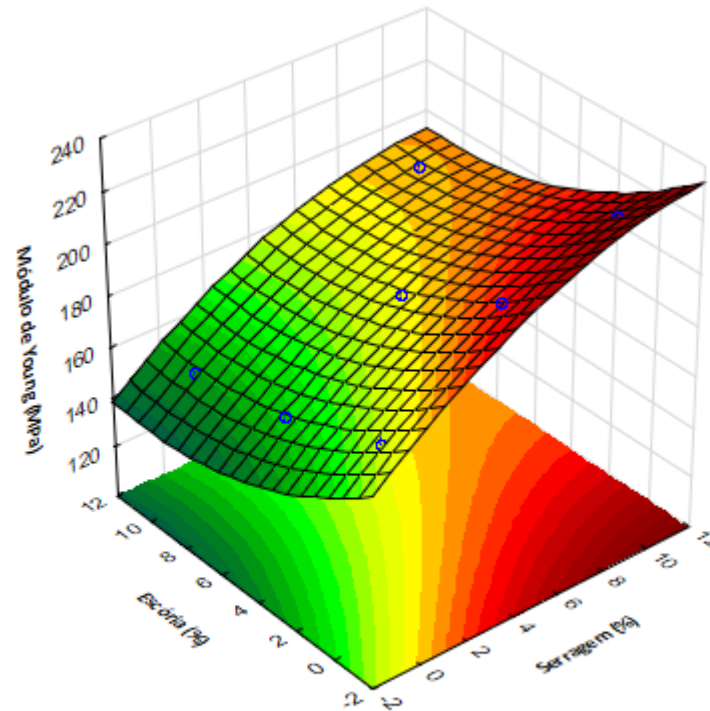
Valores medidos em MPa

		Teor de escória (%)		
		0	5	10
Teor de serragem (%)	0	175,2	159,6	151,8
	5	207,2	186,1	173,2
	10	219,7	195,2	194,0

# Resultados & Discussão

## Análise Multivariada

### Módulo de Young

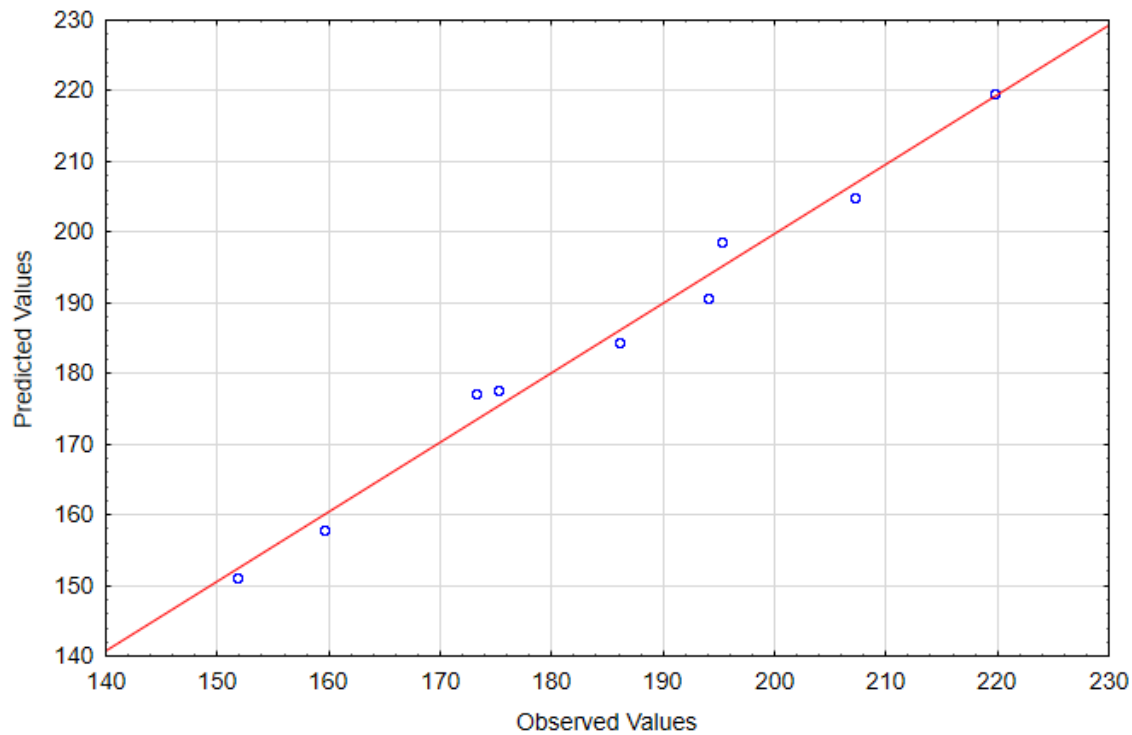


$$z = 177,66 + 6,69x - 0,25x^2 - 5,275y + 0,262y^2 - 0,023xy \quad (R^2 = 0,9856)$$

Onde x representa o percentual de serragem (0, 5 e 10) e y representa o percentual de escória

# Valores observados x Valores previstos

## Módulo de Young



$$R^2 = 0,9856$$

Correlação

# Análise de variância

ANOVA

Módulo de Young

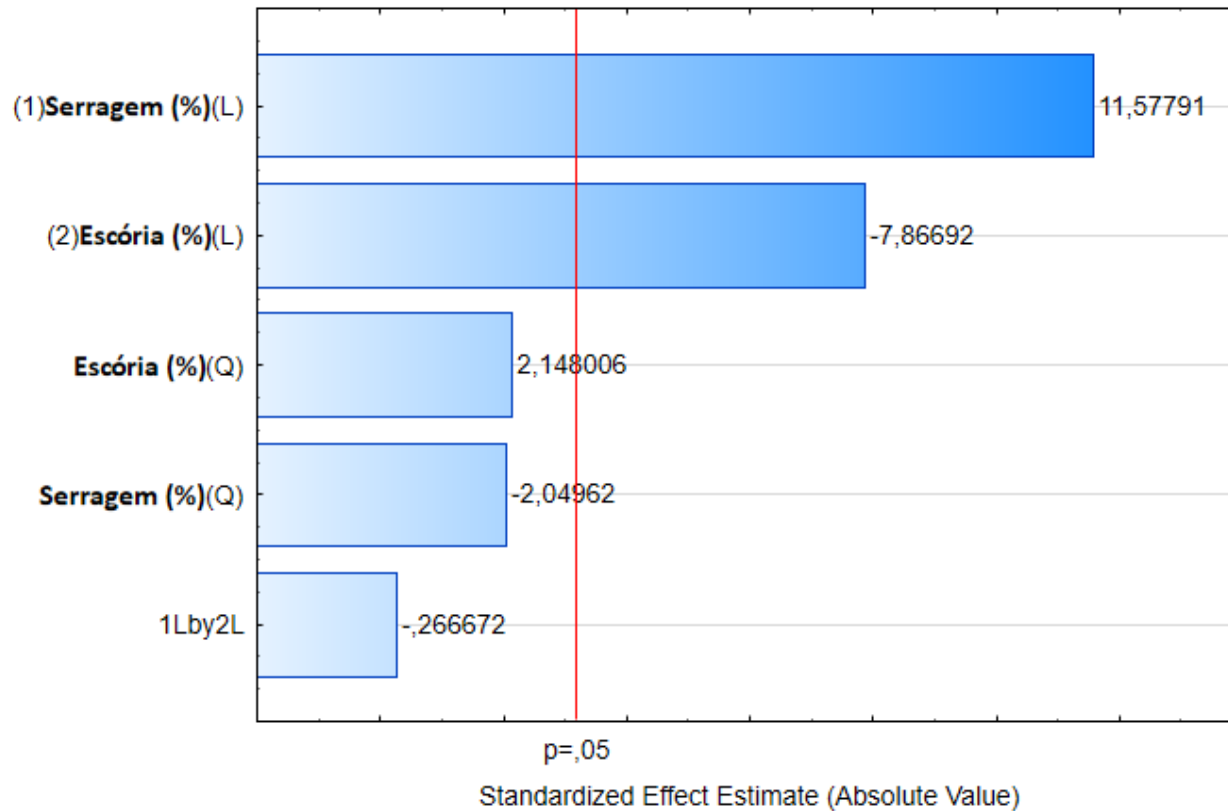
Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	valor-P
Serragem	2492,882	1	134,0479	134,0479	0,001384
Escória	1150,935	1	61,8884	61,8884	0,004279
Erro	55,791	3	18,597		

Boa significância

$$F_{1,3}^{95\%} = 10,13$$

# Gráfico de Pareto

## Módulo de Young



Os gráficos foram feitos no Statistica



# Resultados & Discussão

## Tensão Máxima em Tração

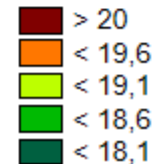
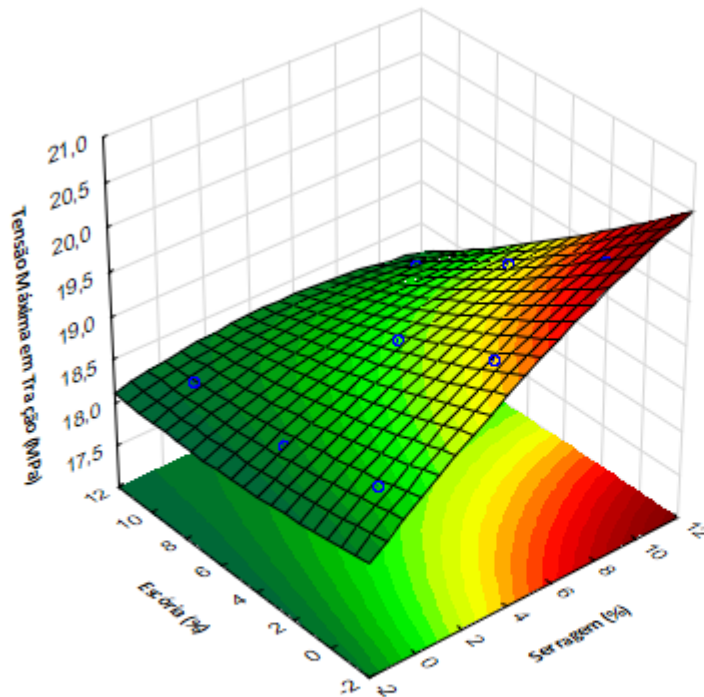
Valores medidos em MPa

		Teor de escória (%)		
		0	5	10
		Teor de serragem (%)		
0	0	18,6	18,3	18,3
	5	19,4	18,9	18,4
	10	19,9	19,2	18,5

# Resultados & Discussão

## Análise Multivariada

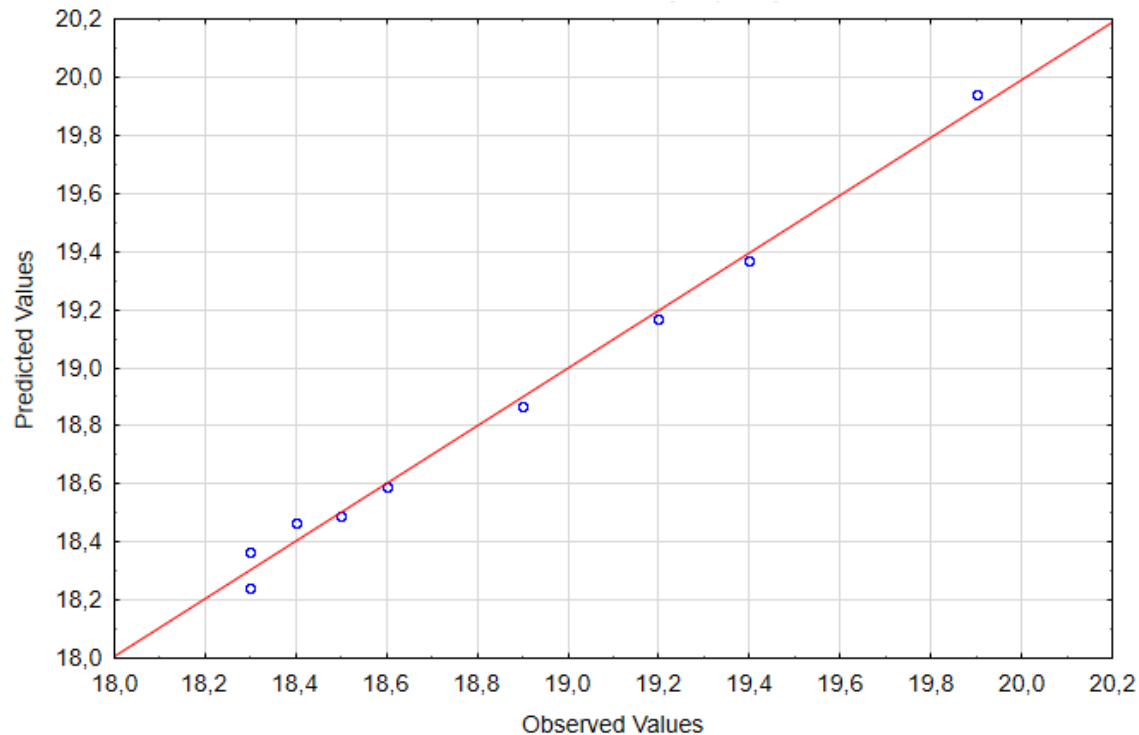
### Tensão Máxima em Tração



$$z = 1,59 + 0,175x - 0,004x^2 - 0,055y + 0,002y^2 - 0,11xy \quad (R^2 = 0,9931)$$
onde  $x$  representa o percentual de serragem e  $y$  representa o percentual de escória

# Valores observados x Valores previstos

## Tensão Máxima em tração



$$R^2 = 0,9931$$

Correlação

# Análise de variância

## ANOVA

### Tensão Máxima em Tração

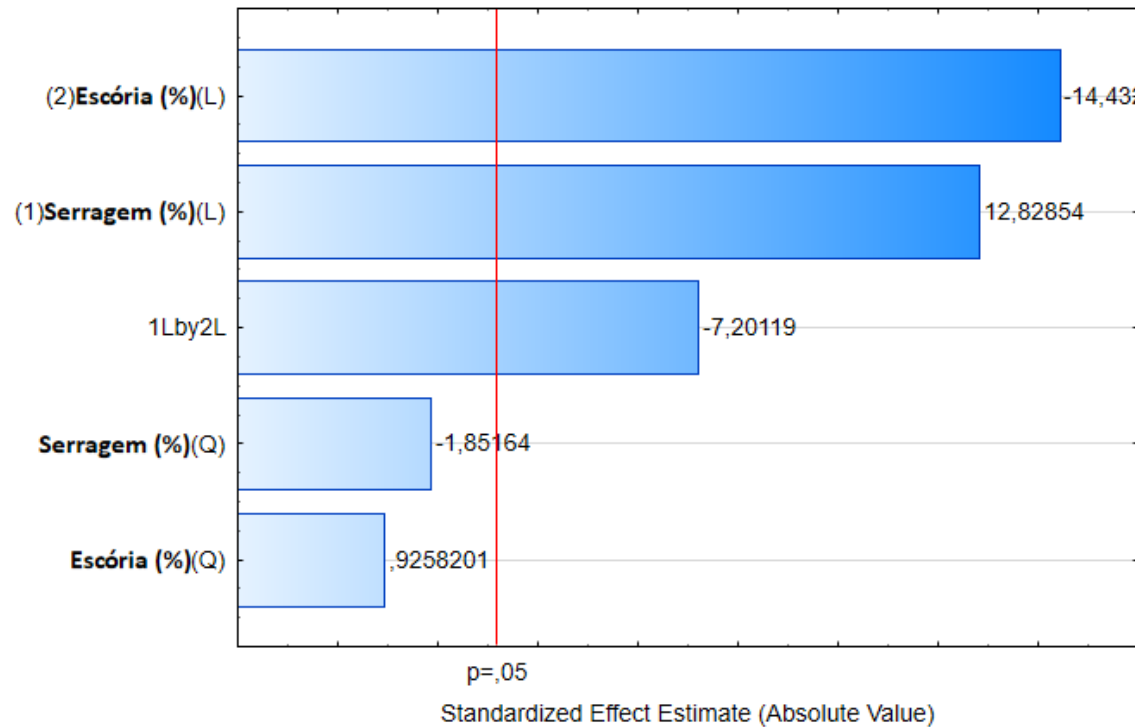
Fator	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F	valor-P
Serragem	0,96	1	0,96	134,0479	0,001384
Escória	1,215	1	1,215	61,8884	0,004279
Erro	0,0175	3	0,005833		

Boa significância

$$F_{1,3}^{95\%} = 10,13$$

# Gráfico de Pareto

## Tensão Máxima em Tração



Os gráficos foram feitos no Statistica

# Resultados & Discussão:

## Análise Térmica

Amostra	Fase de Transição	$\Delta T$ (°C)	Pico(°C)	$\Delta H$ (J/g)	%Cristalinidade
P <sub>100</sub>	Fusão	55,95	169,77	38,5585	27,94
P <sub>95</sub> S <sub>5</sub> E <sub>0</sub>	Fusão	52,44	172,12	35,3369	26,96
P <sub>90</sub> S <sub>10</sub> E <sub>0</sub>	Fusão	50,81	168,10	36,4995	29,37
P <sub>95</sub> S <sub>0</sub> E <sub>5</sub>	Fusão	54,17	170,39	41,5295	31,67
P <sub>90</sub> S <sub>5</sub> E <sub>5</sub>	Fusão	48,43	164,03	32,2982	26,00
P <sub>85</sub> S <sub>10</sub> E <sub>5</sub>	Fusão	40,47	166,16	28,1984	24,03
P <sub>90</sub> S <sub>0</sub> E <sub>10</sub>	Fusão	54,82	166,78	33,0571	26,61
P <sub>85</sub> S <sub>5</sub> E <sub>10</sub>	Fusão	46,52	167,69	34,079	29,05
P <sub>80</sub> S <sub>10</sub> E <sub>10</sub>	Fusão	48,8	167,31	35,3596	32,03

# Resultados & Discussão

- Comportamentos semelhantes nos picos de fusão
- Temperatura média de fusão =  $168 \pm 2,42$  °C
- Precisão do equipamento  $\cong 3\%$
- Teor de cristalinidade entre 24,03 e 32,03%
- Teor médio de cristalinidade =  $28,18 \pm 2,62\%$ .

# Conclusão

## Ensaio Mecânicos:

+ serragem = melhores propriedades de Tensão Máxima e Módulo de Young

10% serragem = ↑ **25,4%** Módulo de Young

10% serragem = ↑ **7%** Tensão Máxima

+ escória = diminui as propriedades de Tensão Máxima e Módulo de Young

10% escória = ↑ **10,7%** Módulo de Young

10% escória = ↑ **0,5%** Tensão Máxima

Quando comparados com o polímero puro

## Análise Térmica:

Não houve diferenças nas temperaturas de fusão dos materiais

Temperatura de fusão média =  **$168 \pm 2,42$  °C**

Teor de Cristalinidade =  **$28,18 \pm 2,62\%$** .



# Conclusão

Dessa forma, no presente trabalho, foram produzidos materiais compósitos a partir da reciclagem de polímeros utilizados em embalagens domésticas com adição de resíduos da agroindústria e da siderurgia.

Os resultados mostraram que a adição dos resíduos, além de contribuir a redução do uso de derivados de petróleo, promove melhores propriedades mecânicas.





Obrigada!