



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

UTILIZAÇÃO DE POLIPROPILENO RECICLADO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

ALUNO: GILSON CARLOS RODRIGUES PAULINO
ORIENTADOR: PROF. DR. BRUNO CHABOLI GAMBARATO
COORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO DE OLIVEIRA MAGNAGO

INTRODUÇÃO

- 
- Alta dependência dos produtos derivados do petróleo;
 - Dentre os derivados do petróleo, os plásticos são utilizados na substituição de produtos de madeira e metal.
 - Seu processamento é mais fácil, porém gera elevado impacto ambiental;
 - A grande versatilidade de forma e resistência dos plásticos permitiu uma ampla margem de produtos com as mais diversas finalidades .
 - Eles se decompõem muito lentamente (alguns tipos necessitam de séculos para se degradar) e vêm acarretando sérios problemas ambientais;
 - Dentro deste contexto, este trabalho visa o reaproveitamento de plástico (polipropileno) utilizado em embalagens domésticas para o desenvolvimento de compósitos com bagaço de cana.

OBJETIVOS

O produto desta dissertação é um material compósito produzido a partir de uma matriz de polipropileno reciclado reforçada com bagaço de cana-de-açúcar.

Assim,

O objetivo geral deste trabalho foi **produzir e caracterizar um compósito polimérico com matriz de polipropileno reciclado reforçado com bagaço de cana-de-açúcar.**

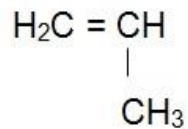


OBJETIVOS ESPECÍFICOS

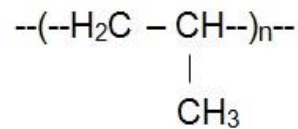
- ❖ Avaliar as modificações estruturais promovidas pelo tratamento utilizando **Difratometria de Raios X e Análise Termogravimétrica**;
- ❖ Preparar **diferentes formulações de compósitos** utilizando a matriz de polipropileno reciclado reforçado com **bagaço de cana in natura e tratado**;
- ❖ Avaliar, por meio de **Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)**, a influência do bagaço de cana sobre as propriedades térmicas do material (Temperatura de Fusão, Temperatura de Cristalização), bem como sobre o índice de cristalinidade;
- ❖ Realizar **ensaios de tração e flexão**, visando obter informações acerca das propriedades mecânicas do material e da interação entre a fibra e a matriz;

FUNDAMENTAÇÃO

Plásticos (naturais ou sintéticos) são macromoléculas formadas pela múltipla repetição de uma ou mais unidades estruturais (monômeros).



Propileno (monômero)



Polipropileno – PP (polímero)

Os mais consumidos são os Polietilenos de alta (PEAD) e de baixa (PEBD) densidade, Polipropilenos (PP), Poliestirenos (PS), Policloreto de vinila (PVC), os Polietilenos (PET), e Poliésteres, sendo chamados de commodities devido à grande produção e aplicação destes materiais.

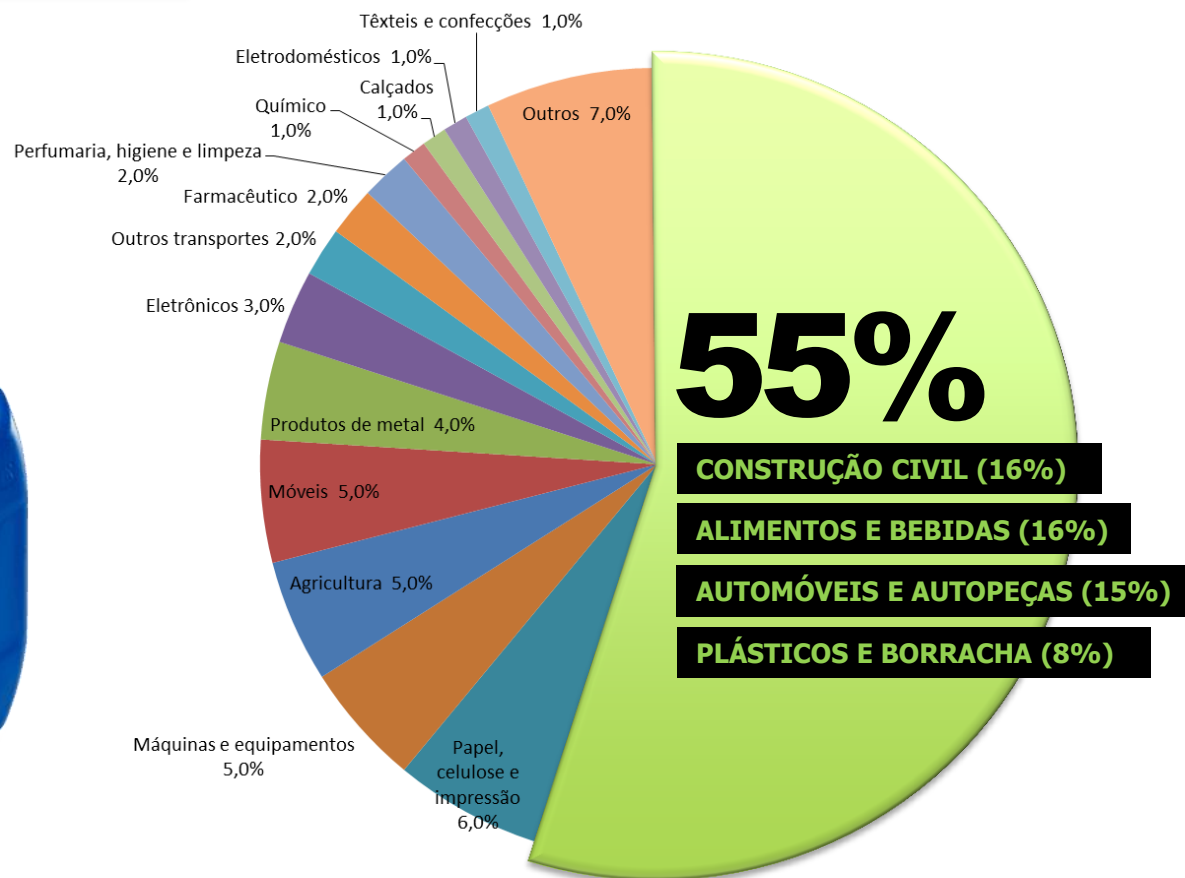


PRODUÇÃO E CONSUMO

- Estima-se que a produção total de resinas termoplásticas hoje seja de aproximadamente 250 milhões de toneladas.
- No contexto global, a participação brasileira na produção mundial de resinas termoplásticas, de 6,5 milhões de toneladas, representa 2,7% da produção mundial, sendo a mais significativa da América Latina.



CONSUMO DE PLÁSTICO POR SETOR



BIOMASSA

As biomassas de origem vegetal são abundantes e versáteis.

São tecidos estruturais das plantas, unidas principalmente por lignina, um polifenol presente em aproximadamente 25% da matéria dos vegetais.



CANA-DE-AÇÚCAR



BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

FIBRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Atualmente, o bagaço da cana-de-açúcar é um dos subprodutos lignocelulósicos mais abundantes do Brasil (180 milhões de toneladas/ano).

Apesar do Brasil ter uma posição de destaque no aproveitamento integral de biomassas, as pesquisas voltadas para a utilização industrial destes recursos ainda está em estágios muito iniciais de estudos e de montagem de projetos economicamente viáveis.



**1 TONELADA DE
CANHA DE AÇÚCAR**



**150 QUILOS DE BAGAÇO
(BASE SECA)**

Composição:

- Celulose
- Hemiceluloses
- Lignina
- Cinzas
- Extrativos

COMPÓSITOS

Materiais compósitos são resultantes da combinação entre dois ou mais materiais de modo a formar um novo produto com características diferentes dos seus constituintes originais.

Geralmente apresentam propriedades diferentes da matriz

VANTAGENS:

- Obtenção de melhores propriedades para o material
- Aproveitamento de resíduos
- Redução de custos e aumento do valor agregado ao produto

MATERIAIS E MÉTODOS

POLIPROPILENO

Coleta de utensílios variados (cozinha, escritório, embalagens, etc.) que foram lavados, triturados e depois misturados ao bagaço da cana-de-açúcar para formar as misturas do compósito.

OBTENÇÃO DA BIOMASSA

O bagaço de cana-de-açúcar foi obtido diretamente com o produtor na cidade de Canas – SP. O bagaço foi recebido, desmedulado e lavado com água até total remoção dos açúcares da cana. Procedeu-se, então, a secagem do material em estufa sob temperatura em torno de 100°C. Posteriormente, o material foi moído e armazenado.



TRATAMENTO HIDROTÉRMICO

A biomassa foi submetida ao tratamento hidrotérmico, com o objetivo de remover os extrativos e compostos de baixa massa molar presentes na fibra.

O processo ocorreu em erlenmeyers de 1 L, contendo bagaço de cana moído (50 mesh) e água destilada (relação sólido:líquido de 1:10), em autoclave sob temperatura de 121°C por 45 min.

Após o resfriamento, o material foi filtrado, seco e armazenado.

OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

Amostra	Tipo de fibra reforçada	Quantidade de PP (% m/m)	Quantidade de reforço (% m/m)
PP	---	100	---
PP5B	Fibra <i>in natura</i>	95	5
PP5BT	Fibra tratada	95	5
PP10B	Fibra <i>in natura</i>	90	10
PP10BT	Fibra tratada	90	10

OBTENÇÃO DOS COMPÓSITOS

HOMOGENEIZAÇÃO

TRITURAÇÃO

INJEÇÃO DOS CORPOS
DE PROVA

ASTM D 638-03 e D 790-03



MH Equipamentos
MH 50H



Moinho de Facas
Plastmix



RAY RAM - TSMP
300° C

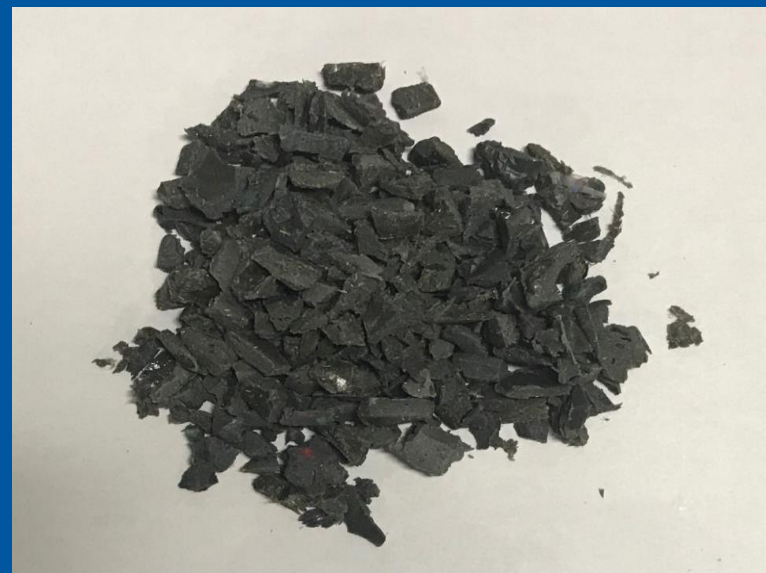
PP RECICLADO - PURO



MISTURA DO PP E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR; COMPÓSITOS HOMOGENEIZADOS.



PP Reciclado Homogeneizado



PP Reciclado – 10% IN

CARACTERIZAÇÕES

DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)

O bagaço in natura e o bagaço tratado foram submetidos à difratometria de Raios X em um difratômetro da marca Shimadzu modelo XRD 6100 (Figura 14), disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UNIFOA, com fonte de radiação $\text{CuK}\alpha$, e voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, varredura 0,05 ($2\theta/5s$) para valores de 2θ entre 10 e 50°.



CARACTERIZAÇÕES

CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA

O PP puro e os compósitos foram submetidos à Calometria Diferencial Exploratória DSC, num Analisador Térmico Simultâneo STA-6000 da Perkin Elmer, com fluxo de N_2 de 20 $ml\ min^{-1}$, utilizando cerca de 15mg de amostra.

As amostras foram submetidas a análise, utilizando uma taxa de aquecimento constante de $15^{\circ}C.min^{-1}$ nas temperaturas de 30 a $240^{\circ}C$.



CARACTERIZAÇÕES

ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de processamento de materiais do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), em um equipamento da marca EMIC DL-10000, com célula de carga de 5 kN, em temperatura ambiente e a uma velocidade de 5 mm.min⁻¹.

Para cada compósito avaliado, foram ensaiados cinco corpos de prova com dimensões de acordo com a norma ASTM D 638 – 03 com 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3 mm de espessura.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

AVALIAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES ESTRUTURAIS PROMOVIDAS PELO TRATAMENTO

As características estruturais do bagaço de cana e as modificações causadas pelo tratamento químico foram avaliadas por meio das análises de Difratometria de Raios X (DRX)

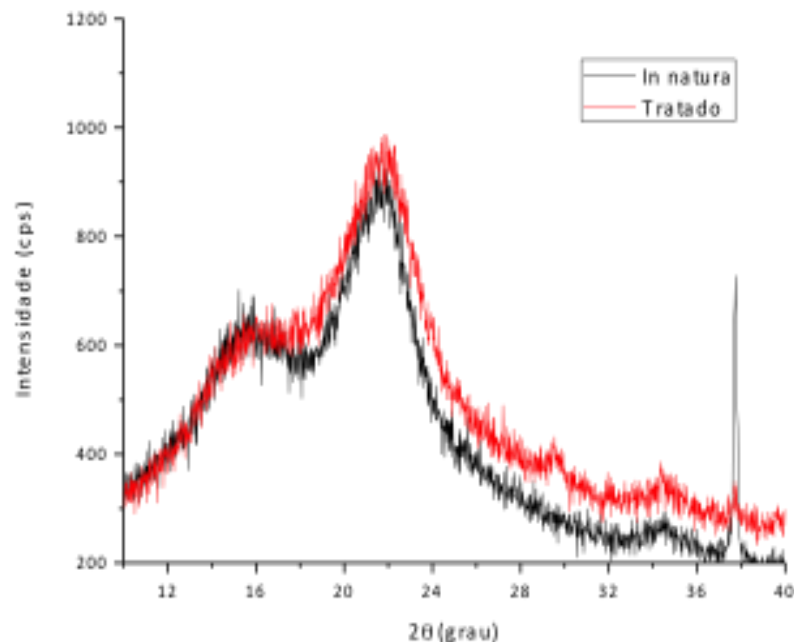


RESULTADOS E DISCUSSÃO

DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

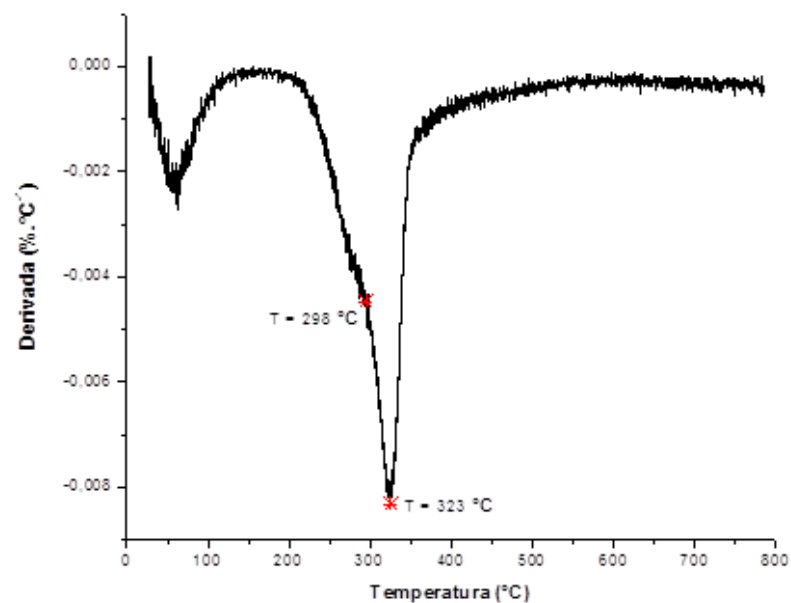
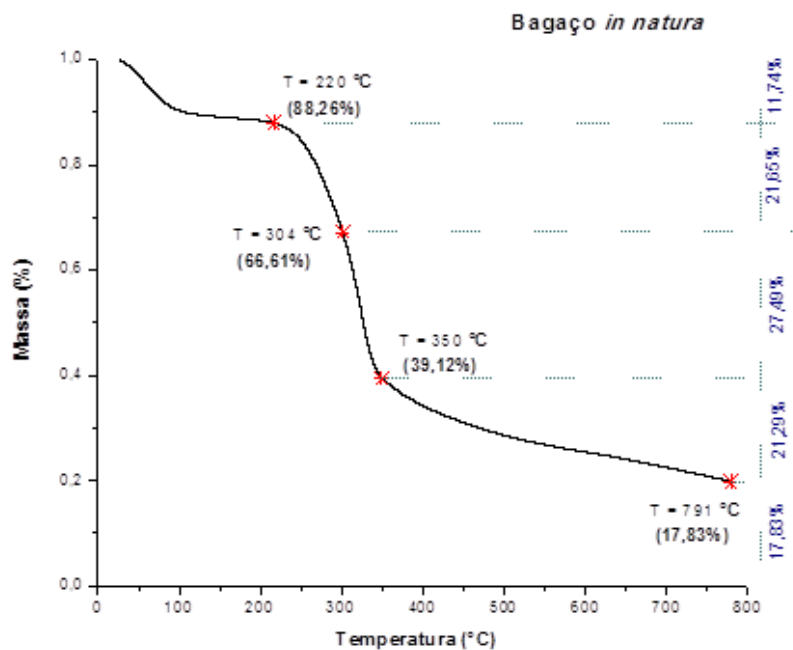
Os difratogramas de Raios X do bagaço da cana-de-açúcar in natura e tratado são mostrados no gráfico 2, que mostra um comportamento típico de uma biomassa vegetal (LAURICHESSE, 2014), que exhibe estrutura semicristalina.

Material	$I_{(002)}$	$I_{(am)}$	I_c (%)
Bagaço <i>in natura</i>	890	642	27,90%
Bagaço tratado	950	651	31,47%



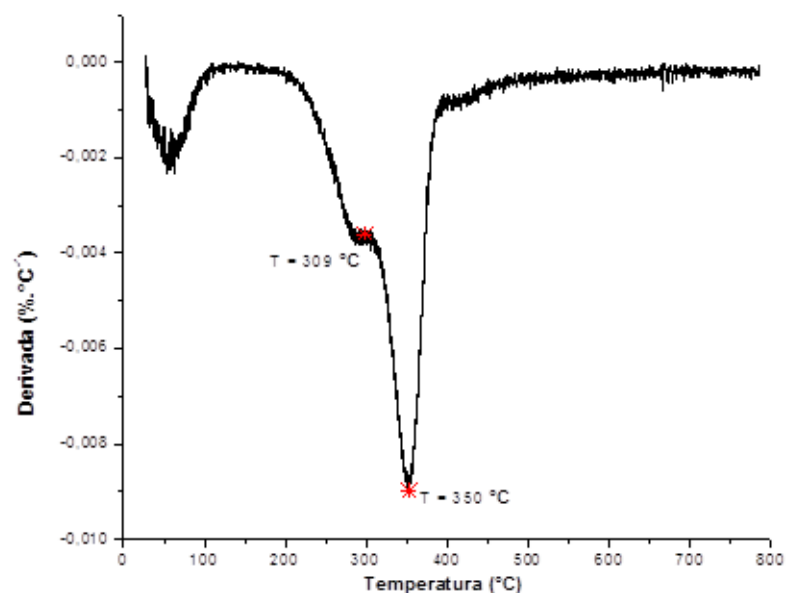
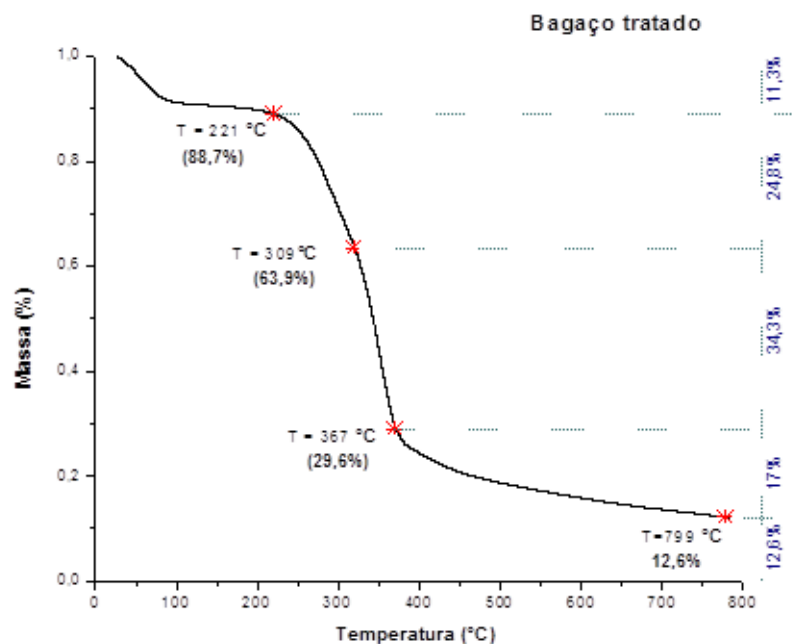
RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA



RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA



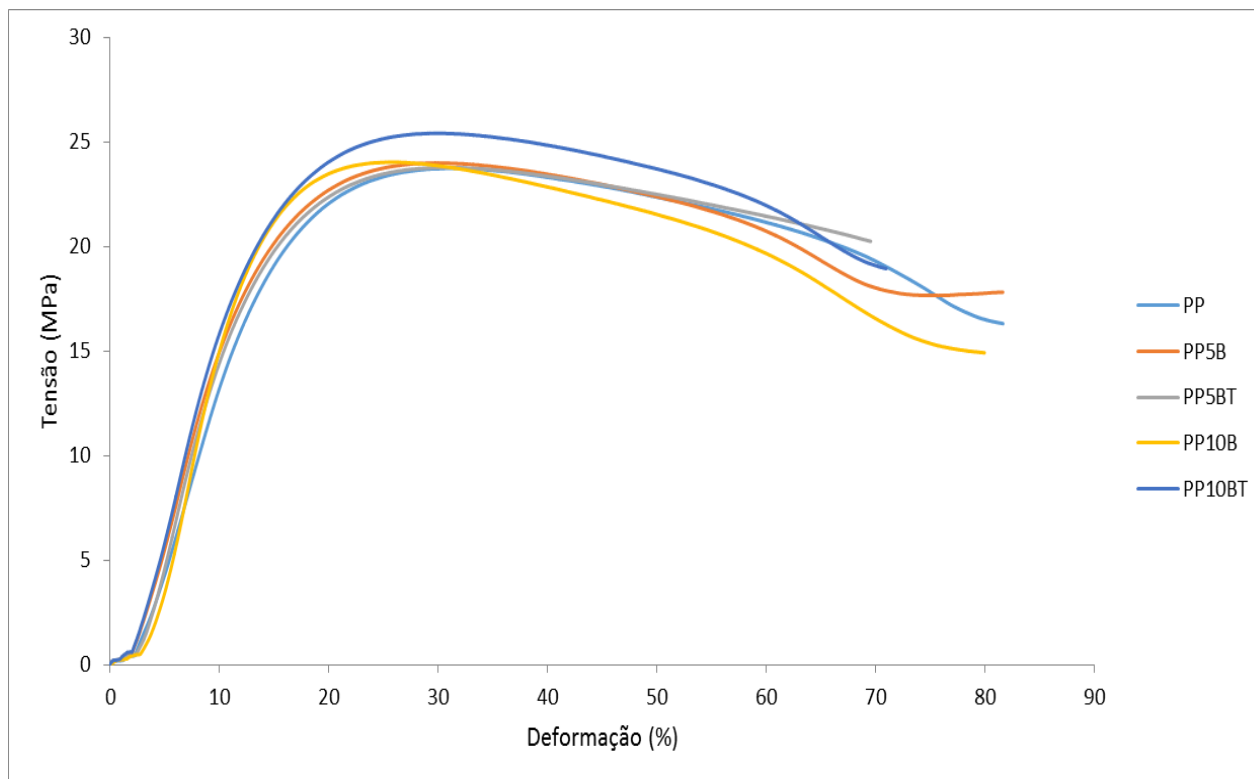
RESULTADOS E DISCUSSÃO

PARÂMETROS DA ANÁLISE TÉRMICA

Amostra	Umidade	Celulose + Hemiceluloses	Celulose + Lignina	Lignina	Carvão Residual
Fibra IN	11,74% (até 100°C)	21,51% (220 a 304°C)	27,49% (304 a 350°C)	21,29% (350 a 800°C)	17,83%
Fibra TRAT	11,3% (até 100°C)	24,8% (221 a 309°C)	34,3% (309 a 367°C)	17% (367 a 800°C)	12,6%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS COMPÓSITOS



Comportamento mecânico do PP puro e seus compostos no ensaio de Tração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 mostra os valores do módulo de elasticidade e tensão máxima, obtidos dos ensaios mecânicos das misturas preparadas com diferentes quantidades de reforço. Os efeitos tanto do tipo de fibra quanto da quantidade de reforço foram comparados aos valores do PP puro.

Parâmetros obtidos por meio do ensaio de tração.

Amostra	PP	BAGAÇO	BAGAÇO TRATADO	MÓDULO ELAST (MPa)	Tensão máxima (MPa)
PP	100%	-	-	296 ± 18,40	24,07 ± 0,4
PP5B	95%	5%	-	349 ± 21,70	24,35 ± 0,2
PP5BT	95%	-	5%	363 ± 12,30	24,70 ± 0,4
PP10B	90%	10%	-	372 ± 16,50	24,12 ± 0,5
PP10BT	90%	-	10%	401 ± 26,90	25,64 ± 0,3

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Módulos de elasticidade obtidos nos compósitos reforçados com fibras *in natura* e no PP puro.

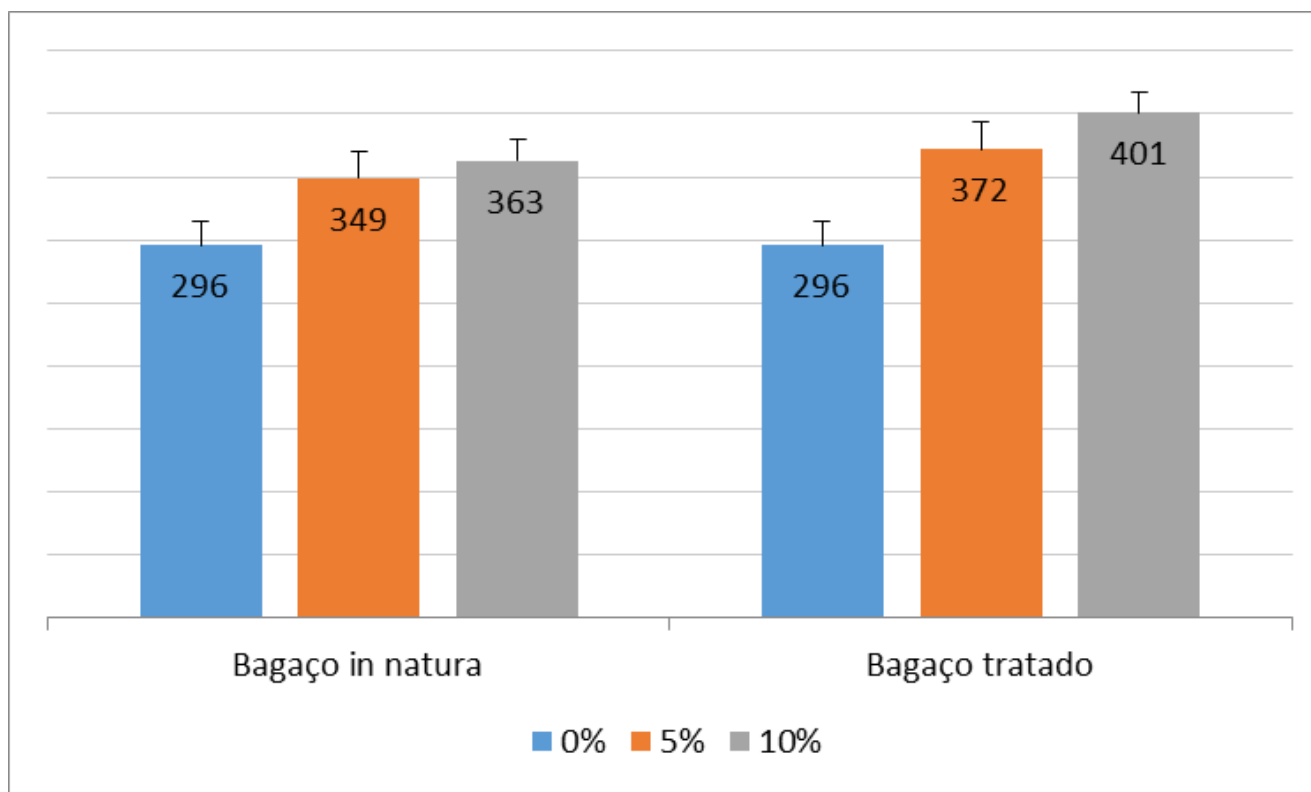


Figura 5 - Modulo de Elasticidade dos compósitos em função da composição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CALORIMETRIA DIFERENCIAL EXPLORATÓRIA

O PP puro e os compósitos foram analisados por Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC), com o objetivo de verificar se a adição das fibras e o tratamento promoveram alterações significativas na cristalinidade e na fusão. As figuras a seguir demonstram o comportamento das curvas de DSC do PP puro e seus compósitos, respectivamente.

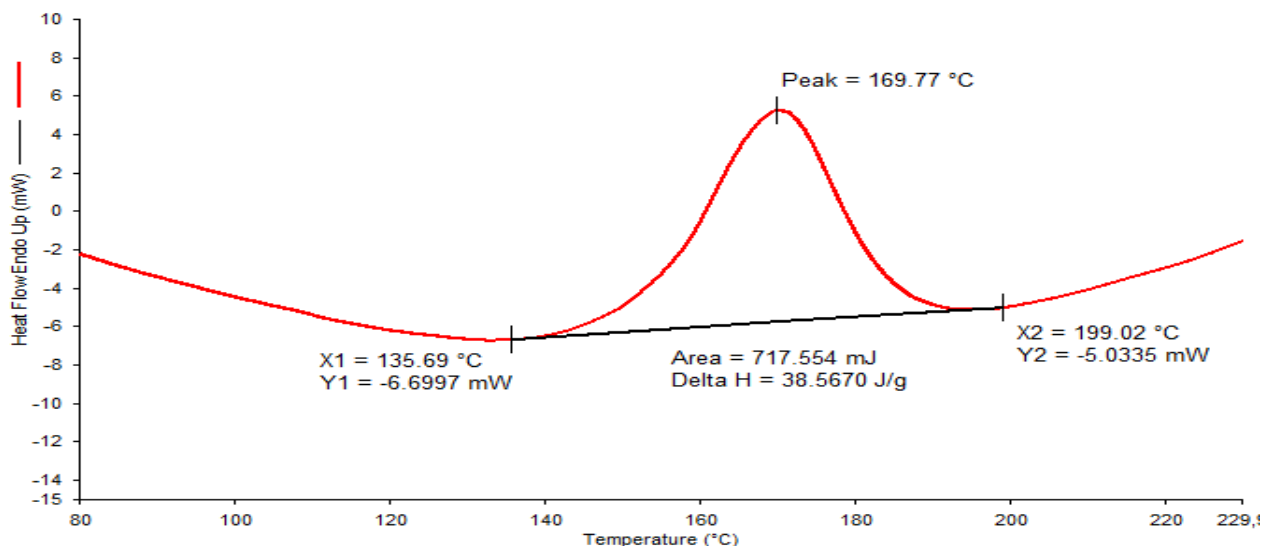


Figura 6 - Curva DSC do PP puro

RESULTADOS E DISCUSSÃO

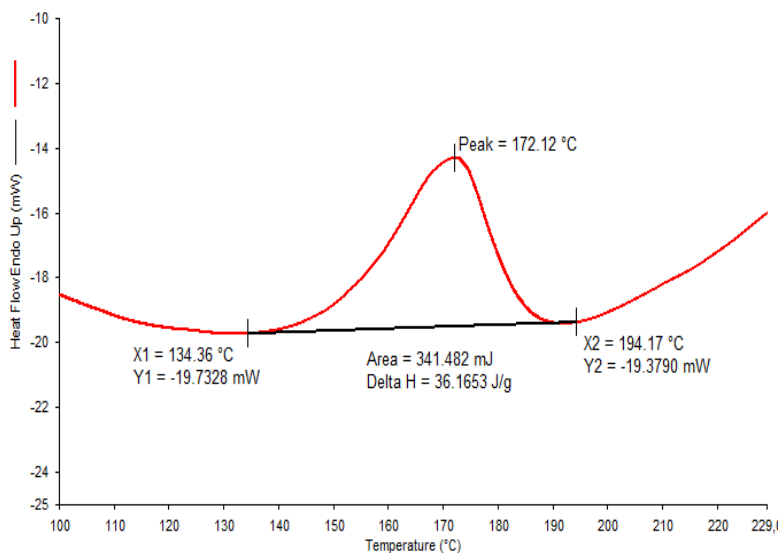


Figura 7 - Curva DSC do PP com 5% de bagaço in natura

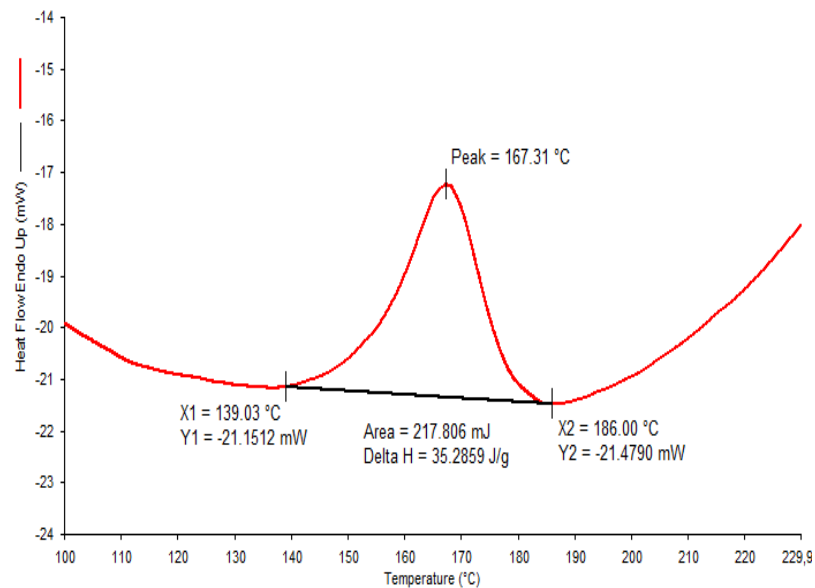


Figura 8 -Curva DSC do PP com 5% de bagaço tratado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

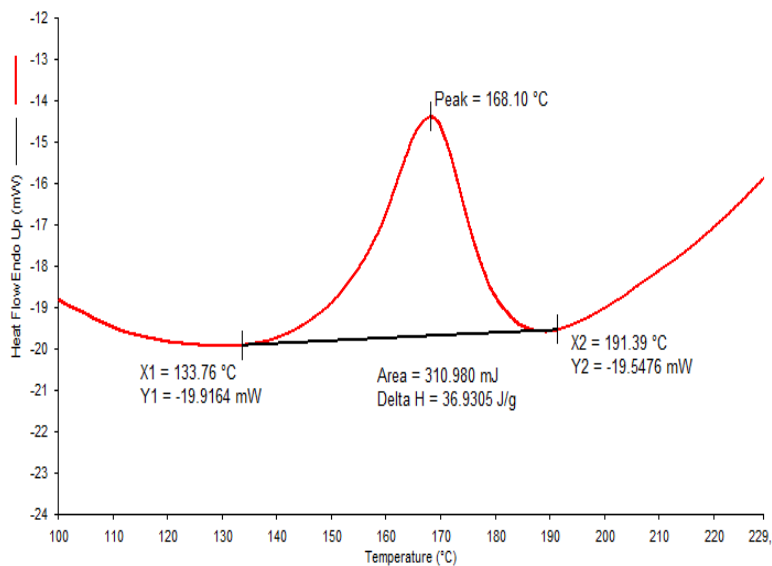


Figura 9 - Curva DSC do PP com 10% de bagaço in natura

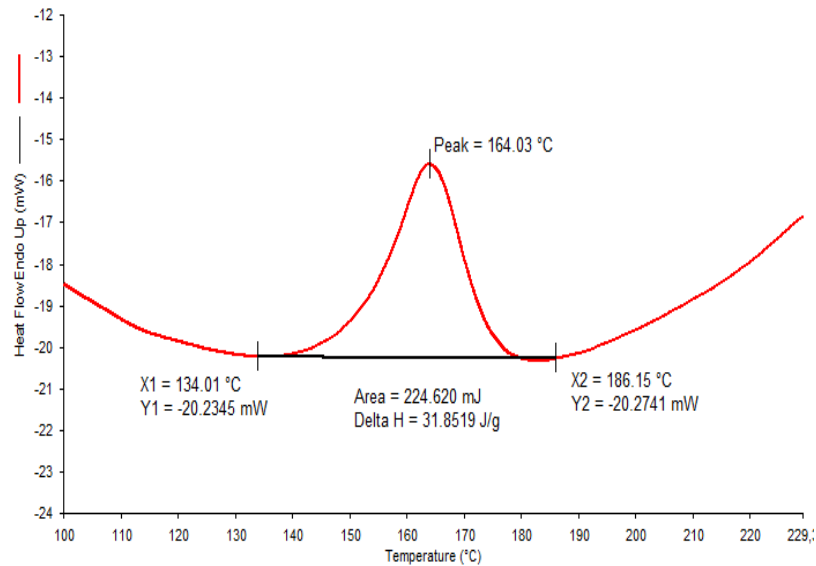


Figura 10 - Curva DSC com 10% de bagaço tratado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Amostra	T1 (°C)	T2 (°C)	Pico (°C)	ΔH (J/g)	% Crist
PPPURO	135,69	199,02	169,77	38,57	0,22
PP5B	134,36	194,17	172,12	36,17	0,20
PP5BT	139,03	186,00	167,31	35,29	0,20
PP10B	133,76	191,39	168,10	36,93	0,21
PP10BT	134,01	168,15	164,03	31,85	0,18

Tabela 4 - Parâmetro da análise térmica

Não houve diferenças significativas na temperatura de fusão dos materiais

A temperatura média do pico: 168,27°C

A adição de biomassa promove uma **diminuição na cristalinidade dos compósitos**.

Essa redução parece ser mais acentuada nas amostras contendo bagaço tratado. Tal fato sugere que nos compósitos com bagaço tratado há **maior interação entre a fibra e a matriz polimérica**, como foi visto no ensaio de tração.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- A adição de bagaço de cana-de-açúcar à formulação do compósito resultou no incremento das propriedades mecânicas, como mostrado nos ensaios de tração. Os compósitos produzidos com bagaço tratado foram os que exibiram os melhores resultados, o compósito com 10% de bagaço tratado teve um ganho de 35% no módulo de elasticidade e de 6,5% na tensão máxima. Esse fato pode ser resultado da melhor interação entre as fibras tratadas e a matriz polimérica;
- Os efeitos da interação fibra-matriz também foram detectados na análise térmica. Os materiais compósitos apresentaram menores índices de cristalinidade, sendo o compósito com adição de 10% de bagaço de cana tratado aquele que obteve o melhor resultado, 18%, ou seja, 4% menor do que o PP puro. A interação molecular que ocorre entre a fibra e a matriz diminui a formação de cristais e os compósitos produzidos com bagaço tratado apresentaram as menores cristalinidades;

CONCLUSÕES

No que tange as temperaturas de fusão e cristalização, não há diferença significativa nesses parâmetros para as condições estudadas;

Portanto, foram obtidos a partir deste trabalho materiais compósitos, formulados a partir da mistura de bagaço cana-de-açúcar com polipropileno reciclado, o que demanda menores teores de derivados do petróleo, subprodutos da agroindústria com boas propriedades mecânicas, capazes de atender o mercado brasileiro.

