



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC**  
**PROGRAMA DE MESTRADO EM GESTÃO E TECNOLOGIA**  
**INDUSTRIAL**

**José Jorge Pimentel Miguel**

**Estudo Comparativo das Propriedades Térmicas e  
Mecânicas do Polipropileno Reforçado com Óxido de  
Zinco, Carbonato de Cálcio e Talco**

Salvador  
Dezembro/2010

**José Jorge Pimentel Miguel**

**Estudo Comparativo das Propriedades Térmicas e  
Mecânicas do Polipropileno Reforçado com Óxido de  
Zinco, Carbonato de Cálcio e Talco**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade Tecnologia SENAI CIMATEC como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Mauricio Pachekoski

Co-orientador: MSc. Josiane Dantas

Salvador

Dezembro/2010

José Jorge Pimentel Miguel

**Estudo Comparativo das Propriedades Térmicas e Mecânicas do Polipropileno Reforçado com Óxido de Zinco, Carbonato de Cálcio e Talco**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia Industrial, Faculdade de Tecnologia SENAI Cimatec

Aprovada em 20 de Dezembro de 2010.

**Banca Examinadora**

Orientador: Wagner Mauricio Pachekoski, Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil  
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

Membro externo da Banca: Marcio Luis Ferreira Nascimento, Doutor em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil  
Instituto de Humanidades, Artes & Ciências Professor Milton Santos – IHAC,  
Universidade Federal da Bahia – UFBA

Membro interno da Banca: Carla Dalmolin, Doutora em Química pela Universidade de São Carlos, São Carlos, Brasil  
Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus que guia e protege todos meus passos. A minha esposa, que me incentivou e nunca deixou de acreditar no meu potencial. Aos meus pais pelo apoio ao meu desenvolvimento acadêmico, no decorrer da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por sempre guiar as etapas da minha vida proporcionando vitórias tão importantes.

Ao Prof. Dr. Wagner Mauricio Pachekoski, pela orientação, paciência e dedicação neste trabalho.

A Dr. Josiane Dantas, pela orientação, paciência e dedicação neste trabalho.

A Ricardo da FORD pela compreensão e apoio por meio das liberações semanais, para conclusão deste trabalho.

A Vander pela incomensurável ajuda durante todo trabalho no laboratório do SENAI.

Aos técnicos e amigos do SENAI, principalmente da área de polímeros, pela ajuda durante todo o trabalho.

A FORD pelo subsídio e oportunidade de realizar este mestrado.

Aos amigos e familiares que sempre tiveram uma palavra de incentivo.

A todos, que direta ou indiretamente contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional por intermédio da realização deste trabalho.

# SUMÁRIO

---

LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE SIGLAS.....	vi
ANEXOS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. JUSTIFICATIVA.....	3
3. OBJETIVO GERAL.....	4
3.1 Objetivos Específicos.....	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Polímeros.....	5
4.2 Tipos de Polímeros.....	6
4.2.1 Quanto ao Comportamento Térmico.....	6
4.2.2 Quanto ao Comportamento Mecânico.....	7
4.3 Polipropileno (PP).....	8
4.3.1 Estrutura do PP.....	10
4.3.2 Cristalinidade e Propriedades Térmicas do PP.....	11
4.3.3 Propriedades Mecânicas do PP.....	12
4.3.4 Usos Industriais do PP.....	13
4.4 Cargas Minerai.....	14
4.4.1 Adição de Cargas Minerai.....	15
4.4.1.1 Carbonato de Cálcio.....	16
4.4.1.2 Talco.....	19
4.4.1.3 Óxido de Zinco .....	22
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
5.1 Materiais.....	24
5.1.1 Polipropileno.....	24
5.1.2 Carbonato de Cálcio.....	24
5.1.3 Talco.....	25

5.1.4 Óxido de Zinco.....	25
5.2 Métodos.....	25
5.2.1 Preparo das Misturas.....	26
5.2.2 Processamento dos compósitos.....	26
5.2.3 Estudo das Propriedades Térmicas.....	27
5.2.3.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) .....	27
5.2.3.2 Índice de Fluidez (MFI) .....	28
5.2.4 Estudo das Propriedades Mecânicas.....	28
5.2.4.1 Resistência a Tração, Resistência a Flexão .....	28
5.2.4.2 Resistência ao Impacto Izod, com Entalhe.....	29
5.2.4.3 Variação Dimensional.....	29
5.2.5 Estudo das Propriedades Morfológicas.....	29
5.2.5.1 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) .....	29
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1 Ensaio de Resistência a Tração.....	30
6.2 Ensaio de Resistência a Flexão.....	31
6.3 Ensaio de Módulo de Elasticidade.....	33
6.4 Ensaio de Dureza Shore D.....	35
6.5 Ensaio de Resistência ao Impacto Izod, com Entalhe.....	36
6.6 Ensaio da Variação Dimensional.....	39
6.7 Ensaio do Índice de Fluidez (MFI) .....	40
6.8 Ensaio de Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) .....	42
6.9 Ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	44
6.10 Ensaio Morfológico de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)...	51
6.10.1 MEV do Carbonato de Cálcio.....	51
6.10.2 MEV do Talco.....	54
6.10.3 MEV do Óxido de Zinco.....	57
6.11 Estudo de Viabilidade Econômica do Óxido de Zinco.....	59
7. CONCLUSÕES.....	62
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	63
9. ANEXOS.....	64
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência da cristalinidade em certas propriedades mecânicas do polipropileno.....	13
Tabela 2: Propriedades do Polipropileno.....	24
Tabela 3: Características do Carbonato de Cálcio.....	25
Tabela 4: Características do Talco.....	25
Tabela 5: Características do Óxido de Zinco.....	25
Tabela 6: Condições de Extrusão dos compósitos.....	26
Tabela 7: Condições de injeção dos compósitos.....	27
Tabela 8: Resultados dos Ensaios de Tensão Máxima.....	33
Tabela 9: Resultados dos Ensaios de Deformação na Ruptura.....	33
Tabela 10: Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade sob Flexão.....	33
Tabela 11: Resultados dos Ensaios de Dureza.....	35
Tabela 12: Resultados dos Ensaios de Impacto com Entalhe.....	38
Tabela 13: Resultados dos Ensaios de Variação Dimensional.....	39
Tabela 14: Resultados dos Ensaios do Índice de Fluidez (MFI).....	41
Tabela 15: Resultados dos Ensaios do HDT.....	43
Tabela 16: Resultados dos Ensaios de DSC.....	51
Tabela 17: Estudo de Viabilidade Econômica do Óxido de Zinco.....	61
Tabela 18: Ensaios Termomecânicos.....	62



## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Reação de polimerização do monômero etileno.....	5
Figura 2: Estrutura molecular do monômero e do polímero celulose.....	6
Figura 3: Representação simplificada de cadeias poliméricas reticuladas.....	7
Figura 4: Estrutura molecular do mero do polipropileno.....	10
Figura 5: Configurações do PP: a) isotático b) sindotático c) atático.....	11
Figura 6: Resultados dos Ensaio de Propriedades Mecânicas.....	33
Figura 7: Resultados dos Ensaio de Propriedades Mecânicas.....	34
Figura 8: Resultados dos Ensaio de Propriedades Mecânicas.....	34
Figura 9: Resultados dos Ensaio de Dureza.....	36
Figura 10: Resultados dos Ensaio de Impacto com Entalhe.....	38
Figura 11: Resultados dos Ensaio de Variação Dimensional.....	40
Figura 12: Resultados dos Ensaio do Índice de Fluidez (MFI) .....	42
Figura 13: Resultados dos Ensaio de HDT.....	44
Figura 14: Curva DSC para o compósito PP/CaCO <sub>3</sub> (90/10) .....	46
Figura 15: Curva DSC para o compósito PP/CaCO <sub>3</sub> (80/20) .....	46
Figura 16: Curva DSC para o compósito PP/CaCO <sub>3</sub> (70/30) .....	47
Figura 17: Curva DSC para o compósito PP/Talco (90/10) .....	47
Figura 18: Curva DSC para o compósito PP/Talco (80/20) .....	48
Figura 19: Curva DSC para o compósito PP/Talco (70/30) .....	48
Figura 20: Curva DSC para o compósito PP/ZnO (90/10) .....	49
Figura 21: Curva DSC para o compósito PP/ZnO (80/20) .....	49
Figura 22: Curva DSC para o compósito PP/ZnO (70/30) .....	50
Figura 23: Curva DSC para o PP puro.....	50
Figura 24: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (100x).....	53
Figura 25: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (1000x).....	53
Figura 26: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (5000x).....	54
Figura 27: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (10.000x).....	54

Figura 28: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (100x).....	56
Figura 29: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (1000x).....	56
Figura 30: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (5000x).....	57
Figura 31: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (10.000x).....	57
Figura 32: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (100x).....	58
Figura 33: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (1000x).....	59
Figura 34: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (5000x).....	59
Figura 35: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (10.000x).....	60
Figura 36: Fluxograma do processo de otimização do processamento das misturas PP/CaCO <sub>3</sub> /Talco/ZnO.....	64

## LISTAS DE SIGLAS

PP – Polipropileno  
CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de Cálcio  
ZnO – Óxido de Zinco  
DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial  
T<sub>g</sub> – Temperatura de Transição Vítrea  
T<sub>c</sub> – Temperatura de Cristalização  
T<sub>m</sub> – Temperatura de Fusão  
HDT – Temperatura de Deflexão Térmica  
MFI – Índice de Fluidez  
PE – Polietileno  
PS – Poliestireno  
PVC – Cloreto de Polivinila  
BN – Borracha Natural  
N – Nitrogênio  
H – Hidrogênio  
O – Oxigênio  
F – Fluor  
PET – [poli(tereftalato de etileno)]  
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

## ANEXOS

Anexo 1: Fluxograma do processo de otimização do processamento das misturas PP/CaCO <sub>3</sub> /Talco/ZnO.....	56
--	----

## RESUMO

Poliolefinas reforçadas com cargas particuladas têm sido utilizadas em uma grande variedade de aplicações industriais devido à obtenção de propriedades específicas, otimizadas e de baixo custo. Cargas como carbonato de cálcio e talco são estudadas e utilizadas industrialmente, com este objetivo. Porém, materiais particulados como óxido de zinco, amplamente utilizados como aditivo para borrachas e como fungicida em polímeros, não possuem estudos na literatura referenciando o seu uso como carga de reforço. Com o intuito de preencher esta lacuna na literatura foram avaliadas as propriedades termomecânicas de compósitos de polipropileno reforçados com óxido de zinco nas proporções de 10%, 20% e 30%. A fim de realizar uma análise comparativa foram realizadas ainda caracterizações de compósitos reforçados com talco e carbonato de cálcio nas mesmas composições. Com intuito de realizar esta comparação foram realizados os ensaios térmicos de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), Temperatura de Distorção Térmica (HDT), Índice de Fluidez (MFI), Ensaio Mecânico de Resistência a Tração, Resistência a Flexão, Dureza, Variação Dimensional e Resistência ao Impacto Izod, com entalhe. Com o intuito de realizar a análise morfológica das misturas, utilizou-se da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para realizar tal intuito. Como principais resultados verificou-se, como esperado, a característica de aumento da fragilidade e rigidez das misturas de polipropileno reforçadas com talco e carbonato. Estas misturas apresentaram ainda uma baixa adesão superficial com o polipropileno. Diferentemente das cargas convencionais, o óxido de zinco apresentou uma característica de tenacificação do polipropileno, aumentando a resistência ao impacto do polipropileno. Avaliações morfológicas demonstraram ainda que esta carga apresenta uma maior adesão a matriz de polipropileno, além de dimensões de partícula quatro vezes menores que as do carbonato de cálcio.

**Palavras-chave:** polipropileno, talco, carbonato de cálcio, óxido de zinco, carga de reforço

## ABSTRACT

Polyolefin reinforced with particulate fillers have been used in a wide variety of industrial applications in order to obtain specific optimized and low cost. Fillers such as calcium carbonate and talc are well know and used in industry. However, particulate materials such as zinc oxide, widely used as additives for rubber or as fungicide in polymers, aren't cited in the scientific literature as a reinforcing filler. In order to fill this gap evaluated the thermo mechanical properties of polypropylene composites reinforced with zinc oxide in proportions of 10%, 20% and 30%. Were evaluated a comparative analysis was also performed by the characterization of talc or calcium carbonate reinforced composites using same compositions. Thermal differential scanning calorimeter (DSC) Heat Deflection Temperature (HDT), Melt Flow Index (MFI) of Mechanical Testing Tensile Strength, Flexural Strength, Toughness, and Dimensional Variation Izod impact strength notched analysis were carried out. The morphological characteristics of the mixture, was investigated by scanning electron microscopy (SEM). The main results showed, as expected, the characteristic increasing on weakness and stiffness of polypropylene blends reinforced with talc and carbonate. These blends also showed low adhesion surface with polypropylene. Unlike conventional loads, zinc oxide promoted the improvement of polypropylene toughness by increasing the impact resistance of polypropylene. Morphological evaluations also showed that the load has a greater adhesion to the polypropylene matrix, and the particle size is about four times smaller than those of calcium carbonate.

**Keywords:** polypropylene, talc, calcium carbonate, zinc oxide, reinforcing filler

## 1. INTRODUÇÃO

A palavra polímero vem do grego poli (muitas) + mero (partes), definindo um material com a característica de possuir uma unidade fundamental (mero) se repetindo na molécula polimérica. Existe no mercado uma grande quantidade de tipos de polímeros, derivados de diferentes compostos químicos. Cada polímero é mais indicado para uma ou mais aplicações dependendo de suas propriedades físicas, químicas, mecânicas, etc (CANEVAROLO, 2003).

Os tipos de polímeros mais consumidos atualmente no Brasil são os polietilenos - (PE), polipropilenos - (PP), poliestirenos - (PS) e PVC. Estes materiais são definidos como commodities, devido a sua alta produção e baixo preço. Commodities possuem ainda como característica propriedades mecânicas limitadas, tendo o seu uso restrito em aplicações de alta sollicitação mecânica. Dentre as commodities, o polipropileno se destaca, devido o seu baixo preço e versatilidade de uso. Em seu estado natural, a resina é semi-translúcida podendo posteriormente ser aditivado ou pigmentado (CANEVAROLLO, 2003).

Um dos principais aditivos de reforço dos polímeros é o talco, material muito utilizado como carga no polipropileno, pois possui vantagens adicionais, tais como: boa qualidade de superfície no produto final; baixa contração após moldagem e fácil composição a outros materiais. Com o uso do talco é ainda conseguido aumento de rigidez e resistência à alta temperatura nos homopolímeros de polipropileno. Quando comparado com uma quantidade similar de carbonato de cálcio ou em plásticos não carregados, oferece uma melhor resistência ao impacto, à tração e dureza. Dentre as peças fabricadas com polipropileno carregado com talco para a indústria automobilística, podemos destacar: a bateria, o batente, o duto, entre outros. O talco é também largamente utilizado em vários tipos de polímeros termoplásticos, oferecendo alta dureza e estabilidade dimensional (WIEBECK & HARADA, 2005).

O carbonato de cálcio - componente de rochas como os calcários - é um mineral muito utilizado como carga em polímeros para aumentar a estabilidade térmica e dimensional, pois diminui o custo de matéria-prima para confecção de peças plásticas. Basicamente, há dois tipos de carbonato de cálcio disponíveis

comercialmente, o natural, aquele que é retirado da natureza e moído de acordo com a granulometria desejada, e o precipitado, aquele em que um processo químico é utilizado para a fabricação do produto (com etapas de calcinação, hidratação, carbonatação e secagem) (WIEBECK & HARADA, 2005).

O Óxido de Zinco é industrialmente utilizado principalmente para a aditivação da borracha natural (BN). O uso de Óxido de Zinco em quantidades elevadas tem, comparativamente com qualquer outra carga, a vantagem de provocar uma menor perda de elasticidade, fundamental por exemplo, para produção de elementos de borracha que funcionam como mola. O Óxido de Zinco atua ainda como carga semi-reforçante, tendo os vulcanizados obtidos boas propriedades mecânicas como tensão de ruptura e resistência ao rasgamento, para além do já referido bom comportamento elástico (HOFMANN, 1989).

Poliolefinas (polímeros que têm como monômero uma olefina simples, oriundas do nafta do petróleo) reforçadas com cargas particuladas têm sido utilizadas em uma grande variedade de aplicações industriais devido à obtenção de propriedades específicas, otimizadas e de baixo custo. A adição de cargas do tipo Carbonato de Cálcio ou Talco, ao Polipropileno, é capaz de promover a melhoria das propriedades mecânicas deste polímero como, por exemplo, o aumento do módulo de rigidez e índice de fluidez, tendendo a melhorar a tenacidade no ponto de fratura. Embora o Óxido de Zinco seja amplamente utilizado como aditivo para borrachas e como fungicida em Polímeros, não existe na literatura estudos de reforço do Óxido de Zinco como carga para o Polipropileno.



## **2. JUSTIFICATIVA**

A literatura é escassa em estudos de reforço do Óxido de Zinco como carga par o Polipropileno.

Este trabalho visa preencher uma lacuna da literatura, ao se estudar o uso do Óxido de Zinco como carga reforçante do Polipropileno em diferentes composições, comparando suas propriedades térmicas e mecânicas com o Polipropileno reforçado com Carbonato de Cálcio e Talco.

Espera-se que, com a geometria e dimensões das partículas de Óxido de Zinco consiga-se propriedades distintas aquelas encontradas para cargas convencionais.

### **3. OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral estudar as propriedades do óxido de zinco como carga de reforço para o polipropileno. Para tal serão realizados ensaios comparativos do polipropileno carregado com óxido de zinco, em diferentes composições (10%, 20% e 30%), comparando suas propriedades térmicas e mecânicas com a do polipropileno carregado com carbonato de cálcio, e talco.

#### **3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

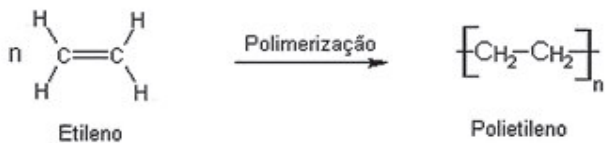
- i) Avaliar a influência da adição de cargas minerais à matriz de polipropileno por meio da análise das alterações morfológicas, do desempenho mecânico e térmico dos compostos obtidos;
- ii) Estabelecer quais as melhores composições e tipos de carga;
- iii) Realizar um estudo de viabilidade econômica do Óxido de Zinco.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Polímeros

Um polímero é uma substância formada por vários segmentos idênticos ou unidades de repetição e, por esse motivo, podemos reconhecê-los facilmente a partir de sua estrutura (CANEVAROLO, 2003). São considerados polímeros as moléculas de massa molar na faixa de 10.000 a 1.000.000 g/mol. A elevada massa molecular aliada à natureza química dos átomos, que constituem as moléculas, faz com que polímeros tenham propriedades variadas, permitindo diversas aplicações desses materiais nos bens de consumo disponíveis na atualidade. Para diferentes aplicações é possível produzir polímeros com diferentes propriedades, simplesmente alterando suas estruturas e composições. Por isso, o conhecimento desses materiais é de fundamental importância para a indústria e para os consumidores (SANTOS & MOL, 2005).

Polimerização é a formação de polímeros. É o conjunto de reações químicas intermoleculares, segundo o qual, as moléculas dos monômeros se unem umas a outras, por ligações covalentes, para formar polímeros, como mostrado na Figura 1.



**Figura 1: Reação de polimerização do monômero etileno.**

Os polímeros podem ser sintéticos, ou seja, aqueles produzidos pelo homem, artificiais e naturais. Polímeros naturais são moléculas de grande massa molecular encontradas na natureza. A celulose é um polímero natural encontrado, por exemplo, na madeira (SANTOS, 2001), no algodão e em vários outros vegetais. Em virtude de ser uma excelente fibra, ela é empregada na fabricação de diversos tecidos para roupas e calçados. A celulose é uma das substâncias orgânicas mais abundantes no mundo, sendo que bilhões de

toneladas dela são produzidos anualmente pela fotossíntese. A unidade repetitiva da celulose é um carboidrato como mostrado na Figura 2. O acetato de celulose (celofane) é um exemplo de polímero artificial, que possui como característica a origem natural, mas que apresenta modificações em sua estrutura original por reações primárias.

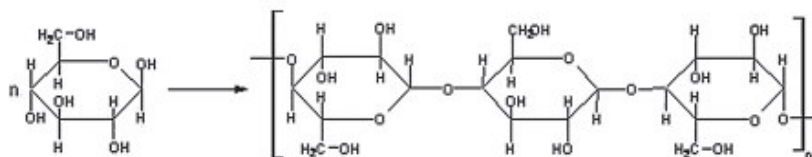


Figura 2: Estrutura molecular da celulose.

## 4.2 Tipos de Polímeros

### 4.2.1 Quanto ao comportamento térmico

Os polímeros podem receber diferentes tipos de classificação. Uma delas é feita a partir da análise da solubilidade e fusibilidade dos materiais. Nessa classificação, temos os termoplásticos e os termorrígidos.

A família dos plásticos representa uma classe de materiais poliméricos que apresentam em comum o fato de serem facilmente moldáveis. Eles podem, por meio de métodos adequados, assumir uma variedade de formas como garrafas, vasos, sacolas e fios. Materiais desse tipo são chamados de termoplásticos. Os polímeros termoplásticos são constituídos por macromoléculas, ligadas entre si por forças relativamente fracas, do tipo Van der Waals, lineares que podem conter ou não ramificações, e são fusíveis, quando aquecidos tomam-se flexíveis devido à quebra das ligações intermoleculares, atingindo um estado líquido viscoso e solúveis em solventes orgânicos comuns (CANEVAROLO, 2003).

Os termoplásticos apresentam a importante característica de retomar ao estado sólido quando resfriados. Este ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetido por diversas vezes, sendo a base de inúmeros processos de fabricação. Como exemplo de termoplásticos tem-se o polietileno, cloreto de

polivinila, poliestireno, poliamida, acetato de celulose, policarbonato e polipropileno (CANEVAROLO, 2003).

O termo termorrígido ou termofixo é associado a materiais poliméricos que são maleáveis apenas no momento da fabricação e, por isso, podem ser moldados somente nesse momento. Após essa etapa, não há como remodelá-los. Os polímeros termorrígidos são infusíveis e insolúveis em solventes orgânicos comuns. Suas moléculas podem estar ligadas entre si, formando uma rede tridimensional chamada de reticulado como mostrado na Figura 3: Representação simplificada de cadeias poliméricas reticuladas. (CANEVAROLO, 2003).



**Figura 3: Representação simplificada de cadeias poliméricas reticuladas.**

O fato de os termoplásticos serem moldáveis por aquecimento, mesmo após terem sido utilizados em produto específico, é uma vantagem com respeito à questão ambiental. Garrafas PET [poli(tereftalato de etileno)], por exemplo, podem ser remoldadas várias vezes (PEREIRA, 2002; FRANCHETTI e MARCONATO, 2003). Já os termorrígidos podem ser reciclados mecanicamente por pulverização e adição a produtos alternativos. Outras soluções para os termorrígidos são: a reciclagem química, que envolve a despolimerização, e a incineração com o aproveitamento da energia. Nesse último caso, as emissões gasosas precisam ser rigorosamente controladas (SCURACCHIO, 2006).

#### **4.2.2 Quanto ao comportamento mecânico**

De acordo com o comportamento mecânico os polímeros são divididos em três grupos: elastômeros, plásticos (rígidos e flexíveis), e fibras.

Borracha, ou elastômero, é um material macromolecular que exhibe elasticidade em longa faixa, à temperatura ambiente. A estrutura molecular é similar à do termorrígido mas, neste caso, há menor número de ligações cruzadas entre as cadeias, o que previne o deslizamento de uma cadeia polimérica sobre a outra (o que resultaria em uma deformação permanente do material) mas permite sua movimentação, o que confere flexibilidade. (CANEVAROLO JUNIOR, 2006).

Plásticos rígidos são os que à temperatura ambiente suportam um alto grau de tensão, isto é, possuem alta resistência a elongação, mas, ao contrário dos elastômeros, não experimentam muita deformação antes de se romperem. Já os plásticos flexíveis apresentam menor resistência à deformação quanto os rígidos, porém apresentam maior elongação.

A fibra é um corpo que tem uma elevada razão entre o comprimento e as dimensões laterais, e é composto principalmente de macromoléculas lineares, orientadas longitudinalmente. Possuem uma grande resistência à tensão, somente na direção em que estão orientadas, mas apresentam uma resistência à compressão muito baixa, ou seja, são fracas quando amassadas ou comprimidas (CANEVAROLO, 2003).

#### **4.3 Polipropileno (PP)**

O polipropileno é polímero termoplástico da classe das poliolefinas, essencialmente linear e altamente cristalino. Desde sua introdução no mercado em 1954, o polipropileno se tornou uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade, devido a excelente combinação de propriedades térmicas e mecânicas combinadas com favoráveis econômicas. Hoje, o polipropileno é um dos plásticos que apresenta a maior taxa de crescimento anual no mundo (ABREU, 2006). Segundo a Comissão Setorial de Resinas

Termoplásticas da Associação Brasileira da Indústria Química (COPLAST/ABIQUIM), o polipropileno se sobressai como uma das resinas mais bem sucedidas na indústria do plástico, apresentando taxas de crescimento anuais de 7% no mundo e algo entre 8 e 10% no mercado brasileiro (ABIQUIM, 2008).

A maioria dos polipropilenos é processada por moldagens do tipo, injeção, sopro ou extrusão, podendo ou não utilizar cargas de reforço. O PP também é disponível em chapas, tarugos e tubos com variados dimensionais para beneficiamento e aplicação em diversos segmentos industriais. Os polipropilenos não-reforçados são utilizados em aplicações de embalagem, tais como recipientes farmacêuticos, médicos e cosméticos moldados por sopro. Tanto os tipos reforçados como os não reforçados são aplicados a automóveis, aparelhos domésticos e elétricos, como carcaças de bateria, de lanterna, rotores de ventoinha, pás de ventiladores, e como suporte para peças elétricas condutoras de corrente, carretéis de bobinas, capas protetoras de cabo elétrico, jogos magnéticos de TV, cartuchos para fusíveis e como isoladores, entre outras aplicações (ABIQUIM, 2008).

O polipropileno é muito utilizado na área automotiva e eletrodoméstica, onde conferem dureza, resistência a flexão e resistência à alta temperatura. Porém é necessário o reforço do PP para melhoria das suas propriedades térmicas e mecânicas. Os principais tipos de reforço para o polipropileno são o talco e o carbonato de cálcio, utilizados neste estudo e apresentados mais adiante.

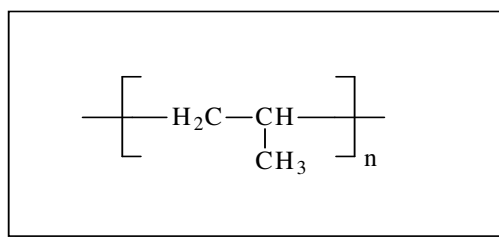
Atualmente, o polipropileno é um dos termoplásticos comerciais mais importantes, pelas seguintes razões:

- 1) O preço reduzido do produto, devido ao baixo custo do monômero e eficiente tecnologia de polimerização, comparada a de outros termoplásticos;
- 2) O PP pode ser modificado para uma variedade de aplicações. Através de copolimerização, orientação, e outras técnicas as propriedades físicas do polímero podem ser variadas para conseguir uma larga faixa de propriedades térmicas e mecânicas;

- 3) A facilidade no processamento deste polímero permite o seu uso econômico na maioria das técnicas de fabricação comerciais. Além de possuir fácil moldabilidade e pigmentação;
- 4) Elevada resistência química e a solventes. Boa resistência térmica;
- 5) Boa resistência a fratura por flexão ou fadiga. Boa resistência ao impacto acima de 15°C.

#### 4.3.1 Estrutura do PP

O polipropileno é uma resina termoplástica cristalina obtida, por exemplo, através da reação de polimerização do monômero propeno utilizando um sistema catalítico Ziegler-Natta ou metalocênico. Abaixo, na Fig. 4 é apresentada a estrutura do mero do polipropileno.



**Figura 4: Estrutura molecular do mero do polipropileno**

A presença de um carbono assimétrico na estrutura monomérica do polipropileno resulta num encadeamento polimérico de três possíveis configurações: a isotática, a sindiotática ou a atática. No PP isotático, todos os grupos metila dos monômeros encontram-se do mesmo lado da cadeia principal; é o tipo de polipropileno de uso comercial e de utilização mais comum. No PP sindiotático, a disposição de tais grupos metila é alternada. O polipropileno sindiotático é de pouca importância prática (devido à temperatura de síntese ser de  $-78^{\circ}\text{C}$ ), mas de grande interesse científico. No PP atático, existe uma disposição de grupos laterais aleatória, implicando numa pobre simetria e pouca ou nenhuma cristalinidade (YOON et al., 1998). A Fig. 5 mostra as diferentes configurações possíveis do PP.



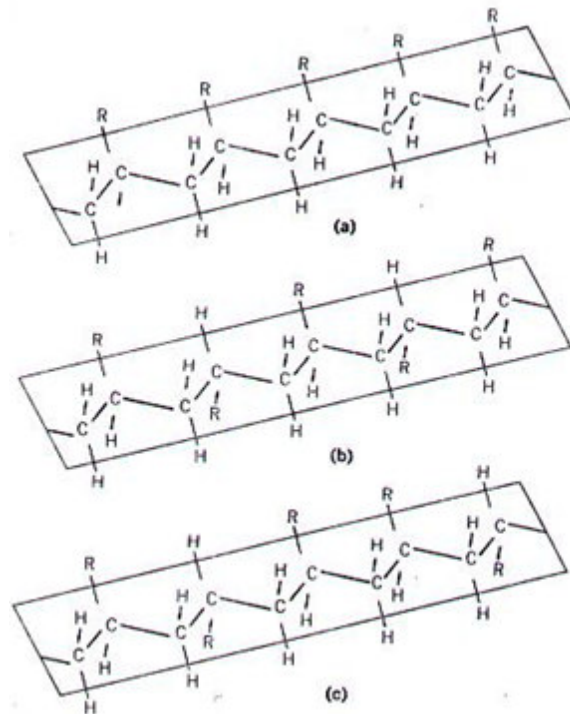


Figura 5: Configurações do PP: a) isotático b) sindotático c) atático

#### 4.3.2 Cristalinidade e Propriedades Térmicas do PP

A cristalinidade é o parâmetro estrutural mais importante para as poliolefinas. Esta depende da composição dos polímeros e das condições de cristalização, e influencia todas as propriedades mecânicas e termodinâmicas. Devido a sua estrutura, o PP pode alcançar um alto grau de cristalinidade: quando resfriado rapidamente alcança uma porcentagem de cristalização ao redor de 50%, que com o passar do tempo tende a alcançar um valor de 75 a 80%.

De acordo com (YOON et al., 1998) o polipropileno tem um ponto de fusão superior que a maioria das poliolefinas, devido a uma maior rigidez estrutural ocasionada pela rotação do grupo lateral metil. Para o PP isotático, o ponto de fusão pode alcançar um valor máximo de 176°C, enquanto para o PP

sindiotático tal limite é de 135°C. O ponto de fusão em ambos os casos é dependente da porcentagem de fase cristalina no polímero. Como o PP atático não cristaliza, não possui ponto de fusão, apresentando somente temperatura de transição vítrea.

Os valores encontrados para a temperatura de transição vítrea variam muito, devido o uso de diferentes técnicas de medidas, e da influência da taticidade e do massa molar. Para o PP isotático os valores na temperatura de transição vítrea (Tg) vão de -13 a 0°C e para a forma atática de -18 a 5°C.

#### 4.3.3 Propriedades Mecânicas do PP

As propriedades mecânicas são parâmetros ou características do material que determinam sua resposta a esforços mecânicos sofridos. A natureza dessa resposta depende da temperatura e do tempo, bem como da estrutura do material, do peso molecular e das condições do ensaio e da preparação da amostra (FREIRE, 1994).

De acordo com (YOON et al., 1998), as propriedades mecânicas do polipropileno podem ser consideradas amplas devido a sua cristalinidade: com um relativamente alto ponto de fusão, a fase cristalina retém resistência mecânica a altas temperaturas. A baixas temperaturas o PP é limitado pela sua fragilização na temperatura de transição vítrea (Tg), onde as regiões amorfas se tornam vítreas. Para evitar tal fragilidade, o PP é normalmente copolimerizado com o etileno. São apresentadas na Tabela 1 várias propriedades mecânicas e a sua dependência da cristalinidade.

**Tabela1: Influência da Cristalinidade em certas Propriedades Mecânicas do Polipropileno**

<b>PROPRIEDADE</b>	<b>AUMENTANDO A CRISTALINIDADE</b>
Resistência ao Escoamento	Aumenta
Elongação à Quebra	Diminui
Impacto IZOD	Diminui
Fluência	Aumenta
Dureza	Aumenta
Fluidez	Não se altera
Inchamento	Não se altera
Resistência do Fundido	Não se altera

(CASTRO & VARGAS, 2009) acreditam que, em consequência do seu bom desempenho, o papel das indústrias petroquímicas produtoras de polipropileno deixa de centralizar suas atenções apenas na produção e passa, também, a desenvolver novas tecnologias e aditivos, que aprimorem e melhorem as propriedades do produto, visando agregar valor e satisfazer o cliente.

Uma alternativa para o aprimoramento das propriedades do polipropileno baseia-se na modificação da estrutura molecular do polipropileno pela introdução de comonômeros na cadeia. Assim, torna-se possível a obtenção de polímeros com diferentes propriedades físicas. A copolimerização é utilizada para modificar a cristalinidade do polímero de maneira controlada, introduzindo irregularidades na macromolécula. Melhores propriedades são obtidas com a distribuição homogênea das moléculas de comonômero ao longo da cadeia polimérica. A copolimerização do propeno com outra olefina, usualmente eteno ou buteno, resulta em um polímero com baixa temperatura de fusão e alta flexibilidade, aumentando assim a resistência ao impacto (FERREIRA, 1994).

De acordo com (KIM, 1998, ABREU, 2006), o polipropileno é um material pouco tenaz com baixa resistência ao impacto. Para possibilitar a sua aplicação em alguns casos, é necessário, portanto, a adição de modificadores de impacto, os elastômeros gerando uma fase elastomérica tornando-o economicamente viável, com resultados altamente satisfatórios. Os autores reiteram que, as características citadas tornam as misturas de polímeros materiais extremamente interessantes para numerosas aplicações, tais como na indústria automobilística e na indústria de embalagens.

#### **4.3.4 Usos Industriais do PP**

O polipropileno pode ainda ser reforçado com cargas minerais, como talco e carbonato de cálcio, visando melhoria de propriedades, principalmente mecânicas. Uma maior discussão sobre o assunto será realizada no capítulo 4.

O polipropileno é de grande uso industrial, podendo ser conformado segundo as principais técnicas de processamento:

- 1) Moldagem por injeção: peças de PP moldadas por injeção são principalmente utilizadas na indústria automotiva. O polipropileno é amplamente utilizado também para a fabricação de vasilhames fechados e, devido à possibilidade de ser esterilizado é também de grande uso médico;
- 2) Filmes: filmes de PP são usados na indústria de embalagens de vários produtos e como componentes em sacolas;
- 3) Termoformagem e Extrusão: as principais utilizações do PP termoformado são no ramo de vasilhames, como copos de iogurte, pote de margarina, etc. Na forma extrudada, a principal utilização do PP é na fabricação de tubos;
- 4) Moldagem por sopro: garrafas de PP orientado possuem alta transparência e boa propriedade de barreira, sendo usadas em embalagens de detergentes, xampus e outros produtos.

As principais aplicações do polipropileno podem incluir: brinquedos, recipientes para remédios e produtos químicos; carcaças para eletrodomésticos; fibras; sacarias (ráfias); filmes orientados; tubos para cargas de canetas esferográficas; carpetes; seringas de injeção; material hospitalar esterilizável; autopeças (para-choques, pedais, carcaças de baterias, lanternas, ventoinhas e ventiladores).

#### **4.4 Cargas Minerais**

As cargas minerais são substâncias inorgânicas compostas por grãos pouco flexíveis que são incorporados à massa de polímero (ROTHON, 1995).

De acordo com (LIMA, 2007), os polímeros, quando puros, apresentam propriedades que muitas vezes não atendem às especificações técnicas que as peças finais fabricadas a partir deles devem possuir. Propriedades dos polímeros tais como resistência à tração, resistências químicas a ataques ácidos e básicos, resistências à deformação ao calor, etc, são aprimoradas

através da adição de cargas minerais, tratadas superficialmente, em quantidades adequadas.

Por isso, a incorporação de cargas minerais aos materiais termoplásticos tem se tornado cada vez mais frequente na indústria de polímeros. As cargas são adicionadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas e mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular reduzindo os custos da composição polimérica (LIMA, 2007).

A necessidade de desenvolver materiais compósitos com boa relação propriedades/custos tem resultado no estudo da viabilidade e conveniência da utilização de cargas não convencionais. O custo da carga e seu efeito no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha (RAMOS, 1993).

#### **4.4.1 Adição de Cargas Minerais**

A adição de cargas minerais a polímeros termoplásticos como o polipropileno (PP) e o polietileno (PE) esteve durante muito tempo relacionado apenas à tentativa de redução de custo de produtos finais poliméricos. Nos últimos anos, entretanto, estes aditivos minerais, notadamente talco e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), vêm ganhando espaço no estudo dos materiais compósitos como materiais que, adicionados à matriz polimérica, possibilitam a otimização de algumas propriedades finais específicas, como, por exemplo, dureza e estabilidade dimensional. Embora estes aditivos venham sendo utilizados em grande escala. (COELHO, 2005).

De acordo com a literatura, a adição de elastômeros convencionais ao PP reduz significativamente a rigidez dessa forma, limitando o teor de elastômero na composição da blenda. Estudos têm mostrado que uma maneira de compensar este efeito e melhorar as propriedades mecânicas tem sido adicionadas ao PP cargas como talco, carbonato de cálcio, mica ou fibra de vidro, com a produção de materiais com valores de propriedades de plásticos de engenharia (ABREU, 2006).

De acordo com (FREIRE, 1994), os componentes de um compósito não se dissolvem ou combinam ao entrar em contato, mas atuam em conjunto, de

forma sincronizada, podendo ser caracterizados por meios físicos. Cada um deles retém sua identidade, não precisando ser necessariamente materiais diferentes (como no caso de compósitos carbono-carbono). Estes mesmos autores acrescentam que o objetivo da incorporação de cargas em polímeros é melhorar as propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos mesmos, bem como modificar a aparência superficial e as características de processamento, podendo também contribuir para a redução de custos do material final.

#### **4.4.1.1 Carbonato de Cálcio**

Aditivos minerais, como o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), vêm ganhando espaço nos últimos anos no estudo dos materiais compósitos, como materiais que, adicionados à matriz polimérica, possibilitam a obtenção de propriedades otimizadas. Para (PATTON, 1972), o carbonato de cálcio representa a mais importante e abundante de todas as rochas sedimentares utilizadas comercialmente. Além disso, o carbonato de cálcio é, inquestionavelmente, a carga mineral mais usada. Existem boas razões para tal popularidade, sejam, a sua ampla disponibilidade, a combinação de vários depósitos desse material, a facilidade de processamento para tamanhos específicos de partículas, a compatibilidade com uma ampla gama de tipos de polímeros e sua adequação para uma ampla gama de aplicações.

O  $\text{CaCO}_3$  possui características alcalinas (é um sal com características básicas e possui pH alto quando em solução aquosa). A tecnologia de produção do carbonato de cálcio precipitado contribui sobremaneira para o aumento de sua aplicabilidade em diversos segmentos da indústria. Seu processo permite um total controle de todas as propriedades físicas do carbonato de cálcio, melhorando ainda as características químicas finais do produto, como por exemplo, diminuição dos percentuais de metais pesados, alumínio, ferro e outros elementos químicos, o que faz com que o carbonato de cálcio seja amplamente utilizado pelas indústrias alimentícias, farmacêutica, química e de cosméticos.

Tais propriedades físicas determinam a possibilidade de uso do carbonato de cálcio como carga para os materiais plásticos, pois, além do

baixo custo, melhoram algumas propriedades, como resistência térmica e ao impacto, atendendo, também, às exigências dos órgãos do meio ambiente, que proíbem o uso de materiais pesados para fabricação e incorporação de polímeros. Entre os principais polímeros que recebem sua incorporação estão o polipropileno, poliamida e PVC, entre outros.

Outras propriedades do carbonato de cálcio que podem ser destacadas são a baixa absorção de plastificantes e boa resistência à decomposição térmica durante o processo. (FERREIRA & NUNES, 2009) lembram que o carbonato de cálcio pode ser aplicado na produção de plásticos, borracha, tintas, vidros, papéis adesivos, produto para cor, medicamentos, creme dentais, correção da acidez em tratamento de água e solos para plantio, produção de aços e metais não ferrosos, revestimentos de eletrodos para solda, dentre outras.

A adição de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) ao polipropileno (PP) têm a capacidade de promover o aumento da estabilidade dimensional e do módulo de rigidez dos materiais (DIAS, 2004). Adicionalmente, de acordo com os mesmos autores, o seu acréscimo tende a melhorar a tenacidade no ponto de fratura, com aumento do índice de fluidez do polipropileno.

Segundo (CARVALHO, 2007) é muito comum a redução na resistência mecânica do polímero com a introdução de particulados inorgânicos rígidos em matrizes poliméricas, o que leva à produção de compósitos mecanicamente mais pobres que o polímero puro. Isso pode ser frequentemente observado quando particulados como o carbonato de cálcio e talco, por exemplo, são incorporados em polímeros como o polipropileno.

(WEON & SUE, 2006) estudaram as propriedades mecânicas do polipropileno de alta cristalinidade (hcPP) baseado em sistemas compostos hcPP/ $\text{CaCO}_3$ . Observaram apenas uma moderada melhoria no módulo de elasticidade do compósito hcPP/ $\text{CaCO}_3$ . Nesse caso, a introdução de nano partículas de  $\text{CaCO}_3$  para hcPP ajudou na formação de uma quantidade mensurável de cristais de  $\beta$ -fase que resultou em uma queda significativa na temperatura de cristalização, sugerindo um possível retardo de cristalização hcPP. Além disso, o nano compósito hcPP/ $\text{CaCO}_3$  mostrou acentuadas características de amortecimento em toda a faixa de temperatura estudada. A tenacidade na fratura do hcPP foi significativamente afetada pela adição de

CaCO<sub>3</sub> em baixas velocidades, no ensaio. Acredita-se que nano partículas de CaCO<sub>3</sub> atuaram como eficazes locais de nucleação desencadeando enormes fissuras e rendimento do cisalhamento na hcPPmatrix. Os resultados sugerem que a incorporação de nano partículas de CaCO<sub>3</sub> em hcPP pode produzir atrativos polímeros.

(PATIL, 2009) estudaram a preparação e caracterização de nano compósitos de carbonato de cálcio em PVC, fundido através de intercalação. O carbonato de cálcio foi sintetizado na técnica de deposição in situ e seu nano tamanho (35-60 nm) foi confirmado pela microscopia eletrônica de transmissão (MET). Compósitos de carregamento de CaCO<sub>3</sub> (micro e nano) em matriz de poli (cloreto de vinila) (PVC) foram preparadas com diferentes cargas de enchimento (0-5% em peso) pela intercalação por fusão. A resistência à tração de ambos os micro e nano compósitos diminuiu com o aumento do teor de CaCO<sub>3</sub>. O armazenamento do módulo de ambos compósitos mostrou-se ligeiramente maior do que a do PVC puro. A temperatura de transição do vidro de ambos os compósitos também foi ligeiramente superior que o PVC puro. Além disso, a temperatura inicial de degradação de compósitos PVC/nano-CaCO<sub>3</sub> foi ligeiramente superior em relação a dos microcompósitos e PVC puro. Assim, o estudo mostrou que existe uma pobre interação e dispersão entre o PVC e o enchimento nano-CaCO<sub>3</sub>. Para conseguir uma boa dispersão, cargas podem ser preparadas como (líquidos de alta viscosidade) em qualquer plastificador, para o qual são necessárias específicas formulações de PVC.

(SIVARAO & VIJAYARAM, 2009) realizaram um estudo sobre a determinação da elasticidade, propriedades mecânicas e micro estruturais da caracterização do carregamento de carbonato de cálcio como reforço dos compósitos de matriz de polipropileno. Foram introduzidos os grânulos de casca de ovo de galinha que contêm o recurso orgânico natural do carbonato de cálcio, para reforçar o material de base do polipropileno. O objetivo deste estudo experimental foi determinar as propriedades elásticas e de flexão e caracterizar as microestruturas do reservatório de frango granular contendo carbonato de cálcio natural reforçando o polipropileno. Os grânulos são misturados com o material de base de polipropileno e silano como um agente de acoplamento, proporcionalmente, a fim de obter quatro diferentes proporções de 10%, 20%, 30% e 40% na fração base de peso com o auxílio de



uma máquina extrusora. Resultados experimentais mostraram melhorias no módulo de tração e módulo de flexão dos recém-processados carregamento de carbonato de cálcio natural e compósitos orgânicos de polipropileno, embora não melhorasse a resistência elástica, flexão e a tensão de fratura. A relação fração de peso do enchimento reforçado na matriz que deu a maior módulo de tração e flexão foi de 20% e 10%, respectivamente.

#### **4.4.1.2 Talco**

O talco é um mineral funcional que apresenta aplicações muito exclusivas derivadas da textura lamelar de suas partículas e a baixa dureza 1, a mais baixa na escala de Mohs. O talco é um silicato de magnésio, com a composição teórica de  $3\text{MgO}\cdot 4\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$ . Minerais acessórios comuns são a clorita e dolomita. Os minerais puros são aqueles de origem metamórfica. Os talcos de origem ultrabásica já têm teores de ferro mais elevados e a presença de contaminantes que podem comprometer sua aplicação geral, com minerais fibrosos ou traços de cobre e manganês. Teores significativos de alumínio e ferro podem estar presentes na estrutura cristalina do mineral (DALPIAZ, 2006).

A importância da pureza do talco se deve às suas aplicações de consumo humano direto – cosméticas, farmacêuticas e alimentícias. A estrutura cristalina do talco é formado por duas folhas de  $\text{SiO}_2$ , unidas entre si por camadas de brucita  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , e que se estendem indefinidamente em todas as direções do plano. A baixa dureza do talco é derivada da baixa energia das ligações de Wan der Waals que unem as folhas de sílica de cada cristal. Ligações estas que se rompem facilmente sobre ação mecânica. No processo de moagem para a geração de partículas finas de talco os grãos e partículas mais grossas são preferencialmente delaminadas, em relação às fraturas perpendiculares que rompem ligações covalentes de energia mais elevada, criando lamelas muito finas. As aplicações industriais do talco são derivadas de suas propriedades funcionais (DANA, 2004, LUZ & LINS, 2005, DALPIAZ, 2006). No caso de compostos de polipropilenos as lamelas de talco

têm uma importante aplicação no reforço – com ênfase nas aplicações finais na indústria automobilística e eletrodomésticos.

Quanto às propriedades físicas o talco é inodoro, insolúvel em água, em ácidos fracos e em álcalis. Não é explosivo ou inflamável. É um mineral cristalino e de hábitos caracterizados como tabular, radiado, compacto ou lamelar, sendo este último o de ocorrência mais comum na subclasse dos filossilicatos. Tem dureza 1 na escala mineral de Mohs e densidade de 2,7 a 2,8g/cm<sup>3</sup>. Quanto à cor, pode se apresentar na forma bruta como branco, cinza, verde, azul, rosa e até mesmo preto. Porém, em geral, o traço é sempre branco, (MINERALS YEARBOOK, 1980, CAMARA, 2003).

As particularidades da estrutura cristalina do talco explicam as lâminas finas das partículas após moagem, o brilho perolado e a suavidade, o excelente poder de lubrificação, a untuosidade ao tato, a baixa abrasividade, o alto poder de absorção de óleo e os baixos coeficientes de expansão térmica e condutividade elétrica. Estas propriedades são responsáveis pelo amplo uso do talco na indústria, (SANTOS, 1984, CAMARA, 2003).

Estudos realizados por (SOUZA, 2000), mostram que o rápido crescimento da indústria de plásticos tem levado a um aumento do consumo de talco principalmente em polipropilenos, polietilenos de baixa e alta densidade, PVC e nos plásticos termorrígidos. Em polipropilenos, o talco é usado para incrementar a resistência mecânica (melhores resultados com talcos com maiores razão de forma) e resistência ao risco (melhores resultados com talcos mais finamente moídos ou microcristalinos). O talco é usado, por exemplo, na indústria automobilística na fabricação de painéis, acessórios e pára-choques de carros.

O que faz do talco um excepcional mineral industrial para uso em plásticos são suas propriedades naturais, como alta lamelaridade, alta resistência térmica e elétrica. Além disto, é quimicamente inerte. O talco confere ao plástico qualidades/propriedades que são fundamentais nos mais diversos usos, como: estabilidade dimensional, isolamento elétrico, aumento da capacidade de absorver impacto, aumento da resistência química e ao calor, aumento do fator de rigidez, da dureza e da resistência à tensão (LOBATO & SÁ, 2001).

De acordo com (CAMARA, 2003), o acentuado uso de talco na produção de compostos de polipropilenos deve-se principalmente à compatibilidade da sua baixa polaridade com a polaridade da resina, o que faz com que seja facilmente disperso no composto. Além disto, a baixa abrasão no processo merece destaque. O autor destaca as principais desvantagens do talco como a baixa resistência ao impacto e baixa resistência ao risco, se empregado puro e não em cargas para PP, passando por mistura e extrusão. Mas destaca que os desenvolvimentos recentes de tratamento superficial de talco calcinado prometem minimizar estes problemas, acenando maior possibilidade de aplicação e em maiores proporções, após passar por esse tratamento.

(WEON & SUE, 2006) estudaram as propriedades mecânicas do polipropileno de alta cristalinidade hcPP baseado em sistemas compostos hcPP / talco. Observaram significativa melhoria no módulo de elasticidade do compósito PP / talco. Uma investigação detalhada dos mecanismos de fratura sugerem que a boa dispersão das partículas de talco altamente orientadas causa fragilização da hcPP. Concluíram ainda que a elevada proporção e o elevado grau de orientação do talco, ao longo da direção de tração, são responsáveis pela dramática melhoria no módulo.

(JAHANI & EHSANI, 2009) estudaram os efeitos das nano partículas de resina epóxi em relação ao comportamento de retração e a estabilidade térmica do polipropileno carregado com talco. Concluíram que o comportamento de retração dos compósitos com teor de diversos talcos e as relações resina/talco indicaram que as taxas de retração diminuíram com o aumento das porcentagens do talco e da resina epóxi. O efeito da resina epóxi sobre o aumento da fluidez a altas taxas de cisalhamento são mais pronunciadas até 2,5% em peso de resina nos compósitos com maior índice de talco. A resina epóxi aumentou a estabilidade térmica dos compósitos. O efeito da resina epóxi sobre a estabilidade térmica dos compósitos é mais pronunciado com o maior índice de resina epóxi. A resina tem interação inerentes com impurezas metálicas e poderia desativar o íon metálico na catalisação da reação de degradação do PP.

#### **4.4.1.3 Óxido de Zinco**

Óxido de zinco é um produto sintético de constituição inorgânica, quimicamente inerte. Trata-se de um pó fino, branco, inodoro, solúvel em ácidos e álcalis e insolúvel em água, álcool e óleo (GONÇALVES, 2002). De acordo com (SILVA, 2006), o ZnO é utilizado como catalisador e acelerador de reações, agente vulcanizante para borrachas, pigmento branco para cerâmica, plásticos e tintas, como matéria-prima na fabricação de soluções de fosfatos e cloretos de zinco, formação de micronutrientes para agricultura, nutrientes para ração animal, em cosméticos (cremes e pomadas), na odontologia para produção de amalgama, etc.

O óxido de zinco é um material cerâmico versátil, o qual pode ser utilizado em diversas aplicações tecnológicas tais como: catalisadores, aditivos em óleos lubrificantes, varistores, materiais luminescentes, sensores de gás, pigmentos, materiais farmacêuticos (ABRAROV, 2004).

(GUDKOVA et al., 2005)) relataram que devido à combinação de diversas propriedades físicas e químicas (alto ponto de fusão e condutividade térmica, capacidade de absorver eficazmente os raios ultravioleta, de alta fotossensibilidade), o óxido de zinco é utilizado em uma ampla variedade de indústrias, em particular na fabricação de cremes cosméticos e géis dos protetores solares e antibacterianos.

Cerca de 50% do uso do óxido de zinco está na indústria da borracha, como agente vulcanizante e um dos principais ingredientes na sua fabricação, permitindo uma cura mais rápida e mais controlável (PORTER, 1991). O ZnO é um catalizador e acelerador de reações para a borracha dos pneus do carro, melhorando consideravelmente a condutividade térmica que é crucial para dissipar o calor produzido pela deformação, quando o pneu roda. Por ser fungicida, protege a borracha da ação dos fungos (BROWN, 1976).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Materiais

Abaixo encontra-se descrito os materiais utilizados neste trabalho e suas respectivas propriedades e características.

#### 5.1.1 Polipropileno

Para este estudo foi utilizado o Polipropileno do tipo EP 440L fornecido pela Suzano Petroquímica S.A. As propriedades deste polímero estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2: Propriedades do Polipropileno**

<b>Propriedades</b>	<b>Valor</b>	<b>Método ASTM</b>
<b>Físicas</b>		
Índice de Fluidez (230°C/2,16Kg)	<b>6,0</b> g/10min	D-1238
Densidade (23°C)	<b>0,93</b> g/cm <sup>3</sup>	D-792
<b>Mecânicas</b>		
Resistência a Tração no Escoamento (50mm/min)	<b>24</b> Mpa	D-638
Alongamento no Escoamento (50mm/min)	<b>6%</b>	D-638
Módulo de Flexão (1,3mm/min)	<b>1200</b> MPa	D-790
Resistência ao Impacto IZOD @ 23°C	<b>200</b> J/m	D-256
Resistência ao Impacto IZOD @ -20°C	<b>65</b> J/m	D-256
Dureza Shore D (1s)	<b>70</b>	D-2240
<b>Térmicas</b>		
Temperatura de Amolecimento Vicat (10N/Taxa A)	<b>140</b> °C	D-12525
Temperatura de Distorção Térmica (0,45MPa)	<b>85</b> °C	D-648

#### 5.1.2 Carbonato de Cálcio

Foi utilizado o Carbonato de Cálcio fornecido pela Carbomil S/A. As características do Carbonato de Cálcio estão apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3: Características do Carbonato de Cálcio**

<b>Características da Matéria Prima</b>	<b>Composição Química</b>
Densidade de 2,7g/cm <sup>3</sup>	CaCO <sub>3</sub> 96,6 % - 98,5 %
<b>Características Físicas</b>	<b>Caracterização Granulométrica do Produto</b>
Densidade Aparente ≤ 1,05 g/cm <sup>3</sup>	Área Superficial de 3,8 m <sup>2</sup> /g

### 5.1.3 Talco

Foi utilizado o Talco fornecido pela Magnesita Refratários S/A, tipo GM-20. As características do Talco estão apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4: Características do Talco**

<b>Características da Matéria Prima</b>	<b>Características Físicas</b>
Densidade Média d50 = 3,5 µm	Densidade Aparente = 0,20 g/cm <sup>3</sup>

### 5.1.4 Óxido de Zinco

Foi utilizado o Óxido de Zinco fornecido pela Brazinco Indústria de Pigmentos Ltda. As características do Óxido de Zinco estão apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5: Características do Óxido de Zinco**

<b>Requisitos</b>	<b>Especificação</b>	<b>Resultados</b>
<b>Óxido de Zinco</b>	(99,0 a 100,5)% (Após Ignição)	99,90%
<b>Área Superficial</b>	(6,5 a 10) m <sup>2</sup> /g	9,3 m <sup>2</sup> /g

## 5.2 Métodos

Abaixo encontra-se descrito a metodologia utilizada neste trabalho, bem como, o fluxograma de cada etapa.

### 5.2.1 Preparo das Misturas

Secagem do PP: a fim de evitar que o polipropileno contenha umidade excessiva, este e as respectivas cargas foram previamente secos em estufa de circulação de ar , numa temperatura de 50°C por duas horas.

Mistura dos Compósitos: o polipropileno foi misturado através do processamento dos compósitos com o talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco. Para este trabalho foram definidas as proporções de 10, 20 e 30% de cargas, quantidades comumente utilizadas para o talco e o carbonato de cálcio.

### 5.2.2 Processamento dos Compósitos

Processamento em Extrusora: a fim de reduzir ao máximo a degradação térmica do extrudado, os compósitos foram processadas em extrusora dupla rosca (L/D = 40mm) Imacom, nos perfis de rosca, temperatura de vazão previamente definidos. As condições de Extrusão dos compósitos são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6: Condições de Extrusão dos compósitos**

<b>EXTRUSÃO DOS COMPÓSITOS</b>	
<b>Alimentação (RPM)</b>	10,7
<b>Rotação (RPM)</b>	172
<b>Temperaturas da Extrusão (°C)</b>	Zona 1 - 145
	Zona 2 - 160
	Zona 3 - 160
	Zona 4 - 170
	Zona 5 - 180
	Zona 6 - 180
	Zona 7 - 190
	Zona 8 - 200
	Zona 9 - 200

Processamento em Injetora: Para a injeção dos corpos-de-prova os compostos previamente processados em extrusora dupla rosca, foram injetados utilizando uma injetora ROMI com força de fechamento de 150 toneladas. As condições de injeção dos compósitos encontram-se apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7: Condições de injeção dos compósitos**

<b>INJEÇÃO DOS COMPÓSITOS</b>	
<b>Pressão de Injeção (bar)</b>	400
<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	65
<b>Pressão de Recalque (bar)</b>	200
<b>Contrapressão (bar)</b>	5
<b>Velocidade de Injeção (cm<sup>3</sup>/s)</b>	50 – 120
<b>Tempo de resfriamento (s)</b>	30
	Zona 1 - 180
<b>Temperaturas da Injeção (°C)</b>	Zona 2 - 190
	Zona 3 - 200
	Zona 4 - 210

### 5.2.3 Estudo das Propriedades Térmicas

#### 5.2.3.1 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A fim de efetuar um acompanhamento da degradação das propriedades térmicas dos diferentes compósitos PP / cargas minerais (temperatura de transição vítrea, temperatura de fusão e porcentagem de cristalização e taxa de cristalização) foram realizadas análises em Calorímetro Diferencial de Varredura TA modelo Q100. Foi avaliada a variação na temperatura de distorção do polipropileno em função da variação de carga e quantidade da mesma, em aparelho HDT 300 DICAT e segundo norma ISO 75.



### **5.2.3.2 Índice de Fluidez (MFI)**

A fim de avaliar a influência das diferentes cargas e teores na viscosidade do polipropileno, foram realizados ensaios de índice de fluidez para as diferentes misturas. As análises de MFI foram realizadas em aparelho para índice de fluidez DSM MI-1, descritas na norma ASTM D-1238. Os parâmetros utilizados na máquina foram: temperatura de 230°C e carga de 2160 gramas, tempo de espera entre as amostras de 20s, tempo de estabilização do material de 100s, utilizados cinco corpos de prova para cada material e os materiais foram secos por 3 horas à 100°C numa estufa, antes do ensaio.

### **5.2.4 Estudo das Propriedades Mecânicas**

#### **5.2.4.1 Resistência a Tração, Resistência a Flexão**

A avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos de PP foram realizadas através do ensaio de tração e flexão em máquina de ensaio universal Emic modelo DL200, utilizando-se a distancia entre garras de 115 mm e a aquisição e tratamentos de dados foram realizados pelo Software – da EMIC.

No ensaio de tração (norma ISO 527) e flexão (norma ISO 178), foram utilizados 5 corpos, para cada composição, acondicionados no ambiente em que foram realizados os ensaios a uma temperatura de 25°C e umidade relativa de 55%. Os ensaios ocorreram em uma velocidade constante de 50 mm/min. O ensaio de flexão seguiu as seguintes condições: temperatura do ensaio de 25°C e célula de carga de 5KN, dimensões do corpo de prova: Comprimento de 80 mm, largura (b)= 10 mm e espessura (d) = 4 mm, distância entre os apoios (L) = 64 mm, velocidade de descida da travessa = 2 mm/min. O módulo foi medido a uma deformação de 3,5%. Sendo que o ensaio foi realizado até uma deformação de 5% ou até ruptura.

#### **5.2.4.2 Resistência ao Impacto Izod, com Entalhe**

Foram realizados ensaios de resistência ao impacto Izod para as diferentes cargas e teores, numa máquina EMIC – AIC em três amostras de polipropileno puro e três amostras de cada compósito, de acordo com a norma ISO 180. O método do teste consiste em determinar a resistência à quebra por choque flexional de plásticos e isolantes, através da medição de energia cinética armazenada em pêndulo e liberada ao se chocar com o corpo de prova. Pelo fato do material ensaiado possuir uma grande resistência ao impacto, foram feitos entalhes de 2 mm de profundidade nos corpos de prova. O martelo utilizado foi de 2,7J.

#### **5.2.4.3 Variação Dimensional**

A fim de avaliar a variação do efeito de contração do PP carregado, a variação de medidas dimensionais dos corpos de prova injetados em função do tipo e teor de carga foram avaliadas com paquímetro. As dimensões do molde utilizado foram de 150 mm para o comprimento, de  $10 \pm 0,2$  mm para a largura e de  $4 \pm 0,2$  mm para a espessura de acordo a norma ISO 527.

### **5.2.5 Estudo das Propriedades Morfológicas**

#### **5.2.5.1 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)**

A apreciação da morfologia dos compósitos PP/cargas minerais foi efetuada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) em microscópio eletrônico Stereoscan 440, disponível no Laboratório de Materiais do CT GAS-RN. Serão realizadas análises morfológicas das amostras de PP com 30% de talco, PP com 30% de carbonato de cálcio e PP com 30% de óxido de zinco numa ampliação de 100x, 1000x, 5000x e 10.000x.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Ensaio de Resistência a Tração

Com o intuito de verificar a variação nas propriedades mecânicas do polipropileno puro em relação aos compósitos com 10%, 20% e 30% de carbonato, talco e óxido foram realizados os ensaios de resistência a tração e resistência a flexão. Estes ensaios têm como objetivo principal avaliar o aumento na rigidez e fragilidade das composições, com principal interesse para as propriedades das misturas com óxido de zinco, que não apresentam nenhuma referência na literatura. Os principais resultados encontrados para estes ensaios são apresentados nas Figura 6, 7, 8 e Tabela 8, 9, 10.

Segundo os resultados apresentados na Figura 6 e na Tabela 8, verificou-se uma redução na tensão na ruptura do polipropileno com o acréscimo de carbonato de cálcio como carga de reforço. Esta redução é ainda proporcional a quantidade de  $\text{CaCO}_3$ , ocorrendo uma redução de 10% para a composição com 10% de carbonato de cálcio, uma redução de 16 % para a composição com 20% de carbonato de cálcio e uma redução de 21% para a composição de com 30% de carbonato de cálcio.

Segundo os resultados apresentados na Figura 6 e na Tabela 8, verificou-se um aumento na tensão na ruptura do polipropileno com o acréscimo de talco como carga de reforço. Este aumento é ainda proporcional a quantidade de talco, ocorrendo um aumento de 5% para a composição com 10% de talco, um aumento de 5 % para a composição com 20% de talco e um aumento de 10 % para a composição de com 30% de talco.

Segundo os resultados apresentados na Figura 6 e na Tabela 8, verificou-se uma redução na tensão na ruptura do polipropileno com o acréscimo de óxido de zinco como carga de reforço. Esta redução é ainda proporcional a quantidade de  $\text{ZnO}$ , ocorrendo uma redução de 5 % para a composição com 10% de óxido de zinco, uma redução de 5% para a composição com 20% de óxido de zinco e uma redução de 10% para a composição de com 30% de óxido de zinco.

Tabela 8: Resultados dos Ensaios de Tensão Máxima

TENSÃO MÁXIMA		
Material	%	(MPa)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	17 ± 0.5
	20	16 ± 0.3
	30	15 ± 0.3
PP + Talco	10	20 ± 0.3
	20	20 ± 0.3
	30	21 ± 0.6
PP + ZnO	10	18 ± 0.7
	20	18 ± 0.4
	30	17 ± 0.3
PP puro		19 ± 0.2

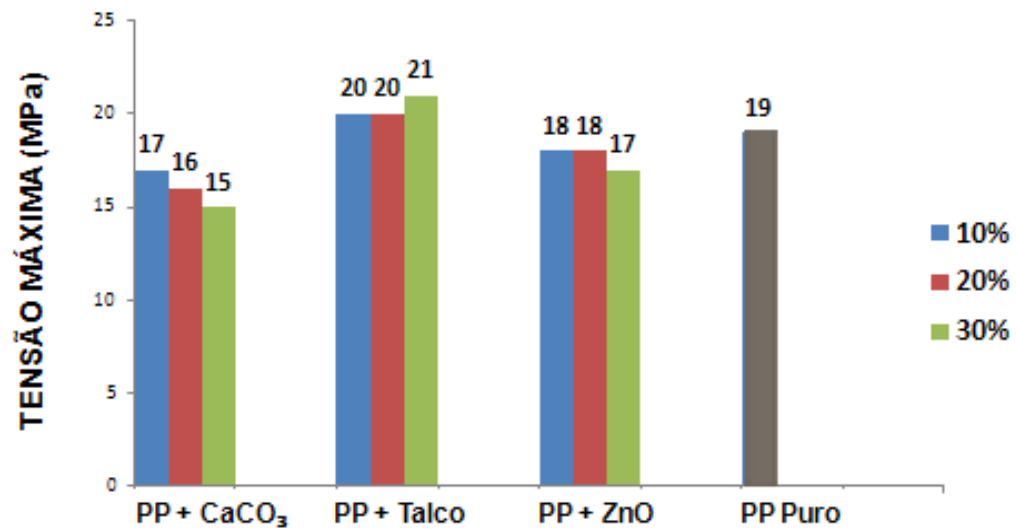


Figura 6: Resultados dos Ensaios de Tensão Máxima

## 6.2 Ensaios de Resistência a Flexão

Para os resultados de alongação na ruptura, apresentados na Figura 7 e Tabela 9, verificou-se uma redução nos valores desta propriedade quando o

polipropileno é reforçado com o carbonato de cálcio. Esta redução é ainda proporcional a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  nas composições, ocorrendo uma redução de 25% para a composição PP/ $\text{CaCO}_3$  (90/10), uma redução de 60% para a composição PP/ $\text{CaCO}_3$  (80/20) e uma redução de 75% para a composição PP/ $\text{CaCO}_3$  (70/30).

Para os resultados de alongação na ruptura, apresentados na Figura 7 e Tabela 9, verificou-se uma significativa redução nos valores desta propriedade quando o polipropileno é reforçado com o talco. Esta redução é ainda proporcional a quantidade de talco nas composições, ocorrendo uma redução de 84% para a composição PP/Talco (90/10), uma redução de 91% para a composição PP/Talco (80/20) e uma redução de 97% para a composição PP/Talco (70/30).

Para os resultados de alongação na ruptura, apresentados na Figura 7 e Tabela 9, verificou-se uma redução nos valores desta propriedade quando o polipropileno é reforçado com o óxido de zinco. Convém ressaltar, porém, que esta redução é menos significativa que a ocorrida com o carbonato de cálcio e o talco. Esta redução é ainda proporcional a quantidade de óxido de zinco nas composições, ocorrendo uma redução de 12% para a composição PP/ $\text{ZnO}$  (90/10), uma redução de 34% para a composição PP/ $\text{ZnO}$  (80/20) e uma redução de 61% para a composição PP/ $\text{ZnO}$  (70/30).

**Tabela 9: Resultados dos Ensaios de Deformação na Ruptura**

<b>DEFORMAÇÃO NA RUPTURA</b>		
<b>Material</b>	<b>%</b>	<b>(%)</b>
<b>PP + <math>\text{CaCO}_3</math></b>	10	<b>295</b>
	20	<b>156</b>
	30	<b>97</b>
<b>PP + Talco</b>	10	<b>60</b>
	20	<b>34</b>
	30	<b>13</b>
<b>PP + <math>\text{ZnO}</math></b>	10	<b>346</b>
	20	<b>262</b>
	30	<b>153</b>
<b>PP puro</b>		<b>396</b>

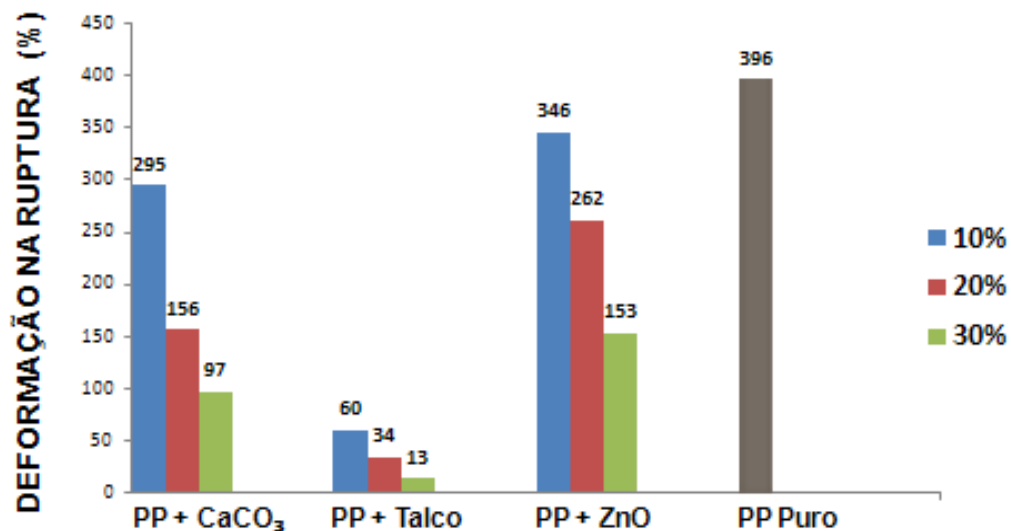


Figura 7: Resultados dos Ensaio de Deformação na Ruptura

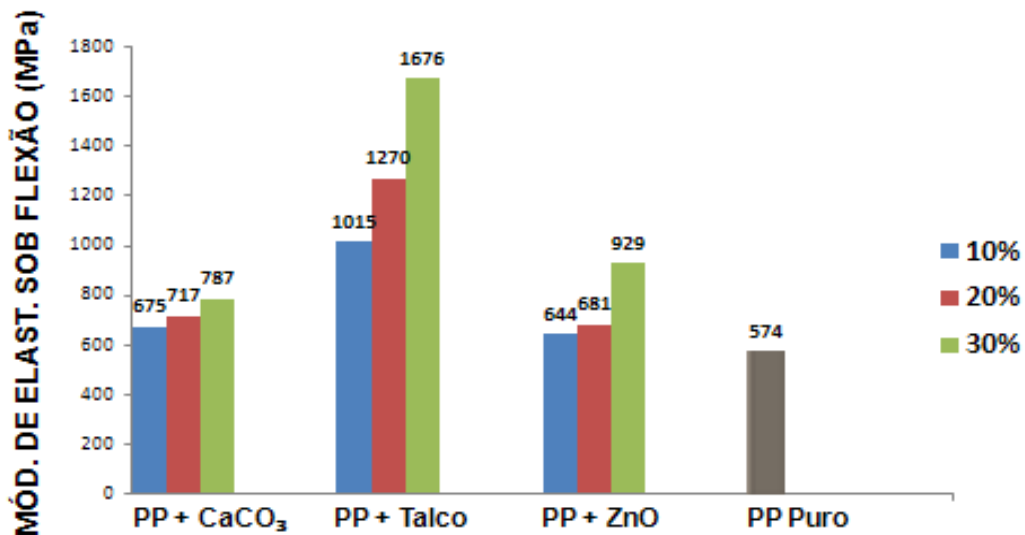
### 6.3 Ensaio de Módulo de Elasticidade

Os resultados de módulo de elasticidade, apresentados na Figura 8 e Tabela 10, foram adquiridos a partir dos ensaios de resistência a flexão, por apresentarem menores variações de valores. Para esta propriedade, verificou-se um aumento do módulo de elasticidade para todas as composições reforçadas com talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco. O aumento no módulo de elasticidade foi mais expressivo para as composições com talco, ocorrendo um aumento de 76% para a mistura PP/Talco (90/10), aumento de 121 % para a composição PP/Talco (80/20) e aumento de 192% para a o composto PP/Talco (70/30). Para o carbonato de cálcio este aumento não ocorreu de maneira tão intensa, apresentando um aumento de 17% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10), 25% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20) e 37% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30). O óxido de zinco também apresentou um aumento no módulo de elasticidade em todas as suas composições. Estes aumento foi respectivamente de 12% para o compósito PP/ZnO (90/10) e 19% para o compósito PP/ZnO (80/20). Verificou-se ainda que a composição PP/ZnO (70/30) apresentou um aumento de 62% no módulo de elasticidade em relação ao PP puro. Este crescimento no módulo de

elasticidade foi proporcionalmente maior em relação a composição com a mesma quantidade de carbonato de cálcio (PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30)), fato este não verificado para as composições com 10% e 20% de óxido de zinco.

**Tabela 10: Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade sob Flexão**

<b>MÓDULO DE ELASTICIDADE SOB FLEXÃO</b>		
<b>Material</b>	<b>%</b>	<b>(MPa)</b>
<b>PP + CaCO<sub>3</sub></b>	10	<b>675</b>
	20	<b>717</b>
	30	<b>787</b>
<b>PP + Talco</b>	10	<b>1015</b>
	20	<b>1270</b>
	30	<b>1676</b>
<b>PP + ZnO</b>	10	<b>644</b>
	20	<b>681</b>
	30	<b>929</b>
<b>PP puro</b>		<b>574</b>



**Figura 8: Resultados dos Ensaios de Módulo de Elasticidade sob Flexão**

Analisando-se de forma conjunta os resultados de resistência a tração, alongação na ruptura e módulo de elasticidade, verifica-se que todos materiais utilizados como cargas (talco, óxido de zinco e carbonato de cálcio) ocasionam

em maior ou menor grau um aumento na rigidez e na fragilidade das composições. O enrijecimento das composições pode ser evidenciado pelo aumento no módulo de elasticidade e tensão na ruptura, enquanto a fragilização pode ser evidenciada pela redução na elongação na ruptura dos compósitos em relação ao polipropileno puro. O talco foi a carga que mais significativamente contribui para o enrijecimento do compósito, apresentando os maiores valores de módulo e tensão. Porém o talco é também o material responsável pela mais significativa redução nas propriedades de elongação na ruptura, sendo portanto a carga mais fragilizante. Dentre as três cargas o carbonato de cálcio apresentou a pior performance, apresentando um aumento de rigidez menor que o obtido com o talco, porém com um aumento na fragilidade próximo ao desta carga. Já o óxido de zinco foi o material que apresentou uma variação de propriedades mais balanceado, conseguindo certo aumento na rigidez sem aumento significativo na fragilidade do composto. As propriedades para o talco e o carbonato de cálcio foram verificadas também por (LOBATO & SÁ, 2001). Para o óxido de zinco não foram encontradas referências sobre o assunto.

#### **6.4 Ensaio de Dureza Shore D**

Foram realizados ensaios de dureza Shore D com o intuito de verificar a variação na resistência a risco do polipropileno quando carregado com as cargas talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco. Talco e carbonato de cálcio apresentam baixa dureza servindo inclusive como referência na escala Mohs para minerais de baixa dureza (dureza Mohs 1 e 3, respectivamente). Os resultados de Dureza Shore D para o polipropileno e as suas diferentes composições com óxido de zinco, talco e carbonato de cálcio são apresentadas na Tabela 11 e Figura 9.

Segundo os resultados de Dureza Shore D encontrados, verificou-se que a matriz polimérica de PP não têm a sua dureza afetada pelo tipo de carga ou variação de quantidade das mesmas. Todos os resultados apresentaram uma mínima variação, justificável por variações experimentais. A Tabela 10 e a Fig. 9 apresentam os resultados dos ensaios de Dureza.



Tabela 11: Resultados dos Ensaio de Dureza

DUREZA SHORE D		
Material	%	(SHORE D)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	60
	20	60
	30	61
PP + Talco	10	61
	20	62
	30	62
PP + ZnO	10	62
	20	61
	30	61
PP puro	/	62

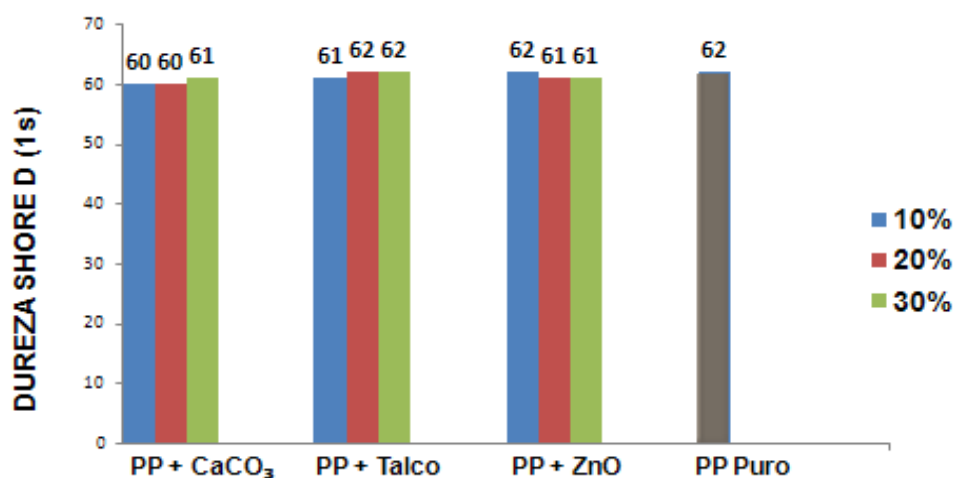


Figura 9: Resultados dos Ensaio de Dureza

### 6.5 Ensaio de Resistência ao Impacto Izod, com Entalhe

Os ensaios de resistência ao impacto consistem em um método de determinação da resistência a quebra por choque flexional, através de energia cinética armazenada em pêndulo e liberada ao se chocar com o corpo de prova. Como estas energias de ruptura de corpos de prova podem ser elevadas, realiza-se no corpo de prova um entalhe objetivando intensificar a propagação de trincar e reduzir a energia necessária para a ruptura do corpo

de prova. Este ensaio têm como objetivo avaliar a influência das cargas de reforço do talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco nas propriedades de resistência a incidência de tensões de alta intensidade e baixa duração, caracterizada aqui pelo impacto de um pêndulo, no polipropileno. Os resultados de resistência ao Impacto Izod, com entalhe para o polipropileno e misturas de polipropileno reforçado com talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco são apresentados na Tabela 12 e na Figura 10.

Verificou-se uma expressiva redução nas propriedades de resistência ao impacto para os compósitos de polipropileno reforçados com talco, sendo esta redução de valores proporcional a quantidade desta carga na mistura, ocorrendo uma redução de 33,3% para o compósito PP/Talco (90/10), 51,3% para o compósito PP/Talco (80/20) e 66,7% para o compósito PP/Talco (70/30).

O carbonato de cálcio apresentou comportamento similar ao talco, ocorrendo também uma significativa redução das propriedades de resistência ao impacto das misturas PP/CaCO<sub>3</sub> em relação ao polipropileno puro. Esta redução também é proporcional a quantidade de carga na mistura, ocorrendo uma redução de 38,5% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10), de 64,1% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20) e de 66,7% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30).

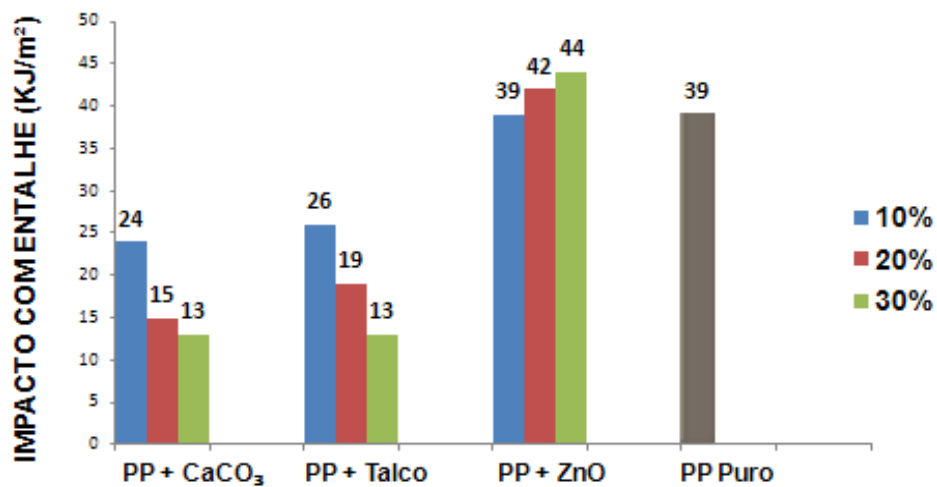
Este efeito antagonístico nas propriedades dos compósitos PP/Talco e PP/CaCO<sub>3</sub> é possivelmente explicado pela baixa adesividade e interação entre a matriz de polipropileno e a carga dispersa. Esta baixa interação matriz/carga permitiria a fácil propagação de trincas, necessitando-se desta maneira de uma baixa energia para a ruptura dos respectivos corpos de prova sob impacto. Estudos realizados por (FERREIRA & NUNES, 2009) e (FERREIRA & NUNES, 2009) observaram este efeito. Resultados de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), vem a confirmar esta hipótese, apresentando a baixa miscibilidade entre estes componentes.

Os resultados de resistência ao impacto Izod, com entalhe para os compósitos de polipropileno e óxido de zinco apresentaram um aumento de valores em relação ao polipropileno. Este aumento foi ainda proporcional a quantidade de óxido de zinco, resultando em um aumento de 7,7% para a mistura PP/ZnO (80/20) e 12,8% de aumento para a mistura PP/ZnO (70/30). Este efeito é totalmente inesperado, onde o óxido de zinco se comporta como

uma carga tenacificadora. Atribui-se para isso a hipótese de uma boa interação/adensidade da matriz polimérica de polipropileno com a carga de óxido de zinco. Este comportamento poderá ser evidenciado através da análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Convém ainda ressaltar que não se encontrou na literatura estudos similares de compósitos de polipropileno e óxido de zinco com intuito de comparação.

**Tabela 12: Resultados dos Ensaio de Impacto com Entalhe**

IMPACTO COM ENTALHE		
Material	%	(KJ/m <sup>2</sup> )
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	24
	20	15
	30	13
PP + Talco	10	26
	20	19
	30	13
PP + ZnO	10	39
	20	42
	30	44
PP puro	/	39



**Figura 10: Resultados dos Ensaio de Impacto com Entalhe**

## 6.6 Ensaio da Variação Dimensional

A medida da variação dimensional é de fundamental importância para determinarmos o grau de contração do polipropileno após a injeção. Segundo (CANEVAROLO JUNIOR, 2006) o PP puro apresenta uma contração de 2 a 3% em suas dimensões. Por este motivo é, na indústria automotiva, de comum utilização o carregamento do polipropileno com cargas com intuito de reduzir a contração de peças injetadas, como por exemplo para-choques, evitando assim o empenamento e deformação destas peças. Os resultados dos testes de variação dimensional são apresentados na Tabela 13 e Fig. 11.

Para os ensaios realizados neste trabalho, verificou-se que para o carbonato de cálcio ocorreu uma significativa redução na variação dimensional das misturas de PP/CaCO<sub>3</sub> em relação ao polipropileno puro. Esta redução também é proporcional a quantidade de carga na mistura, ocorrendo uma redução de 5,3% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10), de 10,5% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20) e de 15,8% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30)

O óxido de zinco apresentou comportamento similar ao carbonato de cálcio, apresentando os mesmos resultados: 5,3% para a composição PP/ZnO (90/10), de 10,5% para a composição PP/ZnO (80/20), de 15,8% para a composição de PP/ZnO (70/30).

Para os compósitos de polipropileno reforçados com talco verificou-se uma expressiva redução da variação dimensional, superior a ocorrida com o polipropileno reforçado com CaCO<sub>3</sub> e ZnO. Esta redução é ainda proporcional a quantidade desta carga na mistura, ocorrendo uma redução de 21,1% para o compósito PP/Talco (90/10), de 31,6% para o compósito PP/Talco (80/20) e 42,1% para o compósito PP/Talco (70/30).

Tabela 13: Resultados dos Ensaio de Variação Dimensional

VARIACÃO DIMENSIONAL		
Material	% Comprimento (mm)	Contração (%)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	147,3
	20	147,5
	30	147,6
PP + Talco	10	147,8
	20	148,0
	30	148,4
PP + ZnO	10	147,3
	20	147,4
	30	147,5
PP puro		147,2

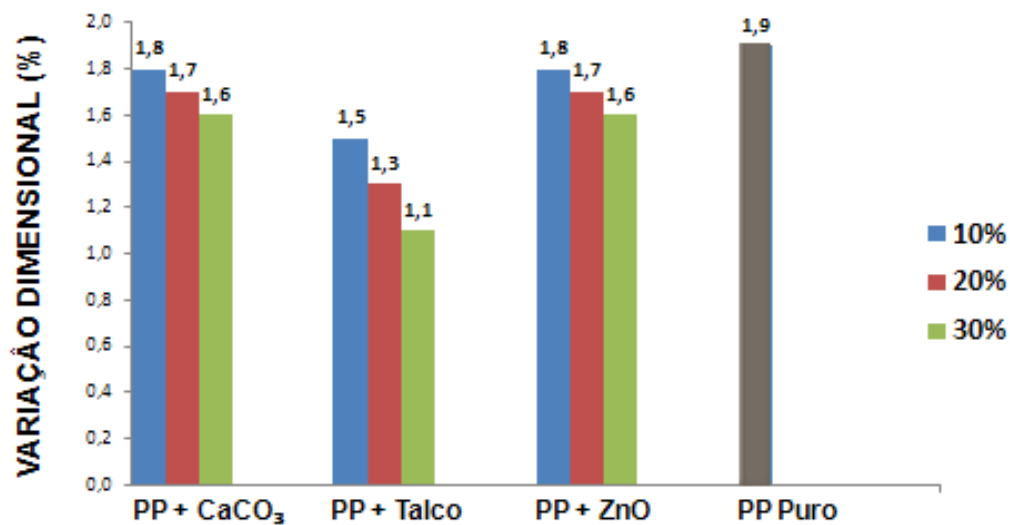


Figura 11: Resultados dos Ensaio de Variação Dimensional

## 6.7 Ensaio do Índice de Fluidez (MFI)

O índice de fluidez é de fundamental importância para determinarmos a viscosidade de um polímero sob determinada condição de temperatura e tensão. Estas informações são de fundamental importância para a determinação das condições de processamento do polímero. Segundo

(ROSARIO BRETAS, 2001) em polímeros carregados, as cargas minerais, como talco e carbonato de cálcio, funcionam como uma espécie de “lubrificante” para o polímero fundido, facilitando o seu deslizamento e diminuindo a sua viscosidade. Os resultados dos ensaios de índice de fluidez para o polipropileno puro e polipropileno carregado com óxido de zinco, carbonato de cálcio e talco nas proporções de 10%, 20% e 30% são apresentados na Tabela 14 e a Fig. 12 .

Para os ensaios realizados neste trabalho, verificou-se ocorreu aumento no índice de fluidez das misturas de PP/CaCO<sub>3</sub> em relação ao polipropileno puro. Este é de 14,3% para a composição PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10). Para as composições PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20) e PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30) o aumento da quantidade de carga não resultou em um aumento no índice de fluidez, ocorrendo para ambas as situações um aumento de 22,2%. Este comportamento sugere uma concentração crítica de carbonato de cálcio, acima da qual a concentração de carbonato de cálcio não afeta o índice de fluidez do material.

Para os compósitos de polipropileno reforçados com talco verificou-se um aumento do índice fluidez de 22,2%. Porém assim como as amostras reforçadas com carbonato de cálcio, não houve influência da concentração de talco nesta propriedade. Tal comportamento indica a existência de uma concentração crítica de talco, acima da qual o índice de fluidez não sofre alteração.

Diferentemente das cargas de reforço talco e carbonato de cálcio, o óxido de zinco apresentou um aumento no índice de fluidez proporcional a quantidade deste material na mistura. Para os compósitos de polipropileno reforçados com óxido de zinco verificou-se os resultados de 14,3% para a composição PP/ZnO (90/10), de 57,1% para a composição PP/ZnO (90/20) e de 85,7% para a composição de PP/ZnO (90/30). Aparentemente, para o ZnO esta concentração crítica encontrada para o carbonato de cálcio e talco não foi atingida, ou não existe.

Tabela 14: Resultados dos Ensaio do Índice de Fluidez (MFI)

ÍNDICE DE FLUIDEZ (MFI)		
Material	%	(g/10min)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	8
	20	9
	30	9
PP + Talco	10	9
	20	9
	30	9
PP + ZnO	10	8
	20	11
	30	13
PP puro	/	7

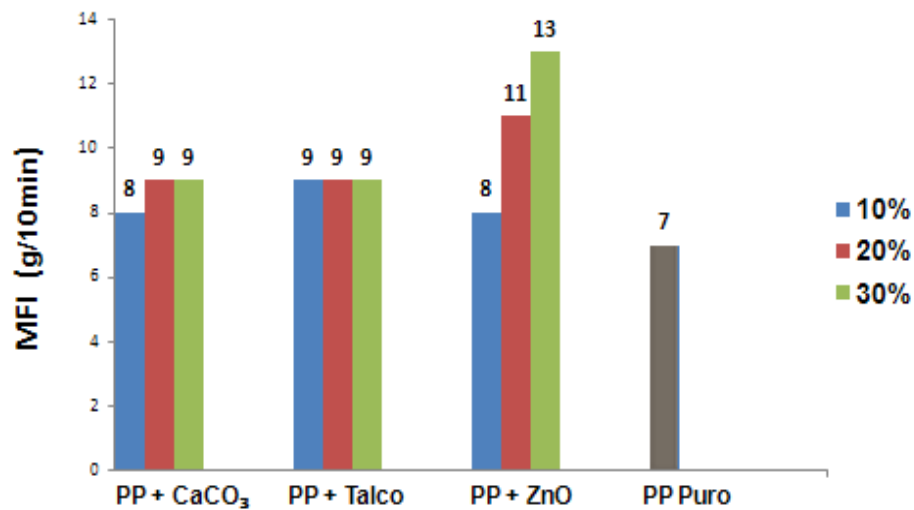


Figura 12: Resultados dos Ensaio do Índice de Fluidez (MFI)

## 6.8 Ensaio de Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

Os ensaios de temperatura de deflexão térmica são de fundamental importância em polímeros. A partir dos mesmos pode-se determinar uma temperatura máxima de trabalho para um dado polímero, acima da qual o mesmo possivelmente não conseguirá desempenhar as funções

(principalmente estruturais) para a qual foi projetado. Este ensaio é comumente realizado na indústria automotiva, onde peças em contato com o motor podem atingir uma temperatura próxima de 100°C e o interior de um veículo pode chegar a atingir temperaturas próximas dos 60°C. Os ensaios de HDT realizados para o PP e as composições com talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco são apresentadas na Tabela 15 e a Fig. 13.

Para os ensaios realizados com o carbonato de cálcio, verificou-se um aumento no índice de fluidez das misturas de PP/CaCO<sub>3</sub> em relação ao polipropileno puro. Este aumento também é proporcional a quantidade de carga nas misturas PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10) e PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20), ocorrendo um aumento de 3,4% e de 5,1%, respectivamente. A amostra PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30) apresentou um aumento de 5,1% no HDT. Este valor é idêntico ao conseguido para a amostra de composição PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20), não havendo portanto aumento na temperatura de deflexão a partir de 20% de carbonato de cálcio.

Para os compósitos de polipropileno reforçados com óxido de zinco verificou-se um aumento de 5,1% na temperatura de deflexão térmica para todas as composições. Desta maneira, quantidades acima de 10% de óxido de zinco não afetaram a temperatura de deflexão do polipropileno.

Para os compósitos de polipropileno reforçados com talco verificou-se um aumento significativo comparado ao PP carregado com CaCO<sub>3</sub> e ZnO. Este aumento foi ainda proporcional a quantidade de talco na mistura, apresentando os resultados de 13,6% para a composição PP/ZnO (90/10), de 16,9% para a composição PP/ZnO (80/20) e de 42,4% para a composição de PP/ZnO (70/30).



Tabela 15: Resultados dos Ensaio de HDT

TEMPERATURA DE DEFLEXÃO TÉRMICA (HDT)		
Material	%	(°C)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	61
	20	62
	30	62
PP + Talco	10	67
	20	69
	30	84
PP + ZnO	10	62
	20	62
	30	62
PP puro	/	59

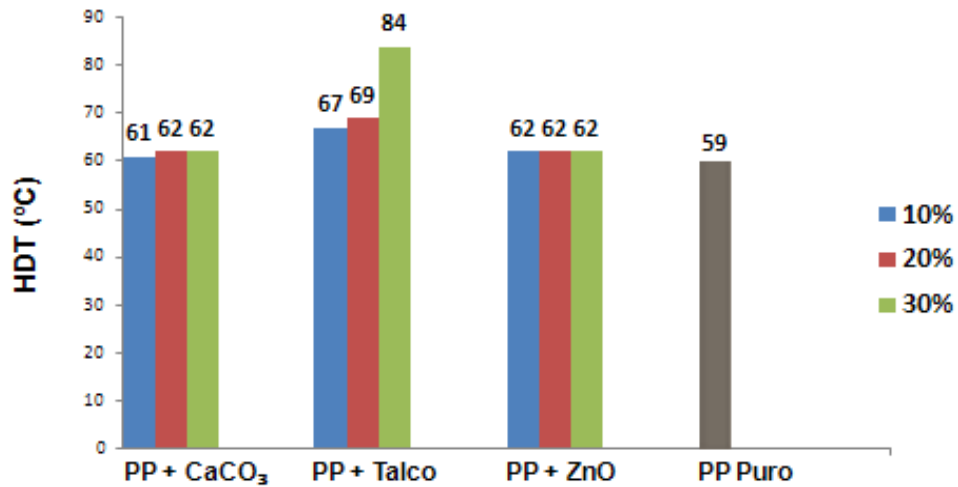


Figura 13: Resultados dos Ensaio de HDT

### 6.9 Ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) é uma análise de suma importância para a avaliação das temperaturas de trabalho de um polímero, tais como sua temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>), temperatura de cristalização a frio (T<sub>c</sub>) e temperatura de fusão (T<sub>m</sub>). As curvas DSC encontradas nas análises do polipropileno puro e dos compósitos de polipropileno reforçado com talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco nas

proporções de 10%, 20% e 30%, são apresentados a seguir nas Fig. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 e na Tabela 16.

Como principais resultados verificou-se a pequena influência das cargas de reforço talco, carbonato de cálcio e óxido de zinco na temperatura de cristalização a frio ( $T_c$ ) e temperatura de fusão ( $T_m$ ) do polipropileno. Para todas as cargas de reforço e todas as composições foram observadas variações não superiores a  $4^\circ\text{C}$ , possivelmente ocasionadas por erros experimentais. Agentes nucleantes possuem como característica o aumento da temperatura de cristalização a frio (o polímero inicia a sua cristalização em temperaturas superiores), estes resultados demonstram que estas cargas não modificam significativamente o processo de cristalização do polipropileno, sendo o seu poder nucleante limitada. No caso do talco e ZnO este efeito é praticamente inexistente, para o talco é um pouco mais pronunciado, ocasionando um aumento de  $4^\circ\text{C}$  na  $T_c$ .

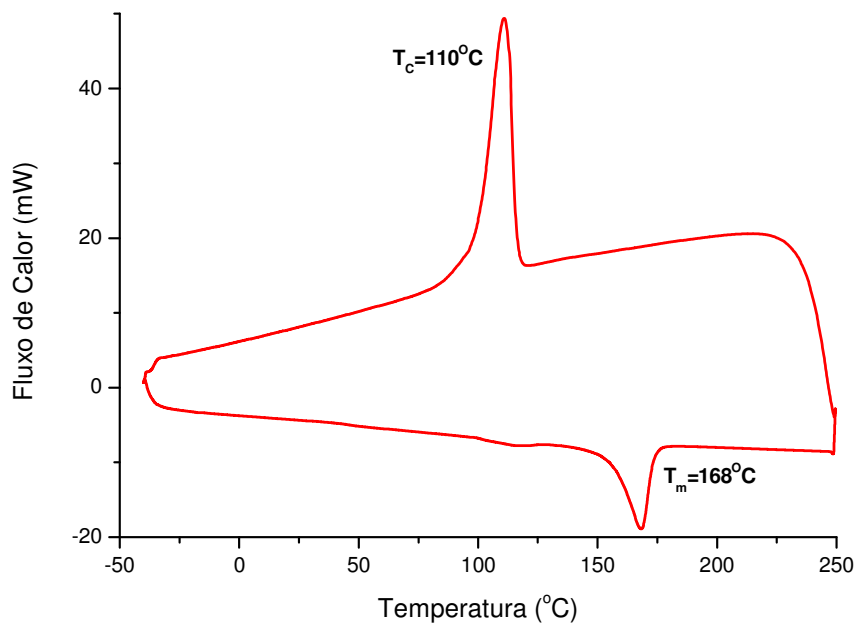


Figura 14: Curva DSC para o composto PP/CaCO<sub>3</sub> (90/10)

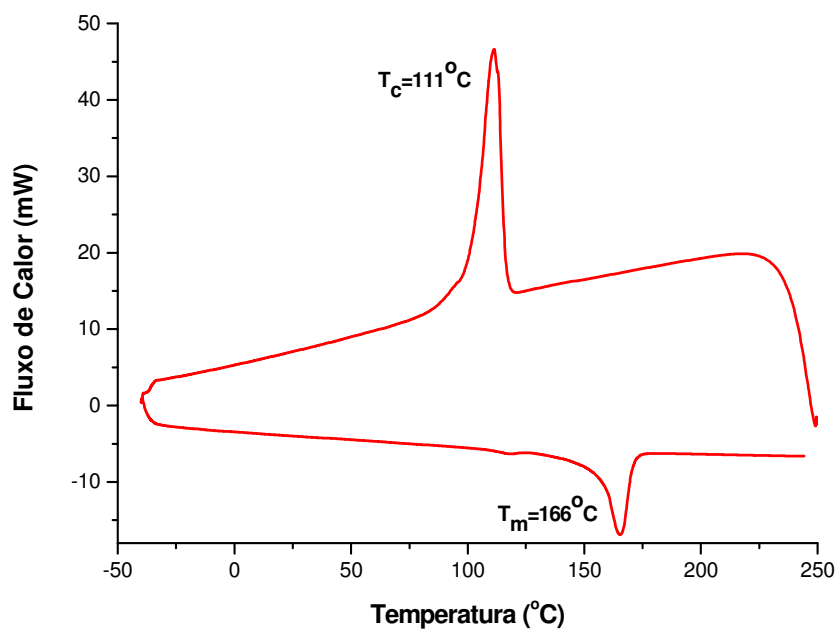


Figura 15: Curva DSC para o compósito PP/CaCO<sub>3</sub> (80/20)

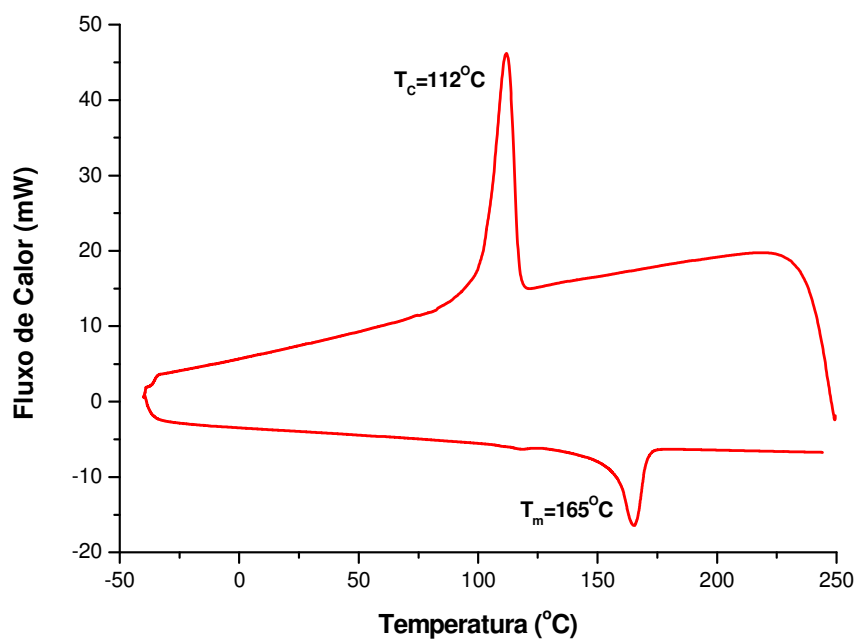


Figura 16: Curva DSC para o compósito PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30)

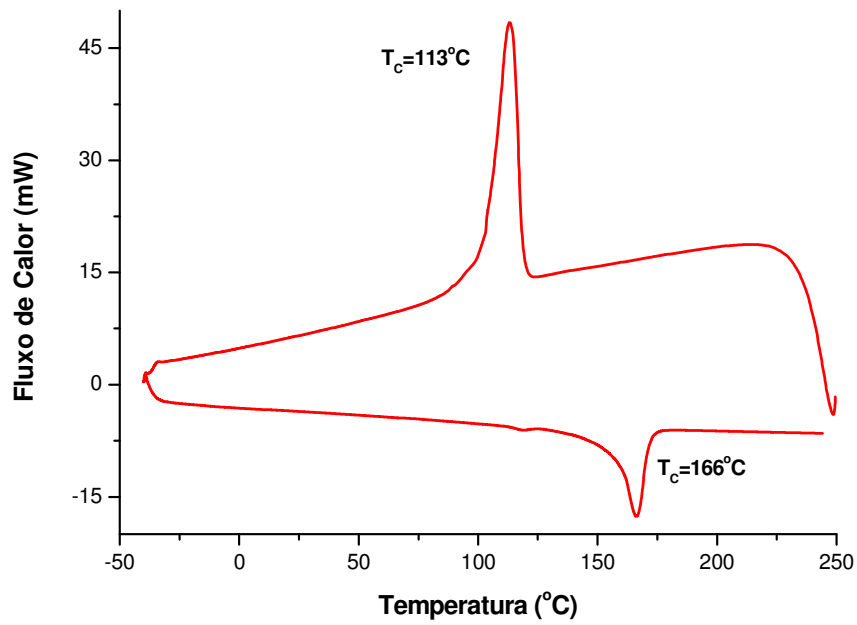


Figura 17: Curva DSC para o compósito PP/Talco (90/10)

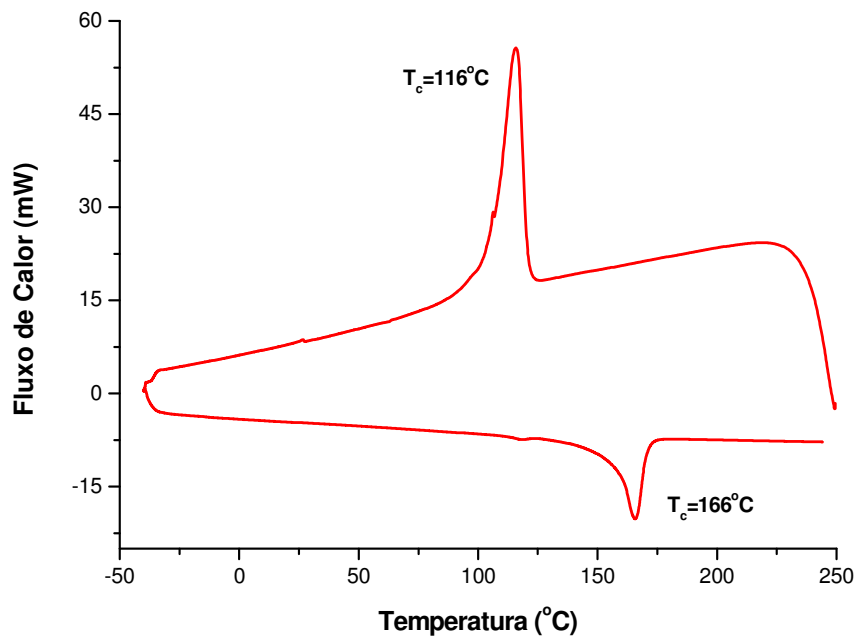


Figura 18: Curva DSC para o compósito PP/Talco (80/20)

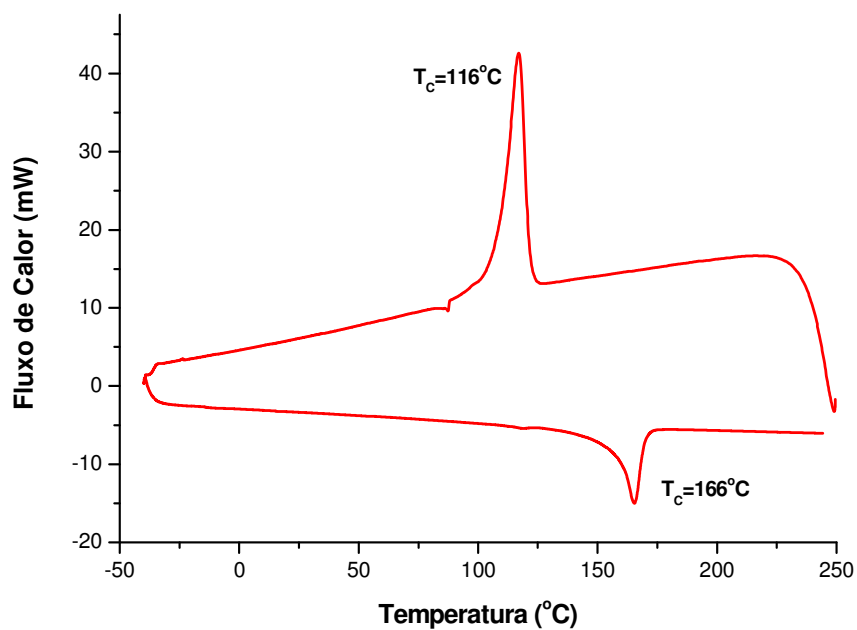


Figura 19: Curva DSC para o composto PP/Talco (70/30)

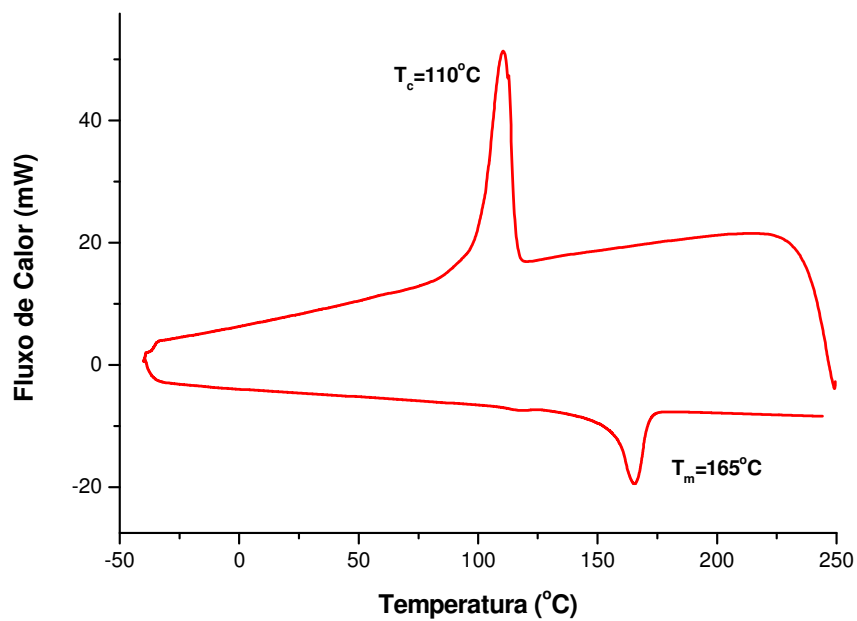


Figura 20: Curva DSC para o composto PP/ZnO (90/10)

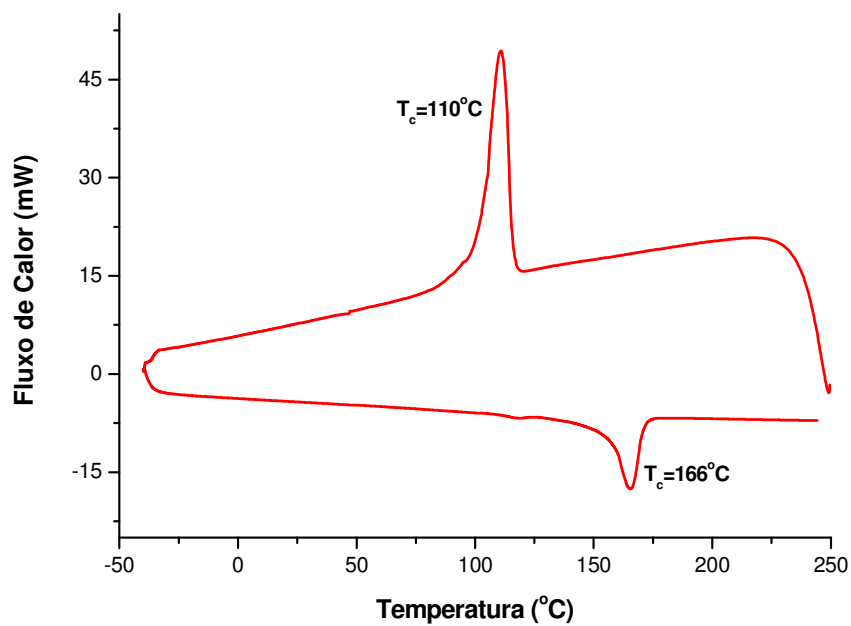


Figura 21: Curva DSC para o compósito PP/ZnO (80/20)

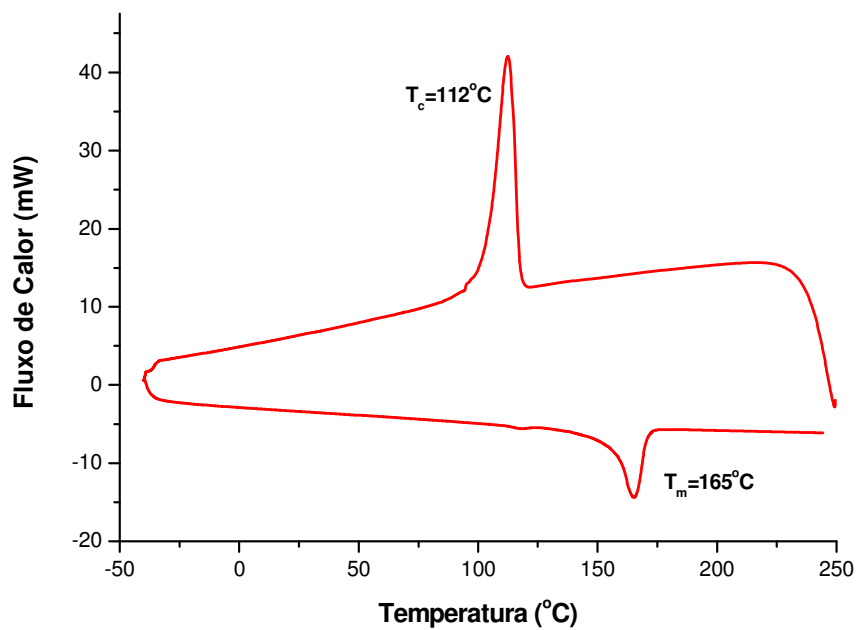


Figura 22: Curva DSC para o compósito PP/ZnO (70/30)

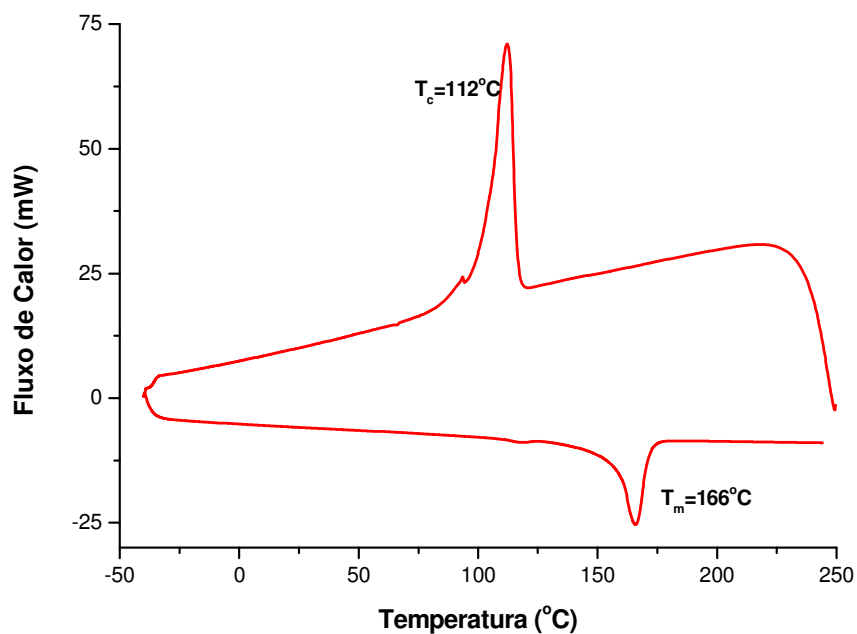


Figura 23: Curva DSC para o PP puro

Tabela 16: Resultados dos Ensaio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

DSC			
Material	%	(T <sub>c</sub> ) Temperatura de Cristalização a Frio (°C)	(T <sub>m</sub> ) Temperatura de Fusão (°C)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	110	168
	20	111	166
	30	112	165
PP + Talco	10	113	166
	20	116	166
	30	116	166
PP + ZnO	10	110	165
	20	110	166
	30	112	165
PP puro	/	112	166

## **6.10 Ensaio Morfológico de Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)**

### **6.10.1 MEV do Carbonato de Cálcio**

As Figuras 24, 25, 26 e 27 apresentam as micrografias de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície de fratura de corpos de prova de resistência ao impacto do composto PP/CaCO<sub>3</sub> (70/30) com resolução de 100x, 1000x, 5000x e 10000x, respectivamente.

Como principais resultados verifica-se uma dispersão uniforme da carga (fase mais clara) por toda a matriz polimérica (fase mais escura), sem a presença de aglomerados. Observou-se ainda que as partículas de carbonato de cálcio apresentam um formato esferulítico com diâmetro em torno de 2µm. Este é um diâmetro de partícula é considerado elevado, quando comparado com trabalhos (YANG et al, 2006) que utilizam o carbonato de cálcio como reforço do polipropileno em dimensões inferiores a 0,1 µm.

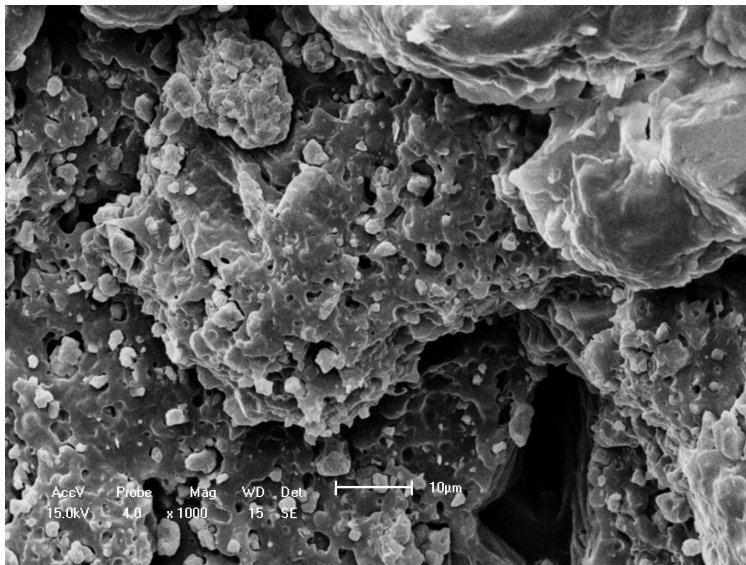
Verifica-se ainda uma baixa adesividade das partículas de CaCO<sub>3</sub> com a matriz polimérica, bem como a grande presença de vazios decorrente da fraca interação matriz/carga.

O grande tamanho de partículas, agregado a baixa área superficial de contato, baixa interação da matriz com a carga dispersa e elevado número de vazios explicam a fragilidade deste tipo de compósito, onde trincas e falhas são facilmente propagadas.

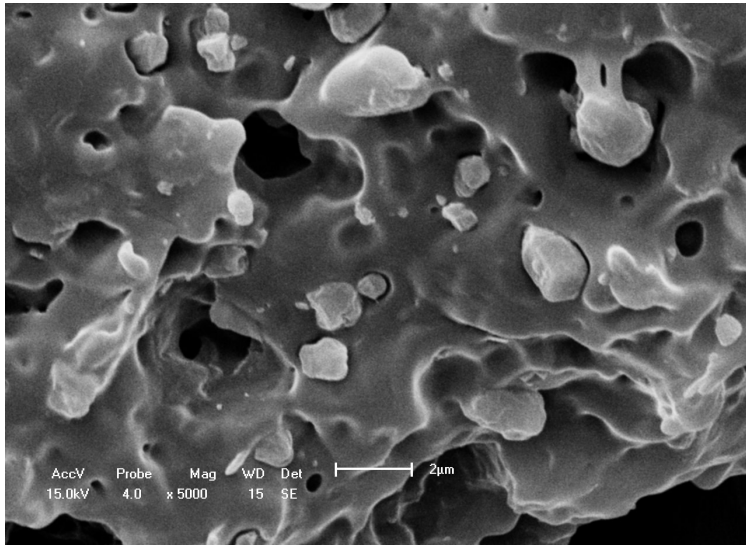




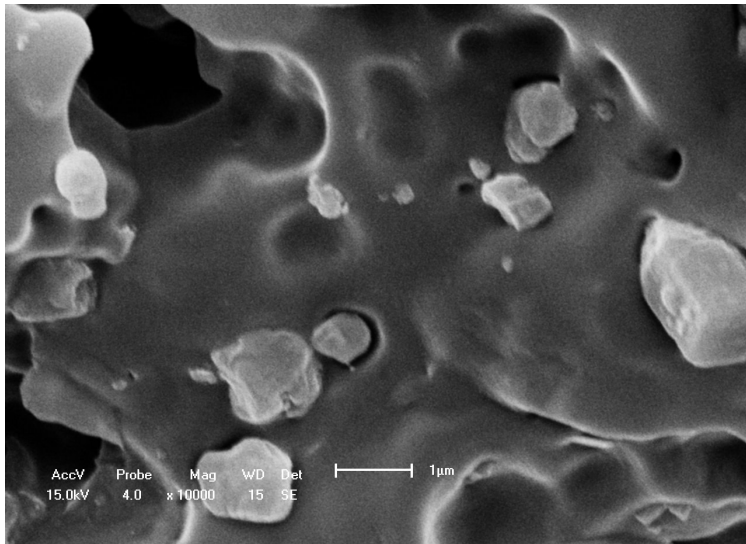
**Figura 24: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (100x)**



**Figura 25: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (1000x)**



**Figura 26: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (5000x)**



**Figura 27: Resultados dos Ensaio de MEV do Carbonato de Cálcio (10.000x)**

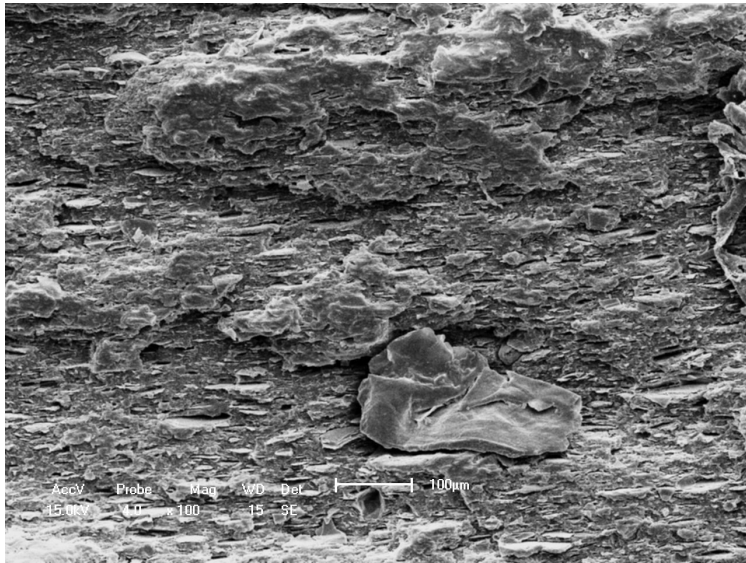
### 6.10.2 MEV do Talco

As Figuras 28, 29, 30 e 31 apresentam as micrografias de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície de fratura de corpos de prova de resistência ao impacto do composto PP/Talco (70/30) com resolução de 100x, 1000x, 5000x e 10000x, respectivamente.

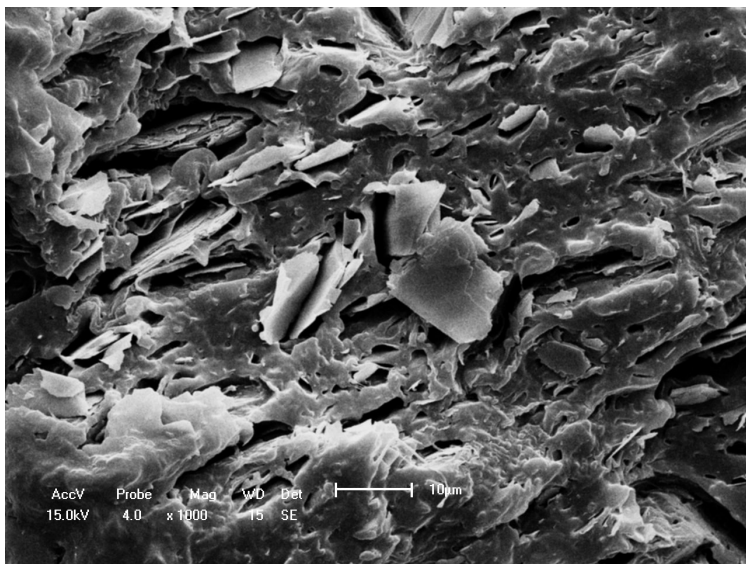
Como principais resultados verifica-se menor dispersão das cargas (fase mais clara) na matriz polimérica (fase mais escura), quando comparada as micrografias PP/CaCO<sub>3</sub>. As partículas de talco apresentam-se na forma de lamelas, com dimensões aproximadas de 10µm de largura e 50µm de comprimento.

Assim como no compósito preparado com carbonato de cálcio, verifica-se uma baixa adesividade das lamelas de talco com a matriz polimérica, bem como a grande presença de vazios decorrente da fraca interação matriz/carga.

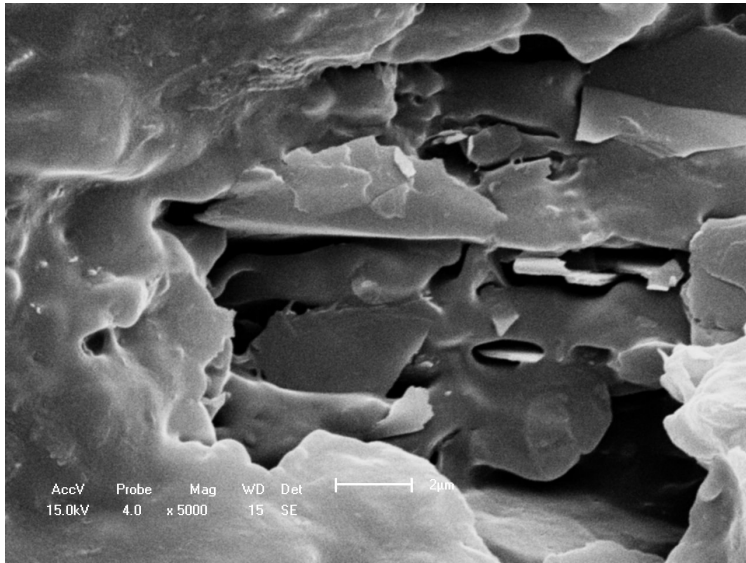
Apesar da baixa adesividade das lamelas de talco com a matriz de polipropileno, verificou-se que as propriedades mecânicas deste compósito foram superiores as encontradas para o compósito preparado com carbonato de cálcio. Esta aparente contradição pode ser explicada pela diferença de geometria apresentada pelas partículas de talco e CaCO<sub>3</sub>. Em se tratando de talco, observa-se que a área superficial deste tipo de partícula é bastante superior a encontrada para o carbonato de cálcio. Esta característica segundo (Ciminelli, 1986) é determinante para um reforço efetivo da matriz.



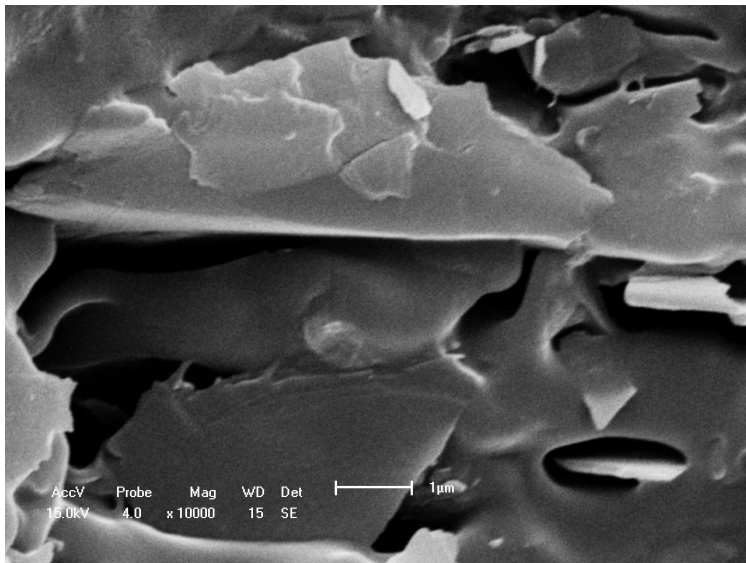
**Figura 28: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (100x)**



**Figura 29: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (1000x)**



**Figura 30: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (5000x)**



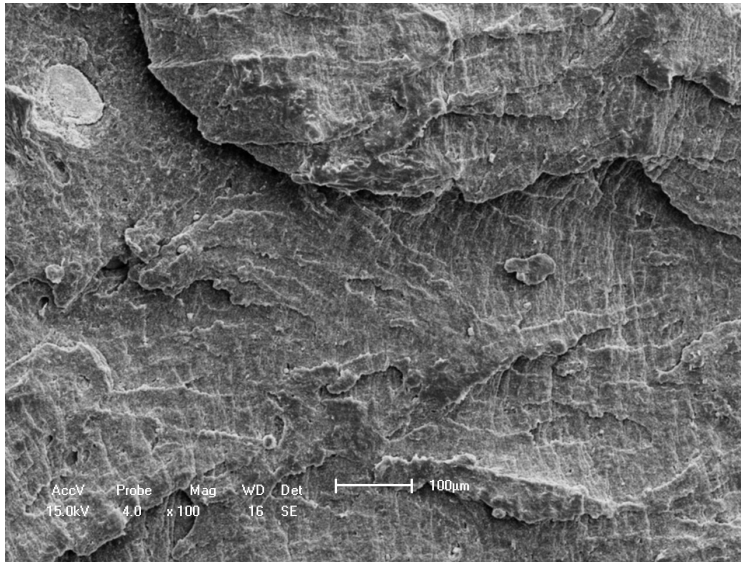
**Figura 31: Resultados dos Ensaio de MEV do Talco (10.000x)**

### 6.10.3 MEV do Óxido de Zinco

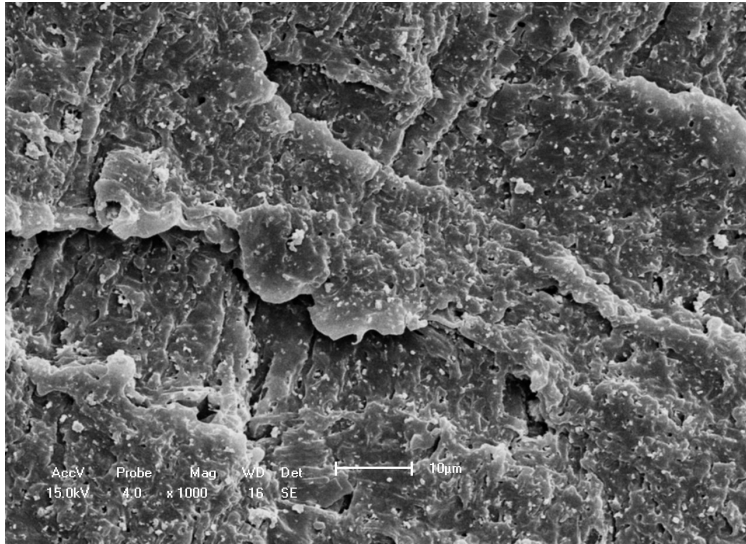
As figuras 32, 33, 34 e 35 apresentam as micrografias de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície de fratura do composto PP/ZnO (70/30) com resolução de 100x, 1000x, 5000x e 10000x, respectivamente.

As micrografias do compósito de polipropileno carregado com óxido de zinco apresentaram resultados completamente distintos dos encontrados para os compósitos com talco e carbonato de cálcio.

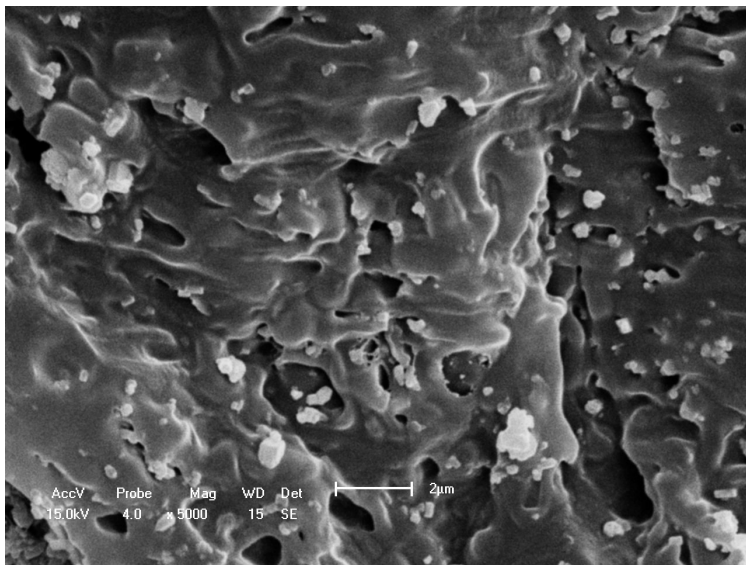
O compósito com óxido de zinco apresentou excelente dispersão de partículas (fase mais clara) na matriz polimérica (fase mais escura). O óxido de zinco apresentou, assim como o carbonato de cálcio, uma geometria esferulítica, porém com tamanho de partícula atingido a escala nanométrica (500 nm) cerca de 4x menor que o diâmetro das partículas de carbonato de cálcio. As partículas de óxido de zinco apresentaram ainda uma melhor adesividade com a matriz de polipropileno, justificando melhores resultados de resistência ao impacto.



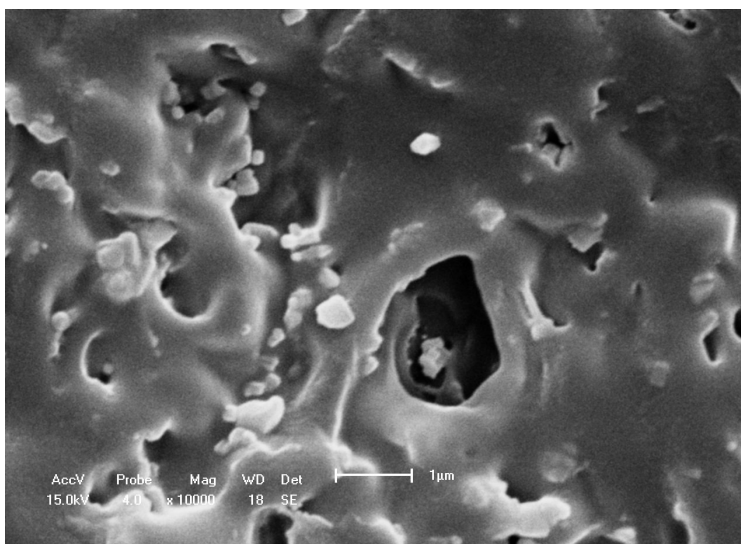
**Figura 32: Resultados dos Ensaios de MEV do Óxido de Zinco (100x)**



**Figura 33: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (1000x)**



**Figura 34: Resultados dos Ensaio de MEV do Óxido de Zinco (5000x)**



**Figura 35: Resultados dos Ensaios de MEV do Óxido de Zinco (10.000x)**

### **6.11 Estudo de Viabilidade Econômica do Óxido de Zinco**

O Brasil produz em torno de 199 mil toneladas de concentrado de zinco, o que o deixa na 12<sup>o</sup> posição entre os produtores de minério de zinco no mundo. Esta quantidade representa 1,8% da produção global, que foi de aproximadamente 11,3 milhões de toneladas, sendo a China a grande produtora do minério, com 3,2 milhões de toneladas cerca de 28% do total. Desse total de concentrado de zinco, cerca de 21% corresponde ao óxido de zinco, estas estatísticas dizem respeito a 2008 (VOTORANTIM METAIS). O preço de um quilo de óxido de zinco é cerca de dez vezes mais caro que o carbonato de cálcio e talco, os valores das cargas apresentados na tabela 17, são relativos a um de cada respectivamente .



**Tabela 17: Valores relativos a quilo de CaCO<sub>3</sub>, Talco e ZnO**

<b>VIABILIDADE ECONÔMICA</b>	
<b>Cargas</b>	<b>Preço (R\$)</b>
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	<b>3,90</b>
<b>Talco</b>	<b>2,77</b>
<b>ZnO</b>	<b>35,90</b>
<b>PP puro</b>	<b>3,50</b>

Pelo fato do óxido de zinco ser muito mais caro do que as cargas convencionais, carbonato de cálcio e talco utilizadas para o carregamento do polipropileno, torna-se necessário um estudo comparativo mais aprofundado das propriedades mecânicas das três cargas, para entendermos se existe um ganho significativo ao ponto de compensar essa diferença de preço, como por exemplo, com a simples adição de 10% de óxido de zinco ao polipropileno, o mesmo obter uma determinada propriedade mecânica maior do que carregado com 30% de carbonato de cálcio ou talco.

Como o PP puro tem o preço de R\$ 3,50 reais/Kg, dependendo do ganho obtido da propriedade mecânica ou térmica, com a adição de apenas 10% de carga de óxido de zinco ao polipropileno para a composição PP/ZnO (90/10), a adição do óxido de zinco ao polipropileno poderá compensar a grande diferença de preço para o carbonato de cálcio ou talco. A tabela 18 apresenta os resultados dos ensaios termomecânicos utilizados neste trabalho, comparando os valores obtidos nos compósitos de PP/CaCO<sub>3</sub>, PP/Talco e PP/ZnO com as concentrações de 10%, 20% e 30%, ao PP puro.

Tabela 18: Ensaio Termomecânicos

PROPRIEDADES TERMOMECAÑICAS									
Material	%	Tensão Máx. (MPa)	Def. na Ruptura (%)	Mód. Elast. sob Flexão (MPa)	Dureza (Shore D)	Impacto Izod com Ental. (KJ/m <sup>2</sup> )	Var. Dim. (%)	MFI (g/10min)	HDT (°C)
PP + CaCO <sub>3</sub>	10	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↑	↑
	20	↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓	↑	↑
	30	↓	↓↓	↑↑	↓	↓↓	↓	↑	↑
PP + Talco	10	↑	↓↓	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑
	20	↑	↓↓	↑↑	0	↓↓	↓↓	↑	↑
	30	↑	↓↓	↑↑	0	↓↓	↓↓	↑	↑↑
PP + ZnO	10	↓	↓	↑	0	0	↓	↑	↑
	20	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑↑	↑
	30	↓	↓↓	↑↑	↓	↑	↓	↑↑	↑
PP puro		<b>196</b>	<b>39</b>	<b>574</b>	<b>62</b>	<b>39</b>	<b>1,9</b>	<b>7</b>	<b>59</b>

LEGENDA: ↑ Aumento ≤ 25%

↑↑ Aumento Significativo (Aumento > 25%)

↓ Redução ≤ 25%

↓↓ Redução Significativa (Redução > 25%)

0 Constante

## 7. CONCLUSÕES

Com a base nos resultados obtidos verificou-se, como esperado, a aumento da rigidez das misturas de polipropileno reforçadas com talco e carbonato, por consequência aumento da fragilidade dos compostos. O aumento da rigidez foi evidenciado pelo aumento no módulo de elasticidade dos ensaios de resistência a tração. O aumento na fragilidade foi evidenciado pela queda de valores nos demais ensaios mecânicos. Estudos morfológicos demonstraram ainda a baixa interação destas cargas com a matriz de polipropileno evidenciadas pela baixa adesão superficial matriz / carga.

Diferentemente das cargas convencionais, o óxido de zinco apresentou uma característica de tenacificação do polipropileno, aumentando a sua resistência ao impacto. Avaliações morfológicas demonstraram ainda que esta carga apresenta uma maior adesão a matriz de polipropileno, além de dimensões de partícula quatro vezes menores que as do carbonato de cálcio.

Conclusões de viabilidade econômica demonstram que para aplicações específicas na indústria automotiva (painel de instrumentos, para-choques) em que o polipropileno necessite uma maior resistência ao impacto, torna-se viável economicamente seu carregamento com óxido de zinco, independente do seu custo elevado comparado as cargas convencionais carbonato de cálcio e talco.

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

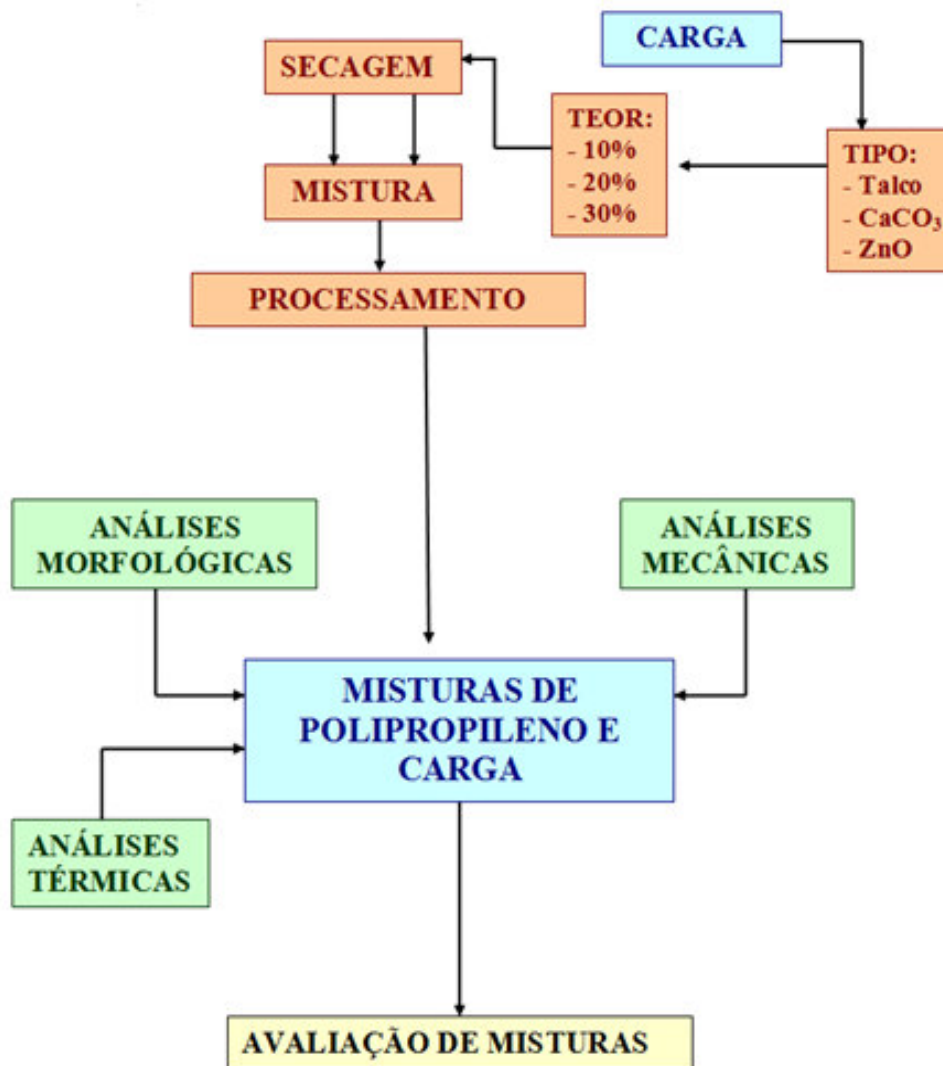
Estudos de carregamento do polipropileno com outras cargas não convencionais, visando a melhoria das propriedades mecânicas e térmicas, bem como a sua utilização na área automotiva.

Estudos de plásticos não convencionais, aditivados com nanocompósitos, mesmo que ainda sejam inviáveis economicamente.

Estudos comparativos dos termoplásticos convencionais no que tange especificamente a propriedade de variação dimensional, utilizando-se de simulação de Monte Carlo pelo software Vis VSA.

## 9. ANEXOS

Figura 36: Fluxograma do processo de otimização do processamento das misturas PP/CaCO<sub>3</sub>/Talco/ZnO



## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIQUIM. Disponível em: <<http://www.abiquim.com.br>>. Acesso em 05 de setembro de 2010.

ABRAROV, S.M.; YULDASHEV, Sh.U.; LEE, S.B.; KANG, T.W. Suppression of the green photoluminescence band in ZnO embedded into porous opal by spray pyrolysis. [Resumo *online*]. **Journal of luminescence**; vol. 109, nº1, pp 25-29, 2004.

ABREU, F.O.M., FORTE, M.M.C., LIBERMAN, S. A. Propriedades Mecânicas e Morfologia de Blendas de Polipropileno com TPEs. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 16, nº 1, p. 71-78, 2006.

ANON. Curso Básico Intensivo de Plásticos. **Jornal de Plásticos, Niterói, 1997**. Itens 4.3.1. – Polietileno, 4.3.2., Polipropileno, 4.3.3. – Poliestireno, 4.3.4. – Poli(cloreto de vinila), 4.9.1. Poli(tereftalato de etileno) e 1.9.5. Policarbonato.

AZEVEDO, Joyce Batista. **Influência de elastômeros nas propriedades físicas de compostos expansíveis de EVA**. 2009. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande- PB, 2009.

BASSANI, A.; PESSAN, L.A.; HAGE, E. Toughening of Polypropylene with Styrene/Ethylene-Butylene/Styrene Tri-Block Copolymer: Effects of Mixing Condition and Elastomer Content. **J. Appl. Polym. Sci.**, 82, 2185–2193, 2001.

BIANCHI, J.C.A; ALBRECHT, C.H; MAIA, D.J. **Universo da Química**. São Paulo: FTD, 2005. Coleção Delta.

BRETAS, Rosário Elida Suman; D'AVILA, Marcos A. **Reologia de polímeros fundidos**. São Carlos: EDUFSCAR, 2000.

BROWN, HE (1976) **Zinc Oxide Properties and Applications** New York: The New Jersey Zinc Company Brown

CAMARA, Arnaldo Lentini da. **Uso de talco nacional como aditivo adsorvente de piches e materiais pegajosos no processo de fabricação**

**do papel.** [Dissertação de Mestrado]. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2003.

CANEVAROLO JUNIOR., S.V. **Ciência dos polímeros:** um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2003.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V.. **Ciência dos polímeros.** São Carlos-SP: Artliber Editora Ltda., 2006.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião Vicente *et al.* **Técnicas de caracterização de polímeros.** São Carlos - SP: Artliber Editora Ltda., 2007.

CARVALHO, Giovanna M.X. de; MANSUR, Herman S.; VASCONCELOS, Wander L.; ORÉFICE, Rodrigo L. Obtenção de compósitos de resíduos de ardósia e polipropileno. **Polímeros. Ciência e Tecnologia**, vol.17,nº 2, p.98-103, 2007.

CASTRO, S. VARGAS, R.M.F. Influência do óleo mineral nas propriedades físicas do polipropileno. **Revista da Graduação**, Vol. 2, No 1, 2009.

CHAVEZ, Manuel Alpire. **Influência do carbonato de cálcio nas propriedades físicas da espuma de EVA.** 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande- PB, 2007.

COELHO, Ana Carolina Rios; SILVA, Ana Lúcia Nazareth da; SILVA, Antonio Henrique M. F. T. da; COUTINHO, Fernanda Margarida Barbosa; MOREIRA, Gisele da Fonseca. Preparação e avaliação de novos materiais para a indústria automobilística. *In: Engenharia de materiais e metalúrgica, 14ª Semana de Iniciação Científica.* UERJ – 2005.

CORNELIA, V. *et al.* **Practical Guide to Polypropylene.** 2005.

CURI, D. **Polímeros e interações moleculares.** Química Nova na Escola, n. 23, p. 19-22, 1996.

DALPIAZ, Giovani. **Estudo do efeito de cargas minerais em compósitos poliméricos particulados em matriz de polipropileno.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais. 2006.

DIAS, Rodrigo M.T.C.; SILVA, Antonio Henrique M.F.T. da; SANT'ANNA, Diogo José M.; ROCHA, Marisa C.G. **Misturas de polipropileno e carbonato de**

**cálcio:** uma abordagem de planejamento de experimentos. Instituto Politécnico, Nova Friburgo August 30th - September 3rd, 2004.  
DORNELLES FILHO, Augusto Marcelino Lopes; ATOLINO, Walter Jose Tangary. **Plásticos de engenharia:** Seleção eletrônica no caso automotivo. São Carlos- SP: Artliber Editora Ltda., 2009.

FERNANDES, B.L.; DOMINGUES, A.J. Caracterização Mecânica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, nº 2, p. 85-87, 2007.

FERREIRA, Ana Clélia Babetto; NUNES, Edilene de Cássia Dutra. Reaproveitamento e incorporação de resíduo de mármore em Poliamida 66. **Revista Eletrônica de Educação e Tecnologia do SENAI-SP**, Vol. 3, No 5, 2009.

FERREIRA, M.P.F. **Caracterização e Propriedades de Blendas de Reator de Polipropileno, Borracha Etileno Propileno e Polietileno (PP/EPR/PE)**. Porto Alegre, 1994.

FRANCHETTI, S.M.; MARCONATO, J.C. **A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem**. Química Nova na Escola, n. 18, p. 42-44, 2003.

FREIRE, Estevão; MONTEIRO, Elisabeth E.C.; CYRINO, Julio C.R. Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno com Fibra de Vidro. Polímeros: **Ciência e Tecnologia** - Jul/Set-1994.

GONCALVES, Agnaldo de Souza; LIMA, Sergio Antonio Marques de; Davolos, Marian Rosaly. Óxido de zinco dopado com Gálio Preparado Pelo Método Pechini. **Eclét. Quím.**, São Paulo, v. 27, n. spe, 2002.

GUDKOVA, A. V. et al. Synthesis and Use of Highly Dispersed Zinc Oxide. **Russian Journal Of Applied Chemistry, Moscow, Russia**, p. 1757-1760. 02 ago. 2005. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/y33287k1475x0426/>>. Acesso em: 16 out. 2010.

(HOFMANN W., **Rubber Technology Handbook**, Hanser, New York, 1989.)

KOLESKI, Sérgio D.; BALLESTERO, Serafim D.. Redução do impacto ambiental pela reciclagem de resíduos de polipropileno expandido na produção de autopeças. **Rev. biociên., Taubaté**, v.13, n.3-4, p.175-177, jul/dez. 2007.



LIMA, Antonio Bastos T.; KAHN, Henrique, GOUVÊA, Douglas. **Aplicações de cargas minerais em polímeros**. 2007. Disponível em: <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/.../ArtigoTecnicoFinal170407.doc](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/.../ArtigoTecnicoFinal170407.doc)>. Acesso em 05 set. 2010.

LOBATO, E.M.C.; SÁ, P.G. **Talco: mineralogia e principais usos** – Relatório interno  
Magnesita S/A – 2001.

LOPES, Paulo E.; SOUSA, José A. **Modificação nas Características da Interface/Interfase em Compósitos de Polipropileno/Fibras de Vidro com Compatibilizante PP-g-MAH e sua Influência nas Propriedades Mecânicas**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia* - Jul/Set – 1999.

MÉLO, T.J.A. *et al.*. Propriedades Mecânicas e Morfologia de uma Blenda Polimérica de PP/HIPS Compatibilizada com SEBS. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 10, nº 2, p. 82-89, 2000.

MICHAELI, W. e outros. **Tecnologia dos Plásticos**. Introdução e Lição 1, p. 1 a 13. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1995.

NIVIN M. AHMED, ADEL ATTIA, MOHAMED M. SELIM, (2005) "**The effect of cobalt oxide on zinc oxide in a new anticorrosive green pigment**", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol. 52 Iss: 6, pp.353 - 364

PACHEKOSKI, Wagner Mauricio. **Desenvolvimento de blendas poliméricas do polímero biodegradável poli-hidroxibutirato (PHB) com polipropileno (PP)**. 2001. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos- SP, 2001.

PATIL, C. B. et al. Preparation and characterization of poly(vinyl chloride) calcium carbonate nanocomposites via melt intercalation. **Journal Of Materials Science**, Melaka, Malaysia, p. 3118-3124. 02 abr. 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com>>. Acesso em: 06 out. 2010.

PATTON, T.C. **Pigment Handbook - Properties and Economics**, New Jersey, p.109-128, 1972.

PEREIRA, R.C.C.; MACHADO, A.H.; SILVA, G.G. **(Re)conhecendo o PET**. *Química Nova na Escola*, n. 15, p. 3-5, 2002.

PORTER, F. (1991). **Zinc Handbook**: Properties, Processing, and Use in Design . CRC Press. ISBN 0824783409

QIAN, G.; LIANG, X.; BEI, J.; YUAN, S.; CHEN, G. Photoluminescence Properties of Zinc Oxide in Barium and Fluorine Silicate Glasses. [Resumo *online*]. **Journal of the American Ceramic Society**, 90: 1255–1257. 2007.

RABELLO, Marcelo Silveira. **Aditivação de polímeros**. São Carlos- SP: Artliber Editora Ltda., 2000.

RAMOS, S.M.L.S.; SOUSA G.; BAUMGARTNER, J.; CARVALHO, L.H. Influência das Condições de Mistura nas Propriedades Mecânicas de Compósitos de PP/Atapulgita. **Anais do 2º Congresso Brasileiro de Polímeros**, São Paulo, p.276, 1993.

RETO, M.A.S. Polietilenos Expandem Enquanto Demanda Retrai, **Plástico Moderno**, Nov. 1998, 26-40.

RODRIGUEZ, F. **Principles of Polymer Systems**. Taylor & Francis, Washington, 1996. Introduction, p. 14-19.

SANTOS, C.P.; REIS, I.N.; MOREIRA, J.E.B.; BRASILEIRO, L.B. **Papel: como se fabrica?** Química Nova na Escola, n. 14, p. 3-7, 2001.

SANTOS, W.L.P.; MÓL, G.S. **Química e sociedade: volume único, ensino médio**. São Paulo: Nova Geração, 2005.

SOUZA, J.A. **Desenvolvimento de compostos de polipropilenos com talcos para aplicações técnicas**- Convênio FAI/UFSCar- Magnesita S/A – 2000

SILVA, Ademar Assunção da. **Oxido de Zinco**. Minérios Ouro Branco, 2006.

SIVARAO; VIJAYARAM, T. R.. Determination of tensile, flexural properties and microstructural characterization of calcium carbonate filler reinforced polypropylene matrix composites. **Journal Of Materials Science**, Melaka, Malaysia, p. 245-248. jun. 2009. Disponível em: <<http://www.springerlink.com>>. Acesso em: 12 out. 2010.

STRONG, A.B. **Plastics – Materials and Processing**, Prentice Hall, Columbus, 1996. **Thermoplastic Materials (Commodity Plastics)**, p. 153-174.

VILLOUTREIX, G.; HADDOUT, A.; DEMARQUETTE, N.R.; VILLOUTREIX, J.; ACÉTARIN, J.D. Estudo das Propriedades Reológicas, Morfológicas e Mecânicas de Blendas Injetadas de Polipropileno com Poliamidas Reforçadas com Fibras de Vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. Out/Dez, 98.

VOTORANTIM METAIS. **Oxido de Zinco**. (online) 2010.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. **Polímeros sintéticos**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, n. 2, Edição Especial – maio 2001.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de engenharia – tecnologia e aplicações**. Editora Artliber, 2005.

YOON, J., OH, S., KIM, M., **Polymer**, 39 (12), 1998, p.2479-2487.

ZEN, Heloísa A.; GERALDES, Adriana N.; FERREIRA, Henrique P.; PARRA, Duclerc F.; LUGÃO, Ademar B. **Preparação e caracterização de membranas de Polipropileno para uso em célula a combustível**. 9º congresso Brasileiro de polímeros. 2007. Disponível em: <[www.ipen.br/biblioteca/2007/cbpol/12204.pdf](http://www.ipen.br/biblioteca/2007/cbpol/12204.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2010.