



**FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CIMATEC**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E  
TECNOLOGIA INDUSTRIAL**

**Leonardo Figueiredo Camargo**

**Estudo de compósitos formados por poliamida 6,6 virgem  
e reciclada com fibra de vidro: influência da incorporação  
de material reprocessado nas suas propriedades**

Salvador

2012

**Leonardo Figueiredo Camargo**

**Estudo de compósitos formados por poliamida 6,6 virgem e reciclada com fibra de vidro: influência da incorporação de material reprocessado nas suas propriedades**

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 Maurício Pachekoski

Co-orientadora: Prof. Dra. Josiane Dantas Viana Barbosa

Salvador

2012

Leonardo Figueiredo Camargo

**Estudo de compósitos formados por poliamida 6,6 virgem e reciclada com fibra de vidro: influência da incorporação de material reprocessado nas suas propriedades**

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

Aprovada em 18 de junho de 2012.

**Banca Examinadora**

Orientador – Wagner Mauricio Pachekoski

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Co-orientadora – Josiane Dantas Viana Barbosa

Doutora em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil.

Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Membro interno da Banca – Carla Dalmolin

Doutora em Química pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Faculdade tecnologia SENAI CIMATEC

Membro externo da Banca – Daneila Becker

Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.

Universidade do Estado de Santa Catarina

**“Pensar é o trabalho mais difícil que existe, e esta é provavelmente a razão por que tão poucos se dedicam a ele.”**

**Henry Ford**

## **AGRADECIMENTOS**

A Valeo Sistemas Automotivos, pelo apoio financeiro, pelo apoio técnico e incentivo dado na execução do trabalho.

A Rhodia, pela realização dos testes, apoio técnico e fornecimento de matéria prima.

A meu orientador o Prof. Dr. Wagner Pachekoski, pelos ensinamentos, pela paciência na orientação, muitas vezes à distância e aos incentivos que tornaram possível a conclusão desta dissertação.

A Prof. Dra. Josiane Dantas pela co-orientação, pela contribuição técnica, pelo apoio e amizade.

A todos os colaboradores do Senai Cimatec que contribuíram para este trabalho, em especial para Rômulo e Vander.

A todos os professores que direta ou indiretamente colaboraram na minha formação acadêmica.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e pelo apoio constante.

## RESUMO

Nylon 6,6 com fibra é um compósito que possui excelentes propriedades mecânicas, térmicas e elétricas. É também um importante representante dos plásticos de engenharia utilizados na indústria automotiva, a qual demanda cada vez mais o reaproveitamento dos materiais utilizados na sua cadeia produtiva. Neste contexto, este trabalho teve como objetivos estudar as propriedades mecânicas e térmicas e viabilidade econômica de compósitos formados por poliamida 6,6 virgem e reciclada com fibra de vidro e o impacto nas suas propriedades oriundo do reaproveitamento de material descartado durante o processamento. Os compósitos formados por poliamida 6,6 virgem e reciclada com fibra de vidro em diferentes formulações foram obtidos pelo processo de injeção. Para verificar o efeito do reaproveitamento, parte do material foi moído e adicionado aos compósitos em diferentes percentuais, novamente pelo processo de injeção. Foram avaliadas as propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos em todas as formulações antes e depois da degradação térmica. Os resultados obtidos mostraram que a resistência a tração teve um aumento maior que o valor calculado pela regra da mistura, enquanto a resistência ao impacto Charpy teve um aumento menor que o valor calculado pela regra da mistura. Provavelmente este aumento na rigidez do material é proveniente do aumento da cristalinidade do material devido à incompatibilidade entre o material virgem e reciclado. Não houve alteração significativa nas propriedades mecânicas devido ao envelhecimento térmico. Apenas a resistência ao impacto Charpy apresentou uma melhoria após o envelhecimento térmico, provavelmente devido redução da cristalinidade do material.

Palavras-chave: Poliamida 6,6 reciclada; Reprocessamento; Degradação Térmica; Viabilidade Econômica.

## **ABSTRACT**

Filled PA 6,6 have excellent mechanical, thermal and electrical properties. Polyamide 6,6 are an important representatives of engineering plastics used in automotive components. Nowadays the automotive industry demand for reuse plastic is increasing on its production chain. In this environment this work has the objectives of study the mechanical and thermal properties of monopolymer composites of virgin and recycled polyamide 6,6 with glass-fiber reinforcement, effect of include process scrap material in their formulation, residual effect of thermal ageing and economic feasibility. Several formulations were prepared by injection molding. Composites were milled and the material obtained was added to the initial composites by injection molding again. Composites with and without reprocessed material were characterized before and after thermal ageing. The result obtained show a increase in the tensile strength higher than the theoretical result predicted by an additive rule, whilst the Charpy impact strength show a result lower than the theoretical result predicted by an additive rule. Probably an increase in the crystallinity of the material can be invoked to explain this material rigidity increment. In general the mechanical properties have not been affected significantly by the thermal ageing. Only the Charpy impact resistance improved after thermal ageing, probably because the crystallization rate decreased.

**Keywords:** Recycled polyamide 6,6; Reprocessing; Thermal ageing, Economical analyze.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Classificação das cargas ou reforços.....	16
Tabela 3-1 – Propriedades Poliamida 6,6 Rhodia TECHNYL A218 V30.....	29
Tabela 3-2 – Propriedades Poliamida 6,6 Rhodia TECHNYL A718 V30.....	29
Tabela 3-3 – Código das Amostras .....	31
Tabela 3-4 – Perfil de Temperatura.....	31
Tabela 3-5 – Perfil de abertura do molde. ....	32
Tabela 3-6 – Parâmetros de injeção .....	32
Tabela 3-7 – Código das Amostras com Adição de Material Reprocessado.....	36
Tabela 4-1 - Resultado Ensaio de Tração em Diferentes Formulações.....	37
Tabela 4-2 - Resultado Ensaio de Tração em Diferentes Formulações Calculado pela Regra da Mistura.....	37
Tabela 4-3 - Módulo de Elasticidade sob Flexão para as Diferentes Formulações...41	
Tabela 4-4 - Resistência ao Impacto Charpy para as Diferentes Formulações.....	43
Tabela 4-5 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) antes Envelhecimento Térmico sem adição de Material Reprocessado para as Diferentes Formulações. ....	45
Tabela 4-6 Teor de Carga antes do Envelhecimento Térmico sem Adição de Material Reprocessado para as diferentes formulações. ....	47
Tabela 4-7 - Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações. ....	49
Tabela 4-8 - Teor de Carga para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.....	51
Tabela 4-9 Resultado Ensaio de Tração para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.....	52
Tabela 4-10 – Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações. ....	55



Tabela 4-11 – Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações. ....	56
Tabela 4-12 - Módulo de Elasticidade sob Flexão para as Diferentes Formulações após envelhecimento térmico.....	59
Tabela 4-13 – Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico para as Diferentes Formulações. ....	61
Tabela 4-14 Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações após Envelhecimento Térmico. ....	63
Tabela 4-15 – Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações após Envelhecimento Térmico. ....	64
Tabela 5-1 – Investimentos adaptação do processo produtivo. ....	67
Tabela 5-2 – Fluxo de Caixa. ....	68

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 2-1 – Para o polietileno, (a) uma representação esquemática das estruturas de mero e da cadeia e (b) uma perspectiva da molécula, indicando a estrutura principal em zigue-zague. ....	5
Figura 2-2 - Obtenção da poliamida 6 a partir do ácido $\epsilon$ -aminocapróico .....	6
Figura 2-3 - Obtenção da poliamida 6 a partir da caprolactama.....	6
Figura 2-4 - Representação esquemática da polimerização da PA 6,6.....	8
Figura 2-5 - Representação esquemática das ligações amida-amida na PA 6,6 .....	9
Figura 2-6 – Interação do grupo amida com água no Nylon .....	10
Figura 2-7 – Peças automotivas em PA 66 reforçado com 30% de fibra de vidro e inserto metálico. ....	11
Figura 2-8 – Localização da estrutura superior e inferior no veículo. ....	11
Figura 2-9 – Vista explodida módulo frontal. ....	12
Figura 2-10 – Etapas de reciclagem química da poliamida 6,6.....	14
Figura 2-11 – Efeito da concentração de fibra de vidro na resistência a tração e deformação da poliamida 6 .....	17
Figura 2-12 - Representação esquemática das várias geometrias e distribuições das partículas dispersas na matriz polimérica que influenciam nas propriedades do composto: (a) concentração, (b) dimensão, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação .....	20
Figura 3-1 – Representação Esquemática das Diferentes Etapas da Pesquisa. ....	30
Figura 4-1 – Gráfico da Tensão Máxima sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.....	38
Figura 4-2 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Tração sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	38
Figura 4-3 - Gráfico da Deformação na Ruptura sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	39
Figura 4-4 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão em Diferentes Formulações.....	41
Figura 4-5 – Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	44

Figura 4-6 – Gráfico da Temperatura de Deflexão Térmica em diferentes formulações.....	46
Figura 4-7 – Gráfico do Teor de Carga em Diferentes Formulações.....	47
Figura 4-8 – Micrografias de MEV sem stress com ampliação de 1000x dos compósitos poliamida 6,6 virgem e reciclada nas seguintes composições (a) 100% reciclado, (b) 50 reciclado e 50% virgem e (c) 100% virgem. ....	48
Figura 4-9 - Micrografias de MEV sem stress com ampliação de 200x dos compósitos poliamida 6,6 virgem e reciclada nas seguintes composições (a) 100% reciclado, (b) 50 reciclado e 50% virgem e (c) 100% virgem. ....	48
Figura 4-10 - Gráfico da Temperatura de Deflexão Térmica para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	49
Figura 4-11 - Gráfico do Teor de Carga para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	51
Figura 4-12 - Gráfico da Tensão Máxima para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	52
Figura 4-13 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Tração para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	53
Figura 4-14 - Gráfico da Deformação na Ruptura para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	53
Figura 4-15 – Gráfico Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	55
Figura 4-16 – Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações. ....	57
Figura 4-17 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C em Diversas Formulações.....	59
Figura 4-18 - Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C em Diversas Formulações.....	61

Figura 4-19 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 horas à 100°C para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.....	63
Figura 4-20 - Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.....	65

## **LISTAS DE SIGLAS**

<b>ANFAVEA</b>	<b>Associação Nacional dos Fabricantes de veículos automotores</b>
<b>DSC</b>	<b>Calorimetria Exploratória Diferencial</b>
<b>DTA</b>	<b>Análise Térmica Diferencial</b>
<b>HDT</b>	<b>Temperatura de Deflexão Térmica</b>
<b>ISO</b>	<b>International Organization for Standardization</b>
<b>MEV</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura</b>
<b>PA</b>	<b>Poliamida</b>
<b>PR</b>	<b>Período de Retorno</b>

# SUMÁRIO

---

## Capítulo 1

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo .....	3
1.1.1. Objetivo Geral.....	3
1.1.2. Objetivos Específicos .....	3
1.2. Motivação .....	3

## Capítulo 2

<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Polímeros .....	4
2.1.1. Poliamidas .....	4
2.1.2. Poliamida 6,6.....	8
2.1.3. Poliamida reciclada.....	12
2.2. Cargas e reforços .....	15
2.2.1. Fibra .....	17
2.2.2. Fibra de vidro.....	18
2.3. Materiais compósitos poliméricos .....	19
2.3.1. Compósito de poliamida com fibra de vidro .....	20
2.3.2. Compósito polimérico de poliamida reciclada.....	21
2.4. Regra da mistura para dois componentes .....	23
2.5. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTEC) .....	24

## Capítulo 3

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
3.1. Materiais .....	28
3.1.1. Seleção dos materiais .....	28
3.2. Métodos.....	30
3.2.1. Preparação dos compósitos .....	31
3.2.2. Injeção dos corpos de prova.....	31

3.2.3.	Envelhecimento térmico .....	32
3.3.	Caracterização dos materiais .....	33
3.3.1.	Ensaio de tração.....	33
3.3.2.	Ensaio de flexão .....	33
3.3.3.	Ensaio de resistência ao impacto Charpy.....	34
3.3.4.	Temperatura de deflexão térmica (HDT) .....	34
3.3.5.	Teor de Carga.....	34
3.3.6.	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	35
3.4.	Preparação dos compósitos utilizando material reprocessado.....	35

## Capítulo 4

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1.	Caracterização dos compósitos formados por PA 6,6 virgem e reciclada .....	37
4.1.1.	Ensaio de tração.....	37
4.1.2.	Ensaio de flexão .....	40
4.1.3.	Ensaio de resistência ao impacto Charpy.....	43
4.1.4.	Ensaio da Temperatura de Deflexão Térmica (HDT).....	45
4.1.5.	Ensaio do Teor de Carga.....	46
4.1.6.	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	47
4.2.	Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada com adição de material reprocessado .....	49
4.2.1.	Ensaio de temperatura de deflexão térmica .....	49
4.2.2.	Ensaio de teor de carga.....	50
4.2.3.	Ensaio de tração.....	52
4.2.4.	Ensaio de flexão .....	55
4.2.5.	Ensaio de resistência ao impacto Charpy.....	56
4.3.	Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada envelhecida termicamente .....	58
4.3.1.	Ensaio de flexão .....	58
4.3.2.	Ensaio de resistência ao impacto Charpy.....	60

4.4.	Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada com adição de material reprocessado envelhecida termicamente.....	62
4.4.1.	Ensaio de flexão .....	62
4.4.2.	Ensaio de resistência ao impacto Charpy.....	64

## **Capítulo 5**

<b>5.</b>	<b>ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA (EVTEC).....</b>	<b>67</b>
-----------	---	-----------

## **Capítulo 6**

<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>70</b>
-----------	-------------------------	-----------

## **Capítulo 7**

<b>7.</b>	<b>SUGESTÃO ATIVIDADE FUTURA DE PESQUISA.....</b>	<b>71</b>
-----------	---	-----------

## **Capítulo 8**

<b>8.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>72</b>
-----------	--------------------------	-----------



## 1. INTRODUÇÃO

A preservação do meio ambiente é hoje uma das grandes questões globais. O desmatamento, a ameaça de extinção de espécies animais e vegetais, a poluição industrial e urbana de rios e mares, ao lado do desperdício de recursos minerais não renováveis são resultado de um modelo de crescimento econômico desequilibrado e reconhecidamente insustentável. Dessa tomada de consciência ambiental surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, que, na indústria automobilística, vem associando a gestão ambiental à qualidade e à competitividade do automóvel (MEDINA, 2003).

O automóvel representa um dos produtos de consumo mais complexo da sociedade moderna, para o qual confluem as mais variadas correntes produtivas. Instrumento hoje indispensável e símbolo clássico de opulência e bem estar, a produção, uso e descarte do automóvel provocam um dos maiores impactos sobre os recursos naturais da sociedade moderna (KIPERSTOK, 2000). Foram produzidos no mundo, em 2010, cerca 77.610 milhões de veículos. No Brasil a produção em 2010 foi de 3.646.133 de veículos. O faturamento dessa indústria foi U\$ 92.968 milhões e representou 19,5% do PIB industrial brasileiro em 2010. (ANUÁRIO ANFAVEA, 2011).

A questão ambiental tem se tornado cada dia mais importante para indústria em geral e passou a ser considerado como diferencial competitivo. Particularmente as indústrias de transformação de polímeros tiveram um destaque importante na redução dos descartes proveniente do processo, bem como na utilização de material reciclado para produção de novos produtos. A combinação de material reciclado com o mesmo material virgem é uma prática comum na indústria para melhorar o aproveitamento do material descartado.

Neste contexto as montadoras de automóveis perceberam os benefícios que a utilização do plástico em projetos pode oferecer em termos de flexibilidade, funcionalidade, reciclabilidade e potencial em redução de peso e custo (RYNTZ, 2002). O percentual de plástico em um carro da Europa ocidental típico passou de 6% em 1970 para aproximadamente 15% em 2010. Projeta-se que este percentual possa chegar em até 25% em 2020. Estima-se que, em média, 100 kg de plásticos substituem 200 a 300 kg de material convencional, reduzindo o consumo de

combustível em 750 litros ao longo de um período de vida de 150.000km (Em: <<http://polymeric.tripod.com/vs.htm>>. Acesso em: 09 de outubro 2011).

Inicialmente a Indústria automotiva incorporou o uso do plástico em uma grande diversidade, porém apenas a partir de 1980 os fabricantes começaram a investigar o uso de compósitos poliméricos em substituição ao aço nas partes estruturais do veículo (MEDINA, 2002).

Um exemplo de matriz polimérica utilizada na indústria automotiva em substituição ao aço são as poliamidas. As poliamidas, ou nylon, são plásticos semicristalinos e pertencem a uma classe de polímeros atraentes para aplicações de engenharia devido à combinação de propriedades como: estabilidade dimensional, boa resistência ao impacto sem entalhe, excelente resistência química e fácil processamento (HUANG, 2008).

O Nylon, devido a sua boa estabilidade térmica, pode ser processado diversas vezes sem grande perda de suas propriedades, isto faz deste material um excelente candidato para estudos de reciclabilidade (MASPOCH, 2003). A poliamida 6,6 com 30% de fibra de vidro é utilizada na indústria automotiva em algumas aplicações em substituição a chapa de aço, como por exemplo, a estrutura frontal do veículo e para choque metálico. Porém, a mesma poliamida 6,6 com 30% de fibra de vidro quando reciclada mecanicamente ou quimicamente pode apresentar propriedades mecânicas que não permitem sua aplicação nesta mesma função. Ou seja, este material quando reciclado pode ser destinado para usos menos nobres devido à perda de suas propriedades mecânicas.

Devido à falta de conhecimento sobre a durabilidade das poliamidas recicladas e de seus efeitos nas propriedades críticas no que tange a robustez e confiabilidade, apenas uma pequena quantidade tem sido reutilizada nas plantas de produção diretamente no processo ou recicladas mecanicamente para aplicações de engenharia (ERIKSSON et al, 1997).

Neste contexto a proposta principal deste trabalho é investigar a variação de propriedades de compósitos de poliamida 6,6 virgem e reciclada reforçadas com fibra de vidro e a influência da incorporação de material reprocessado nas suas propriedades.

## **1.1. Objetivo**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades resultantes de compósitos formados por poliamida 6,6 virgem e reciclada com 30% fibra de vidro.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Para que o objetivo geral seja atingido, foram definidos alguns objetivos específicos:

1. Definir os percentuais de poliamida para serem utilizados nos compósitos.
2. Avaliar a processabilidade do material.
3. Caracterizar as propriedades mecânicas, termo-mecânica e teor de carga dos compósitos obtidos antes e após envelhecimento térmico.
4. Avaliar o impacto nas propriedades oriundo do reaproveitamento de material descartado durante o processamento.
5. Avaliar a viabilidade econômica através do período de retorno do investimento.

## **1.2. Motivação**

Esta pesquisa foi motivada pelo interesse da Valeo sistemas Automotivos, empresa do setor de autopeças com sede na França, em utilizar material reciclado em seu processo produtivo visando redução dos impactos ambientais e redução de custo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Polímeros

Materiais poliméricos começaram a ser usados mesmo antes do conhecimento de sua natureza. Em 1400, Christopher Columbus encontrou nativos no Haiti jogando com bolas feitas com material obtido de árvores. Este material era borracha natural, a qual se tornou um importante produto industrial depois que Charles Goodyear descobriu a drástica melhoria de suas propriedades ocasionadas pelo processo de vulcanização. Entretanto, a obtenção de material polimérico encontrava-se limitada a matérias primas encontrada na natureza. O primeiro polímero preparado sinteticamente data do início do século 20 quando Baekland usou fenol e formaldeído para formar uma resina, mas foi apenas em 1928 Carothers desenvolveu o poliéster linear e, em seguida as poliamidas, hoje conhecidas como Nylon (HARPER, 2006).

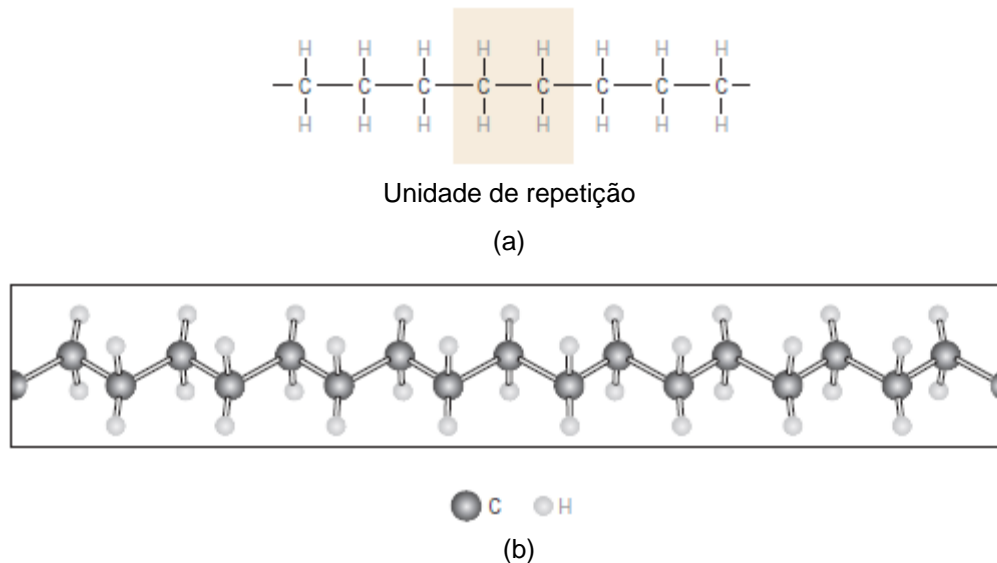
A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) unidades de repetição denominada mero, unidos por ligação covalente (Canevarolo, 2002). A Figura 2-1 mostra a estrutura de uma cadeia polimérica formada por muitas unidades repetitivas, denominadas de meros. Os meros são obtidos através da reação química dos monômeros, que formam pontos reativos e vão juntando-se a outros monômeros formando a cadeia polimérica. A esta reação química, dar-se o nome de polimerização, processo pelo qual as moléculas da cadeia longa ou em rede são formadas através de pequenas moléculas (CALLISTER, 2007).

#### 2.1.1. Poliamidas

As poliamidas consistem de segmentos de polietileno  $(CH_2)_n$  separados por unidades de peptídeos  $(NH-CO)$  que estão tanto paralelos como antiparalelos. Estas cadeias de peptídeos possibilitam a ligação de hidrogênio com a cadeia principal do

polímero, proporcionado ao Nylon algumas propriedades típicas (DASGUPTA, et al., 1996).

Poliâmidas são termoplásticos semicristalinos de fácil processabilidade, com boa resistência mecânica e química. Somada a estas propriedades, a boa estabilidade dimensional torna esta classe de polímero bastante atraente para aplicações de engenharia (HUANG, et al., 2008).



**Figura 2-1 – Para o polietileno, (a) uma representação esquemática das estruturas de mero e da cadeia e (b) uma perspectiva da molécula, indicando a estrutura principal em zigue-zague (CALLISTER, 2007).**

Poliâmidas também são conhecidas como Nylon. O Nylon é produto de uma pesquisa iniciada por Wallace Carothers na Dupon em 1928. Porém, este polímero cresceu realmente quando a nova fibra de nylon sintética foi introduzida no mercado em 1938. Durante a segunda guerra, o nylon foi utilizado para fabricar tendas à prova de água, pára-quadras mais leve entre outras coisas (SCHULE, 1969).

Em geral, as poliâmidas podem ser classificadas em dois tipos: XY e Z. No nylon do tipo XY o X se refere ao número de átomos de carbono no monômero de diamina, enquanto o Y representa o número de átomos de carbono no diácido. Um exemplo é a poliâmida 6,6. Em nylon do tipo Z, o Z se refere ao número de átomos de carbono no monômero. Um exemplo é a poliâmida 6 (SCHULE, 1969).

Existem vários tipos de poliâmidas, entretanto as mais conhecidas e utilizadas são a poliâmida 6 e a poliâmida 6,6 (BRUEGGEMANN & LEHMANN, 2002). Estas apresentam estrutura linear e conformação das cadeias em zigue-zague, com

ligações de hidrogênio entre os grupos funcionais (GASPARIN, 2004). Na sua forma natural, ou seja, sem carga, são bastante utilizadas na produção de carpetes e peças de vestuário. Tem custo relativamente competitivo quando comparado com outros polímeros com propriedade similares devido à grande capacidade mundial de fabricação de seus monômeros (FERRO, et al., 2007).

A poliamida 6 foi produzida originalmente a partir do aquecimento do ácido  $\epsilon$ -aminocaprício e a retirada das cadeias de água entre as moléculas de natureza idênticas formando as cadeias de poliamida (JOHNSON, 2002). A Figura 2-2 apresenta obtenção da poliamida 6 a partir do ácido  $\epsilon$ -aminocaprício (PAINTER, et al., 1996).

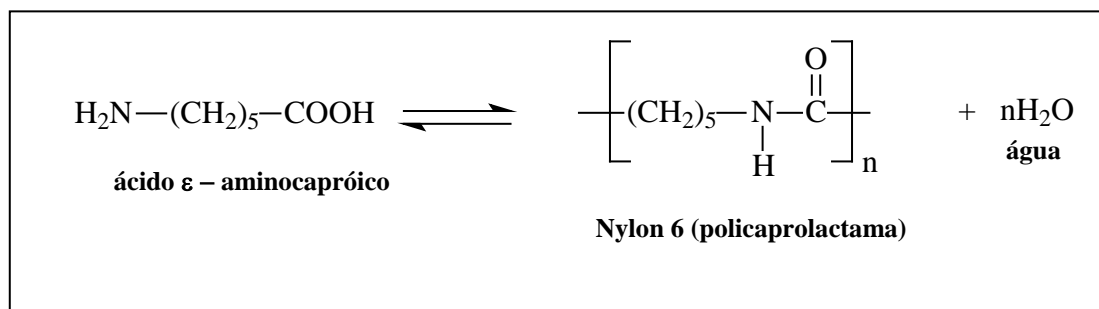


Figura 2-2 - Obtenção da poliamida 6 a partir do ácido  $\epsilon$ -aminocaprício (PAINTER, et al., 1996)

Posteriormente foi descoberto que era possível a obtenção do mesmo produto através da quebra do anel e polimerização da caprolactama, uma amida interna (PAINTER, et al., 1996). A Figura 2-3 apresenta obtenção da poliamida 6 a partir da caprolactama (PAINTER, et al., 1996).

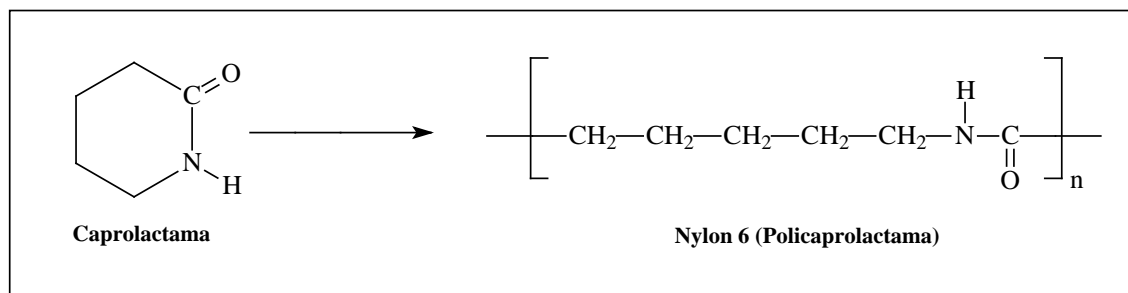


Figura 2-3 - Obtenção da poliamida 6 a partir da caprolactama (PAINTER, et al., 1996).

Devido ao caráter hidrofílico das poliamidas, propriedades como estabilidade dimensional, densidade, resistência mecânica e resistência elétrica variam de acordo com a umidade (MURASE, et al., 2002).

A estrutura semicristalina da maioria dos nylons comerciais possui uma alta resistência à tração, à flexão, à compressão e ao cisalhamento como resultado da cristalinidade e boa resistência ao impacto principalmente devido à região amorfa. As propriedades do nylon são afetadas pelo tipo de nylon, massa molar, presença de umidade e a presença de aditivos.

A presença de água funciona como plastificante no polímero, separando as cadeias moleculares e diminuindo a cristalinidade e a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) do polímero de um valor da ordem de  $50^\circ\text{C}$  para  $20^\circ\text{C}$  (SCHULE, 1969).

Geralmente, o nylon é sensível a entalhes, e a resistência ao impacto sem entalhe é dramaticamente reduzida se um entalhe ou falha é introduzido no material. Este fato deve ser considerado quando peças forem projetadas para se evitar ângulos agudos sempre que possível. Esta sensibilidade ao entalhe pode ser reduzida pela utilização de modificadores de impacto (KOHAN, 1995).

É estimado que aproximadamente 25% do total das poliamidas utilizadas no mundo têm aplicações de engenharia. Em países desenvolvidos este número aumenta para 40%. A maior parte deste uso está concentrada no setor automotivo (DEPURA, 2008).

A poliamida carregada com cargas minerais apresenta melhoria importante na isotropia de contrações e propriedades dada à melhor homogeneidade da dispersão das cargas minerais e, desta forma provendo melhor estabilidade dimensional e menor empenamento com custo reduzido. Entretanto o uso de cargas minerais na poliamida reduz a resistência ao impacto. Assim, desde painéis de instrumentos e conectores elétricos até dispositivos importantes embutidos na região do motor, como capas de correias, coberturas de motor e do comando de válvulas, e ainda partes do sistema de arrefecimento, podem ser produzidos com esses materiais (DORNELLES & ATOLINO, 2009). A substituição do metal por compósitos de poliamida com fibra de vidro está sendo dirigida pela necessidade de redução de peso (maior eficiência no consumo de combustível) e seu baixo custo de produção.

Devido à importância da poliamida 6,6 para indústria automotiva e o fato de ser objeto de estudo deste trabalho, a mesma será discutida a seguir.

### 2.1.2. Poliamida 6,6

A poliamida 6,6 é reconhecida pela sua combinação de elevadas propriedades mecânicas e térmicas, resistência química e boa processabilidade. A poliamida 6,6 tem um elevado ponto de fusão e aproximadamente 50% de sua estrutura é cristalina. Estas características da poliamida 6,6 fazem com que ela tenha uma boa resistência à tração, boa estabilidade térmica e boa resistência a ataques químicos. A poliamida 6,6 apresenta também excelente resistência a impactos repetidos. Sua solidificação rápida e a baixa viscosidade do seu fundido fazem dela um material apropriado para o processo de injeção, extrusão e outros processos de conformação (KOHAN, 1995).

A poliamida do tipo 6,6 é obtida da síntese do ácido adípico e da diamina hexametileno. O aquecimento da mistura dos dois compostos leva a eliminação de uma molécula de água entre um grupo amina e um grupo carboxílico e a formação de uma amida. Esta reação se repete um grande número de vezes formando um polímero de cadeia longa (DEPURA, 2008). Na Figura 2-4 temos representação esquemática da polimerização da poliamida 6,6.

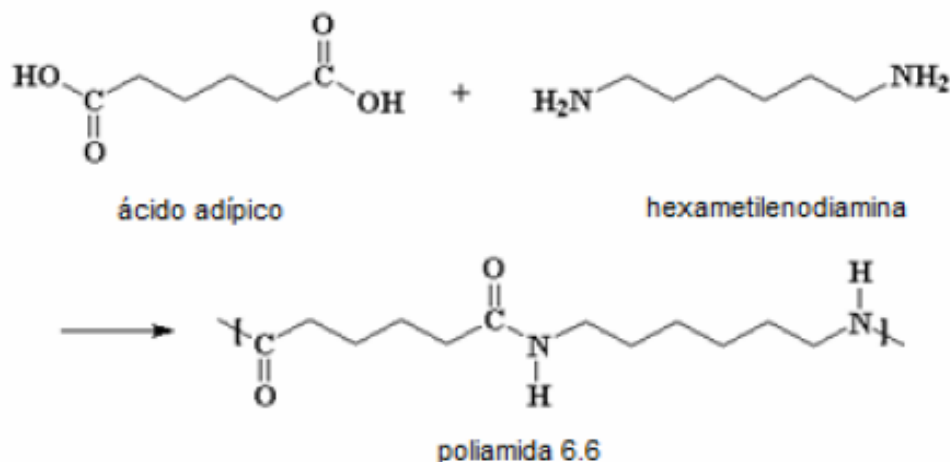


Figura 2-4 - Representação esquemática da polimerização da PA 6,6 (MANO, 1991).



Na poliamida 6,6 a presença de um grupo amida permite ligações de hidrogênio entre o grupo carbonil e grupo NH em adjacentes seções da cadeia polimérica. Para um nylon comum, como a poliamida 6,6, o alinhamento regular no espaço do grupo amida permite uma maior quantidade de ligação de hidrogênio entre as cadeias. Estas ligações são desenvolvidas quando as cadeias estão alinhadas e próximas, aumentando a estrutura cristalina nestas regiões. A poliamida 6,6 é um material semicristalino que pode ser pensado como uma combinação ordenada de regiões cristalinas e áreas amorfas distribuídas randomicamente. Esta estrutura semicristalina oferece um bom balanço de propriedades. A região cristalina contribui para aumento da resistência a tração, dureza, resistência química, estabilidade térmica e das propriedades elétricas. A área amorfa contribui para aumento da resistência ao impacto e alongação (SCHULE, 1969).

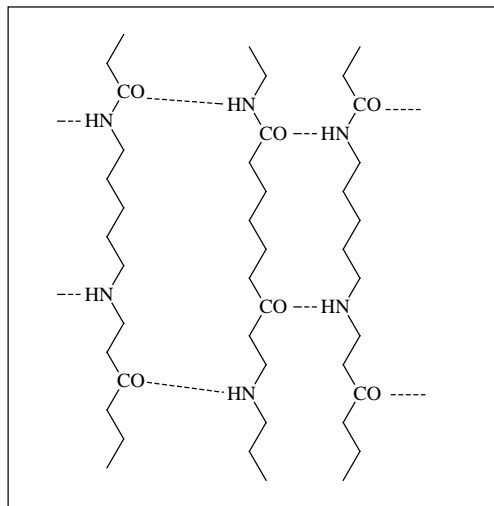


Figura 2-5 - Representação esquemática das ligações amida-amida na PA 6,6 (DEPURA, 2008).

O elevado ponto de fusão das poliamidas, como no nylon 6,6, é também uma função da quantidade ligações de hidrogênio entre as cadeias e sua estrutura cristalina. Este fato também possibilita a retenção de uma significativa resistência à tração mesmo acima da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e até temperaturas próximas do ponto de fusão. Este efeito aumenta bastante quando reforços, como fibra de vidro, são adicionados. O ponto de fusão do nylon depende também da concentração de grupos amida e o numero de grupos  $CH_2$  ligados a estes grupos (DEPURA, 2008).

Uma propriedade característica do nylon é sua habilidade de absorver uma quantidade significativa de água. Este fato também está relacionado com o grupo amida polar, onde a molécula de água pode se coordenar. A absorção de água é geralmente concentrada na região amorfa do polímero, onde a molécula de água tem o efeito de um plastificante, interrompendo as ligações de hidrogênio tornando o polímero mais flexível, aumentando a resistência ao impacto e reduzindo a temperatura de transição vítrea (DEPURA, 2008).

O fenômeno da absorção de água pelo grupo amida nas poliamidas é mostrado na Figura 2-6.

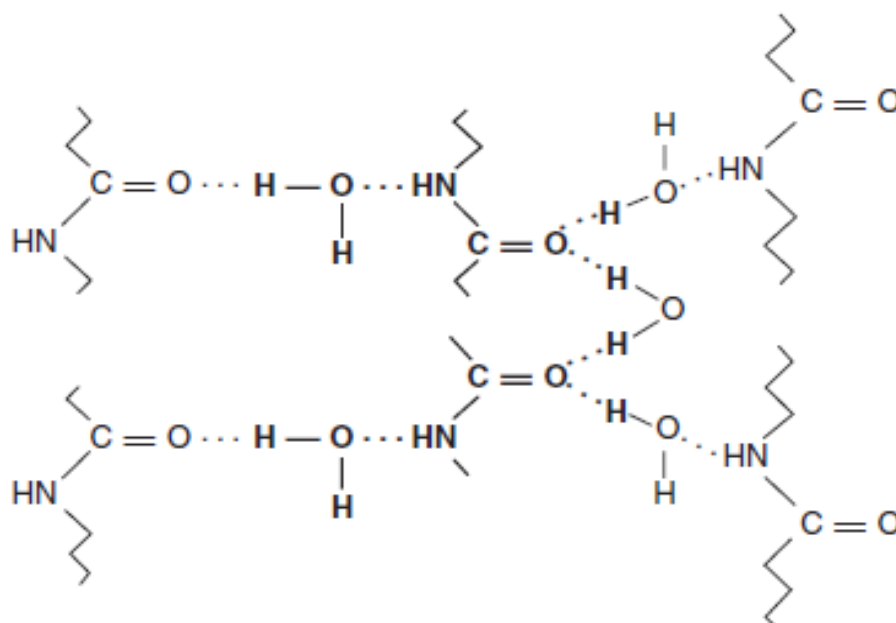


Figura 2-6 – Interação do grupo amida com água no Nylon (DEPURA, 2008).

Devido à combinação de boa resistência térmica e química com suas propriedades mecânicas, a poliamida 6,6 pode ser utilizada em uma grande variedade de aplicações na indústria automotiva, seu maior mercado consumidor. Como exemplo de aplicação da Poliamida 6,6 na indústria automotiva temos, sua utilização no compartimento motor feita há muito tempo em aplicações como, caixa d'água do radiador, mangueiras de filtro, conectores e cabos e mangueiras de combustível (DEPURA, 2008).

Entre os desenvolvimentos mais recentes temos sua aplicação em módulos frontais com utilização de estrutura híbrida metal / nylon. Na Figura 2-7, são apresentadas imagens da estrutura superior do veículo desenvolvida com esta

tecnologia e da estrutura inferior feita apenas com poliamida 6,6 reforçada com 30% de fibra de vidro.

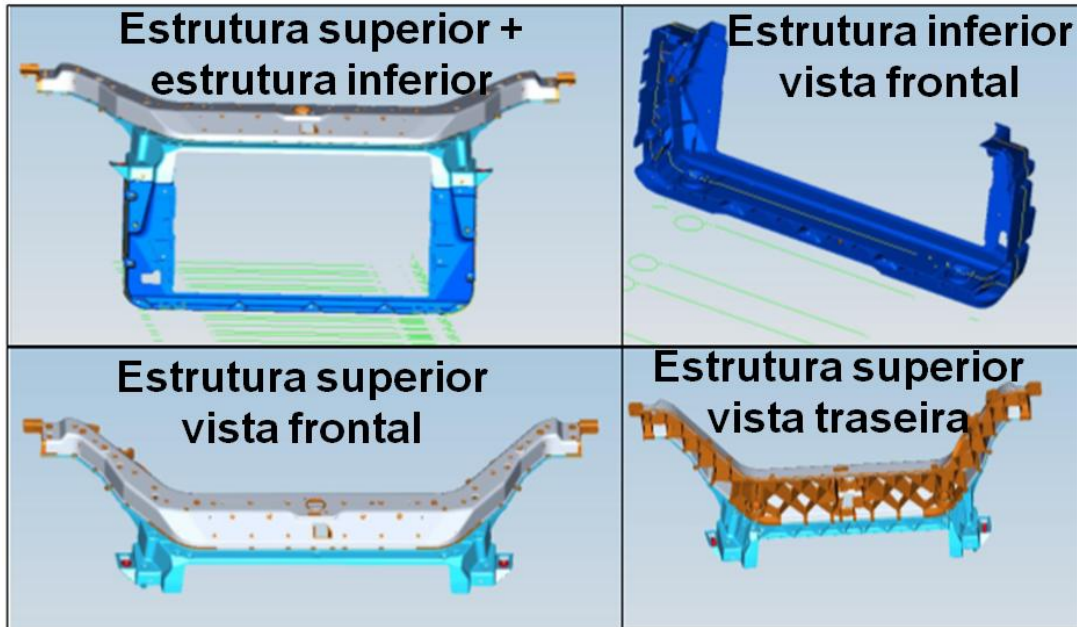


Figura 2-7 – Peças automotivas em PA 66 reforçado com 30% de fibra de vidro e inserto metálico (Fonte: AUTOR).

Para facilitar a compreensão e demonstrar melhor a complexidade e solicitações mecânicas e térmicas que estas peças são submetidas, a Figura 2-8 mostra a localização destas peças no veículo, e a Figura 2-9 mostra uma vista explodida do módulo frontal com todos os componentes que são comumente montados na estrutura superior e inferior.

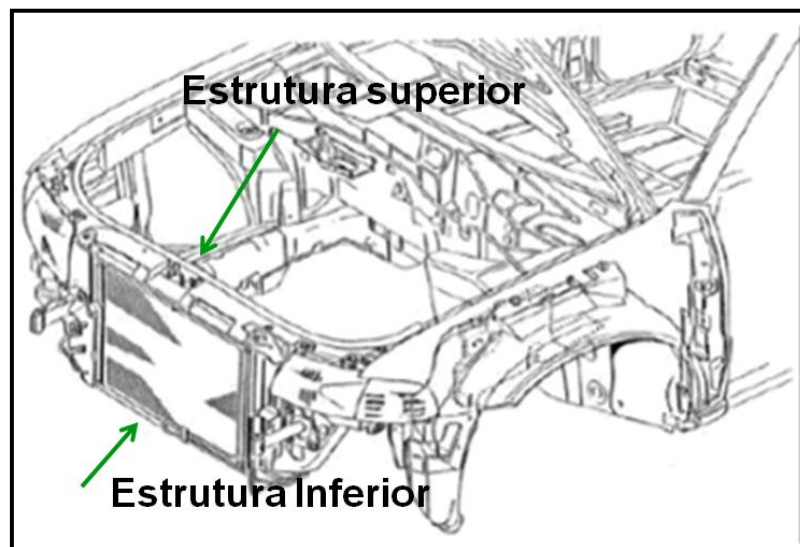


Figura 2-8 – Localização da estrutura superior e inferior no veículo (Fonte: AUTOR).

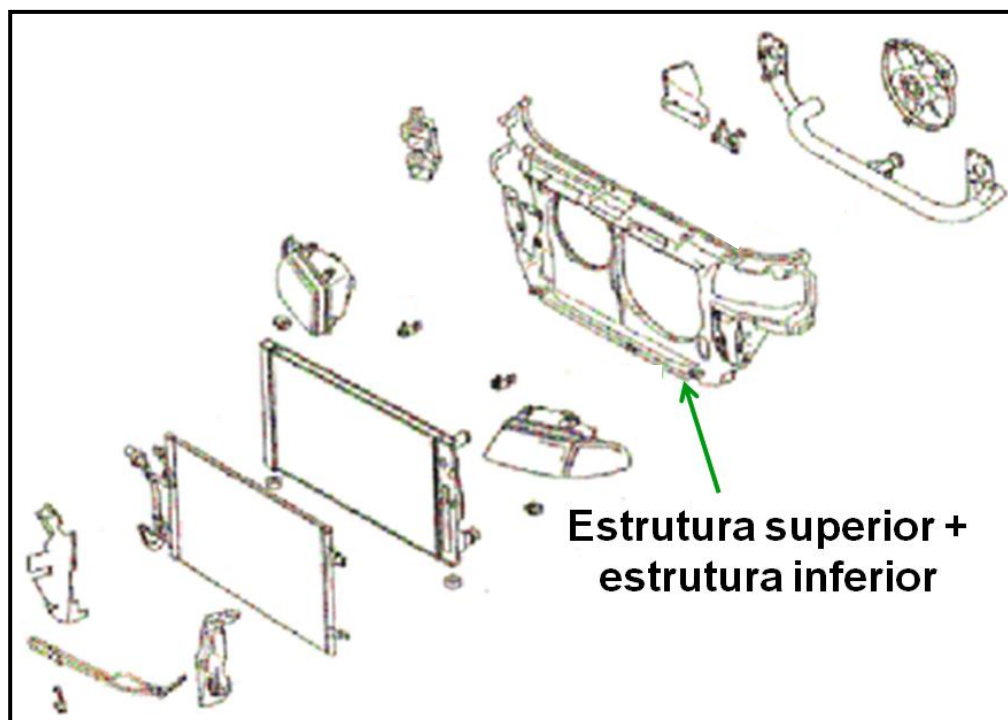


Figura 2-9 – Vista explodida módulo frontal (Fonte: AUTOR).

### 2.1.3. Poliamida reciclada

Apesar do baixo volume de Nylon descartado no meio ambiente quando comparado com outros polímeros, este número pode ser ainda mais reduzido com a introdução de métodos para reciclagem. Em 1992, a maioria dos rejeitos de Nylon em processo industrial já era reciclada, porém o rejeito descartado após o uso no meio ambiente ainda não era reaproveitado. A redução de espaço nos aterros sanitários e a legislação mais severa obrigaram que regiões com grande densidade populacional aumentassem o percentual de nylon reciclado após o uso. Resíduos oriundos de processo, como refugo de início de produção, parada de máquinas e problemas durante a produção, tem normalmente boa qualidade, logo podem ser moídos e reutilizados diretamente ou misturado com resina virgem. O material reciclado com baixa qualidade geralmente é utilizado como matéria prima para compósitos reciclados com modificadores. (KOHAN, 1995).

Muito progresso foi feito para limitar o desperdício de nylon decorrente do processo de injeção nos últimos anos. Entre eles podemos citar os sistemas sem

câmara quente que podem eliminar completamente o descarte com canais de injeção. É possível também, de forma alternativa, moer o material descartado provenientes dos canais de injeção e misturar com material virgem para reutilização diretamente na própria máquina ou armazenar e misturar posteriormente nos silos de alimentação (KOHAN, 1995). Neste caso parte da resina utilizada na fabricação da peça será processada mais de uma vez.

A maioria dos Nylons tem uma excelente estabilidade quando fundido durante o ciclo de injeção mantendo assim sua massa molecular e propriedades mecânicas mesmo após vários ciclos de injeção, desde que a umidade e contaminações sejam controladas corretamente. Entretanto, sua estabilidade térmica pode ser comprometida após alguns ciclos de processamento. O material ficará um pouco amarelado e ocorrerá nucleação. A nucleação pode ajudar a reduzir a contração do material, porém tornará mais difícil a injeção de peças longas e finas. (KOHAN, 1995).

Existem dois métodos possíveis de reciclar o material descartado após o uso. O primeiro método seria a reciclagem mecânica, que consiste na moagem, lavagem, reprocessamento do material e granulação do mesmo através do processo de extrusão. Durante o processo de extrusão alguns aditivos podem ser utilizados para alterar e melhorar as propriedades do material reciclado obtido. Este método produz bons resultados porque o Nylon tem boa estabilidade quando processado corretamente. O outro método seria a reciclagem química, que consiste na quebra das longas cadeias da poliamida em pequenas moléculas que podem ser purificadas por processos padrões como destilação e cristalização. Este método produz um material reciclado com melhores propriedades do que o material reciclado mecanicamente (KOHAN, 1995). A Figura 2-10 mostra a representação gráfica das etapas do processo de reciclagem química da poliamida 6,6.

A caixa do radiador está entre uma das partes mais contaminada encontrada em um veículo. Esta peça normalmente contém entre outras coisas poeira, óleo, ferrugem, limalha de alumínio, etileno glicol, água, borracha, limalha de aço, etc. Logo podemos imaginar que, se uma peça tão contaminada como esta pode ser reciclada, quase todo nylon descartado no meio ambiente também pode. A reciclagem mecânica normalmente provoca a perda de algumas propriedades mecânicas, mas mesmo partes contaminadas como tanques de radiador feitos de poliamida 6,6 com fibra de vidro quando reciclados mecanicamente e reutilizados

podem dar origem a produtos com boas propriedades. As propriedades da resina obtida após a moagem, lavagem, remoção do etileno glicol (absorvido pelo material do líquido de resfriamento que circula no interior do radiador) e secagem podem ser consideradas como boas. A resistência ao impacto tem uma redução de aproximadamente 30% e resistência à tração tem uma redução de aproximadamente 10% (KOHAN, 1995).

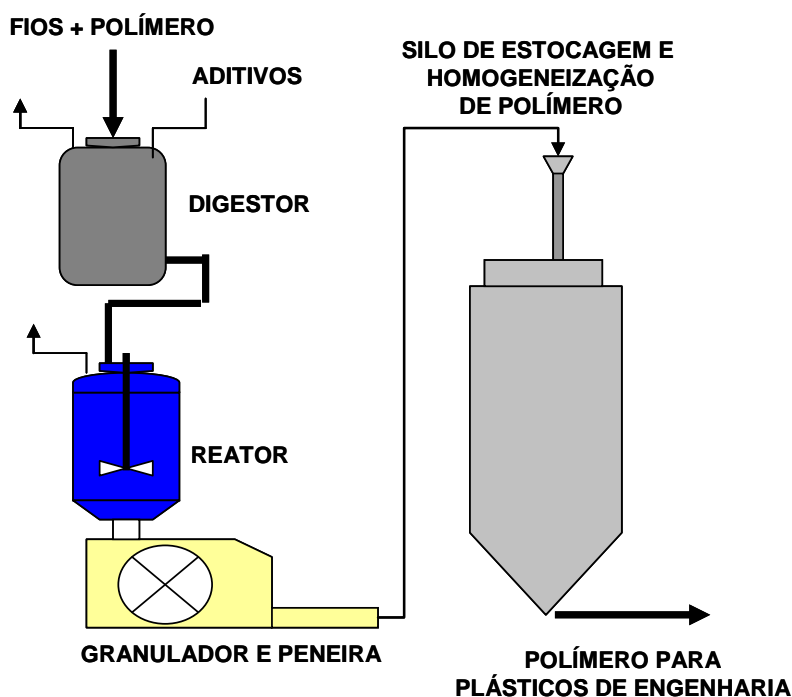


Figura 2-10 – Etapas de reciclagem química da poliamida 6,6.

KUAN-HUA SUE et al. (2007) estudaram as propriedades de uma poliamida 6 virgem e as propriedades desta mesma poliamida reprocessada várias vezes utilizando o mesmo processo convencional utilizado para processar a poliamida virgem. Este procedimento foi repetido 16 vezes e após cada ciclo as propriedades mecânicas e reológicas da poliamida foram avaliadas e comparadas com as propriedades da poliamida 6 virgem. A mudança na estrutura química, massa molecular, distribuição de massa molecular e cristalinidade também foram analisadas após cada ciclo. Os resultados dos ensaios de cromatografia por exclusão de tamanho demonstraram uma redução na massa molecular e um aumento na distribuição de massa molar como conseqüência da redução da viscosidade da poliamida fundida, porém a estrutura química da poliamida 6 não

sofreu alterações. O ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC) revelou que a taxa de cristalização aumentou após os vários ciclos de reprocessamento e que o tamanho dos cristais mudaram em consequência da quebra das cadeias moleculares durante o reprocessamento. As propriedades mecânicas demonstraram um aumento no módulo de tração e flexão após cada novo ciclo de processo, entretanto foi observada uma redução na resistência ao impacto Izod.

SCAFFARO & MANTIA (2002) avaliaram o efeito da umidade nas propriedades mecânica e reológicas da poliamida 6 virgem, da poliamida 6 reprocessada mecanicamente no mesmo processo utilizado para processar a poliamida virgem e dos compósitos formados pela poliamida 6 virgem e reciclada misturadas nos percentuais de 25%, 50% e 75%. Os resultados indicaram que a poliamida 6 reciclada após desumidificação não sofreu grande degradação em suas propriedades. A massa molecular e viscosidade Newtoniana foram bem similares a da poliamida 6 virgem e apresentaram uma redução aproximadamente linear para as diferentes composições. Este mesmo resultado foi observado para o material reciclado sem desumidificação, porém com adição de estabilizante. A poliamida 6 reprocessada com umidade e sem adição de estabilizante apresentou uma grande redução na massa molecular devido à degradação hidrolítica do material reciclado. As propriedades mecânicas variaram de forma complexa e não apresentaram um comportamento linear. Como resultado final, foi obtido um material mais rígido e brilhoso, se comparado com o material virgem, em todas as suas composições.

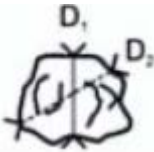

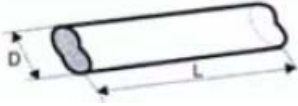

PEYDRÓ et al. (2011) estudaram o comportamento mecânico da poliamida 6 reprocessada. Para gerar o material reciclado eles reprocessaram a poliamida 6 virgem no mesmo processo cinco vezes. Após cada ciclo as propriedades da poliamida 6 reciclada mecanicamente foram avaliadas. Os resultados mostraram pequena variação na resistência a tração, alongamento e dureza. Porém a resistência ao impacto sem entalho reduziu a cada novo ciclo de reprocessamento.

## **2.2. Cargas e reforços**

Cargas podem ser definidas como materiais sólidos, não solúveis, que são adicionados aos polímeros em quantidades suficientes para diminuir os custos e / ou alterar suas propriedades físicas (RABELLO, 2000). Reforços ou cargas são aditivos

sólidos, geralmente inorgânicos, que são adicionados em uma matriz polimérica (HARPER, 2002). Os reforços são geralmente classificados segundo sua forma e dimensão. Na Tabela 2-1 encontram-se as principais classificações (COMBETTE & ERNOULT, 2005).

Tabela 2-1 - Classificação das cargas ou reforços (COMBETTE & ERNOULT, 2005).

Forma	Geometria	Razão de forma	Exemplos
Granular ou esférica		$\frac{D_1}{D_2} = 1$	CACO3 Negro de Fumo
Lamelar		$\frac{D}{e} = 10 \text{ à } 40$	Talco Mica
Acircular		$\frac{L}{D} = 10 \text{ à } 100$	Fibras curtas (L < 2 mm) Wollastonita
Fibrilar		$\frac{L}{D} > 100$	Fibras longas (L > 2 mm) Fibra de vidro Fibra de carbono

Conforme mostrado na Tabela 2-1 os esforços podem ter diferentes geometrias e tamanhos, neste trabalho daremos ênfase a materiais utilizando fibra como reforço. Quanto maior o comprimento da fibra maior será o ganho nas propriedades mecânicas do material compósito (CALLISTER, 2007).

Além de aumentar a viscosidade do material fundido, dificultando o processamento, as cargas geralmente diminuem a resistência ao impacto e muitas vezes contribuem para uma maior propagação de trincas, diminuindo a resistência à fadiga. Por outro lado, a presença de cargas melhora a estabilidade dimensional e diminui a retração no resfriamento ou na cura. A Figura 2-9 demonstra o efeito da



concentração de fibra de vidro na resistência a tração e deformação da poliamida 6 (RABELLO, 2000).

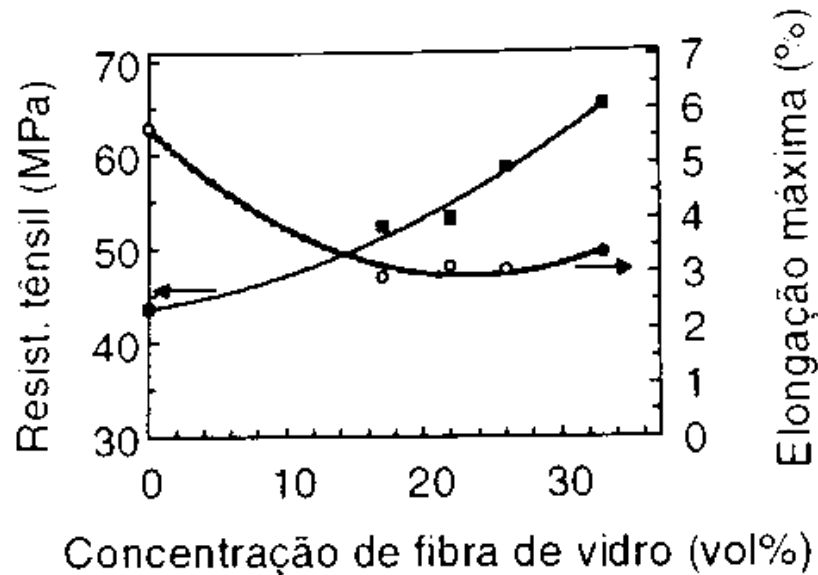


Figura 2-11 – Efeito da concentra o de fibra de vidro na resistência a traço e deform o da poliamida 6 (RABELLO, 2000).

A utiliza o de cargas e reforços pela indústria de plástico não apenas tem alcançado volumes expressivos como também vem mudando o perfil da indústria pela amplia o do espectro de aplica o de diversos polímeros (NAOKI, 2004).

### 2.2.1. Fibra

Há algumas décadas tem aumentado o interesse pela pesquisa e utiliza o de polímeros reforçados com fibra. Este aumento se deve principalmente a utiliza o destes materiais como plástico de engenharia nas indústrias aeroespacial, automotiva, constru o e esportes. Os principais materiais utilizados como fibra são vidro, carbono, kevlar e aramida (WAMBUA et al, 2003).

As principais razões para utiliza o de compósitos com fibras são: Redu o de custo, aumento da rigidez, altera o das propriedades elétrica, melhor estabilidade dimensional, maior resistência   compressão, redu o da flamabilidade e redu o da contra o.

Derivado deste interesse houve também uma necessidade de aumentar o conhecimento sobre as intera oes entre as variáveis que influenciam nas

propriedades e estrutura dos compósitos reforçados com fibra. As principais variáveis que afetam significativamente as propriedades dos compósitos carregados com fibras são: tipo da fibra, comprimento médio das fibras, orientação da fibra e anisotropia, interface fibra-polímero e dispersão das fibras (THOMASON, 2002).

Compósitos poliméricos reforçados com fibras curtas são bem mais atrativos devido à facilidade de processamento e menor custo. Processos de injeção e extrusão são comumente utilizados para processamento destes compósitos (FU et al, 2000).

Cargas usadas com Nylon incluem partículas minerais, fibras minerais e micro esfera de vidro (KOHAN, 1995).

### **2.2.2. Fibra de vidro**

O vidro é uma excelente agente de reforço porque tem uma alta resistência a tração (acima de  $3,6 \text{ GN/m}^2$ ) e um alto módulo de Young ( $94 \text{ GN/m}^2$ ). As fibras de vidro têm uma boa estabilidade dimensional, não sofrem fluência e estas características são repassadas para o compósito. Como o vidro é um material praticamente inerte, as fibras também são imunes aos ataques biológicos e têm boa resistência aos ataques de solventes e produtos químicos (DE & WHITE, 1996).

Existem diversos grupos de vidro utilizados para fabricação de fibra, como a sílica, o oxinitrito e o fosfato. Entretanto a sílica é a mais utilizada em compósitos (MATTHEWS & RAWLINGS, 1994). As fibras de vidro do tipo "E" são as mais utilizadas devido ao baixo custo. Este tipo de fibra fornece um pacote atrativo de propriedades mecânicas, químicas e elétricas. O uso desta fibra resulta em melhorias nas propriedades dos materiais como a resistência à tração e ao impacto (LARENA et al. 1992).

As fibras de vidro do tipo "E" são fiadas a uma temperatura de  $1250^\circ\text{C}$  a elevadas velocidades (várias dezenas de metros por segundo) resfriadas a ar e em seguida em água (FONSECA, 2005). Após aplicação da emulsão, os filamentos que possuem diâmetros entre 5 e  $25 \mu\text{m}$  são unidos para formar o filamento. A emulsão é responsável pela adesão química entre a fibra de vidro e a matriz polimérica e sua composição difere de acordo com o tipo de polímero presente na matriz (MERCIER

et al., 1999). Coberturas superficiais podem também ser aplicadas para melhorar a compatibilidade entre a matriz e a fibra (DE & WHITE, 1996).

A fibra de vidro é popular como reforço pelas seguintes razões (CALLISTER, 2007):

- Facilidade do processamento do vidro no estado fundido em fibras de alta resistência;
- Farta disponibilidade e pode ser utilizada como reforço para matérias poliméricas através de uma grande variedade de processos e técnicas;
- Possui boa resistência mecânica e quando incorporada a uma matriz polimérica produz um compósito com alta resistência mecânica;
- Quando combinada com polímeros diversos possui uma inércia química que torna o compósito útil para ser utilizado em ambientes corrosivos;

A fibra de vidro é bastante difundida devido as suas boas propriedades mecânicas, entretanto uma de suas desvantagens é a irritação que causa na pele, quando as fibras contidas na matriz podem ter contato com a pele humana (SZABŐ & CZIGÁNY, 2003).

### **2.3. Materiais compósitos poliméricos**

Os materiais compósitos podem ser definidos como misturas não solúveis de dois ou mais constituintes com composições, estruturas e propriedades distintas que se combinam e têm funções diferentes. Um compósito é composto de dois constituintes: matriz e reforço. O reforço é responsável por suportar as solicitações mecânicas e a matriz é responsável por transferir os esforços externos para o reforço e protegê-lo contra ataque de agentes químicos e biológicos do ambiente externo (FONSECA, 2005).

As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades de suas fases constituintes e da geometria do reforço, a qual compreende forma, tamanho, quantidade, distribuição e orientação das fibras ou partículas (GAY et al., 2003). A Figura 2-12 apresenta esquematicamente as várias geometrias e distribuição das partículas dispersa na matriz polimérica que influenciam nas propriedades do composto (CALLISTER, 2007).

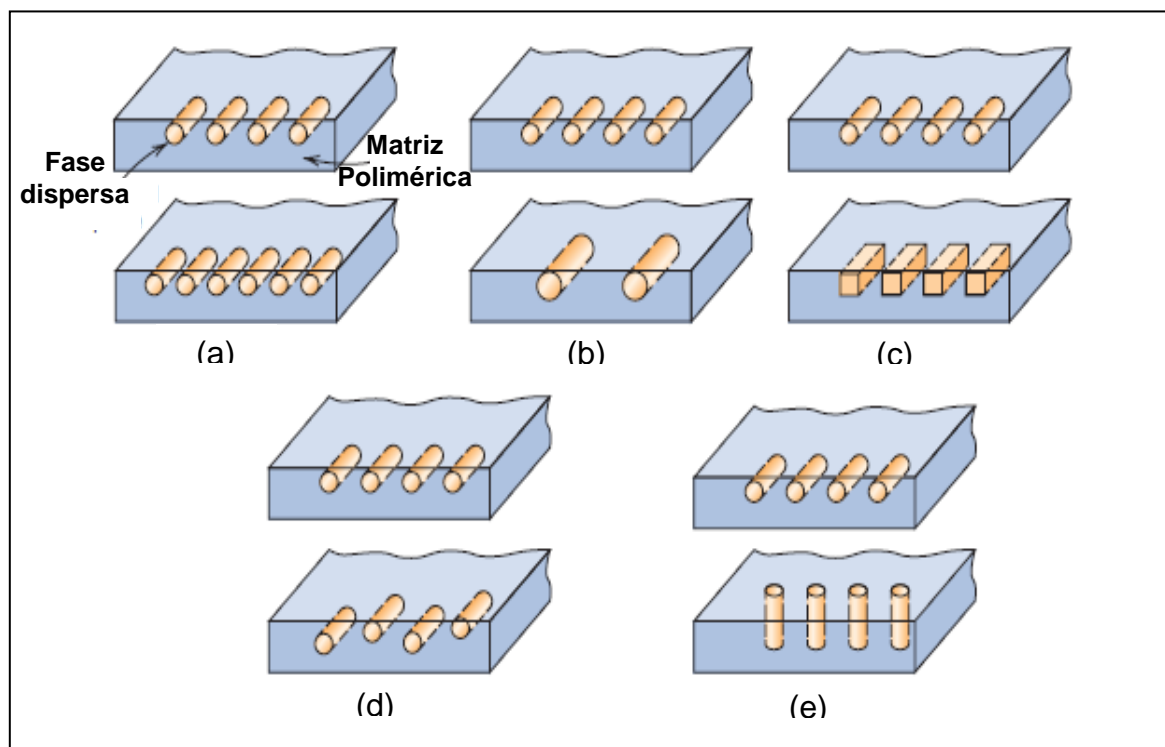


Figura 2-12 - Representação esquemática das várias geometrias e distribuições das partículas dispersas na matriz polimérica que influenciam nas propriedades do composto: (a) concentração, (b) dimensão, (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação (CALLISTER, 2007).

As mais atrativas características oferecidas pelos compósitos poliméricos são o potencial de produção com baixo custo, alta tenacidade à fratura, boa resistência ao impacto, boa resistência à propagação de micro-trincas, boa processabilidade e a possibilidade de reciclagem da matéria prima (FERREIRA et al., 1999).

### 2.3.1. Compósito de poliamida com fibra de vidro

A poliamida reforçada com fibra de vidro proporcionou um grande aumento na utilização deste material. A adição de 10% a 50% de fibra de vidro na poliamida aumenta bastante a sua resistência a tração, melhora sua estabilidade dimensional e sua estabilidade térmica em elevadas temperaturas. Para melhorar as propriedades deste compósito um agente de acoplamento, normalmente o silano, é utilizado para melhorar o acoplamento entre a superfície da fibra e matriz de poliamida (KOHAN, 1995). Conforme mencionado anteriormente e mostrado na Figura 2-12, diversas variáveis podem influenciar nas propriedades de um compósito formado por fibra de vidro.

Conforme mencionado anteriormente muito progresso foi feito em limitar o desperdício de nylon decorrente do processo de injeção nos últimos anos. Mas ainda existe muito trabalho sendo desenvolvido para ampliar reaproveitamento dos compósitos de poliamidas descartadas e melhorar suas propriedades.

### **2.3.2. Compósito polimérico de poliamida reciclada**

MASPOCH et al. (2003) estudaram as propriedades mecânicas (tensão, flexão e resistência ao impacto) e reológicas em amostras de uma poliamida 6 reforçada com 20% de esfera de vidro e 10% de fibra de vidro reprocessadas três vezes. As propriedades mecânicas e reológicas foram avaliadas após cada ciclo de reaproveitamento. A escolha deste compósito polimérico para este estudo foi em função da sua grande utilização na fabricação de componentes para indústria automotiva. Também foram avaliadas as propriedades mecânicas e reológicas deste material após o terceiro ciclo de reprocessamento quando misturado com material virgem nas proporções de 15%, 30% e 50%. Foi percebida uma perda nas propriedades mecânicas após cada ciclo de reprocessamento. As propriedades que se mostraram mais sensíveis ao reprocessamento foram à resistência à tração e resistência ao impacto. Mesmo fenômeno se observou com aumento da quantidade de material reciclado misturado ao material virgem. A combinação de material virgem com reciclado que apresentou a melhor opção foi 30% devido as suas propriedades similares ao material reutilizado apenas uma vez. Este trabalho demonstrou também que não degradar o material de reforço durante o processo injeção pode melhorar as propriedades do material reaproveitado.

CLAVERÍE et al. (2002) estudaram os efeitos do reprocessamento na microestrutura e nas propriedades mecânicas da poliamida 6,6 com 20% de fibra de carbono e 20% de fibra de vidro em produtos injetados. Distribuição do tamanho da fibra, massa molecular da matriz, temperatura de transição, módulo de Young e resistência ao impacto estão entre as propriedades avaliadas durante 9 ciclos de reprocessamento utilizando o processo de injeção. Nos cinco primeiros ciclos de injeção foram observados aumento na resistência ao impacto e módulo de Young, apesar de uma redução na massa molecular e no tamanho da fibra. Foi observada uma redução nas propriedades mecânicas após o quinto ciclo de reprocessamento.

CLAVERÍE et al. (1998) estudaram as propriedades de uma poliamida 6,6 com diferentes percentuais de fibra de vidro, fibra de carbono e material descartado. Várias formulações foram preparadas através da injeção em moldes e caracterizadas pela medição da resistência a tração, resistência ao impacto e análise térmica do compósito através de DSC e DTA. Não foi observada uma dependência entre as propriedades mecânicas e o aumento no percentual de material sucata até o percentual de 10,4% em peso. O compósito reciclado gerado demonstrou propriedades mecânicas inferiores ao compósito virgem devido à fraca adesão entre a fibra e a matriz. O resultado demonstra que o uso de um compósito formado pela mistura de compósitos com diferentes fibras e material sucata é uma alternativa possível para reutilização de material sucata quando a formulação é bem controlada.

ERIKSSON et al. (1996) estudaram a influência nas propriedades mecânicas do reaproveitamento da poliamida 6,6, descartada em processo, com estabilizante para altas temperaturas e reforçadas com fibra de vidro curta. Foi avaliado o efeito nas propriedades devido à redução do tamanho da fibra, degradação da matriz e degradação da interface fibra e matriz provocada pelo reprocessamento. Observaram que a redução no tamanho da fibra foi maior no primeiro ciclo de injeção e moagem do material e que posteriores ciclos de injeção e moagem têm efeito decrescente no tamanho da fibra. Como resultados obtiveram uma redução na resistência a tração do material reprocessado devido à redução no comprimento da fibra, uma vez, que o reprocessamento teve efeito desprezível sobre a matriz e a interface fibra matriz.

ERIKSSON et al. (1997) estudaram os efeitos nas propriedades mecânicas de uma poliamida 6,6 reforçada com fibra de vidro reprocessada exposta em um ambiente de degradação acelerada, que simula as condições de uso da mesma na indústria automotiva. O material foi moído e reprocessado sete vezes. O material foi envelhecido termicamente por 3000 horas a 140°C e exposto a fluído de arrefecimento por 1000 horas a 110°C. Também foi avaliado o comprimento da fibra e estabilidade da matriz por calorimetria exploratória diferencial (DSC), em adição ao resultado das propriedades mecânicas, para determinar a influência do reprocessamento na redução da durabilidade do material quando comparado com o material virgem. Os resultados demonstram que a redução na resistência a tração inicialmente, sem exposição ao ambiente de degradação acelerada, são provocadas

pela redução no comprimento da fibra. A diferença da tensão e módulo de elasticidade entre o material virgem e reciclado apresentarem comportamento similar no período de tempo e temperatura estudado.

## 2.4. Regra da mistura para dois componentes

Acredita-se que um ou mais modelos pode descrever as propriedades de interesse em função da composição da mistura.

O modelo mais simples para uma mistura de dois componentes é o modelo aditivo ou linear: demonstrado na equação 1.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon_i, \quad (\text{eq. 2.1})$$

onde  $y_i$  representa o valor experimental de uma propriedade de interesse,  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os parâmetros do modelo e  $\varepsilon_i$  representa o erro aleatório associado a determinação do valor de  $y_i$ . Ajustando o modelo às observações feitas com essa finalidade obtém-se a equação 2.

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2, \quad (\text{eq. 2.2})$$

que permite estimar a resposta média (isto é, o valor médio da propriedade de interesse, que é uma variável aleatória) num dado ponto em função da composição da mistura.

Como a soma  $x_1 + x_2$  é sempre igual a um, podemos introduzi-la com coeficiente de  $b_0$  na equação 3 sem alterar a igualdade:

$$\hat{y} = b_0(x_1 + x_2) + b_1 x_1 + b_2 x_2. \quad (\text{eq.2.3})$$

Rearranjando, ficamos com a equação 4:

$$\hat{y} = (b_0 + b_1)x_1 + (b_0 + b_2)x_2 = b_1^* x_1 + b_2^* x_2, \quad (\text{eq.2.4})$$

Onde  $b_i^* = b_0 + b_i$ . Com esse artifício o modelo passa a ter apenas dois coeficientes a serem determinados  $b_1^*$  e  $b_2^*$ , aos invés de três que aparecem na equação original. Para determiná-los, portanto, bastam dois ensaios distintos.

Quando  $x_1=1$  e  $x_2=0$  a equação 2.4 reduz-se a  $\hat{y} = b_1^* = y_1$ , onde  $y_1$  é a resposta observada para o componente 1 puro. Da mesma forma, quando  $x_1=0$  e  $x_2=1$ , temos  $\hat{y} = b_2^* = y_2$ . Ou seja, os dois coeficientes do modelo aditivo são idênticos às repostas dos respectivos componentes puros. Caso o modelo seja válido, é possível prever as propriedades de uma mistura, sem ter de preparar nenhuma mistura. De acordo com esse modelo a resposta para uma mistura qualquer deve ser a média ponderada das repostas observadas para os componentes puros, tendo como pesos as respectivas proporções presentes na mistura (BRUNS et al., 1995).

## 2.5. Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTEC)

Toda decisão de investimento têm em comum a importância dos valores em jogo, sua visão de longo prazo e finalmente um alto grau de incertezas. A decisão final acerca de qual alternativa de investimento escolher, depois de satisfeitas as questões técnicas, será sempre tomada através de uma análise econômica baseada em incertezas ligadas ao projeto (BAGLIN et al., 2003).

Engenheiros e técnicos da área econômico-financeira freqüentemente deparam com a escolha de alternativas que envolvem estudos econômicos. Não raro, a escolha é feita sem que o custo de capital empregado seja considerado adequadamente. Apenas um estudo econômico detalhado pode avaliar a viabilidade de projetos tecnicamente, minimizando assim o grau de risco ligado às incertezas (CASAROTTO 1998).

O estudo de viabilidade é uma análise detalhada, que tem os seguintes objetivos básicos (KRAYCHETE, 1997):

- Identificar e fortalecer as condições necessárias para o projeto dar certo;
- Identificar e tentar neutralizar os fatores que podem dificultar as possibilidades de êxito do projeto



Os métodos tradicionais de avaliação econômica da viabilidade de um empreendimento requerem a estimativa dos custos capitais fixos, dos custos operacionais e do preço de venda dos produtos (FARIAS, 2011).

Qualquer projeto de investimento possui de início um período de despesas em investimento a que se segue um período de receitas líquidas. O período de tempo necessário para as receitas recuperarem a despesa em investimento é denominado período de retorno ou payback. O período de retorno pode ser considerado com o fluxo de caixa atualizado ou sem o fluxo de caixa atualizado (BAGLIN *et al.*, 2003).

O período de retorno pode ser:

- Nominal, se calculado com base no fluxo de caixa com valores nominais;
- Presente líquido, se calculado com base no fluxo de caixa com valores trazidos ao valor presente líquido;

O método do Período de Retorno é uma fórmula simples, fácil e direta, que estima o prazo necessário para se recuperar o investimento realizado. Quando o custo de capital do investimento não é considerado, denomina-se o método do período de retorno simples. Para obter o período de retorno simples de um projeto de investimento, basta verificar o tempo necessário para que o saldo do investimento seja igual a zero. Como o período de retorno simples não considera o custo do capital, a soma do saldo do investimento pode ser feita com base nos valores nominais (BRUNI, 2008).

Os critérios de aceitação de novos investimentos com base no período de retorno simples podem ser apresentados como (BRUNI, 2008):

- Se o período de retorno simples for menor que o prazo máximo de recuperação do capital investido, o projeto deve ser aceito;
- Se o período de retorno simples for igual ao prazo máximo de recuperação do capital investido, é indiferente aceitar ou não o projeto;
- Se o período de retorno simples for maior que o prazo máximo de recuperação do capital investido, o projeto não deve ser aceito;

O período de retorno consiste no cálculo do tempo necessário para que o fluxo de caixa seja equivalente ao investimento

Algebricamente tem-se:

$$PR = T \text{ quando } \sum_{t=0}^T CF_t = I_0$$

Onde:

PR= Período de Retorno;

CF<sub>t</sub>= Fluxo de caixa total no ano t;

I<sub>0</sub>= Fluxo de caixa do investimento Inicial;

O período de retorno simples não leva em consideração a taxa de juros, nem a inflação do período ou o custo de oportunidade. Além disso, nem sempre os fluxos esperados são constantes.

Método do período de retorno é um critério de avaliação de risco, sendo, nesta perspectiva, mais atraente aqueles projetos que permitam uma recuperação do capital investido em menor tempo.

As principais vantagens do método do período de retorno simples podem ser apresentadas como (BRUNI, 2008):

- Sua aplicação é fácil e simples;
- Seu resultado é de fácil interpretação: quanto menor for o seu valor, menor será o prazo necessário para a recuperação do investimento;
- Pode ser visto como uma medida de risco do projeto: já que as estimativas de retorno do projeto diminuem seu grau de certeza à medida que se distanciam da data inicial. Quanto maior o período de retorno simples, maior o risco associado ao projeto, que, por sua vez, pode ser delimitado por meio da determinação do prazo máximo tolerado;

- Pode ser visto como uma medida de liquidez: por sua própria definição (período necessário para recuperação do capital investido), quanto menor o período de retorno simples, maior a liquidez;

Entretanto, o método apresenta falhas, dentre as quais podem ser citadas (BRUNI, 2008):

- Não considera o valor do dinheiro no tempo: ao somar/subtrair fluxos de caixa em datas diferentes, supõe-se custos de capital iguais a zero;
- Não considera todos os capitais do fluxo de caixa: existiria uma tendência de aceitação de projetos mais curtos com menor rentabilidade em detrimento de projetos mais longos e rentáveis;
- Não é uma medida de rentabilidade do investimento: mede apenas o prazo necessário para a recuperação do capital investido;

Segundo CASAROTTO (1998), os métodos da TIR e VPL são equivalentes, e quando bem aplicados, conduzem ao mesmo resultado, apenas cada um se adapta melhor a determinado tipo de problema. O VPL permite analisar a viabilidade econômica do projeto ou empreendimento no longo prazo, através do valor atual dos benefícios menos o valor atual dos custos e dos desembolsos descontada a uma Taxa Mínima Atrativa (TMA) ou taxa Mínima Requerida (TMR), ou analisando de outra forma, esse método reflete o resultado em valores absolutos do investimento medido pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Materiais

#### 3.1.1. Seleção dos materiais

Neste trabalho foi utilizada a poliamida 6,6 virgem com 30% de fibra de vidro da empresa Rhodia, código TECHNYL A218 V30 BLACK NG 34, e realizada uma pesquisa dos materiais reciclados disponíveis comercialmente na Rhodia com propriedades similares à poliamida 6,6 virgem.

Duas possibilidades foram apresentadas pela Rhodia.

- 1- Poliamida 6,6 com 30% de fibra de vidro reciclada mecanicamente com código TECHNYL XA 3119 BLACK 61;
- 2- Poliamida 6,6 com 30% de fibra de vidro reciclada quimicamente com código TECHNYL A718 V30;

A poliamida TECHNYL A718 V30 reciclada quimicamente foi escolhida devido à maior similaridade das suas propriedades com a poliamida virgem, conforme sugerido por MASPOCH et al, 2003 que utilizaram em seu trabalho o material reciclado com as propriedades mais próximas do material virgem por acreditar que isso aumentaria a compatibilidade entre os mesmos.

O TECHNYL A218 V30 BLACK 34NG é uma poliamida 6,6 reforçada com 30% de fibra de vidro com excelentes propriedades mecânicas, boa estabilidade térmica para moldagem por injeção e especialmente estabilizada para aumentar sua resistência química a fluidos de arrefecimento utilizados na indústria automotiva. O TECHNYL A718 V30 é também uma poliamida 6,6 reforçada com 30% de fibra de vidro, porém reciclada quimicamente, com boas propriedades mecânicas e com estabilidade térmica para moldagem por injeção. Algumas das principais propriedades deste material estão apresentadas na Tabela 3-1 e Tabela 3-2.

**Tabela 3-1 – Propriedades Poliamida 6,6 Rhodia TECHNYL A218 V30 BLACK 34NG (CATÁLOGO RHODIA TECHNYL A218 V30 BLACK 34NG).**

<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Normas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores (Eh0)*</b>
<b>Módulo de resistência a tração</b>	ISO 527 type 1A	MPa	10.000
<b>Resistência na ruptura</b>	ISO 527 type 1A	MPa	190
<b>Alongamento na ruptura</b>	ISO 527 type 1A	%	3
<b>Módulo de flexão</b>	ISO 178	MPa	9.000
<b>Resistência ao impacto Charpy</b>	ISO 179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	80
<b>Resistência ao impacto Charpy</b>	ISO179/1fU	kJ/m <sup>2</sup>	70
<b>Densidade</b>	ISO 1183-A	g/cm <sup>3</sup>	1,37
<b>Absorção de água</b>	ISO 62	%	0,80
<b>Temperatura de fusão</b>	ISO 11357	°C	263
<b>Temperatura de deflexão térmica 1,8 MPa</b>	ISO 75/Af	°C	250

\* Material seco como moldado

**Tabela 3-2 – Propriedades Poliamida 6,6 Rhodia TECHNYL A718 V30 (CATÁLOGO RHODIA TECHNYL A718 V30).**

<b>Propriedades Mecânicas</b>	<b>Normas</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores (Eh0)*</b>
<b>Módulo de resistência a tração</b>	ISO 527 type 1A	MPa	9.000
<b>Resistência na ruptura</b>	ISO 527 type 1A	MPa	150
<b>Alongamento na ruptura</b>	ISO 527 type 1A	%	2,5
<b>Módulo de flexão</b>	ISO 178	MPa	8.200
<b>Resistência ao impacto Charpy</b>	ISO179/1fU	kJ/m <sup>2</sup>	35
<b>Densidade</b>	ISO 1183-A	g/cm <sup>3</sup>	1,37
<b>Absorção de água</b>	ISO 62	%	0,5-1,0
<b>Temperatura de fusão</b>	ISO 11357	°C	255-265
<b>Temperatura de deflexão térmica 1,8 MPa</b>	ISO 75/Af	°C	250

\* Material seco como moldado

## 3.2. Métodos

A Figura 3-1 representa as diferentes etapas da metodologia utilizada nesta pesquisa. A primeira etapa foi seleção dos materiais. Na segunda etapa, foi avaliado as variações nas propriedades mecânicas e térmicas obtidas com adição de diferentes percentuais de poliamida virgem na poliamida reciclada. Na terceira etapa foi avaliado o efeito da utilização de material reprocessado nas propriedades mecânicas e térmicas. Na quarta etapa, foi avaliado as variações nas propriedades mecânicas após envelhecimento térmico dos corpos de prova por 336 e 504 horas.

As etapas de processamento dos compósitos, obtenção dos corpos de prova e avaliação das propriedades mecânicas e térmicas foram realizadas nos laboratórios da Rhodia Poliamidas e Especialidades em São Bernardo do Campo e do SENAI Cimatec Bahia.

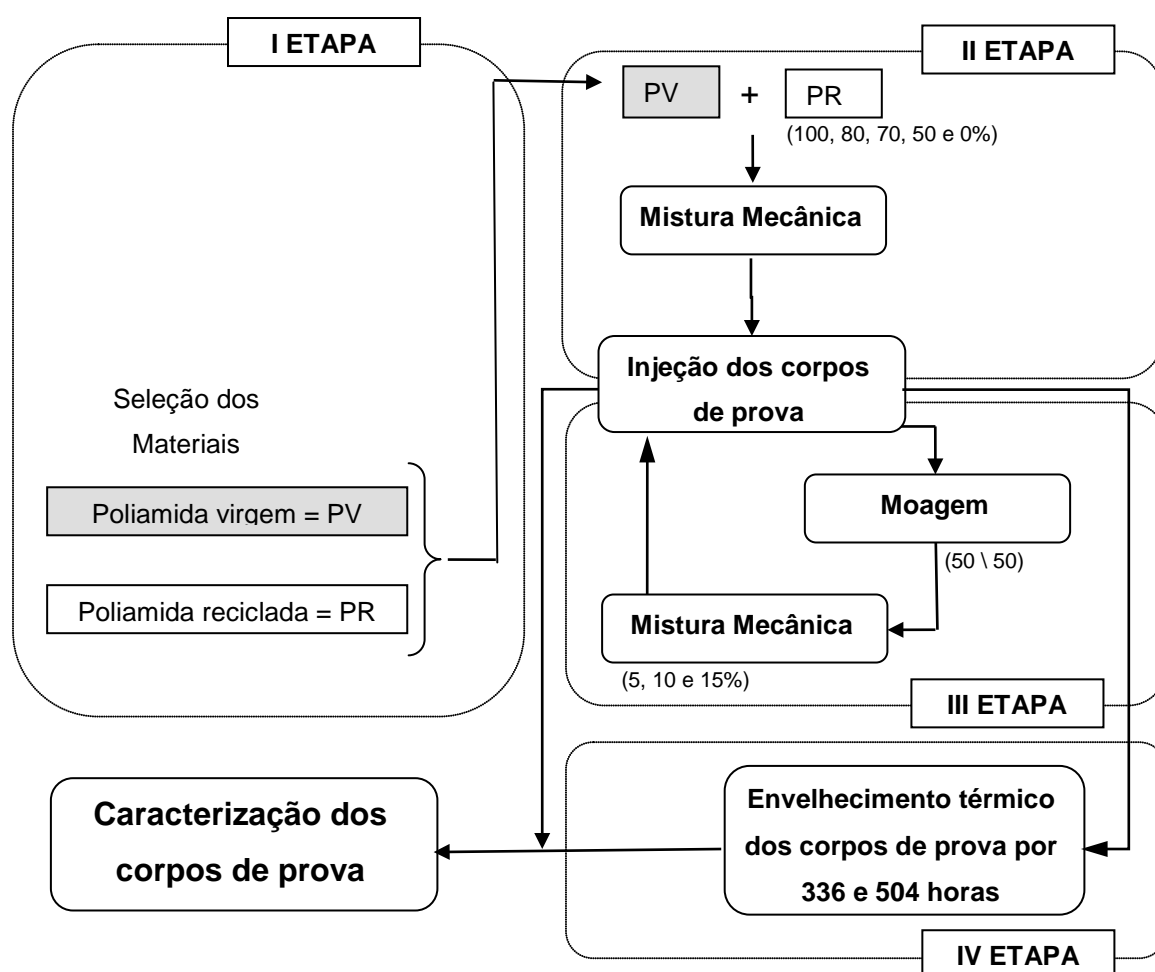


Figura 3-1 – Representação Esquemática das Diferentes Etapas da Pesquisa.

### 3.2.1. Preparação dos compósitos

Foram preparadas e caracterizadas 5 formulações diferentes na segunda etapa, utilizando-se os materiais selecionados previamente. Para facilitar a compreensão e análise dos dados cada formulação foi codificada conforme Tabela 3-3.

**Tabela 3-3 – Código das Amostras**

<b>Código</b>	<b>Poliâmida Reciclada (% em peso)</b>	<b>Poliâmida Virgem (% em peso)</b>
F-1	100%	0%
F-2	80%	20%
F-3	70%	30%
F-4	50%	50%
F-5	0%	100%

As diferentes formulações foram misturadas manualmente e secas durante 4 horas a 80°C antes de serem processadas.

### 3.2.2. Injeção dos corpos de prova

A injeção dos corpos de prova foi realizada em uma máquina injetora Romi Primax R65, com perfil de temperatura conforme Tabela 3-4, perfil de abertura do molde conforme Tabela 3-5 e parâmetros de injeção conforme Tabela 3-6.

**Tabela 3-4 – Perfil de Temperatura.**

	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Z4</b>
<b>Temperatura. Set up (°C)</b>	290	285	280	270
<b>Temperatura. Processo (°C)</b>	288	284	282	274

**Tabela 3-5** – Perfil de abertura do molde.

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>
<b>Vel. de injeção (/s)</b>	188	188	188	188	188
<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	65	40	30	15	10

**Tabela 3-6** – Parâmetros de injeção

	<b>Unidade</b>	<b>Valores</b>
<b>Velocidade de rotação da rosca</b>	(mm/s)	300
<b>Pressão de injeção</b>	(bar)	800
<b>Pressão de recalque</b>	(bar)	400
<b>Contra pressão</b>	(bar)	15
<b>Temperatura do molde</b>	(°C)	80
<b>Tempo de resfriamento</b>	(s)	20
<b>Tempo de injeção</b>	(s)	1,4

Todos os corpos de prova foram injetados nas mesmas condições de processo e não foi observada dificuldade para injetar nenhuma das formulações estudadas.

Foram injetados corpos de prova para os ensaios de resistência à tração, à flexão e impacto Charpy, conforme normas ISO 527, ISO 178 e ISO 179/1eU.

### **3.2.3. Envelhecimento térmico**

Para avaliar o efeito da exposição deste material a elevadas temperaturas por tempo prolongado, como as encontradas no compartimento motor de um veículo de passeio leve, os ensaios mecânicos foram realizados novamente após envelhecimento térmico do material. Os corpos de prova foram expostos em uma estufa, sem atmosfera inerte, por 336 horas e 504 horas à temperatura de 100°C. Estes períodos de exposição foram utilizados por serem valores usualmente adotados na indústria automotiva para validar componente que fica exposto a temperatura elevada. No material envelhecido foram realizados apenas ensaios flexão e impacto Charpy, segundo as normas ISO 178 e ISO 179/1fU.



### **3.3. Caracterização dos materiais**

As propriedades mecânicas são características do material que compreendem a resposta dos materiais às influências mecânicas externas, manifestada pela capacidade de desenvolverem deformações reversíveis e irreversíveis, e resistirem à fratura. A natureza desta resposta depende da temperatura, do tempo, da estrutura do material, da massa molar e das condições de ensaio e preparação da amostra (FREIRE et al., 1994). Estas características dos polímeros são geralmente verificadas por meio de ensaios, que indicam dependências entre tensão e deformação, que, todavia são insuficientes para descrever o material ao nível molecular. Assim, as características dos polímeros, que se refletem nas suas propriedades mecânicas, podem ser quantificadas através de métodos cujo empirismo é contrabalançado pelo rigor das condições estabelecidas nas normas técnicas (WALTER, 2004).

As propriedades térmicas são observadas quando a energia térmica, isto é o calor, é fornecido ou removido do material (WALTER, 2004). Foi realizado o ensaio de temperatura de deflexão térmica (HDT) e o teste de teor de carga. Ambos no laboratório de Polímeros do SENAI Unidade CIMATEC/BA.

#### **3.3.1. Ensaio de tração**

O ensaio de tração foi realizado em 10 corpos de provas, segundo a norma ISO 527, em uma máquina de ensaio universal EMIC modelo DL2000.

Os corpos de prova analisados foram acondicionados em sala climatizada de acordo com norma, a uma temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa por 88 horas (ISO 291).

A velocidade utilizada para este ensaio foi de 5 mm/min e célula de carga de 2kN, distância entre garras ( $l_0$ ) igual a 10mm e temperatura controlada de 23°C +/- 1°C, conforme norma.

#### **3.3.2. Ensaio de flexão**

O ensaio de flexão foi realizado em 10 corpos de provas, segundo a norma ISO 178, em uma máquina de ensaio universal EMIC modelo DL2000. A velocidade utilizada para este ensaio foi de 2 mm/min, temperatura controlada de 23°C +/- 1°C e distância entre suporte de 64 mm, conforme norma adotada.

Os corpos de prova analisados foram secos no vácuo à 80°C até terem seu peso constante sem umidade novamente.

### **3.3.3. Ensaio de resistência ao impacto Charpy**

Os ensaios foram realizados em 10 corpos de prova sem entalhe em uma máquina CEAST 6545/000 segundo a norma ISO 179/1fU. Neste ensaio utilizou-se um pêndulo 5J e uma distância entre os suportes de 62mm.

Os corpos de prova analisados foram secos no vácuo à 80°C até terem seu peso constante sem umidade novamente.

### **3.3.4. Temperatura de deflexão térmica (HDT)**

A temperatura de deflexão térmica (HDT) foi obtida conforme a norma ISO 75, em um equipamento Ceast, modelo HDT 6 VICAT P/N 6921/000.

Os corpos de prova analisados foram acondicionados em sala climatizada de acordo com norma, a uma temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa por 88 horas (ISO 291).

Os corpos de prova foram imersos sob o efeito de uma carga (450 kPa) num meio de transferência de calor, há uma taxa de aquecimento de 2°C/min. A temperatura do meio é medida quando a amostra sofre uma deflexão de 0,34 mm, sendo a mesma registrada como a temperatura de deflexão térmica com o seu desvio padrão.

### **3.3.5. Teor de Carga**

Os corpos de prova analisados foram acondicionados em sala climatizada de acordo com norma, a uma temperatura de 23°C e 50% de umidade relativa por 88 horas (ISO 291).

O ensaio foi realizado em mufla Lavoisier a uma temperatura de 600°C pelo período de exposição de 40 minutos, segundo a norma ASTM D – 5630-01.

### **3.3.6. Microscopia Eletrônica de Varredura**

O ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizado na Universidade do Estado de Santa Catarina, utilizando um microscópio eletrônico de varredura Zeiss DSM 940, com detector EDS acoplado. Para evitar degradação das amostras, as mesmas foram previamente recobertas com ouro em aparelho metalizador Baltec SCD 050. As micrografias foram obtidas com uma tensão de 10KV e uma resolução de 200X e 1000X.

### **3.4. Preparação dos compósitos utilizando material reprocessado**

No processo de injeção é comum o reaproveitamento de galhos e peças rejeitadas no início da produção e durante o processo. Este material refugado no processo de injeção é moído e misturado novamente no processo para ser reaproveitado. Por este motivo decidimos verificar os efeitos deste material reaproveitado nas propriedades mecânicas dos compósitos estudados.

Para verificar este efeito foi escolhida a formulação de 50% de poliamida virgem e 50% poliamida reciclada por ter apresentado as melhores propriedades mecânicas. O percentual de material reprocessado utilizado foi de 5%, 10% e 15%, pois estes são os valores mais comuns utilizados no processo por injeção de poliamida 6,6 na indústria automotiva.

O compósito formado por 50% de poliamida virgem e 50% de poliamida reciclada foi moído em moinho de facas em condições controladas gerando pequenos pedaços com formas irregulares e diâmetro médio de 6 mm. O material moído gerado foi misturado manualmente ao material virgem e reciclado e reprocessado respeitando a proporção de 50% de cada e seco a 80°C por 4h.

Os compósitos formados pela poliamida 6,6 virgem, reciclada e material reprocessado também foram obtidos através da injeção de corpos de prova. Para facilitar a compreensão e análise dos dados cada formulação foi codificada conforme apresentado na Tabela 3-5.

**Tabela 3-7 – Código das Amostras com Adição de Material Reprocessado.**

<b>Código</b>	<b>Poliamida Virgem (% em peso)</b>	<b>Poliamida Reciclada (% em peso)</b>	<b>MATERIAL</b>
			<b>REPROCESSADO (% em peso)</b>
F-41	47,5%	47,5%	5%
F-42	45%	45%	10%
F-43	42,5%	42,5%	15%

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização dos compósitos formados por PA 6,6 virgem e reciclada

#### 4.1.1. Ensaio de tração

A Tabela 4-1 e 4-2 e as Figuras 4-1, 4-2 e 4-3 apresentam os resultados do ensaio de tração para os diferentes compósitos sem adição de material reprocessado e os valores teóricos das propriedades calculados pela regra da mistura para as diferentes formulações.

**Tabela 4-1 - Resultado Ensaio de Tração em Diferentes Formulações.**

<b>Formulação</b>	<b>Módulo de elasticidade sob tração (MPa)</b>	<b>Tensão máxima (MPa)</b>	<b>Deformação na ruptura (%)</b>
F1 (reciclado)	11.850 +/- 625	91,2 +/- 1,4	1,55 +/- 0,19
F2 (80/20)	13.600 +/- 940	98,1 +/- 0,8	1,79 +/- 0,21
F3 (70/30)	13.720 +/- 680	102,1 +/- 1,6	1,86 +/- 0,15
F4 (50/50)	14.260 +/- 950	105,8 +/- 0,9	1,89 +/- 0,11
F5 (virgem)	14.340 +/- 560	114,3 +/- 2,5	1,75 +/- 0,31

**Tabela 4-2 - Resultado Ensaio de Tração em Diferentes Formulações Calculado pela Regra da Mistura.**

<b>Formulação</b>	<b>Módulo de elasticidade sob tração (MPa)</b>	<b>Tensão máxima (MPa)</b>	<b>Deformação na ruptura (%)</b>
F1 (reciclado)	11850	91	1,6
F2 (80/20)	12348	96	1,6
F3 (70/30)	12597	98	1,6
F4 (50/50)	13095	103	1,7
F5 (virgem)	14340	114	1,8

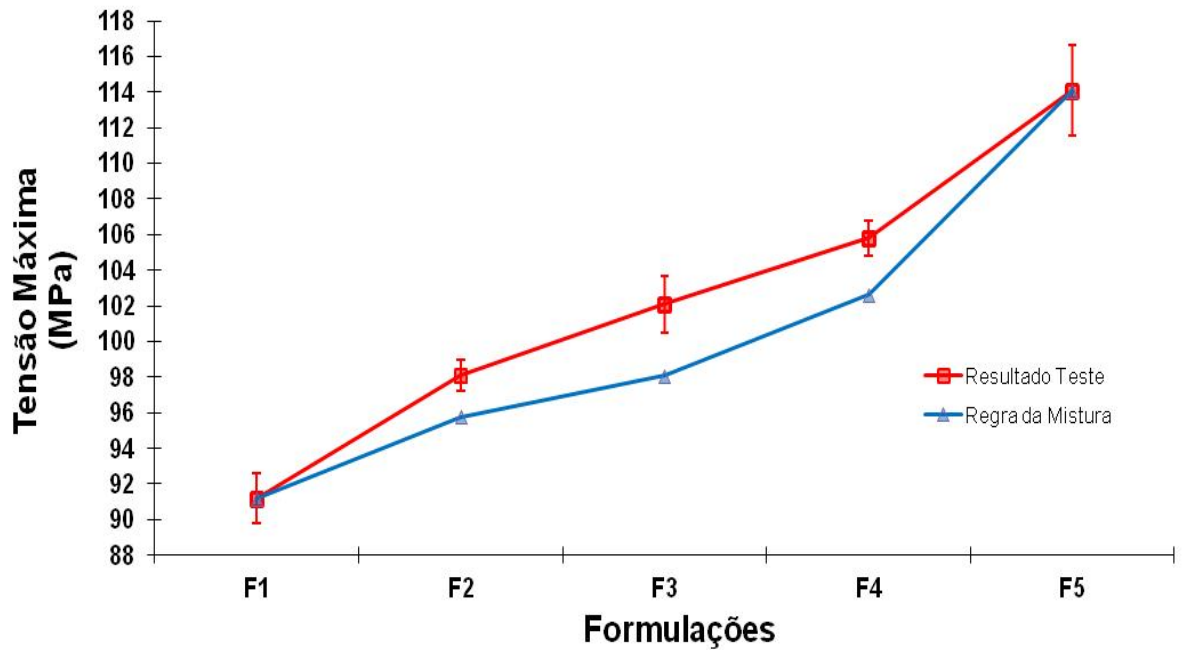


Figura 4-1 – Gráfico da Tensão Máxima sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

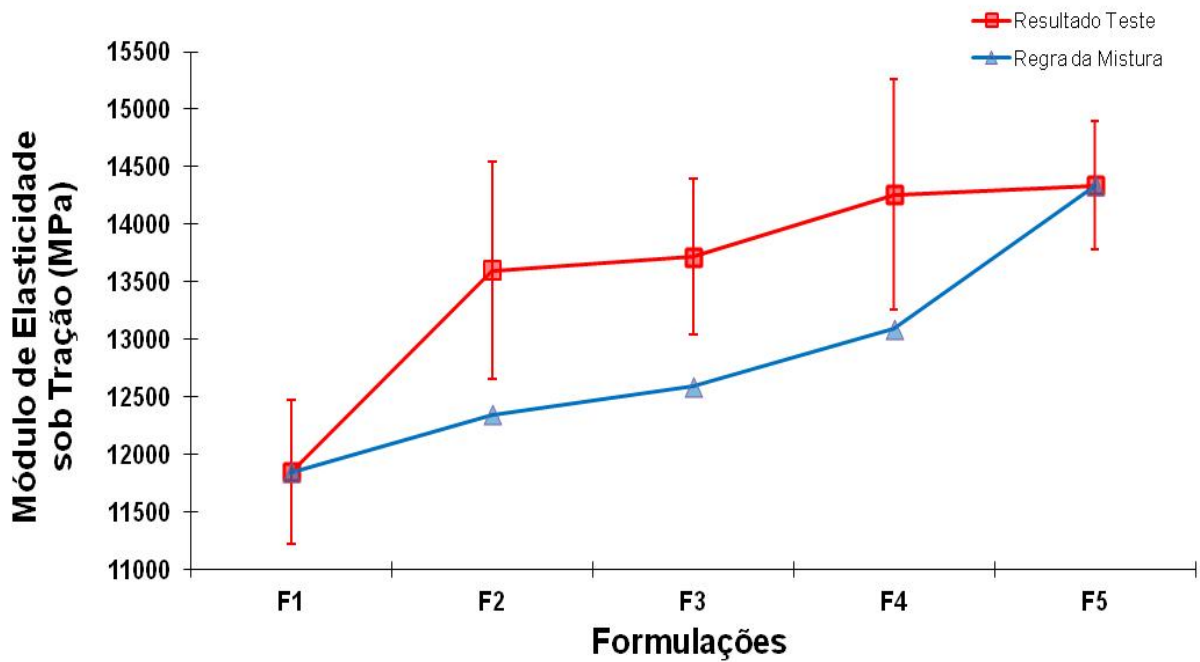


Figura 4-2 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Tração sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

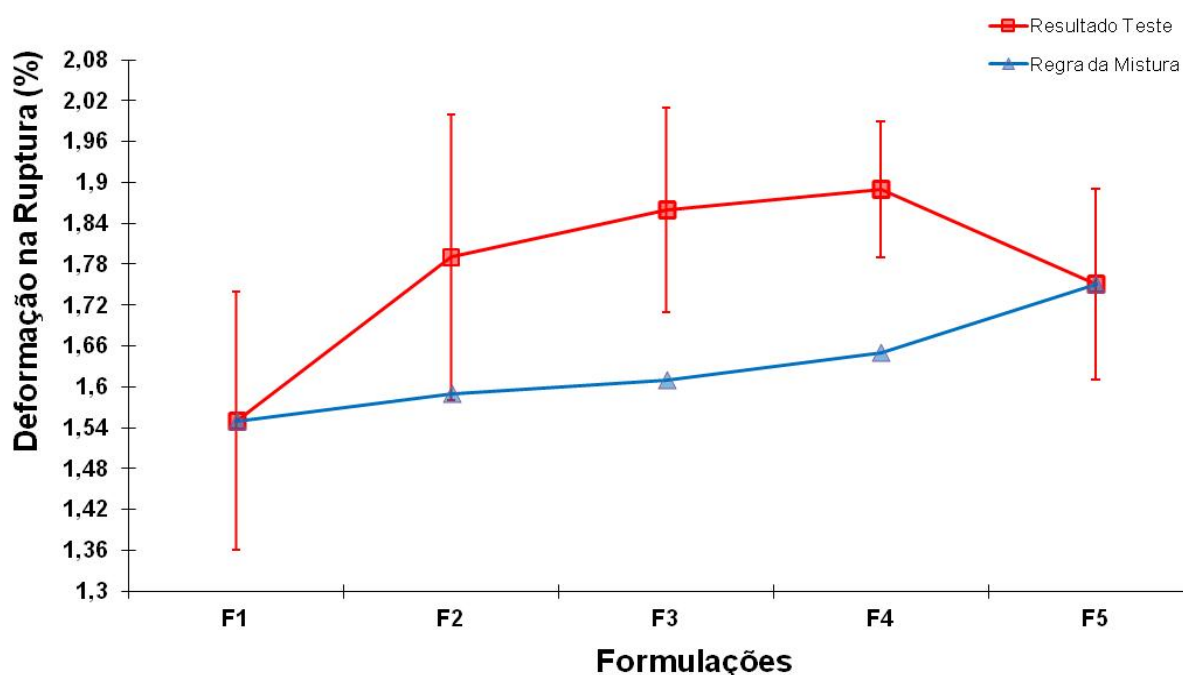


Figura 4-3 - Gráfico da Deformação na Ruptura sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

Analisando os resultados observa-se que houve um aumento do módulo de elasticidade sob tração, tensão máxima e deformação na ruptura com o incremento da quantidade de material virgem nos compósitos. Analisando os resultados, percebe-se um acréscimo mais acentuado nas propriedades na primeira formulação com 20% de material virgem, quando comparado ao material reciclado e um leve aumento para as demais formulações.

Tal fenômeno provavelmente ocorre por um aumento maior da cristalinidade do compósito proveniente da incompatibilidade entre a matriz do material virgem e reciclado principalmente no estado sólido. SCAFFARO et LA MANTIA (2002) verificaram ocorrência similar no estudo da blenda monopolímero formada por poliamida 6 virgem e reciclada, onde tiveram um aumento de aproximadamente 4,2% no módulo de elasticidade para um percentual de 25% de material virgem. Porém outros fatores, como, por exemplo, massa molecular e degradação durante o processamento, também podem estar influenciando neste resultado.

Segundo MASPOCH et al (2003) a incompatibilidade entre materiais virgens e reciclados normalmente aparece quando processamos o mesmo material polimérico virgem e reciclado. Neste contexto, podemos imaginar que o aumento da tensão máxima e módulo de elasticidade sob tração dos compósitos foi provocado pelo

aumento da cristalinidade e não pela transferência das propriedades do material virgem para a matriz de material reciclado, conforme esperado.

Existem três possíveis razões para explicar este aumento da cristalinidade dos compósitos: (1) O material virgem em pequeno percentual teria ponto de fusão maior que o material reciclado formando pontos sólidos no material fundido que serviriam como pontos de nucleação para o material reciclado. O que aumentaria a cristalinidade do material. (2) Aumento da cristalinidade do material devido ao maior número de pontos de nucleação oriundos da provável presença de impurezas incorporadas na matriz durante o processamento do material. (3) Geração de cadeias com menor massa molar durante o processamento, o que aumentaria a mobilidade das mesmas acelerando a cristalização do material.

SU et al. (2007) estudando a influência do reprocessamento nas propriedades mecânicas e estrutural da poliamida 6 também chegaram às mesmas hipóteses para o aumento da cristalinidade.

Analisando os resultados obtidos em laboratório observa-se que o aumento da tensão na ruptura e módulo de elasticidade sob tração foi maior que o previsto utilizando o cálculo da regra da mistura. Na primeira formulação temos um incremento da tensão máxima 3% superior ao valor teórico calculado pela regra da mistura, para uma concentração de 20% de material virgem. As demais formulações têm um incremento de 4% e 3% da tensão máxima também superior ao valor teórico calculado pela regra da mistura.

A formulação que apresentou maior incremento das propriedades mecânicas foi à concentração com 50% de material virgem e 50% de material reciclado, o que esta de acordo com a literatura apresentada por MASPOCH et al (2003) que observou que o módulo de Young diminui com adição de pequenas quantidades de material reciclado e que esta tendência se encerra quando o percentual de material reciclado é aproximadamente 50%.

#### **4.1.2. Ensaio de flexão**

A Tabela 4-3 e a Figura 4-4 apresentam os resultados para o módulo de elasticidade sob flexão para os diferentes compósitos sem adição de material reprocessado.



Tabela 4-3 - Módulo de Elasticidade sob Flexão para as Diferentes Formulações.

Formulação	Módulo de elasticidade sob flexão resultado teste (MPa)	Módulo de elasticidade sob flexão regra da mistura (MPa)
F1 (reciclado)	8.570 ± 231	8.570
F2 (80/20)	8.634 ± 228	8.777
F3 (70/30)	8.714 ± 232	8.881
F4 (50/50)	9.102 ± 222	9.088
F5 (virgem)	9.607 ± 247	9607

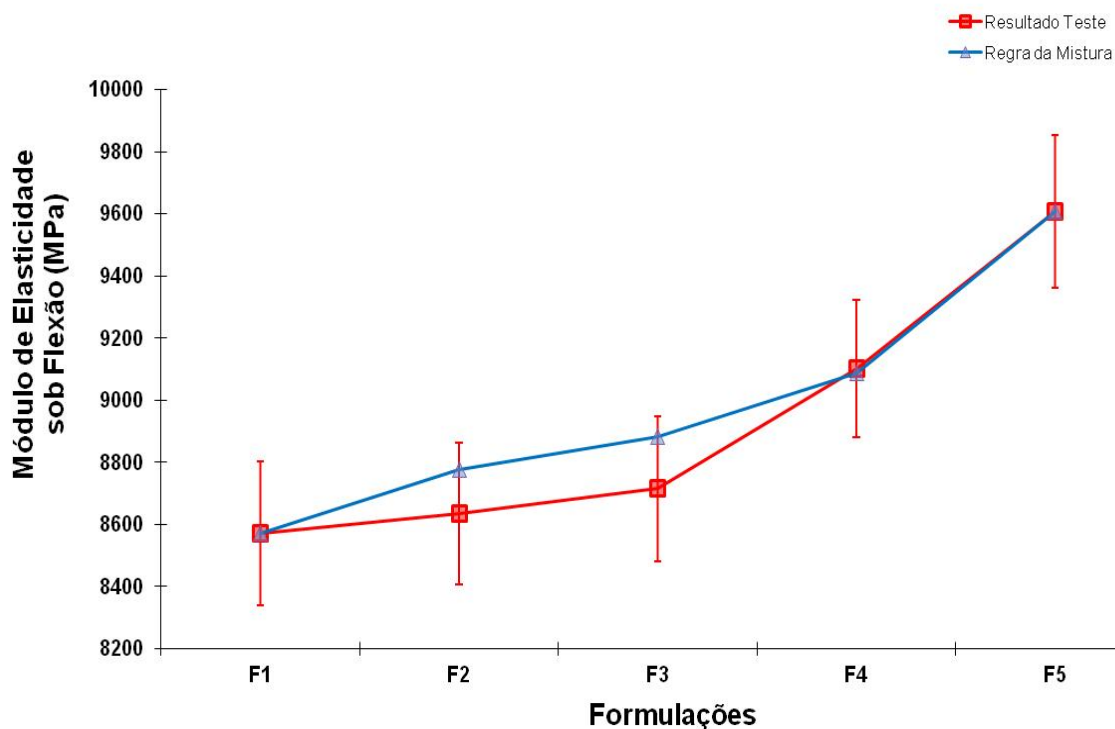


Figura 4-4 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão em Diferentes Formulações.

Analisando os resultados observa-se que houve um aumento módulo de elasticidade sob flexão com o incremento da quantidade de material virgem nos compósitos. A formulação F2 apresenta um aumento de 0,7% em relação ao material reciclado, enquanto F3 e F4 apresentam respectivamente um aumento de 1,7% e 6,2%.

A tendência de aumento do módulo de elasticidade sob tração e sob flexão está de acordo com os trabalhos de MASPOCH et al (2003) no qual o gráfico das propriedades mecânicas tensão e flexão também tiveram comportamento similar.

Segundo SCAFFARO e LA MANTIA (2002), que estudou a blenda formada pela poliamida 6 virgem e reciclada, a forma das curvas DSC indica que não existe apenas um aumento da cristalinidade, mas também uma variação na morfologia do cristal. Estas mudanças na cristalinidade e na morfologia do cristal em blendas monopolímeros alteram suas propriedades mecânicas, conforme já reportado por LA MANTIA et al (1998).

Segundo MASPOCH et al (2003) a incompatibilidade entre materiais virgens e reciclados normalmente aparece quando processamos o mesmo material polimérico virgem e reciclado. Esta afirmação provavelmente explica porque o módulo de elasticidade sob flexão mostrou comportamento similar ao módulo de elasticidade sob tração.

Analisando os resultados observa-se que o aumento de propriedade não seguiu o previsto utilizando o cálculo da regra da mistura. Na primeira formulação temos um incremento de apenas 30,9% com relação ao valor teórico calculado pela regra da mistura, para uma concentração de 20% de material virgem. As demais formulações têm um incremento de 46,3% para uma concentração 30% de material virgem e um aumento de 102,6% para uma concentração de 50% de material virgem.

Como os ensaios do módulo de elasticidade sob flexão e módulo de elasticidade sob tração foram realizados em condições diferentes não foi possível comparar os valores absolutos, mas apenas a tendência. Os módulos de elasticidade sob flexão e sob tração apresentam uma tendência de aumento com o incremento do percentual de material virgem nos compósitos.

Na formulação F4, 50% material virgem e 50% material reciclado, o que explica possivelmente o resultado similar ao valor calculado pela regra da mistura é o aumento da cristalinidade do material. Existem três possíveis razões para explicar este aumento da cristalinidade: (1) O material virgem em pequeno percentual teria ponto de fusão maior que o material reciclado formando pontos sólidos no material fundido que serviriam como pontos de nucleação para o material reciclado. O que aumentaria a cristalinidade do material. (2) Aumento da cristalinidade do material devido ao maior número de pontos de nucleação oriundos da provável presença de impurezas incorporadas na matriz durante o processamento do material. (3) Geração

de cadeias com menor massa molar durante o processamento, o que aumentaria a mobilidade das mesmas acelerando a cristalização do material.

#### 4.1.3. Ensaio de resistência ao impacto Charpy

A Tabela 4-4 e a Figura 4-5 apresentam os resultados da resistência ao impacto Charpy para os diferentes compósitos sem adição de material reprocessado.

**Tabela 4-4 - Resistência ao Impacto Charpy para as Diferentes Formulações.**

<b>Formulação</b>	<b>Resistência ao impacto Charpy resultado teste (kJ/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência ao impacto Charpy regra da mistura (kJ/m<sup>2</sup>)</b>
F1 (reciclado)	42,0 ± 0,5	42,0
F2 (80/20)	41,0 ± 0,8	47,8
F3 (70/30)	42,9 ± 0,6	50,7
F4 (50/50)	45,1 ± 0,4	56,5
F5 (virgem)	70,9 ± 0,5	70,9

Analisando os resultados observa-se que houve uma alteração na resistência ao impacto Charpy com o aumento da quantidade de material virgem nos compósitos. A formulação F2 apresenta uma redução de 2,4% em relação ao material 100% reciclado, enquanto F3 e F4 apresentam respectivamente um suplemento de 2,1% e 6,9%, também em relação ao material 100% reciclado.

Os resultados demonstram que o comportamento da resistência ao impacto Charpy não segue o comportamento previsto utilizando o calculo da regra da mistura. Na primeira formulação temos uma redução de 17,3% na resistência ao impacto Charpy, para uma concentração de 20% de material virgem, quando comparado com o valor teórico calculado pela regra da mistura. As demais formulações têm um incremento de 10,4% para uma concentração 30% de material virgem e 21,5% para uma concentração de 50% de material virgem.

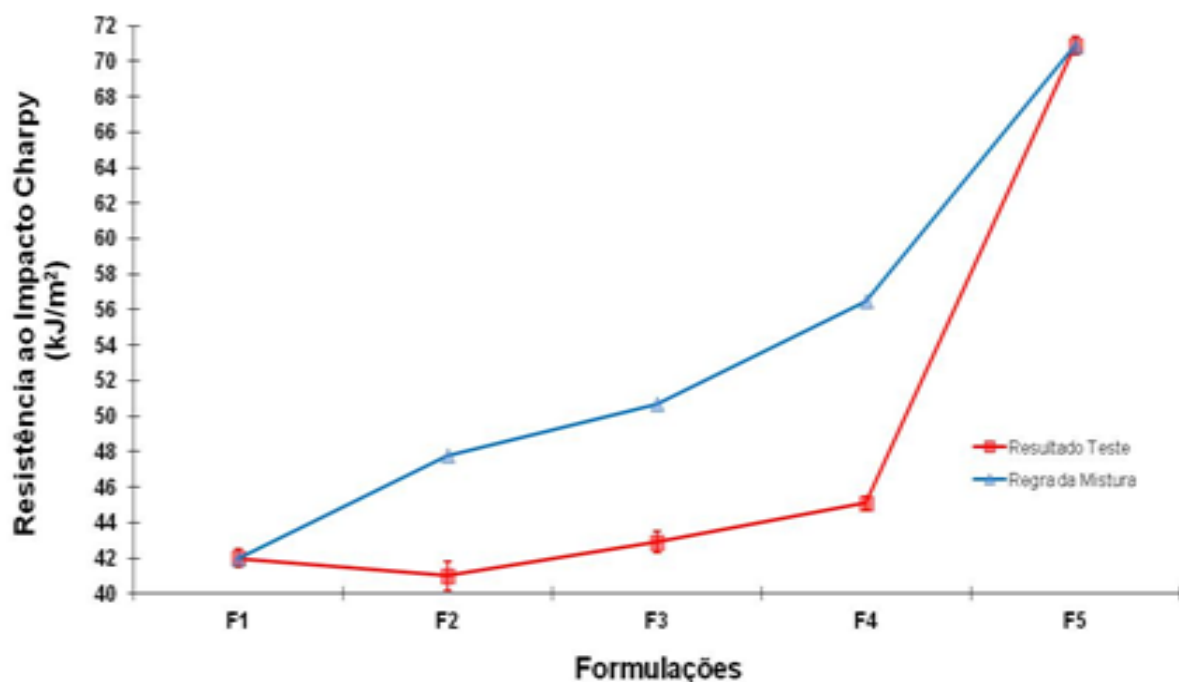


Figura 4-5 – Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

O fato da resistência ao impacto ter reduzido, após adição de 20% de material virgem, quando comparada com o material 100% reciclado, enquanto a tensão máxima e o módulo de elasticidade sob tração tiveram um aumento superior ao valor calculado pela regra da mistura corrobora com as conclusões anteriores que o aumento das propriedades mecânicas é proveniente de um incremento da cristalinidade do compósito e não da transferência de propriedades do material virgem para matriz de material reciclado. Caso contrário a resistência ao impacto Charpy deveria ter aumentado em todas as formulações, conforme previsto pela regra da mistura, com base na transferência de propriedade da poliamida virgem para poliamida reciclada. Porém outros fatores, como, por exemplo, separação de fase e degradação durante o processamento, também podem estar influenciando neste resultado.

Esta redução na resistência ao impacto Charpy possivelmente também ocorre devido ao aumento da cristalinidade do compósito. Existem três possíveis razões para explicar este aumento da cristalinidade: (1) O material virgem em pequeno percentual teria ponto de fusão maior que o material reciclado formando pontos sólidos no material fundido que serviriam como pontos de nucleação para o material reciclado. O que aumentaria a cristalinidade do material. (2) Aumento da cristalinidade do material

devido ao maior número de pontos de nucleação oriundos da provável presença de impurezas incorporadas na matriz durante o processamento do material. (3) Geração de cadeias com menor massa molar durante o processamento, o que aumentaria a mobilidade das mesmas acelerando a cristalização do material.

Outro fator que pode ter contribuído para redução da resistência ao impacto Charpy é absorção de umidade durante o processamento do corpo de prova, explicado no item 2.1.2. Esta absorção de umidade provoca uma degradação do material e conseqüente redução da massa molar, conforme estudo de SCAFFARO et LA MANTIA (2002) apresentado no item 2.1.3. Esta absorção de umidade pode ser minimizada pela desumidificação durante 4 horas a 80°C do material e cuidados durante o processamento.

Os valores encontrados estão de acordo com MASPOCH et al (2003) que encontraram uma redução de 18% em relação à poliamida virgem na resistência ao impacto Charpy no compósito formado por uma concentração de 50% de poliamida 6 virgem e 50% de poliamida 6 reciclada.

#### 4.1.4. Ensaio da Temperatura de Deflexão Térmica (HDT)

A Tabela 4-5 e a Figura 4-6 apresentam os resultados da temperatura de deflexão térmica (HDT) para os diferentes compósitos antes do envelhecimento térmico sem adição de material reprocessado.

**Tabela 4-5 Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) antes Envelhecimento Térmico sem adição de Material Reprocessado para as Diferentes Formulações.**

<b>Propriedade</b>	<b>F1</b> (Reciclado)	<b>F2</b> (80/20)	<b>F3</b> (70/30)	<b>F4</b> (50/50)	<b>F5</b> (virgem)
Temperatura de Deflexão Térmica (°C)	235,1 ± 1,9	231,6 ± 1,9	234,9 ± 0,3	235,1 ± 0,2	234,9 ± 0,3

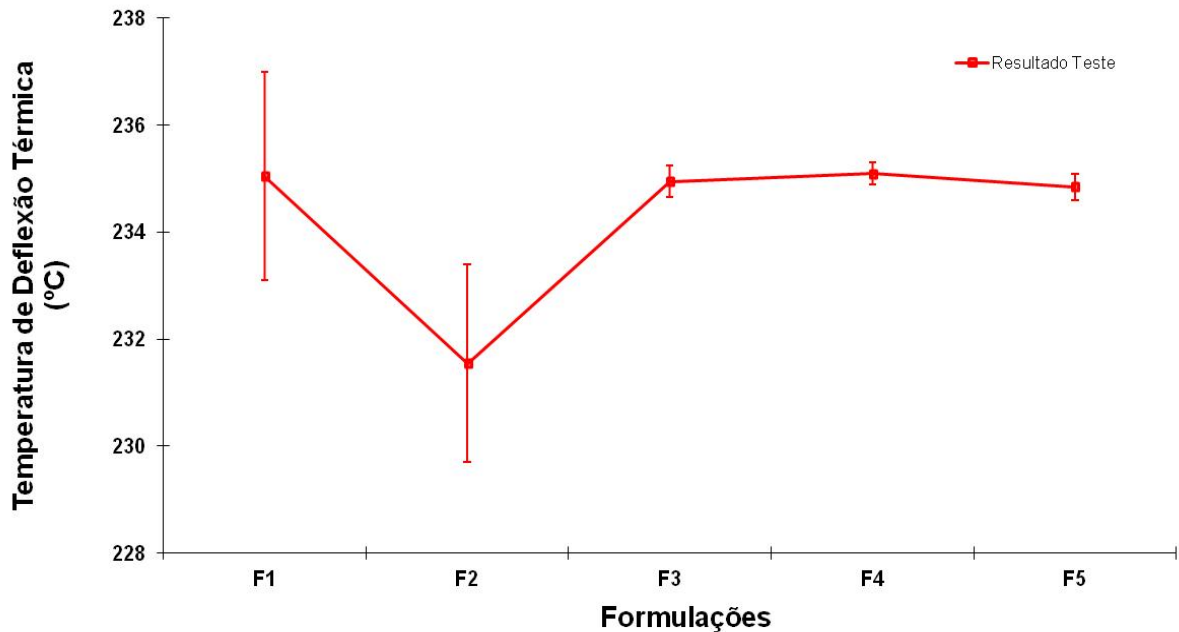


Figura 4-6 – Gráfico da Temperatura de Deflexão Térmica em diferentes formulações.

Segundo os resultados apresentados na Tabela 4-5 verifica-se que não houve alteração significativa na temperatura de deflexão térmica nos diversos compósitos sem envelhecimento térmico. Estes resultados mostram que a mistura mecânica de material virgem e reciclado não afeta significativamente a temperatura de deflexão térmica e que também não houve uma degradação do material durante o processamento, suficiente para alterar o HDT.

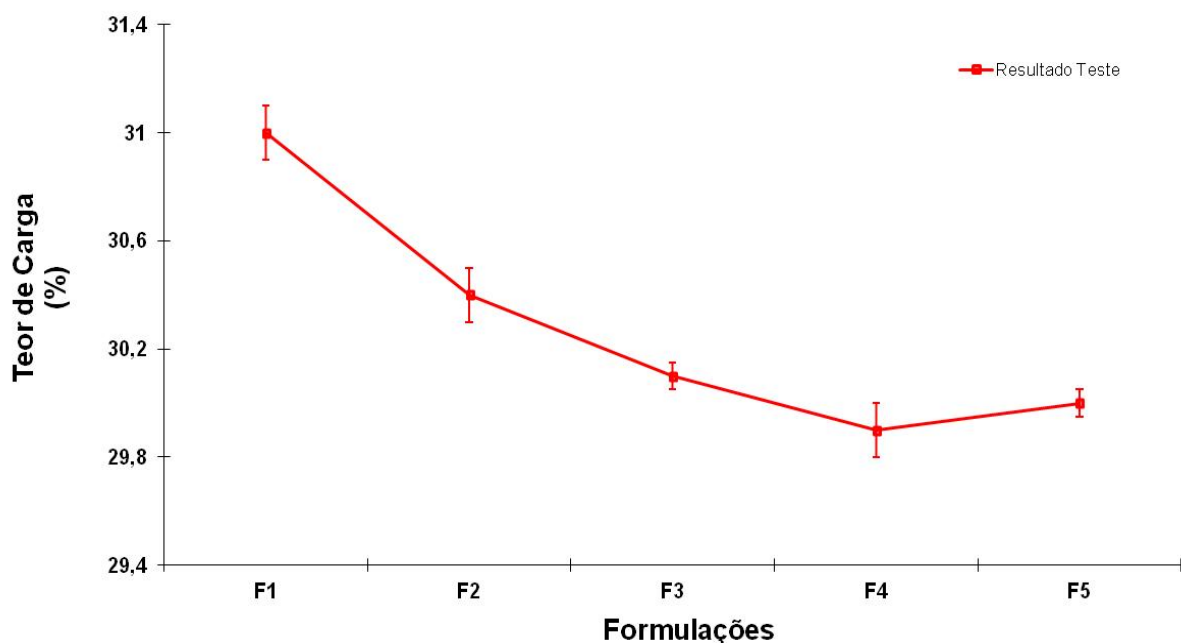
Este resultado está de acordo com os estudos de SCAFFARO et LA MANTIA (2002) que atribuíram a redução das propriedades mecânicas das blendas a uma incompatibilidade entre o material virgem e reciclado e não a degradação do mesmo durante o processamento. Não devendo, desta maneira, ocorrer uma redução na temperatura de deflexão térmica das diferentes misturas.

#### 4.1.5. Ensaio do Teor de Carga

A Tabela 4-6 e a Figura 4-7 apresentam os resultados do teor de carga para os diferentes compósitos antes do envelhecimento térmico sem adição de material reprocessado.

**Tabela 4-6 Teor de Carga antes do Envelhecimento Térmico sem Adição de Material Reprocessado para as diferentes formulações.**

Propriedade	F1 (Reciclado)	F2 (80/20)	F3 (70/30)	F4 (50/50)	F5 (virgem)
Teor de Carga (%)	31,0 ± 0,1	30,4 ± 0,1	30,1 ± 0,1	29,9 ± 0,1	30,0 ± 0,1

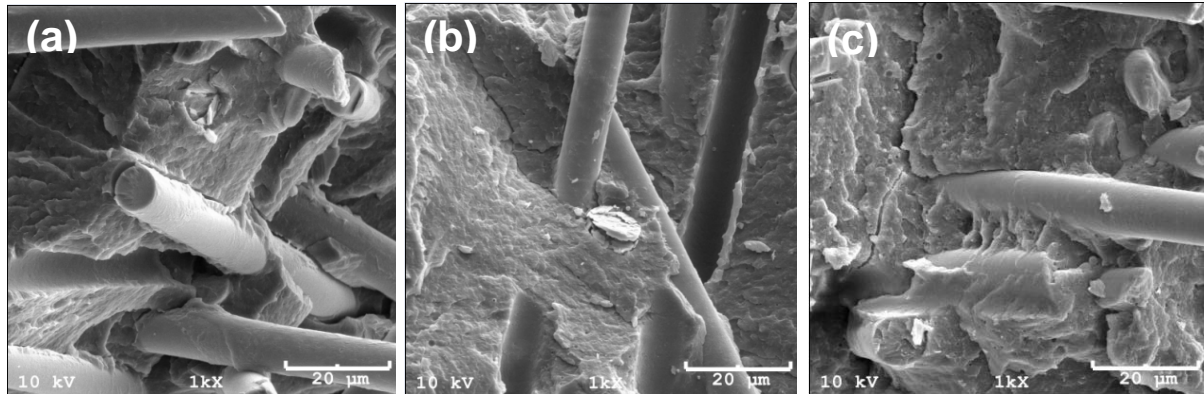


**Figura 4-7 – Gráfico do Teor de Carga em Diferentes Formulações.**

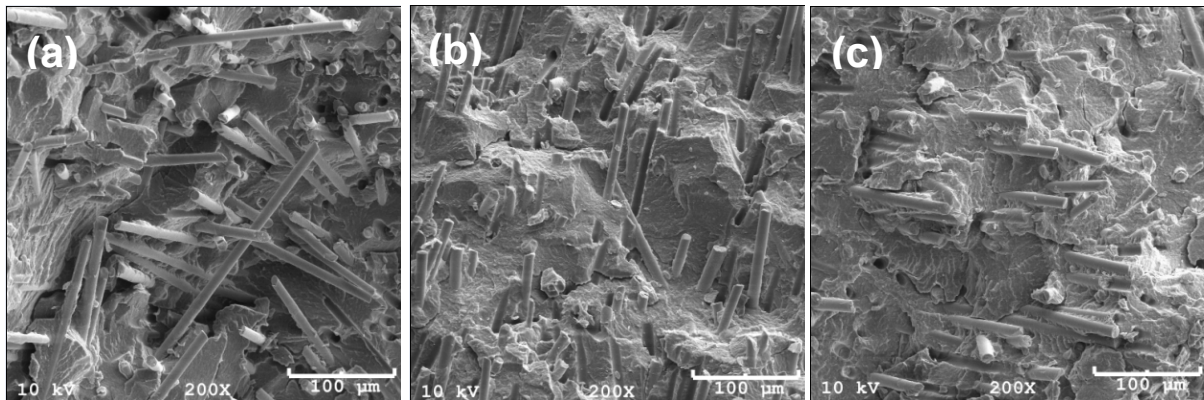
Os resultados apontam que estatisticamente não houve uma alteração significativa no teor de carga nos diversos compósitos. Estes resultados mostram que a mistura mecânica do material virgem e reciclado não afetou significativamente o teor de carga, demonstrando que a redução das propriedades mecânicas dos compósitos sem adição de material reprocessado não pode ser atribuída à perda de carga durante o processamento.

#### **4.1.6. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

As figuras 4-8 e 4-9 ilustram as micrografias dos materiais analisados sem stress e na região de fratura.



**Figura 4-8 – Micrografias de MEV sem stress com ampliação de 1000x dos compósitos poliamida 6,6 virgem e reciclada nas seguintes composições (a) 100% reciclado, (b) 50 reciclado e 50% virgem e (c) 100% virgem.**



**Figura 4-9 - Micrografias de MEV sem stress com ampliação de 200x dos compósitos poliamida 6,6 virgem e reciclada nas seguintes composições (a) 100% reciclado, (b) 50 reciclado e 50% virgem e (c) 100% virgem.**

Os resultados apresentados na figura 4-8 e 4-9 demonstram uma menor adesão entre a fibra e a matriz no compósito 50% reciclado e 50% virgem, onde percebe-se o arrancamento de boa parte das fibras durante a ruptura dos corpos de prova. Este fato provavelmente ocorre devido uma incompatibilidade entre o material virgem e reciclado. Não verifica-se nenhuma modificação na distribuição das fibras nas três amostras. Não foi possível ser analisado o tamanho das fibras através da Microscopia Eletrônica de Varredura.



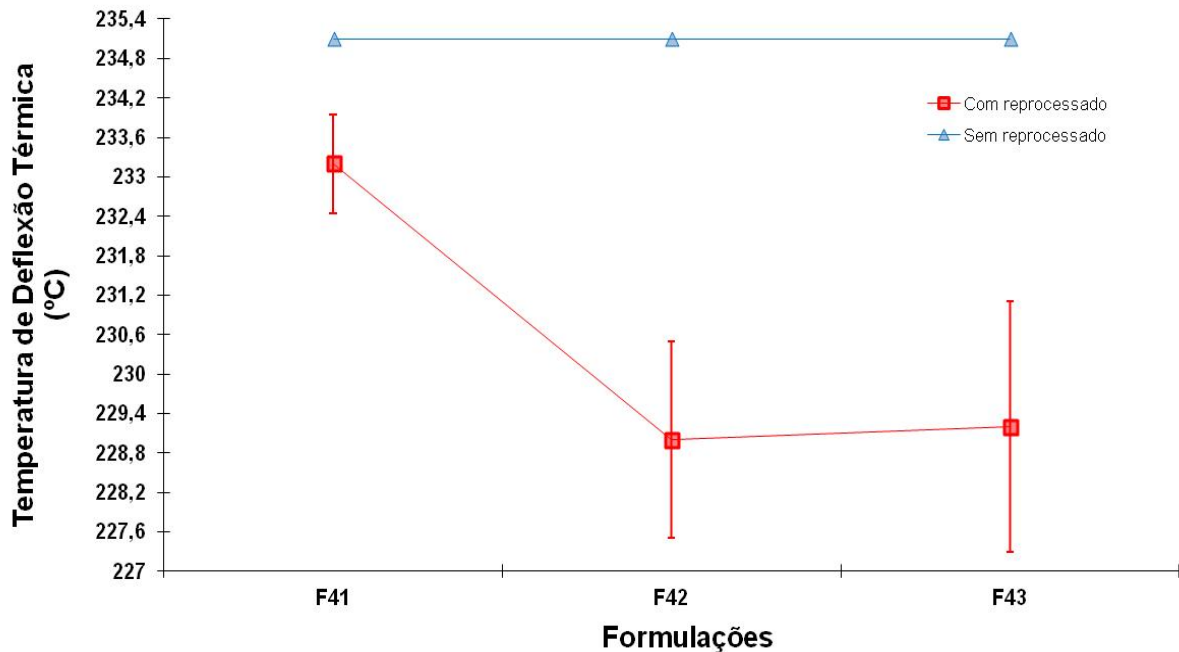
## 4.2. Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada com adição de material reprocessado

### 4.2.1. Ensaio de temperatura de deflexão térmica

A Tabela 4-7 e a Figura 4-10 apresentam os resultados obtidos da temperatura de deflexão térmica para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado antes do envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-7 - Temperatura de Deflexão Térmica (HDT) para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Propriedade	F41 (5%)	F42 (10%)	F43 (15%)
Temperatura de Deflexão Térmica (°C)	233,2 ± 0,8	229 ± 1,5	229,2 ± 1,9



**Figura 4-10 - Gráfico da Temperatura de Deflexão Térmica para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.**

Os resultados apontam que houve uma redução na temperatura de deflexão térmica para todas as formulações. Sendo esta redução mais acentuada para as formulações com 10% e 15% de material reprocessado.

Para CLAVERIE et al (2002) esta pequena redução na temperatura de deflexão térmica é um comportamento típico dos polímeros quando perdem massa molar devido à degradação do mesmo durante o processamento.

Segundo ERIKSSON et al. (1996) os principais problemas técnico para o reprocessamento da poliamida 6,6 com fibra de vidro curta, refugado pelo próprio processo, são a degradação devido ao novo ciclo térmico que o material é submetido a cada reprocessamento e a possibilidade de contaminação durante o reprocessamento.

Os principais mecanismos de degradação dos compósitos podem ser resumidos e separados por etapas do reprocessamento da seguinte maneira:

Durante o reprocessamento:

- Cisalhamento e temperatura degradam a matriz.
- Temperatura degrada a interface entre a matriz e a fibra.
- Cisalhamento degrada as fibras.
- Incorporação de impurezas na matriz.

Durante a moagem:

- Degradação mecânica das fibras.

Ainda, segundo ERIKSSON et al. (1996), além de todos estes fatores os aditivos, como estabilizantes para degradação térmica, podem estar sendo consumidos durante o reprocessamento.

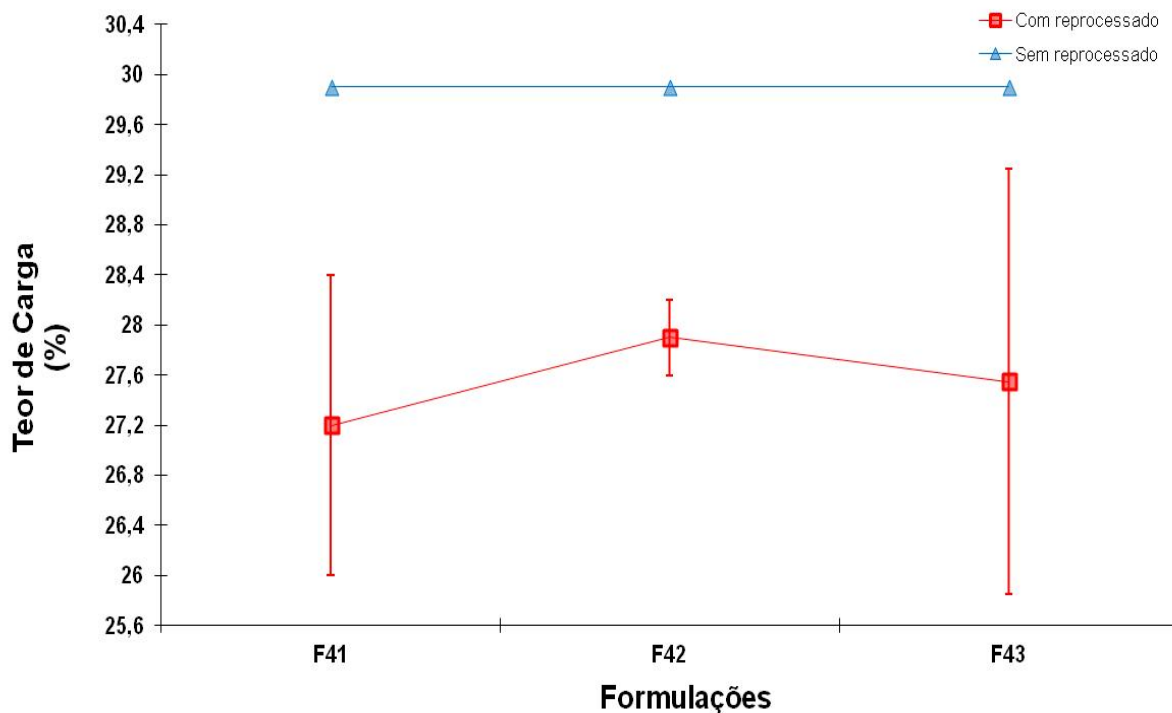
Como a poliamida 6,6 virgem utilizada neste estudo contém estabilizante térmico, devido a sua principal aplicação ser na fabricação de radiadores, este pode ser um fator que influenciou na redução da temperatura de deflexão térmica.

#### **4.2.2. Ensaio de teor de carga**

A Tabela 4-8 e a Figura 4-11 apresentam os resultados do teor de carga para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado antes do envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-8 - Teor de Carga para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Propriedade	F41 (5%)	F42 (10%)	F43 (15%)
Teor de Carga (%)	27,2 ± 1,2	27,9 ± 0,3	27,6 ± 1,7



**Figura 4-11 - Gráfico do Teor de Carga para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.**

Os resultados apontam que houve uma redução no teor de carga com adição de material reprocessado nas diversas formulações sem envelhecimento térmico.

Segundo ERIKSSON et al. (1996) o primeiro ciclo de injeção reduz o peso médio da fibra em 21%, enquanto a moagem e o reprocessamento reduzem o comprimento da fibra em 10% e 7%, respectivamente.

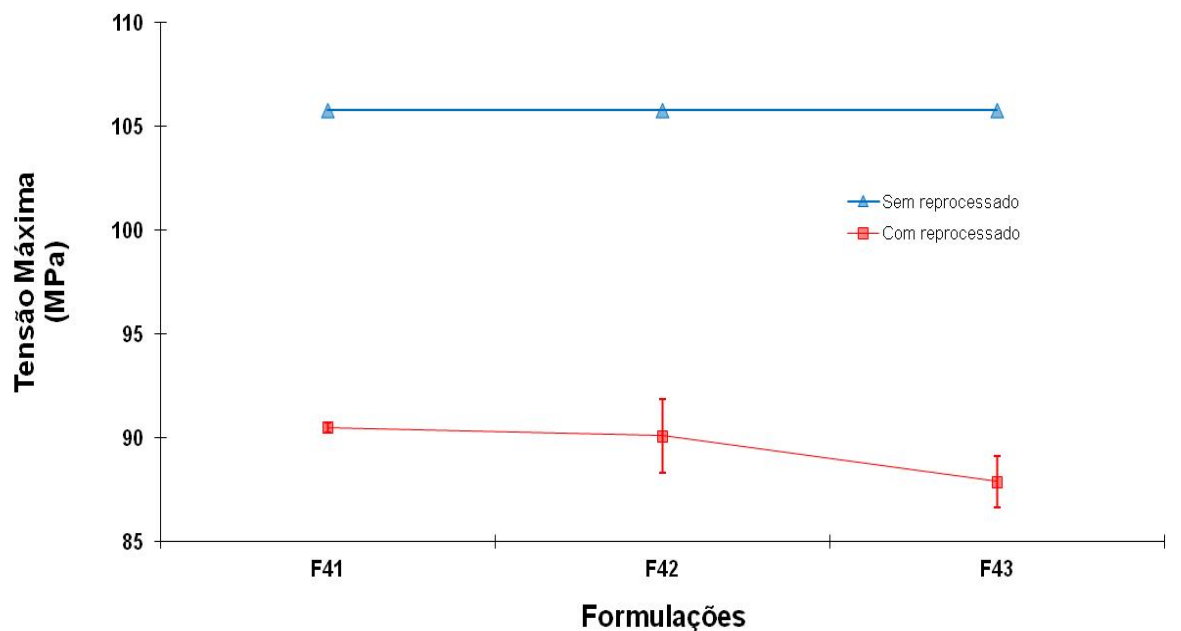
Logo, podemos afirmar que provavelmente esta redução do teor de carga foi provocada pela perda de carga devido ao cisalhamento e a degradação mecânica durante as etapas de reprocessamento e moagem.

### 4.2.3. Ensaio de tração

A Tabela 4-9 e as Figuras 4-12, 4-13 e 4-14 apresentam os resultados do ensaio de tração para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado antes do envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-9 Resultado Ensaio de Tração para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Formulação	Módulo de elasticidade sob tração (MPa)	Tensão máxima (MPa)	Deformação na ruptura (%)
F41 (5%)	12.955 +/- 677	90,5 +/- 0,3	2,4 +/- 0,3
F42 (10%)	12.703 +/- 687	90,1 +/- 1,8	2,2 +/- 0,6
F43 (15%)	12.401 +/- 778	87,9 +/- 1,3	2,2 +/- 0,6



**Figura 4-12 - Gráfico da Tensão Máxima para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.**

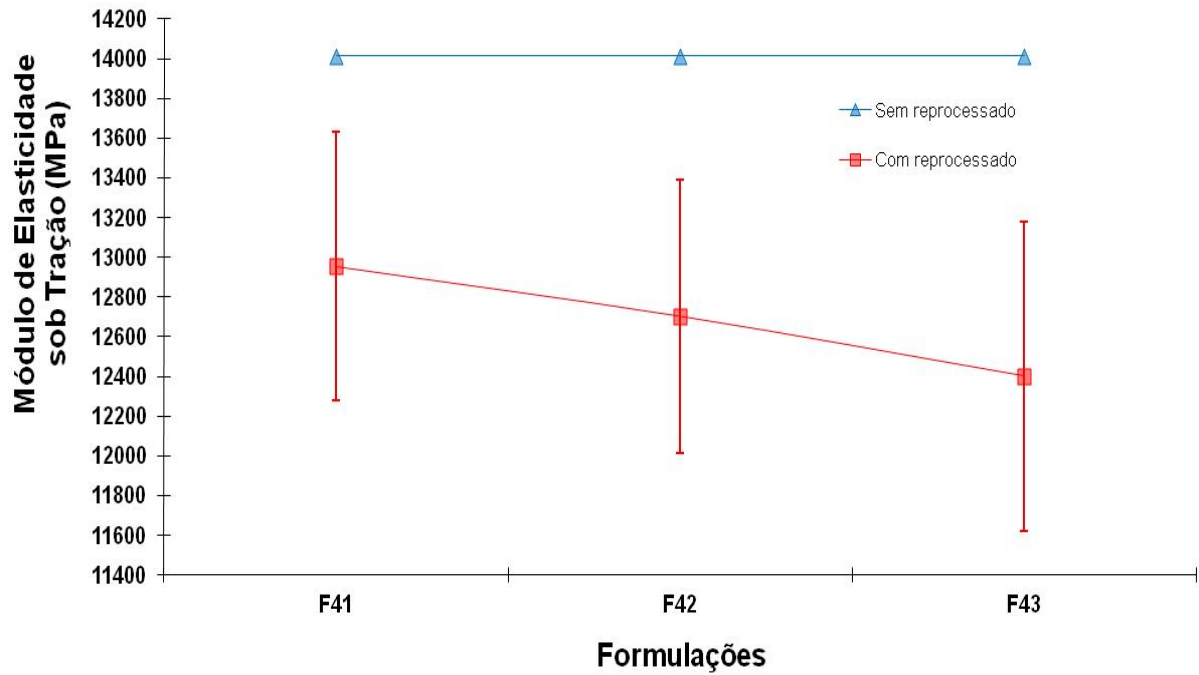


Figura 4-13 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Tração para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

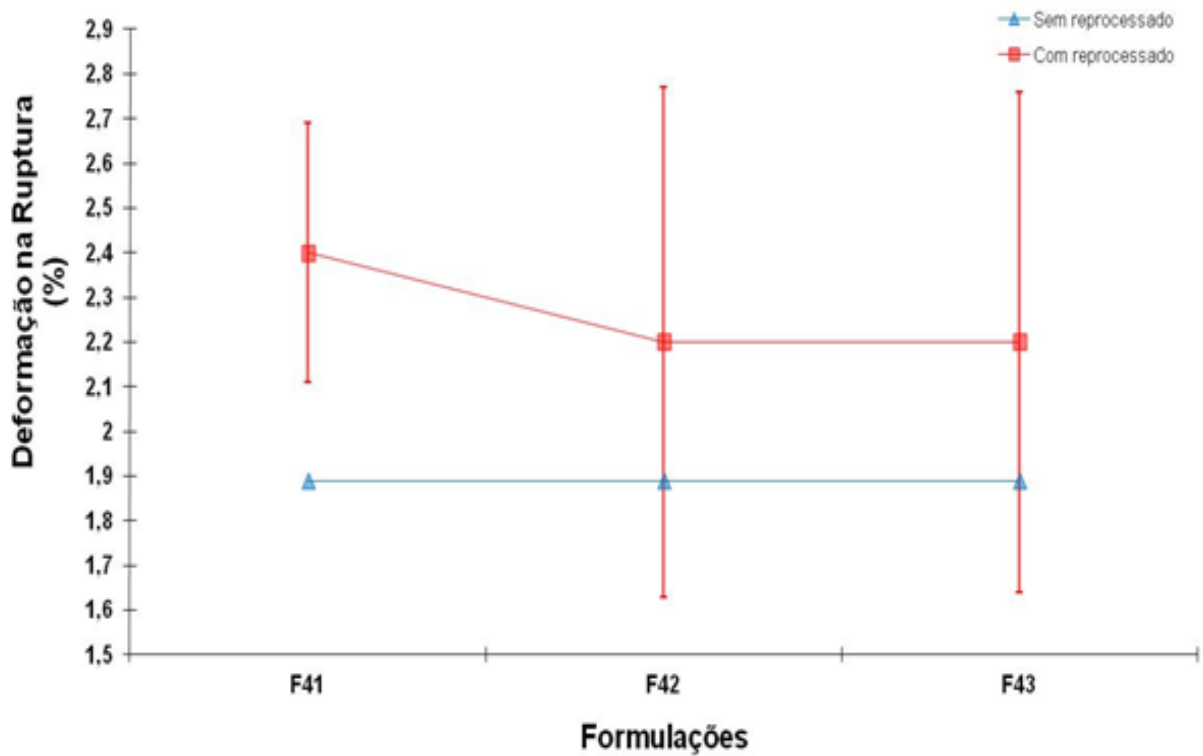


Figura 4-14 - Gráfico da Deformação na Ruptura para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

Analisando os resultados observa-se que houve uma redução da tensão máxima e do módulo de elasticidade sob tração e um aumento da deformação na ruptura quando adicionado o material reprocessado. Na primeira formulação temos uma redução de 14,56% da tensão máxima, para uma concentração de 5% de material reprocessado. As demais formulações têm uma redução de 14,87% para uma concentração 10% de material reprocessado e uma redução de 19,92% para uma concentração de 15% de material reprocessado.

Conforme apresentado no item 2.2, as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com carga mineral estão diretamente relacionadas com a forma, a geometria, a razão de aspecto e a distribuição da carga. Segundo ERIKSSON et al. (1996) o primeiro ciclo de injeção reduz o peso médio da fibra em 21%, enquanto a moagem e o reprocessamento reduzem o comprimento da fibra em 10% e 7%, respectivamente.

O resultado do teor de carga, apresentado no item 4.2.2, apresenta uma redução do teor de carga média de 15%, logo, neste contexto podemos afirmar que provavelmente grande parte da redução na resistência a tração do compósito se deve a perda de carga e redução da razão de forma (L/D), devido à quebra da fibra durante o reprocessamento.

ERIKSSON et al (1996) obtiveram resultado similar no estudo da influência do reprocessamento nas propriedades da poliamida 6,6 reforçada com fibra de vidro curta, onde tiveram uma redução de 9% na resistência a tração como resultado do primeiro ciclo da moagem e reprocessamento do material.

Outros fatores que possivelmente contribuíram para esta redução foram: (1) Memória térmica e mecânica do material aos processos sofridos anteriormente. (2) Redução da massa molar devido à quebra das cadeias durante o reprocessamento (DEPURA, 2008).

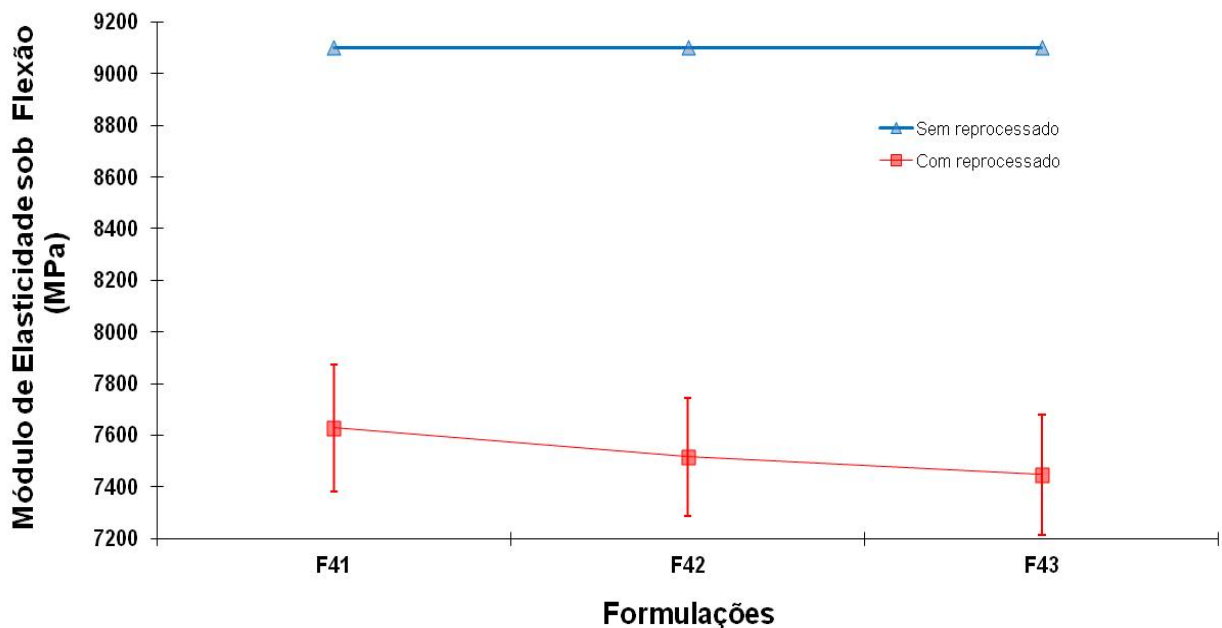
Os resultados obtidos também são similares aos resultados obtidos por MASPOCH et al (2003), que estudou poliamida 6 reciclada com carga e obtiveram como resultado uma redução de 19% da resistência máxima a tração após o primeiro ciclo de reprocessamento da poliamida 6.

#### 4.2.4. Ensaio de flexão

A Tabela 4-10 e a Figura 4-15 apresentam os resultados do módulo de elasticidade sob flexão para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado antes do envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-10 – Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Propriedade	F41 (5%)	F42 (10%)	F43 (15%)
Módulo. de Elasticidade sob Flexão (MPa)	7.629 ± 246	7.516 ± 228	7.448 ± 232



**Figura 4-15 – Gráfico Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.**

Analisando os resultados observa-se que houve uma redução do módulo de elasticidade sob flexão quando adicionado o material reprocessado. Na primeira formulação temos uma redução de 16,18% no módulo de elasticidade sob flexão, para uma concentração de 5% de material reprocessado. As demais formulações apresentam uma redução de 17,42% para uma concentração 10% de material

reprocessado e uma redução de 18,16% para uma concentração de 15% de material reprocessado.

O módulo de elasticidade sob flexão mostrou uma tendência similar ao módulo de elasticidade sob tração o que pode ser explicado provavelmente pela perda de carga e redução na razão de aspecto (L/D) devido à quebra da fibra durante o reprocessamento.

ERIKSSON et al (1996) tiveram resultado similar no estudo da influência do reprocessamento nas propriedades da poliamida 6,6 reforçada com fibra de vidro curta, onde tiveram uma redução de 9% na resistência a tração com resultado do primeiro ciclo da moagem e reprocessamento do material.

Os resultados encontrados estão também de acordo com o trabalho de MASPOCH et al (2003) onde o gráfico das propriedades mecânicas tensão e flexão têm comportamento similar após o primeiro ciclo de reprocessamento.

#### 4.2.5. Ensaio de resistência ao impacto Charpy

A Tabela 4-11 e a Figura 4-16 apresentam os resultados da resistência ao impacto Charpy para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado antes do envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-11 – Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

<b>Propriedade</b>	<b>F41 (5%)</b>	<b>F42 (10%)</b>	<b>F43 (15%)</b>
Resistência ao impacto Charpy (kJ/m <sup>2</sup> )	37,9 ± 0,9	37,1 ± 0,6	38,6 ± 0,5

Analisando os resultados observa-se que houve uma redução da resistência ao impacto Charpy quando adicionado o material reprocessado. Na primeira formulação temos uma redução de 16% na resistência ao impacto Charpy, para uma concentração de 5% de material reprocessado, quando comparado com o compósito inicial. As demais formulações têm uma redução de 17,67% para uma concentração 10% de material reprocessado e uma redução de 14,34% para uma concentração de 15% de material reprocessado.



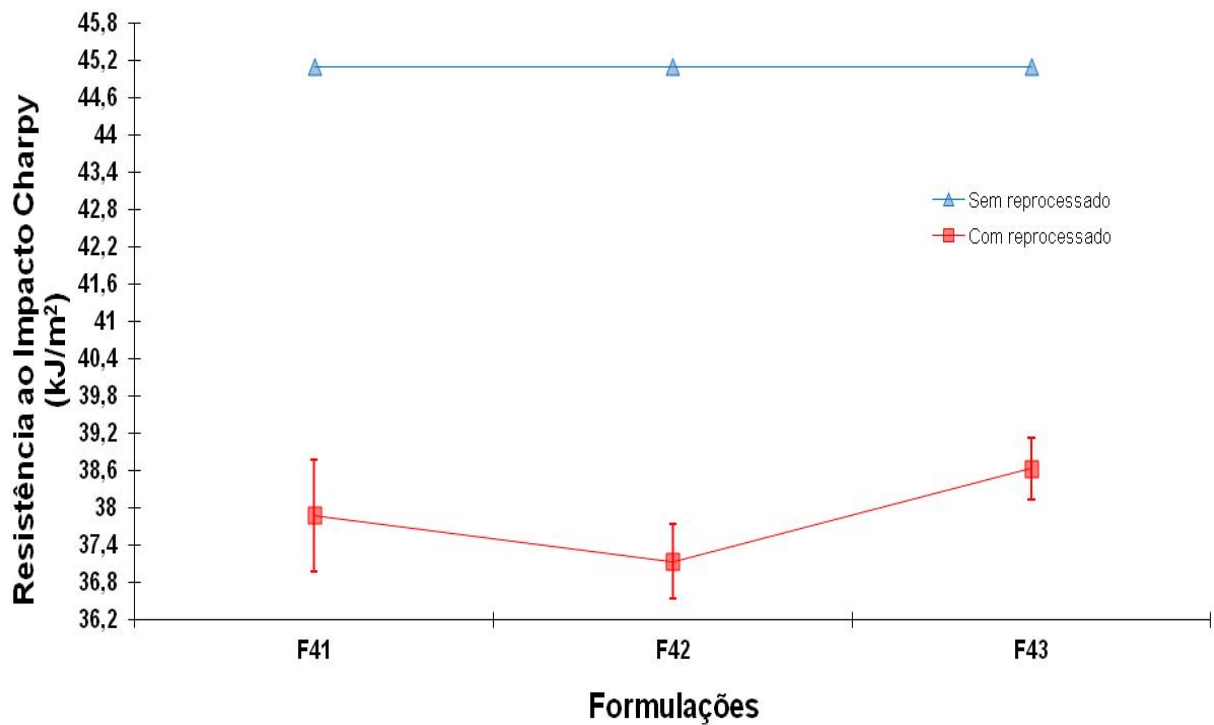


Figura 4-16 – Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado sem Envelhecimento Térmico em Diferentes Formulações.

A redução da resistência ao impacto Charpy, testado na condição Eh0, ou seja, sem umidade, tem um efeito antagonístico uma vez que era esperado um aumento desta propriedade devido à redução na resistência a tração do material, redução no teor de carga e redução da razão de forma da fibra.

Segundo ERIKSSON et al. (1996), que obtiveram este mesmo efeito antagonístico, esta redução na resistência ao impacto Charpy pode ser provavelmente explicada pelas seguintes razões: (1) Degradação e fragilização da poliamida durante o ciclo de reprocessamento; (2) Maior número de finais da fibra como resultado da quebra das mesmas durante o reprocessamento.

Outros fatores que possivelmente contribuíram para esta redução foram: (1) Memória térmica e mecânica do material aos processos sofrido anteriormente. (2) Redução da massa molar devido à quebra das cadeias durante o processamento e degradação do material. (3) Aumento da cristalinidade do material. Verifica-se que os resultados obtidos estão de acordo com a literatura apresentada por SU et al (2007).

Segundo SU et al (2007), que estudou a influência do reprocessamento nas propriedades mecânicas e estruturais da poliamida 6, a redução da resistência ao impacto Charpy após os ciclos de reprocessamento estão provavelmente correlacionadas com a quebra das cadeias, pois cadeias menores e distribuição mais ampla das cadeias resultam em menor atração entre as mesmas.

Ainda, segundo ERIKSSON et al. (1996), além de todos estes fatores os aditivos, como estabilizantes para degradação térmica, podem está sendo consumidos durante o reprocessamento. O que aumentaria à degradação térmica do material durante o reprocessamento.

### **4.3. Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada envelhecida termicamente**

As propriedades mecânicas tensão máxima, módulo de elasticidade sob tração e deformação na ruptura sofreram uma redução pequena quando comparada com o material 100% virgem. Por este motivo optou-se por não fazer o ensaio destas propriedades após o envelhecimento térmico, mas apenas do módulo de elasticidade sob flexão para avaliar a tendência das propriedades, que tiveram comportamentos similares.

#### **4.3.1. Ensaio de flexão**

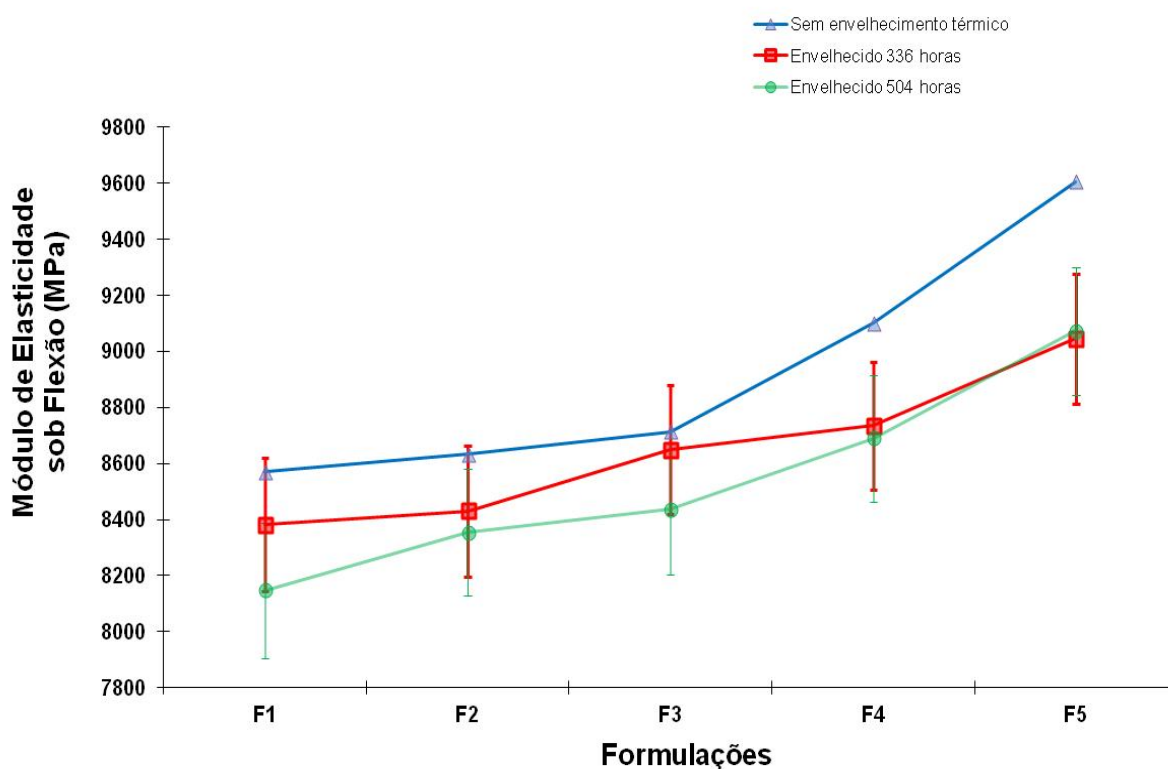
A Tabela 4-12 e a Figura 4-17 apresentam os resultados do módulo de elasticidade sob flexão para os diferentes compósitos após o envelhecimento térmico sem adição de material reprocessado.

Analisando os resultados observa-se que houve uma redução no módulo de elasticidade sob flexão nas diversas composições após 336 horas e 504 horas de envelhecimento térmico a 100°C quando comparado com o mesmo material antes do envelhecimento térmico. Na formulação F1 temos uma redução de 2% após 336 horas e 5% após 504 horas, na formulação F2 temos uma redução de 2,3% após 336 horas e 3,3% após 504, na formulação F3 temos uma redução de 0,9% após 336 horas e 2,2% após 504, na formulação F4 temos uma redução de 4% após 336 horas

e 5,5% após 504, na formulação F5 temos uma redução de 5,8% após 336 horas e 5,5% após 504.

**Tabela 4-12 - Módulo de Elasticidade sob Flexão para as Diferentes Formulações após envelhecimento térmico.**

Propriedade	F1 (Reciclado)	F2 (80/20)	F3 (70/30)	F4 (50/50)	F5 (Virgem)
Módulo de Elasticidade sob Flexão após 336h à 100°C (MPa)	8.381 ± 238	8.430 ± 232	8.650 ± 229	8.736 ± 228	9.047 ± 232
Módulo de Elasticidade sob Flexão após 504h à 100°C (MPa)	8.147 ± 243	8.355 ± 226	8.436 ± 234	8.690 ± 226	9.074 ± 228



**Figura 4-17 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C em Diversas Formulações.**

Conforme estudos de ERIKSSON et al. (1997) e JAIN et VIJAYAN (2002) a exposição das poliamidas a temperatura elevada, sem atmosfera controlada, pode causar modificações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas das mesmas.

Estes resultados estão de acordo com o trabalho de JAIN et VIJAYAN (2002), que estudaram os efeitos do envelhecimento térmico no Nylon 6,6 com fibra, onde constataram que o módulo de elasticidade sob tração apresenta uma tendência de

redução em função do tempo de exposição e que após uma exposição de 800 horas a 175°C o módulo de elasticidade sob tração sofreu uma redução de 40%. Segundo os mesmos autores esta redução é devida a uma redução na cristalinidade do material, danos na superfície do mesmo e perda de massa molar.

Os resultados obtidos por JAIN et VIJAYAN foram em condições de temperatura e duração diferentes dos utilizados neste trabalho, logo, não pode-se comparar o valor absoluto da redução. Entretanto, a tendência de redução do módulo de elasticidade sob flexão em função do tempo, como encontrado por JAIN et VIJAYAN, permite afirmar que esta redução do módulo de elasticidade sob flexão foi provavelmente em função da redução na cristalinidade. Como a temperatura de exposição utilizada e a duração dos testes são menos severas que as utilizadas por JAIN et VIJAYAN, pode-se considerar que o efeito dos danos na superfície do material e redução de massa molar são desprezíveis neste caso.

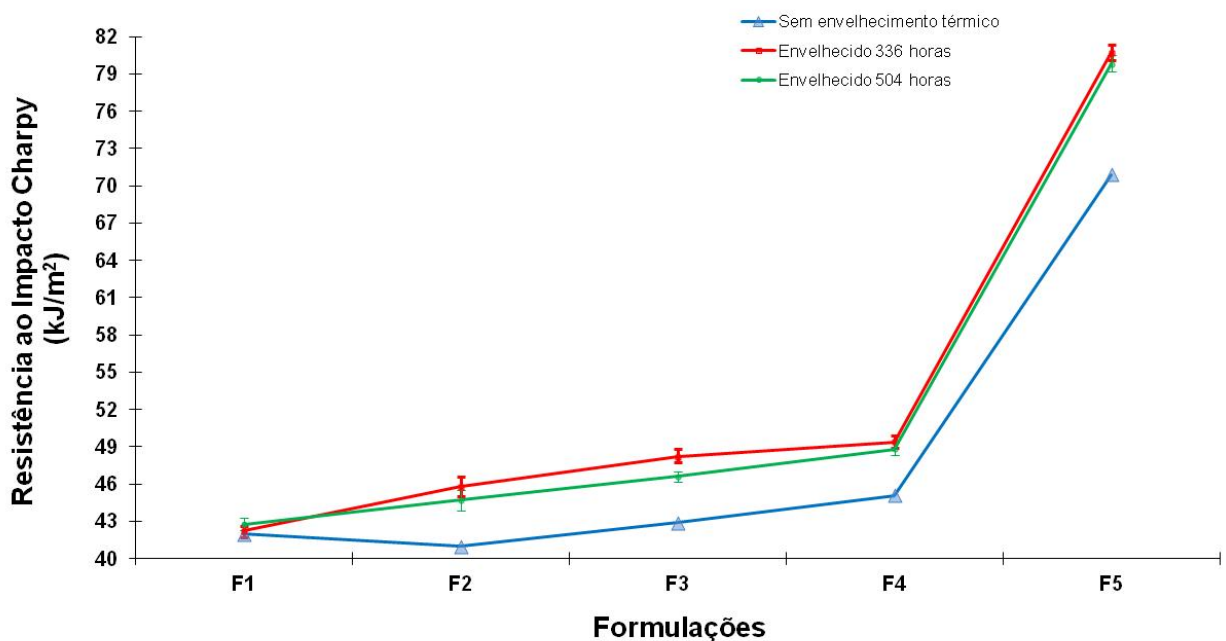
#### **4.3.2. Ensaio de resistência ao impacto Charpy**

A Tabela 4-13 e a Figura 4-18 apresentam os resultados de resistência de impacto Charpy para os diferentes compósitos após o envelhecimento térmico sem adição de material reprocessado.

Analisando os resultados observa-se que houve um aumento na resistência ao impacto Charpy nas diversas composições após 336 horas e 504 horas de envelhecimento térmico a 100°C quando comparado com o mesmo material antes do envelhecimento térmico. Na formulação F1 temos um aumento de 0,9% após 336 horas e 1,8% após 504 horas, na formulação F2 temos um aumento de 11,7% após 336 horas e 8,6% após 504, na formulação F3 temos um aumento de 11% após 336 horas e 7,9% após 504, na formulação F4 temos um aumento de 9,5% após 336 horas e 8,2% após 504, na formulação F5 temos um aumento de 13,8% após 336 horas e 12,5% após 504.

**Tabela 4-13 – Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico para as Diferentes Formulações.**

Propriedade	F1 (Reciclado)	F2 (80/20)	F3 (70/30)	F4 (50/50)	F5 (Virgem)
Resistência ao impacto Charpy após 336h à 100°C (kJ/m <sup>2</sup> )	42,3 ± 0,4	45,8 ± 0,8	48,2 ± 0,6	49,4 ± 0,5	80,7 ± 0,7
Resistência ao impacto Charpy após 504h à 100°C (kJ/m <sup>2</sup> )	42,77 ± 0,5	44,7 ± 0,8	46,6 ± 0,4	48,8 ± 0,5	79,8 ± 0,6



**Figura 4-18 - Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C em Diversas Formulações.**

Conforme estudos de ERIKSSON et al. (1997) e JAIN et VIJAYAN (2002) a exposição das poliamidas a temperatura elevada, sem atmosfera controlada, pode causar modificações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas das mesmas.

O aumento na resistência ao impacto Charpy normalmente está correlacionado com a redução da resistência a tração do material. Logo, podemos imaginar que as razões para redução na resistência a tração do material poderia ser a mesma para explicar um aumento da resistência ao impacto Charpy. Segundo JAIN et VIJAYAN (2002), que estudaram os efeitos do envelhecimento térmico no Nylon 6,6 com fibra, o módulo de elasticidade sob tração sofre uma redução devido à redução na cristalinidade do material, danos na superfície do mesmo e perda de massa molar.

No item 4.3.2 foi observado uma redução no módulo de elasticidade sob flexão após o envelhecimento térmico, logo, este resultado permite afirmar que provavelmente o aumento da resistência ao impacto Charpy também foi provocado pela redução na cristalinidade. Como a temperatura de exposição utilizada e a duração dos testes são menos severas que as utilizadas por JAIN et VIJAYAN podemos considerar que o efeito dos danos na superfície do material e perda de massa molar são desprezíveis neste caso.

Segundo ERIKSSON et al. (1997), a redução nas propriedades mecânicas após o envelhecimento térmico poderia ser explicada pela redução na estabilidade térmica devido à perda de estabilizante térmico durante o reprocessamento. Fato este que iria influenciar diretamente na durabilidade do material reprocessado.

A redução da resistência ao impacto Charpy após 336 horas se deve provavelmente a redução no estabilizante térmico durante o processamento, o que reduz a durabilidade do material.

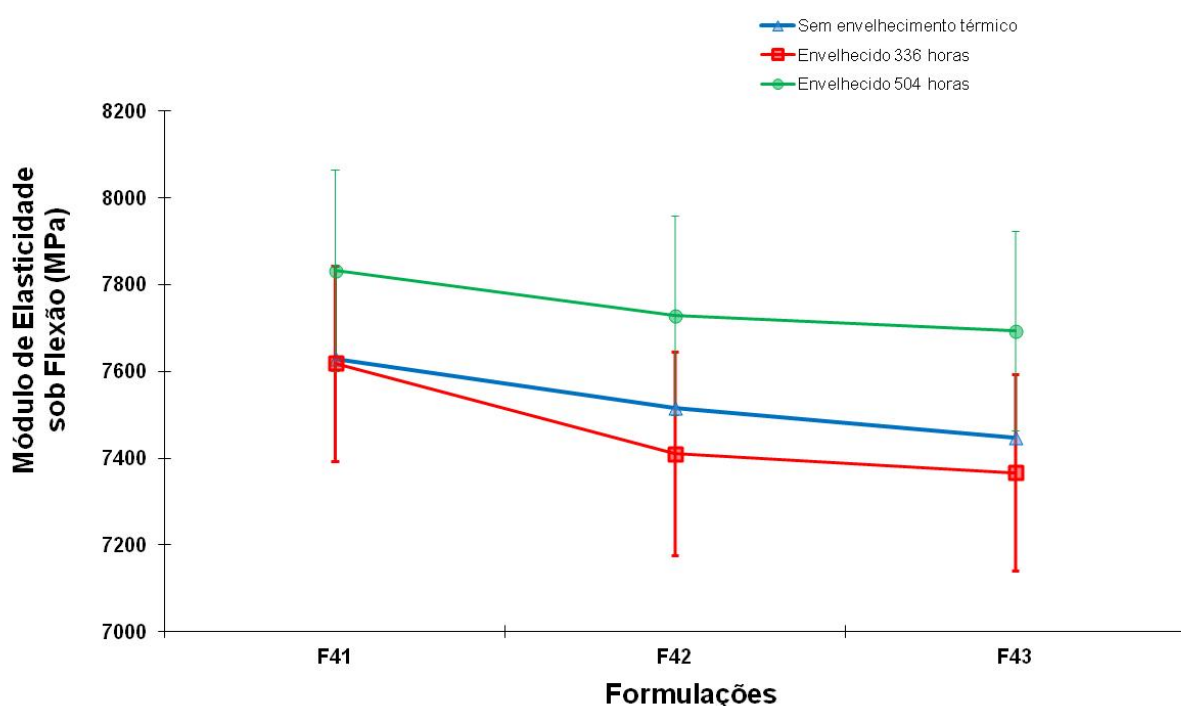
#### **4.4. Caracterização das misturas PA 6,6 virgem e reciclada com adição de material reprocessado envelhecida termicamente**

##### **4.4.1. Ensaio de flexão**

A Tabela 4-14 e a Figura 4-19 apresentam os resultados do módulo de elasticidade sob flexão para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado após o envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-14 Módulo de Elasticidade sob Flexão para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações após Envelhecimento Térmico.**

Propriedade	F41 (5%)	F42 (10%)	F43 (15%)
Módulo de Elasticidade sob Flexão após 336h à 100°C (MPa)	7.619 ± 226	7.411 ± 235	7.367 ± 227
Módulo de Elasticidade sob Flexão após 504h à 100°C (MPa)	7.833 ± 233	7.729 ± 230	7.694 ± 229



**Figura 4-19 - Gráfico do Módulo de Elasticidade sob Flexão após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 horas à 100°C para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Analisando os resultados observa-se que houve uma redução no módulo de elasticidade sob flexão após 336 horas e um aumento após 504 horas de envelhecimento térmico a 100°C quando comparado com o mesmo material antes do envelhecimento térmico. Na formulação F41 tem-se uma redução de 0,1% após 336 horas e um aumento de 2,7% após 504 horas, na formulação F42 tem-se uma redução de 1,2% após 336 horas e um aumento de 2,8% após 504 horas, na formulação F43 tem-se uma redução de 1,1% após 336 horas e um aumento de 3,3% após 504 horas.

Segundo ERIKSSON et al. (1997), a redução nas propriedades mecânicas após o envelhecimento térmico poderia ser explicada pela redução na estabilidade térmica devido à perda de estabilizante térmico durante o reprocessamento. Fato este que iria influenciar diretamente na durabilidade do material reprocessado.

No item 4.3.2, observou-se uma redução do módulo de elasticidade sob flexão durante todo o ciclo de envelhecimento térmico para o material sem adição de material reprocessado. Entretanto, após adição do material reprocessado na mesma composição temos uma redução do módulo de elasticidade sob flexão até 336 horas de envelhecimento térmico e um posterior aumento do módulo de elasticidade sob flexão após 336 horas de envelhecimento térmico. Este efeito antagônico entre os resultados antes e após adição do material reprocessado para a mesma formulação se explica provavelmente pela maior redução do estabilizante térmico provocada pelo reprocessamento, o que reduz a durabilidade do material.

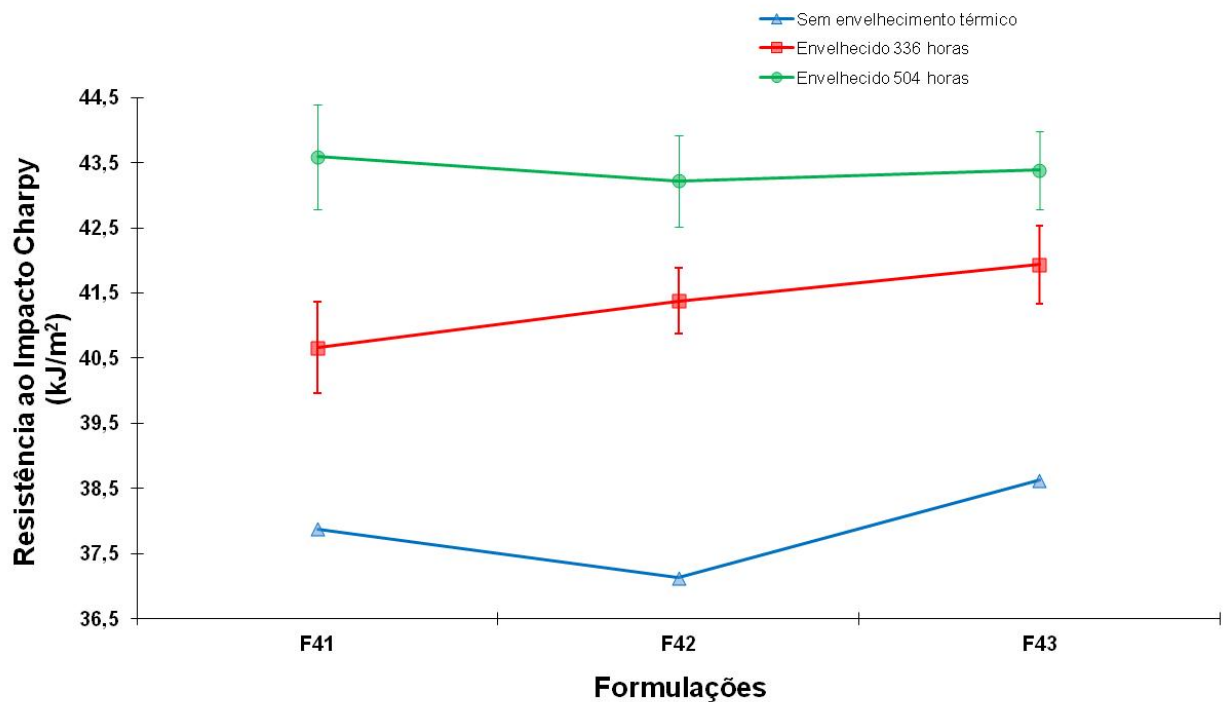
#### 4.4.2. Ensaio de resistência ao impacto Charpy

A Tabela 4-15 e a Figura 4-20 apresentam os resultados de resistência ao impacto Charpy para o compósito 50% material virgem e 50% material reciclado após o envelhecimento térmico com adição de material reprocessado em diferentes formulações.

**Tabela 4-15 – Resistência ao Impacto Charpy para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material Reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações após Envelhecimento Térmico.**

<b>Propriedade</b>	<b>F41 (5%)</b>	<b>F42 (10%)</b>	<b>F43 (15%)</b>
Resistência ao impacto Charpy após 336h à 100°C (kJ/m <sup>2</sup> )	40,7 ± 0,7	41,4 ± 0,5	41,9 ± 0,6
Resistência ao impacto Charpy após 504h à 100°C (kJ/m <sup>2</sup> )	43,6 ± 0,8	43,2 ± 0,7	43,4 ± 0,6





**Figura 4-20 - Gráfico da Resistência ao Impacto Charpy após Envelhecimento Térmico de 336 e 504 Horas à 100°C para o Compósito de 50% Material Virgem e 50% Material reciclado com Adição de Material Reprocessado em Diferentes Formulações.**

Analisando os resultados observa-se que houve um aumento na resistência ao impacto Charpy após 336 e 504 horas de envelhecimento térmico a 100°C quando comparado com o mesmo material antes do envelhecimento térmico. Na formulação F41 temos um aumento de 7,1% após 336 horas e um aumento de 15,1% após 504 horas, na formulação F42 temos um aumento de 11,6% após 336 horas e um aumento de 16,4% após 504 horas, na formulação F43 temos um aumento de 8,3% após 336 horas e um aumento de 12,1% após 504 horas.

Conforme estudos de ERIKSSON et al. (1997) e JAIN et VIJAYAN (2002) a exposição das poliamidas a temperatura elevada, sem atmosfera controlada, pode causar modificações nas propriedades físicas, químicas e mecânicas das mesmas.

O aumento na resistência ao impacto Charpy normalmente está correlacionado com a redução da resistência a tração do material. Logo, podemos imaginar que as razões para redução na resistência à tração do material poderia ser a mesma para explicar um aumento da resistência ao impacto Charpy. Segundo JAIN et VIJAYAN (2002), que estudaram os efeitos do envelhecimento térmico no Nylon 6,6 com fibra, o módulo de elasticidade sob tração sofre uma redução devido à redução na cristalinidade do material, danos na superfície do mesmo e perda de massa molar.

No item 4.4.2 foi observado uma redução no módulo de elasticidade sob flexão após o envelhecimento térmico até 336 horas, este resultado permite afirmar que provavelmente o aumento da resistência ao impacto Charpy até 336 horas foi provocado pela redução da cristalinidade. Após 336 horas de envelhecimento térmico houve um aumento do módulo de elasticidade sob flexão e também um aumento da resistência ao impacto Charpy. Este efeito antagônico pode ser explicado provavelmente pelas razões a seguir: (1) Menor perda do estabilizante térmico durante o reprocessamento dos corpos de prova; (2) Maior influência da redução da cristalinidade sobre a resistência ao impacto Charpy;

## 5. ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA (EVTEC)

O modelo de análise de viabilidade econômica proposto neste estudo foi baseado na metodologia período de retorno simples ou payback com base nos valores nominais do fluxo de caixa, no qual foi avaliada a viabilidade econômica da substituição parcial da poliamida 6,6 virgem com 30% de fibra de vidro pela mesma poliamida 6,6 reciclada quimicamente com 30% de fibra de vidro.

O método do período de retorno foi o escolhido por ser o mais indicado para avaliação de risco em projetos que permitam uma recuperação do capital investido em curto período tempo e em ambiente de risco elevado. Optou-se pelo valor nominal do fluxo de caixa para facilitar o cálculo e devido ao curto período de tempo da vida do projeto.

Será necessário investimento inicial para adaptar o processo atual para ser capaz de dosar e alimentar as máquinas injetoras com as poliamidas virgens e recicladas simultaneamente. Para fazer esta adaptação será necessário um novo desumidificador, um dosador e adaptação da instalação atual.

A Tabela 5-1 mostra o investimento inicial necessário para adaptação do processo produtivo atual.

**Tabela 5-1 – Investimentos adaptação do processo produtivo.**

<b>Equipamentos</b>	<b>Investimentos (R\$)</b>
Desumidificador	58.021,367
Sistema alimentação	52.015,99
Material + instalação	7.608,58
<b>Total</b>	<b>107.645,93</b>

Por questão de confidencialidade o peso utilizado por peça e o preço das poliamidas virgem e reciclada não podem ser divulgados. Por este motivo, foram utilizados nos cálculos valores fictícios, mas que resultam em valores aproximados da taxa de recuperação quando utilizado os valores verdadeiros. A duração de projetos na setor automotivo são normalmente 6 anos pode se estender por até 10 anos, mas,

a vida útil deste projeto será de apenas três anos por se tratar de um componente que se encontra em produção.

A composição escolhida foi com 50% de poliamida 6,6 virgem e 50% de poliamida 6,6 reciclada, pois caso esta formulação seja viável economicamente todas as demais estudadas neste trabalho também serão.

A Tabela 5-2 mostra o fluxo de caixa referente ao projeto de investimento na adaptação do processo atual e o resultado da taxa de recuperação do projeto (FARIAS, 2011).

Tabela 5-2 – Fluxo de Caixa.

PROJEÇÕES ECONÔMICAS E FINANCEIRAS	PERÍODO PRÉ-OPERACIONAL		PERÍODO OPERACIONAL		
	Ano 0	%	1	2	3
<b>Volume</b>			<b>506.000,00</b>	<b>280.000,00</b>	<b>280.000,00</b>
<b>(+) Receita Bruta</b>			<b>197.340,00</b>	<b>109.200,00</b>	<b>109.200,00</b>
* Crescimento			0,0%	0,0%	0,0%
(-) Deduções (Pis/Cofins/ICMS/IPI)			49.335,00	27.300,00	27.300,00
<b>(=) Receita Líquida</b>			<b>148.005,00</b>	<b>81.900,00</b>	<b>81.900,00</b>
(-) Custo dos Produtos Vendidos			0,00	0,00	0,00
* Taxa de Aumento de Custo			2,0%	2,0%	2,0%
<b>(=) Lucros Bruto</b>			<b>148.005,00</b>	<b>81.900,00</b>	<b>81.900,00</b>
% Margem			75,00%	75,00%	75,00%
(-) Despesas Administrativas			0,00	0,00	0,00
<b>(=) EBITDA (Lucro Operacional)</b>			<b>148.005,00</b>	<b>81.900,00</b>	<b>81.900,00</b>
% Margem			75,00%	75,00%	75,00%
(-) Depreciação e Amortização			-35.881,98	-35.881,98	-35.881,98
<b>(=) Lucros Antes do Imposto de Renda</b>			<b>112.123,02</b>	<b>46.018,02</b>	<b>46.018,02</b>
(-) Imposto			38.121,83	15.646,13	15.646,13
<b>(=) Lucro Líquido</b>			<b>74.001,20</b>	<b>30.371,90</b>	<b>30.371,90</b>
% Margem			37,50%	27,81%	27,81%
(+) Depreciação e Amortização			35.881,98	35.881,98	35.881,98
(-) Capital de Giro			0,00	0,00	0,00
(-) Investimento Total			<b>-107.645,93</b>		
<b>(=) Fluxo de Caixa Livre</b>			<b>109.883,17</b>	<b>66.253,87</b>	<b>66.253,87</b>
<b>WACC</b>			0%	0%	0%
<b>Valor Presente</b>			R\$ 109.883,17	R\$ 66.253,87	R\$ 66.253,87
<b>Saldo Acumulado Descontado de Caixa</b>			<b>2.237,24</b>	<b>68.491,11</b>	<b>134.744,99</b>
<b>PayBack Descontado</b>			<b>11 Meses e 23 Dias</b>		

Segundo BRUNI (2008) o método do Período de Retorno é uma fórmula simples, fácil e direta, que estima o prazo necessário para se recuperar o investimento realizado. Quando o custo de capital do investimento não é considerado, denomina-se o método do período de retorno simples. Para obter o período de retorno simples de um projeto de investimento, basta verificar o tempo necessário para que o saldo do investimento seja igual a zero. Como o período de retorno simples não considera o custo do capital, a soma do saldo do investimento pode ser feita com base nos valores nominais. O critério de aceitação de novos investimentos com base no período de retorno simples pode ser o período de retorno ser menor que o prazo máximo de recuperação do capital investido (BRUNI, 2008).

Como se pode observar na Tabela 5-2 o período de retorno calculado do investimento é de 11 meses e 12 dias, se considerado um período de retorno máximo de 1 ano, o projeto será considerado como aceitável.

Toda aplicação na indústria tem suas especificações quanto à resistência a tração, resistência a flexão, impacto charpy em função de sua utilização. Por este motivo deve-se fazer uma análise individual se o material resultante serve ou não para uma determinada aplicação de engenharia.

No caso deste trabalho avaliamos tecnicamente aplicação do compósito resultante como plástico de engenharia para aplicação em estrutura superior e inferior na indústria automotiva, mas o mesmo não foi aprovado tecnicamente. Por questões de confidencialidade industrial os resultados dos testes na peça não foram apresentados.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho podemos concluir que:

- Os compósitos formados por material virgem e reciclados do mesmo polímero apresentaram uma redução das propriedades mecânicas com o aumento do percentual de material reciclado na sua formulação, provavelmente devido à incompatibilidade entre os mesmos.
- Rigidez do compósito aumenta com adição de material reciclado na formulação.
- Adição de material reprocessado em compósitos formados por material virgem e reciclado de um mesmo polímero provoca uma redução das propriedades mecânicas, provavelmente devido à perda de carga e redução no comprimento da fibra.
- Os compósitos de poliamidas 6,6 com 30% de fibra de vidro formados por material virgem e reciclados não sofrem degradação térmica significativa quando expostos até 504 horas a uma temperatura de 100°C.
- O estudo de viabilidade econômica (EVTEC) indicou que o projeto possui viabilidade econômica, pois se obteve um período de retorno simples de 11 meses e 23 dias que é considerado aceitável neste caso.

## **7. SUGESTÃO ATIVIDADE FUTURA DE PESQUISA**

- Analise da influência da microestrutura e cristalinidade nas propriedades mecânicas;
- Analise da influência da umidade nas propriedades mecânicas;

## 8. REFERÊNCIAS

ADAMS, D. F.; CARLSSON, L. A.; PIPES, B. R. **Experimental characterization of advanced composite materials**. USA: Technomic, 2002.

ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores); **ANUÁRIO da INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA**, São Paulo, 2011.

BAGLIN, G.; BRUEL, O.; GARREAU, A.; GREIF, M.; DELFT, C.. **Management Industriel et Logistique**. Paris: Economica, 2003.

BRUEGGEMANN, L; LEHMANN D. **Process for the condensation of polyamides**. United State of America: KG SPRINT-UND CHEMISCHE FABRIK, 2002.

BRUNI, A., L. **Avaliação de Investimentos**, São Paulo: Atlas, 2008.

BRUNS, E. R.; SCARMANIO, S. L.; NETO, B. B. **Planejamento e Otimização de Experimentos**, São Paulo: UNICAMP, 1995.

CANEVAROLO Jr., S. V. **Ciência dos Polímeros**, São Paulo: Artliber, 2002.

CANEVAROLO Jr., S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**, São Paulo: Artliber, 2007.

CALLISTER JR.,W.D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2007.

CASAROTTO, Nelson, KOPITTKKE, Bruno H., **Análise de Investimentos**. 6ª Edição. Editora Atlas, São Paulo, SP, 1998.

CATÁLOGO RHODIA TECHNYL A218 V30 BLACK 34NG, 2010. Disponível em:<  
<http://www.rhodia.com.br>>. Acesso em: 19 de novembro de 2011.



CATÁLOGO RHODIA TECHNYL 7218 V30, 2003. Disponível em:<  
<http://www.rhodia.com.br>>. Acesso em: 19 de novembro de 2011.

COLOMBO, M. A. S. **Estudo do Efeito da Radiação Ionizante Sobre as Propriedades Mecânicas da Poliamida 6,6**. 2004. Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações – IPEN, São Paulo, 2004.

COMBETTE, P.: ERNOULT, I. **Physique des polymers : structure, fabrication, employ**. Presses International Polytechnique, 2005.

CONTANT, S.: LONA, L. M. F: Predição do comportamento térmico de tubos compósitos através de redes neurais. **Polímeros: ciência e tecnologia**, vol. 14, n. 5, p. 295-300, 2004.

CLAVERIE, A. L.; VALDEZ, J. O.; HERNANDEZ E. G.; ZIZUMBO A.; CASTILLO, A. A.; CASTANO, V. M.; Reprocessing effects on the properties of a hybrid Nylon 6,6 – composite reinforced with short glass and carbon fibers, **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, V. 21, n. 9, p 847-855, 2002.

DASGUPTA, S.; HAMMOND, W. B.; GODDARD. W. A. Crystal structures and properties of nylon polymers from theory. **Journal of American Chemical Society**, V.118, n. 1, p. 12291-12301, 1996.

DE S. K.; WHITE J. R. **Short Fiber-Polymer Composites**. England: Woodhead Publishing Limited, 1996.

DEPURA, B. L.; ALAGIRUSAMY, R.; JOSHI, M. **Poliester and Polyamidas**, England: Woodhead publishing in textile, 2008.

DORNELLES A. M. L. F. ; ATOLINO W. J. T. **Plásticos de Engenharia Seleção Eletrônica no Caso Automotivo**, São Paulo: Artliber, 2009.

FACTORI, I. M. **Processamento e Propriedades de Compósitos de Poliamida 6.6 Reforçada com Partículas de Vidro Reciclado**. 2009. Mestrado em Engenharia de Materiais – Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2009.

ERIKSSON, P., A.; ALBERTSON, A., C.; BOYDELL, P.; ERIKSSON, K. Reprocessing of fiberglass reinforced polyamide 6,6: Influence of short term properties. **Jornal of Polymer Compites**, vol. 17, n.6, p. 823-829, 1996.

ERIKSSON, P., A.; ALBERTSON, A., C.; BOYDELL, P.; MANSON, J, A.. Durability study of recycled glass fiber reinforced polyamide 6,6 in a service related. **Jornal of Applied Polymer Science**, vol. 65, n.8, p. 1631-1641, 1997.

FARIAS, M. G., Processo de Organofilação de Argila para Uso na Produção de Nanocompósitos. 2011. Mestrado em Gestão e Tecnologia – Faculdade de Tecnologia Senai Cimatec, Salvador, 2011.

FERREIRA J. A. M.; COSTA J. D. M.; REIS P. N. B.; RICHARDSON O. W. Analysis of Fatigue and Damage in Glass-Fiber-Reinforced Polypropylene Composite Materials, **Composites Science and Technology**, V59, n. 1, p. 1461-1467, 1999.

FONSECA, S. B. C. Materiais compósitos de matriz polimétrica reforçada com fibras usados na engenharia civil: Características e aplicações. Lisboa: **ITMC 35 LNEC**, 2005.

FERRO, W. P., **Estudo do efeito da radiação ionizante nas propriedades da poliamida 6.6 com e sem reforço de fibra de vidro**. 2003. Dissertação de Mestrado em Materiais – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.

FERRO, W. P.; SILVA, L. G. A.; WIEBECK, H. Uso de cinza da casca de arroz como carga em matrizes de poliamida 6 e poliamida 6.6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 17, n.3, p. 240-243, 2007.

FREIRE, E.; MONTEIRO, E. E. C.; CYRINO, J. C. R.: Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 7, n.1, p. 25-32, 1994.

FU S.Y.; LAUKE B.; MADER E.; HU X.; YUE C.Y. Fracture resistance of short-glass-fiber reinforced and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene under charpy impact load and its dependence on processing. **Journal of Materials Processing Technology**, V. 90, n.1, p. 501-507, 2000.

GASPARINI, A. L. **Comportamento mecânico de polímero termoplástico para aplicação em engrenagem automotiva. 2004.** Dissertação (mestrado) dentro do programa de Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

GAY, D.: HOA, S. V.: TSAI, S. W. **Composite material: design and applications.** 4º Edição. CRC Press, Florida, 2003.

HARPER, C. A. **Handbook of plastics, elastomers and composites.** 4 ed. New York, McGraw – Hill Companies Ltd, 2002.

HARPER, A. C. **Handbook of Plastics Technologies.** New York: McGraw-Hill Companies, 2006.

HEMAIS, C. A. Polímeros e a Industria Automobilística, **Polímeros**, V. 13, n. 2, p. 107-114, 2003.

HOLLAWAY, L. **Handbook of Polymer Composites for Engineers.** USA: Woodhead Publishing, 1994.

HUANG, X.; LI, B.; SHI, B.; LI, L.; Investigation on interfacial of flame retarded and glass fiber reinforced PA 66 composites by IGC/DSC/SEM. **Polymer**, V. 49, n.1, p. 1049-1055, 2008.

HUANG, L.: YUAN, Q.: JIANG, W.: AN, L.: JIANG, S.: Mechanical and thermal properties of glass bead-filled nylon-6. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 94, p. 1885-1890, 2004.

JAIN, A.; VIJAYAN K. ; Effect of Thermal Ageing on Nylon 6,6 Fibers. **Journal of Material Science**, Vol.37, p. 2623-2633, 2002.

JOHNSON, W. A. **Invitation à la chimie organique**. De Boeck Université, 784p, 2002.

KRAYCHETE, G. Como fazer um estudo de viabilidade econômica. **Economia Popular: Viabilidades e Alternativas**. Promovida pela CESE-CEADe, Salvador, 1997.

KIPERSTOK, A. Tendências Ambientais do Setor Automotivo: Prevenção da Poluição e Oportunidades de Negócio. **Nexus Econômicos**, Salvador, V. 2, n.1, p. 101-113, 2000.

KOHAN, M. I. – **Nylon Plastic Handbook**. New York: Hanser/Gardner Publication, 1995.

LA MANTIA, F. P.; AKOVALI G., BERNADO, C.A., LEIDENER, J.; UTRACKI, L. A. **Science and Technology of Polymer Recycling**. Amsterdam: Klumer Academic Publishers, 1998.

LARENA A.; ORDEM M. U.; URREAGE J. M. **Effect of E-glass short fibre on the degradation of polypropylene**. Spain: Elsevier Science, 1992.

LI, L.; LI, B.; TANG, F. Influence of maleic anhydride-grafted EPDM and flame retardant on interfacial interaction of glass fiber reinforced PA-66. **European Polymer Journal**, V. 43, n. 1, p. 2604-2611, 2007.

LICEA, C. A.; CARRILLO, F. J. U.; CASTILLO, A. A.; CASTANO, V. M., Characterization of mixed fiber nylon composites incorporating composite scrap, **Polymer Composites**, V. 20, n. 1, p 314–320, 1999.

MANO, E.B. **Polímeros: Como Materiais de Engenharia**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1991.

MASPOCH, M. L.; FERRANDO, H. E.; VELASCO, J. I.; Characterisation of filled and recycled PA6, **Macromolecular Symposia**, V. 194, n.1, p 295–304, 2003.

MATTHEWS F. L.; RAWLINGS R. D. **Composite Materials Engineering and Science**. UK: Chapman and Hall, 1994.

MEDINA, H. V. **Reciclagem de Automóveis: Estratégias, Práticas e Perspectiva**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003.

MEDINA, H. V. Desenvolvimento de Novos Polímeros: Uma Ferramenta para os Avanços na Indústria Automobilística. **Plástico Industrial**, São Paulo, V. 48, n. 4, p. 108-120, 2002.

MERCIER, J. P.; KURZ, W.; ZAMBELLI, G. **Introduction à la science des matériaux**, 3ed., PPUR presses polytechniques, 1999.

MURASE, S.; INOUE, A.; MYASHITA, Y.; KIMURA, N. Structural characteristics and moisture sorption behavior of nylon 6/Clay hybrid films. **Journal of Polymer Science, part B: polymer physics**, vol. 40, n. 1, p. 479-487, 2002.

PADILHA, A.F. **Materiais de engenharia: Microestrutura e propriedades**, São Paulo: Helmus, 1997.

PAINTER, P. C.; COLEMAN, M. M.; IRUIN, J. J; BERRIDI, M. J. F. **Fundamentals de ciencia de polímeros**. CRC Press, 1996.

PEYDRÓ, M. A.; JUAREZ, D.; SELES, M. A.; PARRES, F.; Study of mechanical behavior of reprocessing polyamide, **Annals of the ORADEA university**, V.4, n.1, p 124-127, 2011.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizadas pela indústria automotiva nacional**, 2004. Dissertação de Mestrado de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, 2004.

RABELLO, M. S. **Aditivação de Polímeros**, São Paulo: Artliber, 2000.

RYNTZ, R. A. **Recycling of Automotive Plastics**, Dearborn, USA: Visteon Corporation, 2002.

SHAH, V. **Handbook of Plastics Testing Rechnology**, California: A Wiley-Interscience Publication, 1998.

SCAFFARO, R.; MANTIA, F. P.; Characterization of monopolymer blend of virgin and recycled polyamide 6. **Polymer Engineering & Science**, V. 42, n. 1, p 2412–2417, 2002.

SCHULE, A. **Encyclopedia of Polymer Science and Technology** Vol. 10. New York: Interscience, 1969.

SZABÓ, J. S.; CZIGÁNY T. Static fracture and failure behaviour of aligned continuous mineral fiber reinforced polypropylene composites, **Polymer Testing**, V. 22, n.6, p. 711-719, 2003.

SU, K. H.; LIN, J. H.; CHIH, C.; Influence of reprocessing on the mechanical properties and structure of polyamide 6, **Journal of Materials Processing Technology**, V. 192-193, n.1, p 532-538, 2007.

Thomason J. L. The influence of fiber length and concentration on the properties of glass fiber reinforced polypropylene. **Composites Science and Manufacturing**, New York V. 33,n. 12, p 1641-1652, 2002.

Wambua P, Ivens J, Verpoest I. **Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?**. Belgium: Elsevier Science, 2003.

WALTER, V. **Química e Tecnologia de poliuretanos**. Rio de Janeiro: Vilar consultoria, 2004.