

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**JOSÉ DOMINGOS FILHO**

**ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA EM UM PROCESSO DE MOLDAGEM PLÁSTICA  
COM ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO EM UMA EMPRESA DO SEGMENTO  
AUTOMOTIVO**

**SÃO PAULO  
2013**

**JOSÉ DOMINGOS FILHO**

**ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA EM UM PROCESSO DE MOLDAGEM PLÁSTICA  
COM ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO EM UMA EMPRESA DO SEGMENTO  
AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção à Universidade Nove de Julho- UNINOVE, como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Milton Vieira Junior, Dr. - Orientador

SÃO PAULO  
2013

Domingos Filho, José.

Análise de ecoeficiência em um processo de moldagem plástica com adição de material reciclado em uma empresa do segmento automotivo./  
José Domingos Filho. 2013.

87 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE,  
São Paulo, 2013.

Orientador (a): Prof. Dr. Milton Vieira Junior.

1. Indicadores de desempenho.
2. Moldagem plástica.
3. Material reciclado.

I. Vieira Junior, Milton.

II. Título

CDU 658.5

**JOSÉ DOMINGOS FILHO**

**ANÁLISE DE ECOEFICIÊNCIA EM UM PROCESSO DE MOLDAGEM PLÁSTICA  
COM ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO EM UMA EMPRESA DO SEGMENTO  
AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada á  
Universidade Nove de Julho –  
UNINOVE, para obtenção do  
grau de Mestre em Engenharia  
de Produção, pela Banca  
Examinadora, formada por:

São Paulo, 19 de fevereiro de 2013

---

Presidente: Prof. Milton Vieira Junior, Dr. – Orientador, UNINOVE

---

Membro: Prof. Eraldo Jannone da Silva, Dr., EESC - USP

---

Membro: Prof. Wagner Cesar Lucato, Dr., UNINOVE



São Paulo, 19 de fevereiro de 2013.

**TERMO DE APROVAÇÃO**

Aluno: JOSÉ DOMINGOS FILHO

Título da Dissertação: ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA EM UM PROCESSO DE MOLDAGEM PLÁSTICA COM ADIÇÃO DE MATERIAL RECICLADO EM UMA EMPRESA DO SEGMENTO AUTOMOTIVO.

Presidente: PROF. DR MILTON VIEIRA JUNIOR

*Aprovado.*

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Milton Vieira Junior", is placed over the line next to the "APROVADO" text.

Membro: PROF. DR. ERALDO JANNONE DA SILVA

*APROVADO*

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Eraldo Jannone da Silva", is placed over the line next to the "APROVADO" text.

Membro: PROF. DR. WAGNER CEZAR LUCATO

*APROVADO*

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Wagner Cezar Lucato", is placed over the line next to the "APROVADO" text.

**Aos meus pais e família. Dedico este trabalho.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar á Deus, por proporcionar o cumprimento de mais esta etapa da minha vida acadêmica e também pelo seu ágape.

Aos meus pais José Domingos e Natalina, que me deram toda a base para chegar nesse nível de cursar uma pós-graduação, à minha esposa Edna e meus filhos Bruno e Julia, que me inspiram em todos os momentos de minha vida, para não parar de lutar e sempre continuar conquistando novos desafios.

À minha irmã Maria da Penha, meu cunhado Manoel e minhas sobrinhas Daniela e Cristina que me motivaram para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Milton Vieira Junior, pelo acompanhamento, motivação, paciência e contribuição para a realização desta pesquisa e por ter acreditado no meu potencial para ser um de seus alunos.

Ao Prof. Dr. Wagner Cesar Lucato e a todos os professores do programa de Mestrado de Engenharia de Produção da UNINOVE que contribuíram para a realização desta pesquisa.

Aos meus amigos Luiz Ghelmandi Netto, Paulo Cesar Rodrigues Dias, Sergio Maurilio Maldonado e Flávio Moraes dos Santos que me motivaram e incentivaram para fazer este trabalho.

Aos companheiros de trabalho Marcos Arruda, Edimilson Soglia e Flavio Guerhardt que me deram incentivo e apoio para a realização desse trabalho.

Aos meus colegas de classe Ronaldo Cruz e José Carlos, que batalharam juntos comigo para cumprir e vencer mais essa missão da vida.

À Universidade Nove de Julho pela oportunidade de realizar meu sonho, de ingressar no ramo acadêmico.

E agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

Este trabalho tem a proposta de verificar a viabilidade de utilização do material virgem com adição de material reciclado, em diferentes faixas de reciclo e analisar o nível da evolução da ecoeficiência, considerando os dados do processo em conjunto com as suas métricas ambientais, na área de moldagem plástica em uma empresa do segmento automotivo. Para isso foi realizada uma pesquisa exploratória com uma abordagem quantitativa. Para a comprovação das propriedades térmicas, físicas e mecânicas do material virgem com adição de material reciclado em comparação ao material 100% virgem, foram realizados testes que pelos resultados obtidos indicaram a viabilidade técnica para se trabalhar com uma porcentagem de reciclo até 20%. Para análise da ecoeficiência foram escolhidos quatro indicadores, avaliados em um conjunto de nove máquinas injetoras. Para a análise da evolução do nível da ecoeficiência global foram observados os indicadores de ecoeficiência para o 1º semestre dos anos 2010, 2011 e 2012, obtendo melhorias que demonstraram um aumento na ordem de 13% entre 2011 e 2012. Com os resultados obtidos foi possível concluir que as propostas do trabalho foram aceitas no que se refere ao material com adição de reciclo e as ações aplicadas ao processo de moldagem plástica com seus aspectos ambientais resultaram em melhoria da ecoeficiência, correlacionando resultados de produção e métricas ambientais para uma medição adequada.

Palavras-chave: Ecoeficiência; Indicadores de desempenho; Moldagem plástica; Material reciclado.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to verify the feasibility of using virgin material with addition of recycled material and analyze the level of ecoefficiency in a plastic molding area, in a company from the automotive segment. For this purpose, an exploratory research was conducted using a quantitative approach. Tests were conducted to confirm the thermal, physical and mechanical properties of the virgin material with addition of recycled material in comparison to 100% virgin material. Results indicated the technical feasibility of working with recycling rates of up to 20%. Four environmental indicators were used in the ecoefficiency analysis, considering nine injection molding machines. For the analysis of process ecoefficiency indicators for the 1st half of 2010, 2011 and 2012 were measured. Improvements showed a 13% increase between 2011 and 2012. With the results obtained, this study concludes that the proposals have been accepted of material with addition of recycled material, and the actions applied to the plastic molding process with their environmental aspects resulted in improved ecoefficiency, correlating results of production and environmental metrics for a proper measurement.

Key-words: Ecoefficiency; Performance indicators; Plastic molding; Recycled material.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01 - Produtos produzidos com plástico em empresa do segmento automotivo, utilizados na parte externa do automóvel .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 02 - Produtos produzidos com plástico em empresa do segmento automotivo, utilizados na parte externa do automóvel .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 03 - Estrutura da metodologia .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 04 – Delineamento da pesquisa .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 05 - Símbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 06 - Esquema de separação de polímeros por diferença de densidade .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 07 - Imagem de fibras extraídas de uma amostra de PA 66 GF 35% .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 08 - Histogramas distribuição do comprimento das fibras de vidro para as amostras de material, tanto a freqüência corrigida e a distribuição Weibull são plotados .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 09 – Peças produzidas – Maçanetas externas automotivas .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 10 - Esquema do processo de reciclagem em uma máquina injetora .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 11 - Imagem de uma placa móvel de um molde de injeção .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 12 - Imagem de um corpo de prova e canais de distribuição .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 13 - Sistema de funcionamento de uma torre de resfriamento .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 14 - Curva do DSC da amostra de material 100% virgem .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 15 - Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 10% de material reciclado .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 16 - Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 20% de material reciclado .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 17 - Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 30% de material reciclado .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 18 - Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 50% de material reciclado .....</b>	<b>70</b>

**Figura 19 - Curva do DSC da amostra de material 100% reciclado ..... 71**

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Lista de aspectos e exemplos de indicadores (valor do produto/serviço) .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 2 - Lista de aspectos e exemplos de indicadores (influência ambiental) .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabela 3 - Nome padrão para processos de reciclagem plástica .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 4 - Características das Máquinas Injetoras .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabela 5 - Valores de Referência das Propriedades Térmicas, Físicas e Mecânicas que serão avaliadas na pesquisa .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 6 - Consumo de energia médio em kWh em cada máquina injetora avaliada ...</b>	<b>63</b>
<b>Tabela 7 - Indicadores de desempenho para cálculo da ecoeficiência do processo de reciclagem .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 8 – Ações de melhorias e suas influências em seus Indicadores .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 9 - Resultados do ensaio de teor de cinzas das amostras de cada tipo de material, 100% virgem, 100% reciclado e com adição de material reciclado (10, 20, 30 e 50%) ...</b>	<b>72</b>
<b>Tabela 10 - Dados do ensaio comparativo de número de viscosidade do material 100% virgem versus material reciclado e o material virgem com adição de material reciclado em diferentes porcentagens (10, 20, 30 e 50%) .....</b>	<b>73</b>
<b>Tabela 11 - Resultados do ensaio de resistência á tração das amostras de cada tipo de material, 100% virgem, 100% reciclado e com adição de material reciclado (10, 20, 30 e 50%) .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabela 12 - Resultados do ensaio de resistência ao impacto do material, 100% virgem, 100% reciclado e com adição de material reciclado (10, 20, 30 e 50%) .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabela 13 - <i>Status</i> dos resultados dos ensaios .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabela 14 - Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2010 .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabela 15 - Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2011 .....</b>	<b>79</b>
<b>Tabela 16 - Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2012 .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabela 17 - Evolução do nível de ecoeficiência .....</b>	<b>84</b>

## **LISTA DE EQUAÇÕES**

<b>Equação 1 - Valor da ecoeficiência .....</b>	<b>31</b>
<b>Equação 2 - Medida do nível de ecoeficiência do equipamento .....</b>	<b>62</b>
<b>Equação 3 - Representação dos valores de ecoeficiência .....</b>	<b>62</b>
<b>Equação 4 - Medida do nível de ecoeficiência do processo .....</b>	<b>62</b>
<b>Equação 5 - Medida de ecoeficiência do indicador de consumo de energia elétrica .....</b>	<b>64</b>
<b>Equação 6 - Medida de ecoeficiência do indicador de consumo de evaporação da água .....</b>	<b>65</b>
<b>Equação 7 - Medida de ecoeficiência do indicador de consumo de matéria prima .....</b>	<b>65</b>
<b>Equação 8 - Medida de ecoeficiência do indicador de geração de resíduo .....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**

**ACV - Avaliação do Ciclo de Vida**

**ALFA (a) - Representação dos Valores de Ecoeficiência**

**ASTM - American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana para Testes e Materiais)**

**CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**

**CH<sub>4</sub> - Metano**

**CO<sub>2</sub> - Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico**

**CREA - Concelho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia**

**DIN - *Deutsche Institut fur Normung* (Instituto Alemão de Normatização)**

**DSC - *Differential Scanning Calorimetric* (Calorimetria Diferencial de Varredura)**

**EE - Ecoeficiência**

**ENEGET - Encontro Nacional de Engenharia de Produção**

**EMqt - Medida do Nível de Ecoeficiência do Equipamento**

**Ept - Medida do Nível de Ecoeficiência do Processo**

**FV - Fibra de Vidro**

**HFCs - Hidrofluorocarbonetos**

**IAF - *International Accreditation Forum* (Forum de Acreditação Internacional)**

**IRM - Índice de Reciclagem Mecânica**

**ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Padronização)**

**N<sub>2</sub>O - Óxido Nitroso**

**NOx - Número de Oxidação**

**OHSAS – *Occupational Health and Safety Assessment Services* (Serviços de Avaliação da Saúde Ocupacional e Segurança)**

**PE - Polietileno**

**PEBD - Polietileno de Baixa Densidade**

**PEAD - Polietileno de Alta Densidade**

**PET - Poli Tereftalato de Etileno**

**PP - Polipropileno**

**PS - Poliestireno**

**PU - Politrimetileno Uretano**

**PVC - Policloreto de Vinila**

**RSU - Resíduo Sólido Urbano**

**SF<sub>6</sub> - Hexafluoreto de Enxofre**

**SGA - Sistema de Gestão Ambiental**

**SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre**

**URA - Umidade Relativa do Ar**

**WBCSD - *World Business Council for Sustainable Development* (Conselho Mundial de Negócios para Desenvolvimento da Sustentabilidade)**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Ecoeficiência e sustentabilidade .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Formulação do problema .....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 Delimitação do tema .....</b>	<b>21</b>
<b>1.4.1 Relevância do tema .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5 Metodologia de pesquisa .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5.1 Delineamento da pesquisa .....</b>	<b>24</b>
<b>1.6 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>25</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1 Ecoeficiência .....</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Indicadores de ecoeficiência .....</b>	<b>32</b>
<b>2.3 Sistema de Gestão Ambiental ( SGA) .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4 Reciclagem .....</b>	<b>40</b>
<b>2.4.1 Reciclagem mecânica .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4.2 Reciclagem química .....</b>	<b>44</b>
<b>2.4.3 Reciclagem energética .....</b>	<b>45</b>
<b>2.5 Reciclagem polimérica .....</b>	<b>46</b>
<b>2.6 Aditivo (Fibra de vidro) .....</b>	<b>48</b>
<b>3. MÉTODO DE PESQUISA .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1 Desenvolvimento da pesquisa .....</b>	<b>50</b>
<b>3.2 Fluxo do processo de reciclagem .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3 Propriedades do material .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.1 Ensaios Térmicos .....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.2 Ensaio Físico .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.3 Ensaios Mecânicos .....</b>	<b>56</b>

<b>3.4 Avaliação dos indicadores ambientais .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5 Medição da ecoeficiência em um processo de manufatura .....</b>	<b>62</b>
<b>3.6 Cálculos e interpretações dos indicadores ambientais .....</b>	<b>63</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1 Avaliação da possibilidade de utilização do material virgem com adição do material reciclado .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1.1 Ensaios de propriedade térmica .....</b>	<b>67</b>
<b>4.1.2 Ensaio de propriedade física .....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.3 Ensaios de propriedade mecânica .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1.4 Avaliação da qualificação dos materiais .....</b>	<b>77</b>
<b>4.2 A evolução do nível da ecoeficiência .....</b>	<b>77</b>
<b>4.3 Discussão .....</b>	<b>80</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>83</b>
<b>6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>84</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, percebe-se que os produtos e materiais utilizados por diversos segmentos industriais (principalmente o automotivo) vêm sendo fabricados cada vez mais com diferenciadas resinas termoplásticas. A evolução do consumo desses materiais plásticos é dada pelo avanço tecnológico dos equipamentos de fabricação, com maior visão nos padrões de qualidade, à possibilidade de redução do peso dos produtos, à maior facilidade de fabricação, com novas exigências ambientais, redução nos custos de aplicação e as decorrentes vantagens comerciais para a economia nacional. Entretanto, os polímeros têm crescido sua participação na composição do resíduo sólido urbano (RSU). Na década de 60 não faziam parte significativa, mas em 2005 já contribuíram com aproximadamente 20% em peso de resíduo (porcentagem de massa) dos RSU do Brasil (ROMÃO et al., 2009).

A gestão de resíduos plásticos na União Europeia mostra que em 2007, a produção mundial de plásticos aumentou aproximadamente 260 milhões de toneladas na Europa, o que resultou na geração de 24,6 milhões de toneladas de resíduos pós-consumo de plástico, concentrada nos setores de embalagens, automóveis, construção e equipamentos elétricos e eletrônicos. Metade desse resíduo foi despejado em aterros sanitários, enquanto 20% foram reciclados e 30% foram recuperadas como energia (LAZAREVIC et al. (2010).

Segundo Romão et al. (2009) atualmente o índice de reciclagem mecânica (IRM) de polímeros no Brasil é de 20% por tonelada de resíduo, abaixo somente de cinco países Europeus: Alemanha (32% de tonelada de resíduo), Bélgica (25% de tonelada de resíduo), Suíça (23% de tonelada de resíduo), Suécia (22% de tonelada de resíduo) e Áustria (20% de tonelada de resíduo).

### 1.1 Ecoeficiência e Sustentabilidade

Uma estratégia da ecoeficiência é produzir mais com menos impacto ambiental, é uma parte fundamental para a sustentabilidade. Esse conceito surgiu nos círculos de negócios e concentrou-se, principalmente, em medidas de micro-nível. No inicio não foi visto como o principal caminho para a sustentabilidade ou para a melhoria ambiental (LIFSET, 2011). A eco-eficiência resumidamente é a criação de um valor econômico ambiental para a

organização, a partir da redução contínua de impactos ecológicos e consumo de recursos naturais. A gestão desse sistema é visto como um processo pró-ativo, visando melhorias contínuas ao valor econômico e aos impactos ambientais (BRENT, 2011).

Com as técnicas disponíveis para avaliação da ecoeficiência, deve-se considerar não só os aspectos ambientais, como também os econômicos. A ecoeficiência na produção diz respeito à capacidade de produzir bens e serviços, causando mínima degradação ambiental. O conceito de eco-eficiência e a pesquisa por processos ecoeficientes são justificados pela necessidade de se alcançar o objetivo de um ambiente positivo para níveis microeconômicos. Uma análise de ecoeficiência, torna possível estabelecer prioridades na decisão de compra, e mostra o desenvolvimento pontencial dos processos de otimização do produto (SANIUMAN et al., 2011).

A reciclagem tem sido apontada como atividade preferida para a economia e o meio ambiente. Como exemplo, tem-se a recuperação de componentes e materiais no fim-de-vida dos veículos, que fornece um benefício econômico para a reciclagem e reduz o impacto ambiental dos automóveis. O automóvel é caso de muito interesse por causa da quantidade significativa de matérias-primas com material plástico contida no veículo, juntamente com o número de unidades produzidas, conforme Figuras 1 e 2. O automóvel trata-se de um bem produzido que retrata o aumento do uso de plásticos em aplicações industriais (JEKEL, 2007).

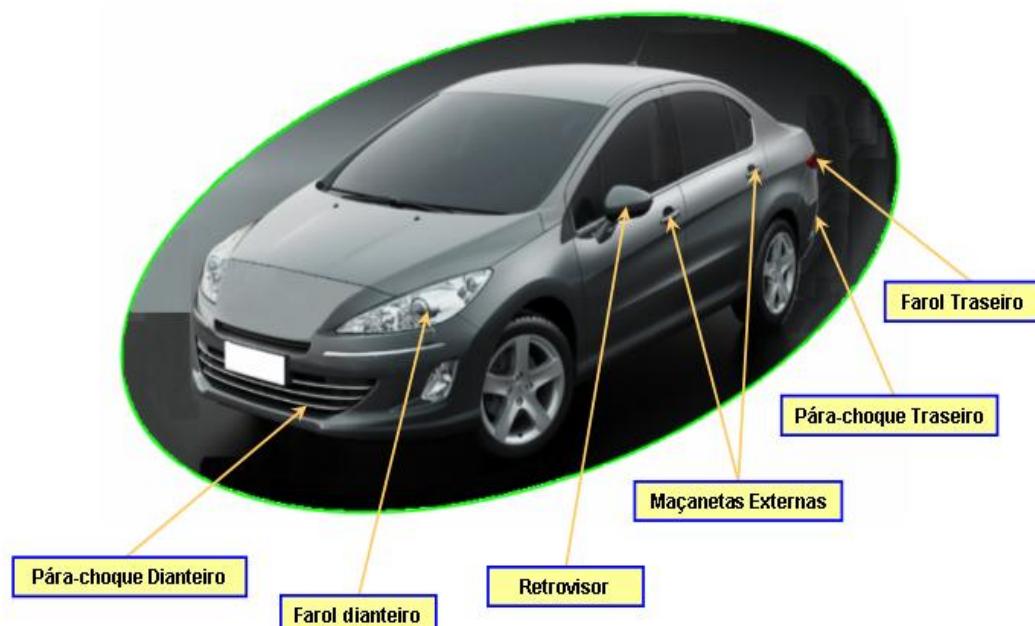


Figura 1 - Produtos produzidos com plástico em empresa do segmento automotivo, utilizados na parte externa do automóvel.

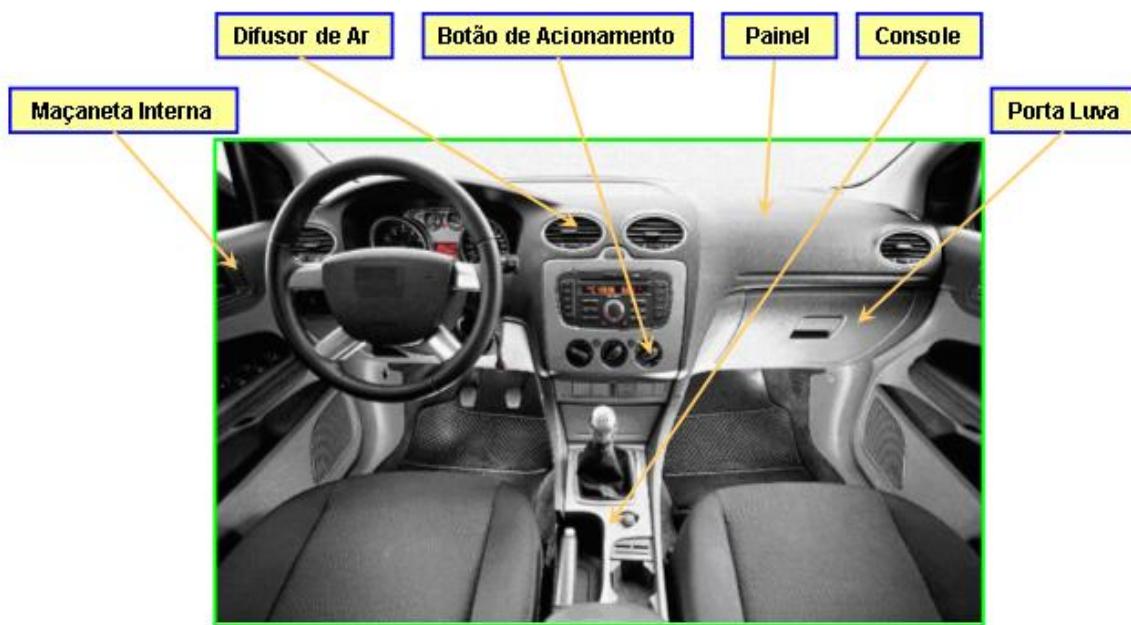


Figura 2 - Produtos produzidos com plástico em empresa do segmento automotivo, utilizados na parte interna do automóvel.

A gestão de geração e descarte de resíduos é uma complexa questão que tem impacto significativo na saúde humana e ecológica. O contínuo aumento de resíduos produzidos como subprodutos do crescimento econômico, desafia a capacidade do ambiente absorver resíduos sem grave degradação. Estes impactos não se limitam a nenhum país ou região em particular, os efeitos são distribuídos em vários graus em todo o mundo. No entanto, países em desenvolvimento enfrentam esses efeitos com habilidades diferentes (MEYERS et al., 2006).

A abordagem de ciclo de vida para quantificar os impactos ambientais dos sistemas tem sido bem desenvolvida ao longo dos últimos 15 anos em uma metodologia de avaliação do ciclo de vida, envolvendo formulações dos princípios de sustentabilidade, reconhecendo a importância de considerar o ciclo de vida inteiro de produtos e processos (BRENT, 2011). A avaliação do ciclo de vida é uma metodologia padrão para quantificar os impactos ambientais de qualquer sistema físico, pois verifica o impacto ambiental de um produto durante seu período de uso. Tipicamente, o ciclo de vida de qualquer produto começa com a aquisição de matérias-primas, seguido pela produção, utilização, manutenção, reciclagem e finalmente a eliminação do produto (KABIR et al. 2011). Uma hierarquia de ações de reuso dos resíduos pode ser aplicada de forma a estabelecer uma "ordem de prioridade": prevenção, preparação para reutilização, reciclagem, outras recuperações - por exemplo, co-geração de energia e o descarte (LAZAREVIC, et al. 2010).

De acordo com Olugu et al. (2010) o ecossistema mundial está em uma fase de desafio no cenário econômico, no que se refere ao aspecto da capacidade de geração de energia e eliminação de resíduos, que estão se aproximando de seus limites e a principal fonte desse desequilíbrio pode ser atribuída às operações de produção. Com este cenário, numerosas leis e regulamentos têm sido colocados em prática para monitorar e controlar essas operações que contribuem para a degradação ambiental em vários estágios do ciclo de vida do produto, desde a extração de recursos à fabricação, uso, reutilização, reciclagem e disposição. É muito importante que as empresas adotarem a filosofia de manufatura ambiental responsável, na qual o foco da gestão ambiental muda das operações internas das empresas manufatureiras para a cadeia de produção, gerando melhores resultados em termos de eficiência e eficácia.

Para tanto, faz-se necessária a adoção de indicadores que reflitam a ecoeficiência e permitam avaliá-las. Os indicadores operacionais mais utilizados podem ser classificados com referência à ISO 14031, de acordo com o tipo de medidas quantitativas para o seu cálculo: indicadores diretos (dados básicos, informação ou peso, por exemplo total dos resíduos produzidos); indicadores relativos (dados ou informações em comparação relativa a outro parâmetro, condições de produção, tempo ou localização); indicadores de combustível (por exemplo, consumo / km); e indexado (dados que descrevem informações convertidas em unidades ou forma que se relaciona as informações para um padrão escolhido, por exemplo, número de não conformidades). A utilização de indicadores relativos e indexados pode mostrar uma visão mais ampla pelas empresas com certificação ambiental, para a avaliação e acompanhamento do seu desempenho ambiental (COMOGLIO;BOTTA, 2011).

## 1.2 Formulação do Problema

Para as empresas, de modo geral, existe a preocupação ambiental para fabricar produtos com processos ecoeficientes, para se adequar à nova realidade industrial. Com o cenário apresentado, os gestores estão se questionando sobre as condições ambientais e ecoeficientes de cada organização perante os desafios presentes no mercado em que atuam, visando retorno razoável e possibilitando a sobrevivência lucrativa da organização.

Para avaliação desses aspectos ambientais, passou a ser relevante saber se a empresa que desenvolve ações como pesquisas, estudos, melhorias de processos, na busca de um processo ecoeficiente, obtém vantagens competitivas, lucratividade e rentabilidade como decorrência dessas ações.

Isto posto, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa a ser trabalhado:

**A adoção do processo de moldagem plástica com adição de material reciclado e de métricas ambientais referentes a esse processo, em uma empresa do segmento automotivo, resultam em :**

- a) um material com propriedades adequadas para seu uso nas peças produzidas, atendendo às especificações técnicas estabelecidas?**
- b) melhoria na ecoeficiência desse processo e da organização?**

Como provável resposta à questão acima, este trabalho tem a seguinte proposição:

**Sendo estabelecidos controles para conhecimento das características térmicas, físicas e mecânicas do material virgem com adição de material reciclado e das métricas ambientais envolvidas no processo, será possível identificar uma forma de correlacionar resultados de produção com aspectos ambientais, para medir adequadamente a ecoeficiência do processo produtivo que está sendo avaliado.**

Como faz parte desta proposição e não está explícito no enunciado, a presente investigação envolve os seguintes pressupostos:

- \* Indicadores de aplicação geral – podem ser utilizados praticamente em todos os negócios; cada indicador se refere a uma preocupação ambiental global ou valor de negócio e o estabelecimento dos métodos de medição.
- \* Indicadores específicos de negócio – são aqueles necessários para demonstrar especificamente o negócio de cada indicador.
- \* Perfil ambiental – é o conjuntos dos valores assumidos pelos indicadores ambientais (genéricos e específicos) em determinado instante.

### **1.3 Objetivos**

Para responder à questão proposta por este trabalho de dissertação, apresentam-se como objetivos gerais:

- I) Avaliar se as peças produzidas a partir de material virgem com certa porcentagem de material reciclado apresentam características (térmicas, físicas e mecânicas) similares às das produzidas com matéria prima 100% virgem.
- II) Avaliar a ecoeficiência de um processo de moldagem plástica de peças utilizadas em uma empresa do segmento automotivo, com e sem a utilização de material reciclado.

A avaliação da hipótese busca como objetivos específicos:

- \* Realizar levantamento na literatura da área, dos indicadores de ecoeficiência que vêm sendo utilizados;
- \* Realizar testes com o material virgem com diversos níveis de material reciclado para verificação das propriedades térmicas, físicas e mecânicas;
- \* Escolher um conjunto de indicadores de ecoeficiência para avaliação ambiental da empresa do segmento automotivo;
- \* Avaliar os indicadores da ecoeficiência para medir o desempenho do processo de moldagem antes e depois da utilização de material reciclado;
- \* Demonstrar os impactos relatados pelo conjunto de indicadores ambientais.

#### **1.4 Delimitação do Tema**

O estudo da ecoeficiência é complexo devido ao fato de ser possível trabalhar em diversos tipos de abordagens sobre diferentes enfoques. A realização de um estudo em que se tem a ecoeficiência como tema pode significar um trabalho muito extenso, fugindo dos objetivos pré-estabelecidos nesta dissertação de Mestrado. Portanto o presente estudo será desenvolvido em uma área específica dentro da generalidade do tema, a saber, a reciclagem na área da injeção plástica.

#### **1.4.1 Relevância do Tema**

A medição da ecoeficiência de um processo de uma empresa contribuirá com os gestores, para uma análise mais precisa no posicionamento e redirecionamento da empresa no que tange à responsabilidade ambiental em conjunto com o fator econômico, fabricando mais produtos com menos material, tornando os produtos mais competitivos e atendendo as exigências do mercado.

Segundo Sanjuan et al. (2011) o conceito da ecoeficiência e a busca por processos ecoeficientes são justificados pela necessidade de alcançar o objetivo de um ambiente economicamente positivo, seja por meio de ordem pública, instruções ou demonstrações de pessoas ou empresas.

De acordo com Brent (2011) o futuro da indústria pode-se destacar pela transparência com que as empresas farão o gerenciamento da sua responsabilidade social e ambiental, trabalhando principalmente com tecnologias limpas e utilizando recursos renováveis de forma eficiente.

#### **1.5 Metodologia de Pesquisa**

A estrutura da metodologia de pesquisa é desenvolvida em três enfoques: abordagem, procedimentos e métodos de investigação, conforme figura 3.

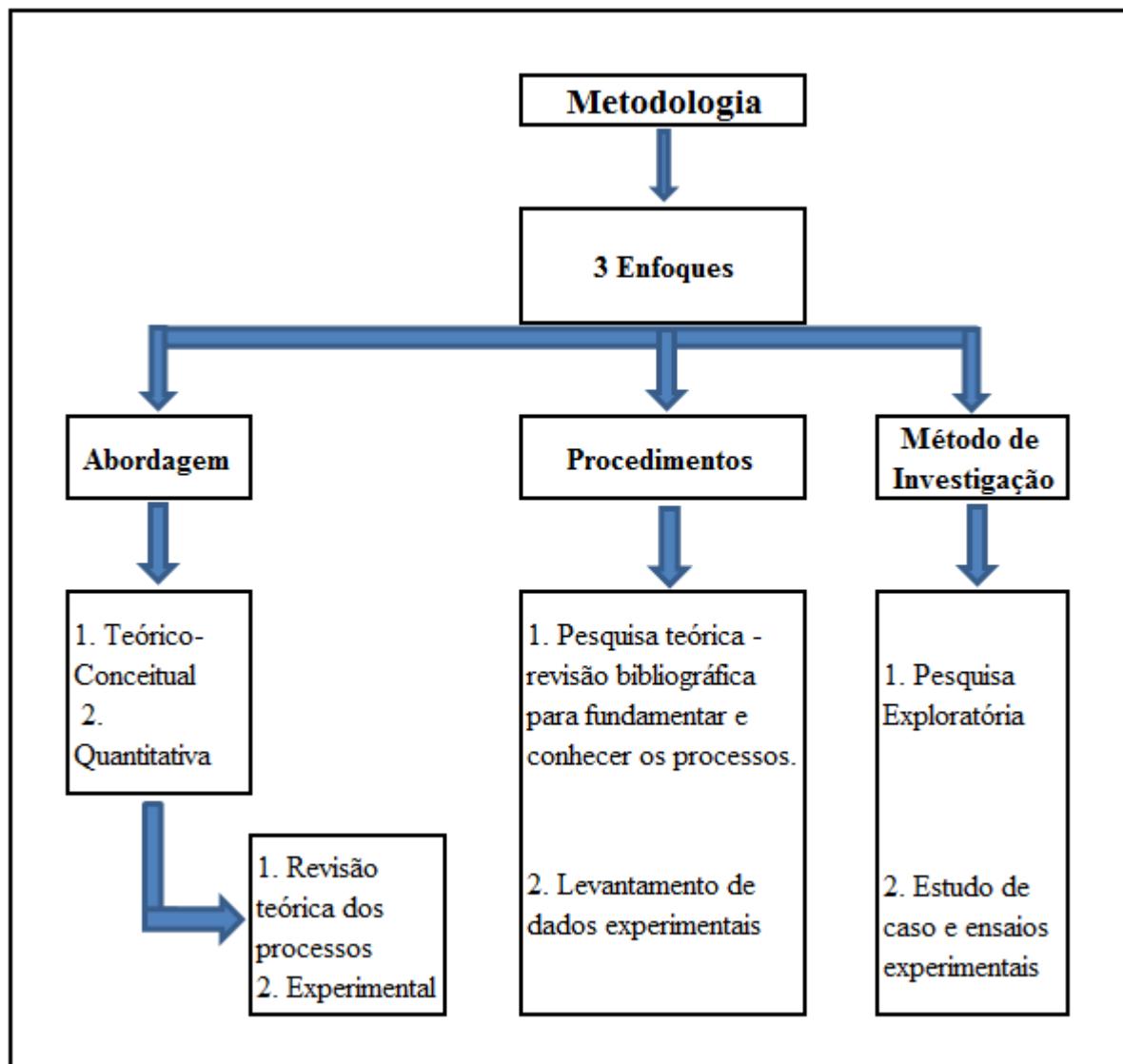


Figura 3 – Estrutura da metodologia.

Com relação à abordagem, a pesquisa apresenta uma parte teórico-conceitual, envolvendo a revisão teórica dos processos de reciclagem, mais especificamente de materiais poliméricos; e a parte referente à abordagem quantitativa envolve a experimentação necessária para identificar a viabilidade de utilização do material virgem com adição de material reciclado, em produtos de peças poliméricas da indústria automotiva.

No que se refere aos procedimentos utilizados na pesquisa, o primeiro passo é a pesquisa teórica, por meio de revisão bibliográfica, para fundamentar o conhecimento dos processos de reciclagem. Em seguida é feito um levantamento de dados experimentais, sobre o material virgem com adição de material reciclado e a matéria prima 100% virgem na empresa escolhida para a pesquisa.

E com relação aos métodos de investigação utilizados, o trabalho consistirá de uma pesquisa exploratória, com parte experimental e com um estudo de caso. Buscar-se-á aprofundar o conhecimento sobre ecoeficiência e sobre reciclagem, com o apoio de experimentações que qualifiquem as características do material virgem com adição de material reciclado.

### 1.5.1 Delineamento da Pesquisa

A figura 4 descreve o delineamento da pesquisa desenvolvida no presente trabalho. Nela são apresentados de forma esquemática a pesquisa bibliográfica feita para fundamentar o trabalho, a metodologia utilizada e a parte referente à efetiva realização da pesquisa.

No que se refere à pesquisa bibliográfica, foi realizada uma revisão teórica buscando demonstrar basicamente a necessidade das empresas de trabalharem com processos ecoeficientes.

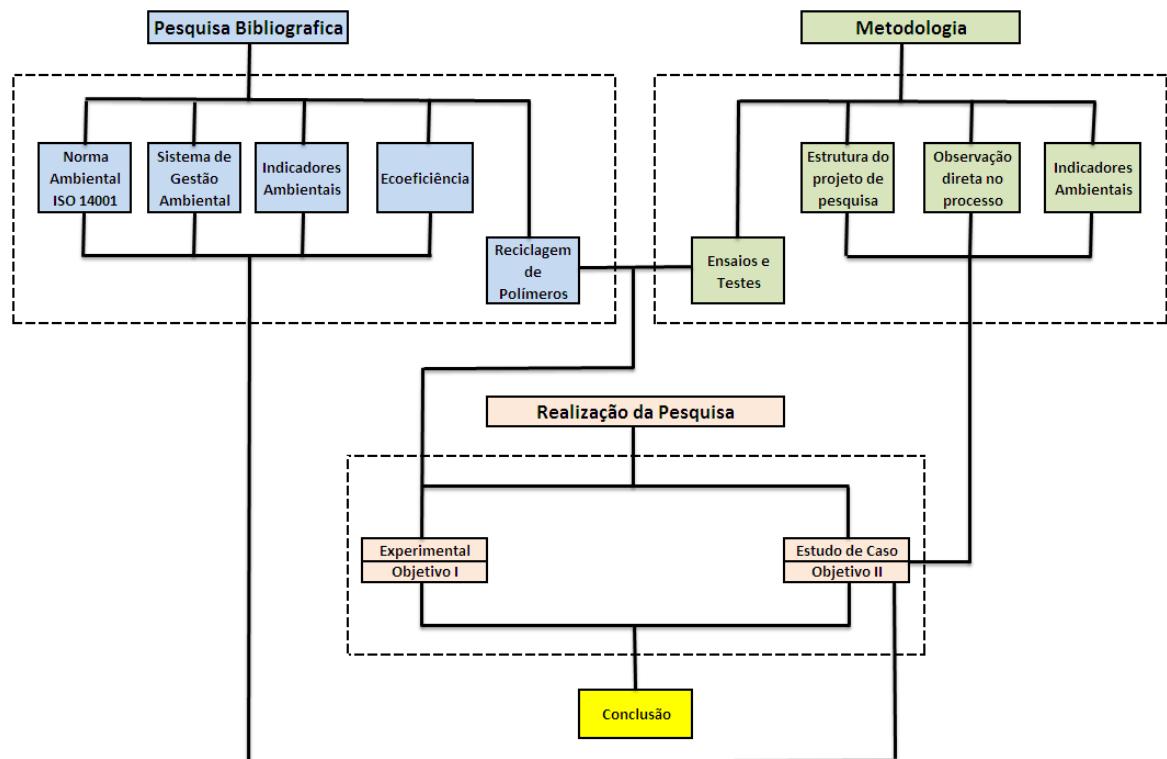


Figura 4 – Delineamento da pesquisa.

A parte referente à metodologia descreve as etapas da pesquisa que foram: a estruturação do projeto, a definição das ferramentas e métodos para a coleta de dados como os indicadores ambientais, os ensaios e testes realizados.

E na parte referente à efetiva realização da pesquisa, observa-se a divisão em uma parte experimental, que visou atender ao cumprimento do primeiro objetivo, e um estudo de caso, que visou atender ao segundo objetivo do trabalho.

Com isso consegue-se verificar a viabilidade de utilizar o material virgem com adição de material reciclado e analisar a evolução do nível de ecoeficiência em um determinado período, na área de injeção para o processo de reciclagem plástica. A partir dessa análise pode observar se o processo pesquisado é ecoeficiente e traz vantagens competitivas para a empresa.

## **1.6 Estrutura do Trabalho**

Esse trabalho de dissertação foi organizado e distribuído em cinco capítulos, conforme descrito abaixo:

Além do Capítulo 1 em que foram apresentados: a contextualização do tema da dissertação; o enfoque do problema e os objetivos; as justificativas e as contribuições da pesquisa; a delimitação e a relevância da pesquisa; e a descrição da metodologia de pesquisa adotada nesta dissertação, tem-se:

- O Capítulo 2, que apresenta a revisão da literatura necessária para a fundamentação do trabalho;
- O Capítulo 3, que visa descrever a metodologia aplicada nesse trabalho de dissertação;
- O Capítulo 4, que apresenta, de modo geral, a aplicação e os resultados da pesquisa, tanto no que se refere à parte experimental, como no que diz respeito ao estudo de caso tendo a ecoeficiência como enfoque. Também são feitas as devidas discussões para a verificação de consecução dos objetivos;
- O Capítulo 5, que apresenta a conclusão do trabalho e as propostas de trabalhos futuros decorrentes desta dissertação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na década de 1990 iniciou-se um trabalho com norma ambiental. Em junho de 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a *International Organization for Standardization* (ISO) apoiou o conceito de desenvolvimento sustentável e desenvolvimento de negócios. Na Conferência seguinte em Janeiro de 1993, a ISO formou uma comissão técnica internacional, que foi atribuída à responsabilidade para o desenvolvimento da série ISO 14000, padrão de gestão ambiental. Com isso o esforço cresceu rapidamente, e em setembro de 1994, cerca de 50 países estavam trabalhando no desenvolvimento de sistemas e ferramentas em seis áreas da gestão de meio ambiente (GIBSON; TIERNEY, 2011).

A ISO desenvolve normas de gestão que abordam questões ambientais nas organizações e, consequentemente com o crescimento da ISO 14000 inclui: sistemas de gestão de meio ambiente, indicadores de desempenho ambiental, avaliações do ciclo de vida, rótulos ecológicos, e projetos do produto. Um dos padrões mais utilizados é o sistema de gerenciamento ambiental (ISO 14001), que foi introduzido em 1996 e atualizado em 2004 (NAWROCKA et al., 2009). A partir desse fato, a ISO 14001:2004 seria o único padrão reconhecido pelo IAF - *International Accreditation Forum* (Forum de Acreditação Internacional) (PSOMAS et al., 2011).

A norma ISO 14001 para ser aceita, tinha que ser compatível com a norma ISO 9001. Assim, a estrutura e a filosofia da ISO 14001 são muito semelhantes às da ISO 9001. O número de certificados ISO 14001 em um país, tem uma relação direta com o número de certificados ISO 9001. Com as normas de certificação ISO 9001 e ISO 14001, ao longo dos anos há um número de empresas cada vez maior aderindo a essa prática. Os últimos dados oferecidos pela ISO, indicam que a partir de dezembro 2008, já existiam 176 países com empresas certificadas ISO 9001, e os número de certificados em todo o mundo foi, pelo menos, 982.832. Como a ISO 9001 e ISO 14001 também foram disseminadas em todo o mundo, os últimos dados disponíveis em dezembro de 2008, indicam que 188.815 certificados ISO 14001 já haviam sido emitidos, em um total de 155 países (PSOMAS et al., 2011).

Com relação ao desempenho organizacional o mesmo pode ser dividido em dois aspectos de desempenho: o ambiental e o de negócios. Desempenho ambiental refere-se ao desempenho da organização com relação a sua qualidade ambiental. Desempenho de negócios

leva em conta a responsabilidade da organização em relação aos seus acionistas e tem a maximização do lucro como seu objetivo principal (YANG et al., 2010).

A análise do desempenho ambiental no Sistema de Gestão Ambiental (SGA) pode ser realizada de várias formas. Uma delas é por meio da literatura que as organizações aplicam para atendimento das metas e objetivos propostos. Outra forma seria buscar um melhor desempenho ambiental correlacionando e adequando o SGA aos padrões estabelecidos pela ISO 14001 (NAWROCKA; PARKER, 2008).

As empresas que conseguiram reduzir seus resíduos internos por meio de métodos de produção enxuta, também aplicam boas práticas que podem melhorar continuamente a redução de resíduos dentro da organização, controlando e monitorando a eficiência dessas práticas utilizadas no Sistema de Gestão Ambiental. As partes interessadas (como por exemplo, clientes, acionistas, comunidade local e órgãos do governo) influenciam diretamente nas empresas para os processos de tomada de decisão e suas práticas estratégicas corporativas. A gestão ambiental abrange desde o desenvolvimento do produto até a entrega final e eliminação definitiva do produto. A ISO 14001 é um elemento essencial para o sistema de gestão do meio ambiente, para ajudar as empresas na avaliação, gestão, coordenação e monitoramento corporativo das atividades ambientais (YANG et al., 2010).

Assim o desempenho ambiental e/ou seu credenciamento, pode representar para uma empresa característica de nível de desempenho econômico. O desempenho financeiro pode influenciar na gestão ambiental, porque uma empresa com um bom desempenho financeiro pode alocar mais recursos para as iniciativas ambientais. Acreditação ISO 14001 é muitas vezes impulsionada pelo mercado e adotada pelas exigências dos clientes ou pelos concorrentes que já a possuem (HERAS-SAIZARBITORIA et al., 2010).

No contexto da gestão sustentável dos resíduos, as estratégias são decididas para atendimento dos três pilares da sustentabilidade: ambiental, economia e sociedade. Com base neste conceito, dois tipos de métodos foram desenvolvidos para apoiar a tomada de decisão na área de gestão de resíduos: análise custo-benefício e análise de eco-eficiência, derivadas de abordagens do ciclo de vida (ZHAO et al., 2011). A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma metodologia padrão para quantificar os impactos ambientais de qualquer sistema físico, e verifica o impacto ambiental de um produto durante seu ciclo de vida. Tipicamente, o ciclo de vida de qualquer produto começa com a aquisição de matérias-primas, seguido pela produção, utilização, manutenção e reciclagem e finalmente a eliminação do produto (KABIR et al., 2011).

Segundo Zhao et al. (2011) considerando-se os pilares econômicos e ambientais da sustentabilidade, a análise do custo-benefício atinge o bem-estar social, assumindo que os impactos ambientais podem ser avaliados como custos ou benefícios econômicos, sendo que o princípio da análise da ecoeficiência é criar valor econômico, enquanto reduz encargos ambientais.

De acordo com Nishida (2011), atualmente as empresas estão buscando a sustentabilidade, com destaque para o zero descarte. Com esses movimentos alguns termos estão sendo utilizados como: Carbono neutro, Renovação de recursos e a Utilização circulativa, sendo acompanhadas com palavras da química como: Reciclagem, que está caminhando para uma tecnologia sustentável.

Recente literatura de investimento evidência que a ecoeficiência tem valor relevante, mas é incorporada lentamente no preço das ações de uma empresa, e que o conceito de ecoeficiência empresarial reflete na governança ambiental de uma empresa, além de ser indicado pelo cumprimento da legislação ambiental e políticas de controle de poluição (NISHIDA, 2011).

## **2.1 Ecoeficiência**

Em linhas gerais, pode-se definir ecoeficiência como a criação de mais valor com menos uso de recursos ambientais, resultando em um menor impacto ambiental (GUENSTER et al., 2010). A ecoeficiência também pode ser considerada como a oferta de produtos e serviços a custos competitivos, para atendimento da satisfação dos clientes, reduzindo os impactos ambientais provocados pela fabricação e prevendo toda a utilização do ciclo de vida do produto, respeitando a capacidade dos recursos naturais existentes no planeta terra (PEDRINI et al., 2008).

Os gestores e acionistas estão mostrando maior interesse no conceito de Responsabilidade Social Corporativa das empresas. De acordo com Guenster et al. (2010) algumas das maiores administradoras de ativos institucionais, estão demonstrando publicamente seu compromisso de investir em empresas que são consideradas socialmente, moralmente e ambientalmente responsáveis. Além disso, várias organizações não-governamentais estão considerando a introdução de padrões de relatórios corporativos, projetados para acelerar a evolução deste tema. Por exemplo, uma emenda à Lei de Pensões

de 1995, do Reino Unido, criada em 2000, requer que os fundos de pensão, revelem como as organizações consideram as questões sociais e ambientais.

Apesar de uma maior aceitação das empresas referente aos princípios da responsabilidade social, existe um questionamento: se os gestores devem incorporar políticas de responsabilidade social da empresa em suas decisões estratégicas e táticas. Segundo Guenster et al. (2010) estudiosos como Fombrun et al. (2000), Porter e Linde (1995) e Spicer (1978), consideram que iniciativas de responsabilidade social corporativa podem levar a algumas vantagens: confiança dos investidores, recursos utilizados com mais eficiência e novas oportunidades de mercado.

Segundo Guenster et al. (2010) o desempenho ambiental das empresas é considerado um importante componente para o desenvolvimento do conceito de responsabilidade social e ambiental, sendo que essa aplicação serve como uma medida voltada para o futuro da empresa, colocando em destaque o desempenho financeiro que ganhou aceitação tanto na literatura como na prática.

Embora a avaliação da relação de desempenho financeiro baseie-se fortemente em dados qualitativos e de interpretação subjetiva, o impacto financeiro no ambiente industrial atualmente é avaliado de uma forma mais simples, especialmente agora que a lei pune negativamente o desempenho ambiental com sanções financeiras concretas (PEDRINI et al., 2008).

Com base nestas afirmações, o conceito da ecoeficiência empresarial reflete na administração ambiental da empresa, fundamentalmente indicado pelo cumprimento da legislação ambiental e das políticas de controle de poluição. Em termos gerais, pode-se definir ecoeficiência como a criação de mais valor com menos recursos ambientais, resultando em menor impacto ambiental (por exemplo, menos poluição ou esgotamento dos recursos naturais) (GUENSTER et al., 2010).

A visão tradicional sobre a relação do desempenho ambiental e desempenho econômico argumenta que a melhoria do desempenho ambiental aumenta os custos e reduz a produtividade. Assim, a hipótese tradicional assume que a melhoria do desempenho ambiental tem custo elevado e requer intervenção administrativa para aplicação das melhorias ambientais. Exceções a essa relação entre melhorias ambientais e custos com o argumento de que a poluição é uma forma de ineficiência econômica, a redução da poluição aumenta a eficiência produtiva com redução nos custos (GUENSTER et al., 2010).

Os gestores que apresentam um comportamento ecoeficiente, adotam métodos inovadores e criativos para produzir mais, com o mesmo nível de bens e serviços, reduzindo a degradação ambiental, o consumo de recursos e os custos. Os regulamentos adequadamente desenvolvidos e projetados trabalham de duas formas; primeiro, eles se concentram nos resultados ambientais e não sobre os meios para alcançar esses resultados; em segundo lugar, eles fornecem informações às empresas para melhorar e desencadear inovações que reduzam a poluição, reduzindo simultaneamente os custos ambientais (PEDRINI et al., 2008).

Ecoeficiência - em qualquer de suas formas de compreensão (ambiental e econômica) tem implicações significativas que interferem em um sistema de gestão e na contabilidade ambiental da organização. A contabilidade social e ambiental deve ter como objetivo a substituição da contabilidade convencional, porque as contabilidades atuais se baseiam em valores mais amplos do que o objetivo de maximização de lucros (GUENSTER et al., 2010).

Embora um dos objetivos da ecoeficiência seja desafiar a necessidade de uma revisão da contabilidade, ela também carrega a necessidade de modificações significativas nos padrões atuais econômicos da organização. Para apoio da ecoeficiência e da tomada de decisão pelos gestores, um sistema de gestão deve identificar e relatar dois tipos de informação: (1) informação física sobre a utilização e os fluxos de materiais, água, energia e resíduos, e (2) informações monetária relativa aos custos ambientais e ganhos envolvidos (GUENSTER et al., 2010).

As modificações significativas são necessárias para desenvolver um sistema de gestão adequado, os gestores necessitam de incentivo para desenvolver estes sistemas. A visão tradicional da relação entre o desempenho ambiental e desempenho econômico não oferece, nenhum incentivo para mudar o atual sistema de contabilidade. Entretanto, como a poluição é equivalente à ineficiência econômica e a hipótese de Porter, juntamente com suas reivindicações, relata que se a organização conseguir a redução da poluição irá ter um aumento de sua eficiência econômica e, como consequência, o valor da empresa aumentará (BURNETT R; HANSEN, 2007).

Além disso, se os investidores e credores estão convencidos de que a degradação ambiental é equivalente à ineficiência econômica, a procura de informação ambiental aumentaria a probabilidade das empresas desenvolver um sistema de avaliação da gestão ambiental. Consequentemente, a validação da ecoeficiência, se constitui como um forte incentivo para os gestores investir em um sistema de avaliação de gestão ambiental e informar

as partes interessadas influentes e relevantes a partir de relatórios e documentos ambientais (GUENSTER et al., 2010).

De acordo com Guenster et al. (2010) o que é necessário, então, é uma evidência convincente da validade da ecoeficiência. O apoio inicial empírico para ecoeficiência é sustentado por um sólido corpo de estudos de caso. Os estudos de caso têm um papel especialmente importante na pesquisa contábil, pois fornecem uma maneira de investigar os limites de um determinado processo e colaborar a estabelecer a importância de padrões dentro de uma organização. Os estudos de caso são úteis inicialmente para identificar e explorar a validade de relacionamentos hipotéticos e, portanto, servir como um precursor importante de entrada para outros tipos de testes empíricos.

Segundo Guenster et al. (2010) Porter e Linde reconhecem que dada à capacidade atual para capturar os verdadeiros custos e benefícios da regulamentação, a confiança em estudos de caso para examinar as questões ambientais são úteis.

De acordo com o conceito proposto pelo *WBCSD* (2000a) há uma metodologia de medição da ecoeficiência da organização de forma geral, dividindo o valor do produto ou serviço pela sua influência ambiental. Com isso conseguiria medir a ecoeficiência da empresa, ou seja, consideradas as variáveis ambientais, a ecoeficiência pode ser avaliada em uma empresa, respeitando a fundamental relação da equação que caracteriza a ecoeficiência:

$$\text{EE} = \frac{\text{Valor do Produto / Serviço}}{\text{Sua Influência Ambiental}} \quad (1)$$

EE – Valor da ecoeficiência

O *WBCSD* faz uma sugestão de utilizar como valor do produto o volume físico de produção da organização expressando em unidades ou massa (peças ou toneladas) ou seu equivalente econômico empregando o volume total de vendas (faturamento líquido). Para o caso do impacto ambiental da produção se faz a sugestão da adoção de medidas como a quantidade de emissões de gases do efeito estufa, o consumo de matérias primas (massa ou valor), o consumo da energia elétrica, o consumo de água, etc. (WBCSD, 2000a)

## 2.2 Indicadores de ecoeficiência

De acordo com Pedrini et al. (2008) os indicadores da ecoeficiência têm como característica mostrar a análise de unidades físicas de manufatura, permitindo a comparação dos processos de cada departamento, com informações levantadas a partir dos casos que estão em estudo. Segundo Herva et al. (2011) o valor de um indicador ambiental pode ser significativo em um estudo, quantificando informações e agregando os dados, que podem ser utilizados para ilustrar e comunicar fenômenos complexos de uma forma simples, controlando e monitorando as tendências e avanços do processo em um determinado período.

Analizando o conjunto de indicadores, consegue-se uma avaliação efetiva do coeficiente da ecoeficiência de um sistema, ressaltando a tomada de decisão das organizações que procuram escolher os indicadores que melhor ajustam ao seu processo. Para as informações dos indicadores de ecoeficiência agregarem ao sistema com ações efetivas, os indicadores devem ser incorporados aos documentos ambientais da empresa e fazer parte das finanças (exemplo: consumo de energia por quantidade de peça produzida).

De acordo com Herva et al. (2011) do ponto de vista da sustentabilidade, os indicadores devem fornecer informações sobre as principais características, que afetam direta ou indiretamente os produtos e processos, como:

- \* A utilização da energia por unidade de valor econômico agregado;
- \* Intensidade e tipo de energia utilizada (renovável ou não-renovável);
- \* Uso de materiais (ou esgotamento de recursos naturais);
- \* Uso de água doce;
- \* Resíduos e poluentes de produção;
- \* Impacto ambiental decorrente do produto, processo ou serviço;
- \* Avaliação do risco global para a saúde humana e o meio ambiente.

Segundo Herva et al. (2011) os indicadores operacionais utilizados podem ser classificados, conforme a ISO 14031, levando em consideração o tipo de medida quantitativa, para que o seu cálculo seja confiável, em:

- \* indicadores diretos (dados básicos, informação ou peso, por exemplo total dos resíduos produzidos);

- \* os indicadores relativos (dados ou informações em comparação relativa a outro parâmetro, condições de produção, tempo ou localização);
- \* indicadores de combustível (por exemplo, consumo / km);
- \* indexado (dados que descrevem informações convertidas em unidades ou forma que se relaciona as informações para um padrão escolhido, por exemplo, número de não conformidades).

A utilização de indicadores relativos e indexados ao invés de ser aplicado diretamente no Sistema de Gestão Ambiental pode mostrar uma visão mais ampla, pelas empresas certificadas para a avaliação e acompanhamento do seu desempenho ambiental (COMOGLIO; BOTTA, 2011).

De acordo com Petrosillo et al. (2011) a identificação de indicadores apropriados é importante. Para este efeito, uma boa referência é o padrão internacional ISO 14031, que dá orientações sobre a concepção e uso de indicadores adequados para os Sistemas de Gestão Ambiental. Esta norma classifica indicadores ambientais em três categorias principais: Indicadores de Condições Ambientais, Gestão de Desempenho de Indicadores e Indicadores de Desempenho Operacional. Recentemente, a importância de Indicadores de Desempenho Operacional no Sistema de Gestão Ambiental, pede a todas as organizações registros, para monitorar o relatório anual no núcleo de alguns indicadores como a seguir:

- (I1) o total de consumo de energia anual (em MWh ou GJ);
- (I2) o total de percentual do consumo de energia anual (de eletricidade e aquecimento), produzido pela organização a partir de fontes renováveis de energia;
- (I3) fluxo anual de massa de diferentes materiais utilizados (excluindo vetores de energia e água) (em toneladas);
- (I4) o total de consumo de água anual (em m<sup>3</sup>);
- (I5) o total de produção anual de resíduos (em toneladas);
- (I6) o total de produção anual de resíduos perigosos (em quilogramas ou de toneladas);
- (I7) uso da terra (em m<sup>2</sup> de área construída);

(I8) o total de emissões anuais de gases de efeito estufa, incluindo pelo menos as emissões dos seguintes poluentes: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs e SF<sub>6</sub> (em equivalente tonelada de CO<sub>2</sub>);

(I9) poluição do ar anual total, incluindo pelo menos as emissões de SO<sub>2</sub> e NOx (em quilogramas ou toneladas).

A fim de assegurar a confiabilidade da análise comparativa das informações de diferentes relatórios, períodos e organizações, o sistema de gestão ambiental exige que as organizações industriais referem-se a um indicador principal, que pode ser:

\* O valor total anual bruto ou total anual de volume de negócios agregado;

\* Ou total anual de produção (em toneladas), levando em consideração número de empregados.

Lembrando que existe outros setores, como as autoridades locais, em meio que os principais indicadores têm que estar relacionado apenas ao número de empregados ou o número de habitantes (PETROSILLO et al., 2011).

O WBCSD (2000b) recomenda que os indicadores de ecoeficiência façam parte do sistema integrado de gestão, sendo divulgados no interior da organização. Para acontecer à melhoria do desempenho ambiental na organização os indicadores devem estar ligados diretamente com os aspectos ambientais. Com o intuito de flexibilizar a comunicação dentro das organizações o WBCSD (2000b) definiu dois tipos de indicadores, que são os genéricos e os específicos de negócios.

Segundo o WBCSD (2000b) os indicadores genéricos atendem alguns requisitos como:

- a) o indicador de desempenho está relacionado ao aspecto ambiental global ou valor global para negócios da organização;
- b) para maioria dos negócios o indicador é relevante e significativo;
- c) estão estabelecidos os métodos de medição e de forma global as definições são aceitas.

Os indicadores que não se enquadram nesses três critérios, são considerados indicadores específicos de negócio que atuam diretamente as peculiaridades que envolvem os negócios da organização.

Afirma o WBCSD (2000b) que não são todos os indicadores que podem ser aplicados a todas as organizações, cada uma deve estabelecer seus indicadores de forma específica. Para selecionar os indicadores específicos de negócios é recomendada a utilização

da norma ISO 14031 para avaliação do desempenho ambiental, que para esta norma o indicador tem importância relevante para a medição da ecoeficiência.

Para o *WBCSD* (2000b) a seleção de indicadores de valor depende da forma que os indicadores de desempenho da ecoeficiência serão utilizados pelos gestores tomarem as decisões. Exemplos, em uma determinada área produtiva os engenheiros estão pensando em medir a ecoeficiência por volume de massa; para a área financeira os técnicos podem fazer por volume de vendas, para análise econômica. O *WBCSD* (2000b) para selecionar indicadores contabilísticos recomenda que as organizações utilizem métodos reconhecidos. Os indicadores de valor têm como objetivo principal fazer a medição da função que um determinado produto ou serviço providenciará ao seu usuário final. Em sua maioria relaciona os aspectos ambientais do produto com o valor proporcionado, que gera a expressão da ecoeficiência.

Entretanto o *WBCSD* (2000b) informa sobre as limitações que pertencem a este tipo de abordagem, como:

- a) quantificar de forma clara a função de um determinado produto (por exemplo: como quantificar o valor funcional de um determinado cosmético?);
- b) produtos que assumem funções múltiplas (por exemplo: um produto como o papel toalha que serve para diversas utilizações no lar);
- c) fatores secundários de valor para o usuário (por exemplo: o conforto, não é fácil quantificar esta característica em uma determinada análise);
- d) é importante para o reconhecimento das estimativas da ecoeficiência, que produtos com diferentes funções não podem ser agregados;

No período de desenvolvimento desse conceito, o *WBCSD* (2000b) atendendo os três critérios descritos anteriormente foi estabelecido indicadores genéricos, que podem ser utilizados por todas as organizações. Para os indicadores de desempenho de valor do produto ou serviço são utilizados:

- a) quantidade de produtos que foram produzidos ou serviços que foram prestados aos clientes;
- b) o fator de vendas líquidas da organização.

Para o caso da influência ambiental no período de desenvolvimento do produto ou serviço a proposta é:

- a) consumo de água;
- b) consumo de energia;
- c) consumo de materiais;

- d) emissões de SDCO (substâncias deterioradoras da camada de ozônio);
- e) emissões de GEE (gases do efeito estufa).

Para o *WBCSD* (2000b) somente os indicadores genéricos não podem representar o desempenho da ecoeficiência da organização. Posto isso os indicadores genéricos devem ser associados aos indicadores específicos do negócio e também à índices de ecoeficiência para os gestores conseguir determinar e avaliar o perfil do desempenho ambiental e econômico da organização.

De acordo com o *WBCSD* (2000b) os indicadores de desempenho da ecoeficiência são baseados em oito princípios:

- 1) serem relevantes e significativos para a proteção do meio ambiente, com uma contribuição direta na melhoria da qualidade de vida;
- 2) ter o reconhecimento da diversidade para cada negócio;
- 3) serem claros, transparentes, verificáveis e mensuráveis;
- 4) serem significativos e compreensíveis para as partes de interesse;
- 5) considerar questões relevantes e significativas para as atividades da organização;
- 6) prover informações para os órgãos de decisão, com o intuito de obter melhorias no desempenho da organização;
- 7) considerar análises e avaliações das atividades da empresa, produtos e serviço, nas áreas que há controle realizado diretamente pela gestão;
- 8) apoio ao benchmarking verificando a evolução.

Nas Tabelas 1 e 2 mostra exemplos de indicadores de desempenho baseados no valor do produto e serviço e também para a influência ambiental.

Tabela 1 - Lista de aspectos e exemplos de indicadores (valor do produto/ serviço). Fonte: WBCSD (2000b)

CATEGORIA	ASPECTOS	INDICADORES
Valor do produto / serviço	Volume	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unidades vendidas;</li> <li>- número de colaboradores;</li> <li>- espaço;</li> <li>- unidade estatística;</li> </ul>
	Massa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- quantidade vendida (kg)</li> <li>- quantidade produzida (kg)</li> </ul>
	Monetário	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vendas líquidas / volume de vendas;</li> <li>- margem líquida;</li> <li>- resultados líquidos;</li> <li>- valor por ação;</li> <li>- obrigações (custos dos seguros);</li> <li>- reservas / provisões;</li> <li>- investimentos e desinvestimentos;</li> <li>- custos (produção, energia, etc.);</li> </ul>
	Função	<ul style="list-style-type: none"> <li>- desempenho do produto;</li> <li>- serviços prestados;</li> <li>- produção agrícola;</li> <li>- eficiácia agrícola;</li> <li>- durabilidade / tempo de vida do produto;</li> <li>- capacidade de transporte;</li> </ul>
	Outras informações relevantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- preço do produto;</li> <li>- quota de mercado;</li> <li>- margens;</li> <li>- mix do mercado;</li> </ul>

Tabela 2 - Lista de aspectos e exemplos de indicadores (influência ambiental). Fonte: WBCSD (2000b)

CATEGORIA	ASPECTOS	INDICADORES
Influência Ambiental	Consumo de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gigajoules consumidos;</li> <li>- tipo de combustível fóssil;</li> <li>- fontes;</li> <li>- emissões;</li> </ul>
	Consumo de materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- toneladas consumidas;</li> <li>- tipo (matérias-primas);</li> <li>- fontes (renováveis, reciclados, etc.);</li> <li>- características (algum risco ambiental);</li> </ul>
	Consumo de recursos naturais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- toneladas consumidas;</li> <li>- fontes;</li> <li>- utilização do solo;</li> <li>- água utilizada fora do processo;</li> </ul>
	Produção de rejeito	<ul style="list-style-type: none"> <li>- antes do tratamento;</li> <li>- técnica de tratamento;</li> <li>- descarga para o solo ou água;</li> <li>- emissões gasosas;</li> <li>- descargas de metais pesados;</li> <li>- descargas de poluentes;</li> <li>- descargas tóxicas;</li> </ul>
	Acontecimentos imprevistos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- descargas accidentais;</li> </ul>
	Produto / serviço	<ul style="list-style-type: none"> <li>- características (reciclagem, reutilização, etc.);</li> </ul>
	Resíduos de embalagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- toneladas vendidas;</li> <li>- fontes;</li> </ul>
	Emissões durante a utilização e a eliminação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- emissões para o solo, água e ar do uso e eliminação;</li> </ul>

## 2.3 Sistema de Gestão Ambiental (SGA)

As práticas e iniciativas ambientais envolvem custos, que podem ter benefícios financeiros (HERAS-SAIZARBITORIA et al., 2010). Como pode ser visto há muitas partes interessadas nos sistemas de gestão ambiental, portanto são concebíveis expectativas diferentes quanto ao resultado dos esforços da gestão ambiental. De acordo com a norma ISO 14001, o resultado do SGA é um desempenho ambiental definido como resultados mensuráveis da gestão de uma organização nos aspectos do meio ambiente. As interpretações podem variar em relação ao especificado, dependendo da percepção do SGA e documentos da organização. É plausível supor que a implantação do sistema pode ter um desempenho ambiental diferente do que é implantado normalmente, essas diferenças de características do SGA, certamente podem afetar o comportamento do desempenho ambiental (NAWROCKA; PARKER, 2008).

Os padrões externos como ISO 14001 em geral, exigem que sejam estabelecidas metas ambientais, mas não definem quais e como devem atingir as metas, assim o nível de ambição pode variar substancialmente para cada organização. Com as pesquisas de mercado observa-se que os benefícios de um SGA variam como um reforço de inovação, lealdade com o cliente e a prevenção da legislação ambiental, buscando a melhoria da imagem das organizações, minimização do risco ao impacto, certeza da conformidade legal e a transformação ecológica das organizações (NAWROCKA; PARKER, 2008).

A conexão entre o desempenho ambiental com SGA pode ser verificado de várias maneiras. Uma delas é através de literaturas que as organizações estão aplicando referentes a termos como expectativas e benefícios. Por causa das várias maneiras de realizar o desempenho ambiental de uma organização, é que este tipo de estudo tem um cenário mais fácil de conceber as suas características específicas a cada organização avaliada. Outra forma seria buscar a correlação entre a existência de um SGA, aprimorado por um desempenho ambiental adequado e respeitando os padrões externos como a ISO 14001. Essa situação tem exemplos como a redução de resíduos em uma organização, mesmo trazendo incertezas sobre a correlação de ambas, pode significar que o controle e monitoramento do desempenho, conseguem gerar dados que proporcione a minimização da geração de resíduos, mas não necessariamente pode ser atribuído esse efeito ao SGA. O mesmo acontece quando empresas mostram um melhor desempenho após implementar um SGA no lugar, isso não confirma que a melhoria foi causada exclusivamente pelo SGA, sendo plausível que a melhoria foi

conquistada adquirida pela influência de outros fatores que ajudaram para obter um melhor desempenho (NAWROCKA; PARKER, 2008).

Muitas empresas estão introduzindo o sistema de gestão ambiental, que é o primeiro passo para o controle ambiental da organização. Com os requisitos da norma ISO 14001 as empresas têm implantado o sistema, que devem cuidar de seus aspectos ambientais significativos. Os aspectos ambientais são manchetes para o ambiente interno de trabalho, uma vez que a empresa implementa um sistema como a ISO 14001, apesar de não haver garantia de que com a seleção dos aspectos irá refletir perfeitamente a carga ambiental específica da empresa. As exigências normativas e os fatores que influenciam no meio ambiente, devem ser compreendidos pela organização sendo internos ou externos. Estes fatores incluem a compreensão de operações na empresa em um contexto mais amplo, como o nível de ambição para o trabalho ambiental em questão e as possibilidades financeiras, compreendendo os resultados do SGA, tais como desempenho ambiental, determinado pelo escopo inicial do SGA.

Em linhas gerais pode haver motivos para avaliar métodos de gestão previstos nos sistemas, para comparação em outras abordagens. O nível de influência da estrutura sobre o desempenho é bastante dependente da característica de uma determinada empresa, incluindo seus ativos intangíveis, tais como cultura, valores e ambiente competitivo. Os ambientes que operam os sistemas de gestão variam em termos de governo corporativo, cultura, ambiente legislativo e muitos outros fatores, incluindo o ambiente natural. A interpretação de um padrão e o entendimento interno de cada empresa cria fortes razões do pressuposto, de que os resultados de um SGA são contextos considerados dependentes (NAWROCKA; PARKER, 2008).

As empresas que conseguiram reduzir seus resíduos internos através de métodos de produção enxuta, também implementam práticas para uma melhor gestão ambiental. Tais práticas podem expandir os esforços realizados para redução de resíduo que é visto no escopo do sistema e a eficiência dentro da organização. As partes interessadas (como por exemplo, clientes, acionistas, comunidade local e órgãos do governo) influenciam diretamente nas empresas para os processos de tomada de decisão e suas práticas estratégicas corporativas. A gestão ambiental abrange desde o desenvolvimento do produto até a entrega final e eliminação definitiva do produto. A ISO 14001 é um elemento essencial para o sistema de gestão do meio ambiente, para ajudar as empresas na avaliação, gestão, coordenação e monitoramento corporativo das atividades ambientais (YANG et al., 2010).

Com relação ao desempenho organizacional o mesmo pode ser dividido em dois aspectos de desempenho: o ambiental e o de negócios. Desempenho ambiental refere-se ao desempenho da organização com relação a sua qualidade ambiental. Desempenho de negócios leva em conta a responsabilidade da organização em relação aos seus acionistas e tem a maximização do lucro como seu objetivo principal (YANG et al., 2010).

## 2.4 Reciclagem

A reciclagem é uma etapa importante para o pós-uso de qualquer produto. O termo reciclável quer dizer que o material utilizado em um produto, após ter terminado seu período de utilização, pode ser reprocessado, entrar novamente no ciclo dos materiais e ser recolocado em outro produto, processo pelo qual pode ser repetido inúmeras vezes, conforme Callister (2007). De acordo com Fernandes e Domingues (2007) a reciclagem é essencial para o reprocessamento dos materiais utilizados de um automóvel, no seu ciclo de vida. As empresas do segmento automotivo estão interessadas nessa atividade para redução dos custos na aquisição de matéria prima e pela correlação direta com o meio ambiente.

Para reciclar um material plástico, se tem quatro categorias que podem ser classificadas como: primária, secundária, terciária e quaternária, conforme Tabela 3.

- A reciclagem primária ou mecânica (com material pós-fabricado) é aquela que transforma os resíduos plásticos industriais em produtos similares aos originais, utilizando os mesmos métodos de fabricação dos produtos feitos com o material virgem (AL-SALEM et al., 2009).
- A reciclagem secundária ou mecânica (com material pós-consumo) é aquela que transforma os resíduos poliméricos oriundos de resíduos sólidos urbanos, por meio de um processo ou um conjunto de processos de fabricação do produto, que possui um grau de exigência inferior ao produto fabricado com o material virgem (KUMAR et al., 2011).
- A reciclagem terciária ou química é aquela que a partir de resíduos plásticos, utilizando um processo tecnológico de produção adequado, produzem combustíveis ou produtos químicos (FERNANDES; DOMINGUES, 2007).

- A reciclagem quaternária ou energética é aquela que se dá por meio de um processo tecnológico de recuperação de algumas características do plástico como: a energia, que é realizada por incineração dos materiais plásticos de forma controlada (VILAPLANA et al., 2008).

Tabela 3 – Nome padrão para processos de reciclagem plástica.

Definição	Tipo de Reciclagem
<b>Reciclagem primária</b>	Reciclagem mecânica
<b>Reciclagem secundária</b>	Reciclagem mecânica
<b>Reciclagem terciária</b>	Reciclagem química (Reciclagem de matéria-prima)
<b>Reciclagem quaternária</b>	Incineração (Recuperação de energia)

Fonte: Goodship et al. (2007).

#### 2.4.1 Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica, que tem sido estudada por diversos pesquisadores como Goodship (2007), Vilaplana et al. (2008), Al-Salem et al. (2009), Kao et al. (2011) e Kumar et al. (2011), pode ser realizada por meio de um reprocessamento, sendo ele por injeção, extrusão, moldagem por compressão e outros. Para dar continuidade ao reprocessamento, há algumas etapas que devem ser seguidas como:

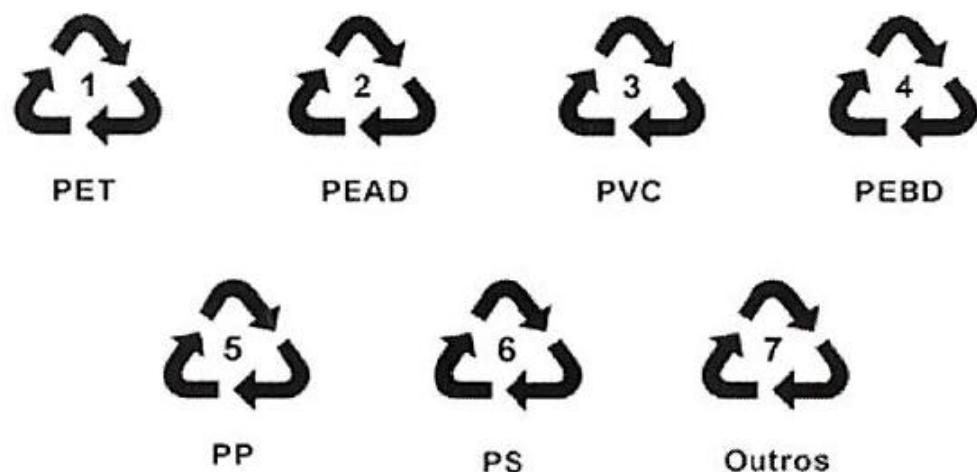
- separação do resíduo plástico;
- moagem;
- lavagem;
- secagem;
- reprocessamento;
- produto acabado.

Para se ter uma boa reciclagem essas etapas dependem da qualidade dos recursos utilizados como: a procedência do tipo do plástico, equipamentos utilizados e outros.

Havendo um melhor controle e monitoramento desses recursos, consegue-se agir de forma preventiva, a fim de evitar variações que influenciam nesse processo. Atualmente as empresas estão trabalhando para produzir produtos acabados a partir do material reciclado, com boa qualidade e menor custo, conseguindo minimizar a extração de recursos naturais, a fim de obter produtos com propriedades mecânicas e químicas similares ao original (material virgem) (VILAPLANA et al., 2008).

A etapa de separação do resíduo plástico é importante, devido a conseguir limitar as impurezas e contaminantes, que podem estar intrínsecos ao material reciclado como: metal, papel, vidro e outros plásticos, que mesmo em pequenas quantidades alteram as propriedades do material reciclado. A separação do plástico pode ser realizada de duas formas: manual e automatizada (GOODSHIP, 2007).

Segundo Fernandes e Domingues (2007), devido às empresas brasileiras do segmento de reciclagem serem de pequeno porte e terem mão de obra de baixo custo, a forma de separação mais utilizada é a manual. Este tipo de separação pode ser realizado por diversas formas como: identificação da simbologia (conforme Figura 5) ou simples ensaios, destacando-se o odor dos gases liberados pela queima, aparência da chama e a temperatura de fusão.



PET = Poli(terefthalato de etileno), PEAD = Polietileno de alta densidade,  
 PVC = Poli(cloreto de vinila), PEBD = Polietileno de baixa densidade,  
 PP = Polipropileno, PS = Poliestireno

Figura 5 - Símbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) Fonte: Fernandes e Domingues, 2007

Na separação automatizada dos polímeros, o método por diferença de densidade também é aplicado pelas empresas de reciclagem, utilizando tanques com soluções químicas e/ou água, separando misturas de materiais poliméricos por meio de diferença de densidade, conforme Figura 6. Esse processo é utilizado para os materiais como: PE (polietileno), PP (Polipropileno), PS (Poliestireno), PVC (Poli(cloreto de vinila)) e o PET (Poli(tereftalato de etileno)), realizados com tanques de flotação ou hidrociclos. Uma das desvantagens desse processo ocorre quando dois ou mais materiais têm densidades próximas, dificultando a aplicação desse método (FERNANDES; DOMINGUES, 2007).

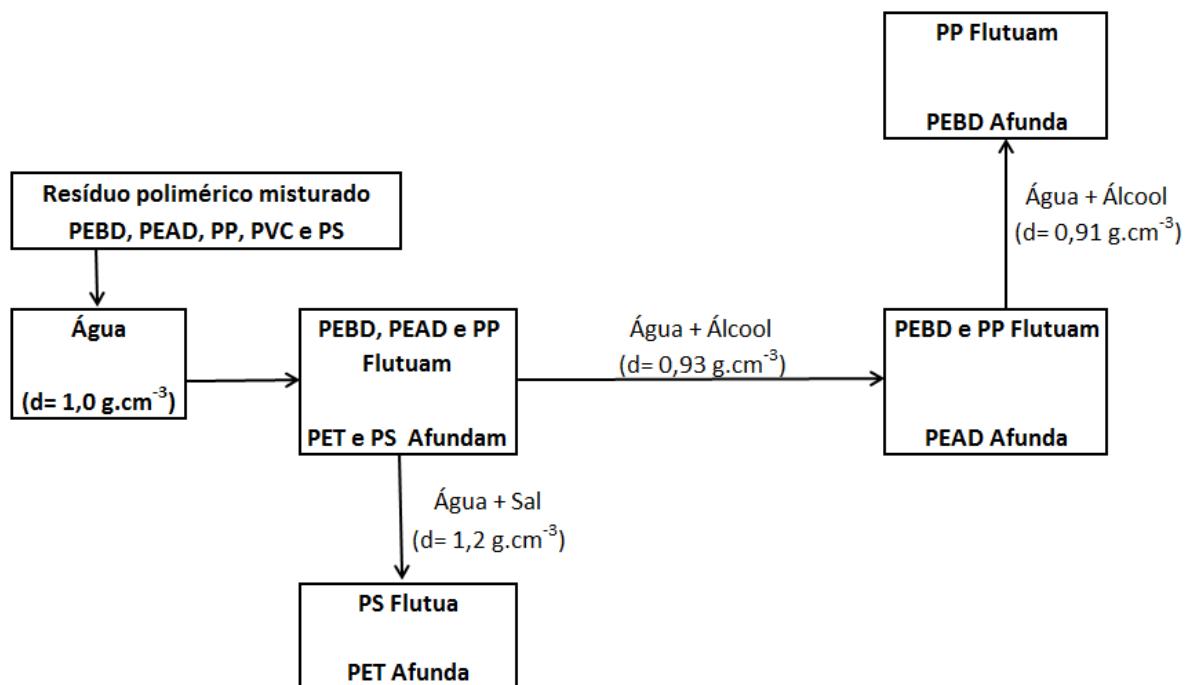


Figura 6 - Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade. Fonte: Fernandes e Domingues (2007).

Na etapa da moagem, os resíduos de materiais poliméricos podem ser moídos utilizando moinhos de peneiras ou de facas rotativas, sendo utilizados no processo antes do processamento do material para fundição. Uma característica importante é a dimensão do material moído, que deve ser uniforme, para ter um comportamento similar no processo de fusão do material. No sistema de moagem deve-se ter atenção com a geração de pó, porque essa característica influencia de maneira negativa no processo de fusão do material, fundindo de forma antecipada e alterando a fluidez do material no processo de injeção, conforme Kumar et al. (2011). Em alguns processos são utilizadas somente as etapas de separação de resíduos manualmente e a moagem, em seguida o material é recolocado novamente para o

reprocessamento em uma máquina injetora ou extrusora para a fabricação de novos produtos (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

Após a etapa de moagem o polímero é lavado em tanques com água ou solução detergente com aquecimento, removendo os resíduos da solução e reutilizando a água do processo (FERNANDES; DOMINGUES, 2007).

A secagem é uma etapa importante para dar continuidade ao processo de reciclagem, porém deve-se observar o fato de alguns materiais serem higroscópicos (que absorvem água), como: poliamidas e poliésteres. Nesse caso pode ocorrer uma hidrólise no processamento e com a utilização da solução detergente, esse resíduo pode servir como catalisador para a reação. Com isso esse processo pode ser realizado de duas formas como: mecânico e/ou térmico (KUMAR et al., 2011).

De acordo com Fernandes e Domingues (2007) após a etapa de secagem do material plástico, este pode ser novamente formulado, com aditivos como: plastificantes, antioxidantes, cargas de reforço e outros, conforme as necessidades e exigências da aplicação do produto final. Geralmente para o polímero reciclado, os procedimentos utilizados para aplicação desses aditivos são os mesmos utilizados para polímero virgem. Outro procedimento utilizado é a mistura do material reciclado ao material virgem, tanto na aplicação dos aditivos como o material reciclado adicionados no material virgem, são métodos utilizados com o propósito de aumentar as propriedades mecânica e química do material virgem com adição de material reciclado.

E para finalizar o processo de reciclagem mecânica, após o polímero ter passado por essas etapas anteriores, pode ser reprocessado para a fabricação de novos produtos (KAO et al., 2011).

#### **2.4.2 Reciclagem química**

A reciclagem química tem sido estudada por diversos pesquisadores como, Goodship (2007), Al-Salem et al. (2009), Aguado et al. (2011) e Kumar et al. (2011), sendo um termo usado para se referir ao avanço dos processos tecnológicos, no que se refere a transformação dos materiais plásticos em moléculas menores, produzindo materiais líquidos ou gases, utilizados como matéria-prima para a produção de produtos petroquímicos e plásticos. Os

produtos oriundos da reciclagem química têm provado ser úteis como combustível. Um dos pontos principais da tecnologia de reciclagem química é a despolimerização, processo que pode resultar em uma indústria com regime rentável e sustentável, proporcionando um bom rendimento do produto com mínimo desperdício.

Segundo Fernandes e Domingues (2007) a reciclagem química ocorre por meio de despolimerização do material ou produto, que está sendo submetido ao processo de reciclagem, podem ser utilizados alguns métodos como:

- Solvólise: é utilizada uma reação química entre substâncias dissolvidas e moléculas do solvente para formar novas substâncias, como a hidrólise em que o solvente é a água. Este procedimento é mais utilizado para polímeros como: poliésteres, poliuretanos e poliamidas;
- Alcoólise ou metanólise: é tratar o material polimérico com uma quantidade de metanol em excesso. A tolerância de impurezas é inferior a 10%, considerado um fator de vantagem comparado ao de reprocessamento, que o limite de impurezas deve ser inferior a 1% (KUMAR et al., 2011).
- Térmicos: Por meio de pirólise à baixa e alta temperatura que é um tipo de reação química de decomposição na qual o calor decompõe um determinado material, transformando-o em dois ou mais produtos e a gaseificação que transforma os combustíveis sólidos em gás de síntese, utilizado para a fabricação de polímeros. Este método é mais utilizado para polímeros como: poliolefinas (AL-SALEM et al., 2009).

#### **2.4.3 Reciclagem energética**

De acordo com pesquisadores como, Goodship (2007), Vilaplana et al. (2008), Al-Salem et al. (2009), Aguado et al. (2011) e Kumar et al. (2011) por definição, a recuperação de energia implica na queima de resíduos pela forma de calor, vapor e eletricidade para a produção de energia sob a forma de calor, vapor e eletricidade. Os materiais plásticos possuem um alto poder calorífico (quando queimado), principalmente quando se considera que são derivados do petróleo bruto.

As preocupações ambientais estão associadas principalmente pela emissão de determinados poluentes atmosféricos, devido o processo de incineração, como o CO<sub>2</sub>. A combustão dos resíduos também é conhecida para gerar compostos orgânicos voláteis, fumaça (material particulado) e ligados a partículas de metais pesados, hidrocarbonetos aromáticos. Substâncias cancerígenas foram identificadas em partículas no ar, no processo de incineração ou combustão de polímeros sintéticos, tais como PVC, PET, PS e PE, que captura e remove gases de combustão térmica (em geral) e de processos de combustão é uma questão importante tratada por:

- \* adição de amoníaco para a câmara de combustão;
- \* arrefecimento do gás de combustão;
- \* a neutralização do ácido;
- \* a adição de carvão ativado;
- \* filtração.

Na reciclagem energética a reutilização do polímero reciclado, é possível fazer o uso energético a partir do processo de incineração. Entretanto a característica de energia dos polímeros é alta, maior que os outros materiais. Para exemplificar, o valor calórico de 1 kg de resíduo plástico é equivalente 1 litro de óleo combustível, sendo que esse valor energético é maior do que o carvão (FERNANDES; DOMINGUES, 2007).

## 2.5 Reciclagem polimérica

Segundo Vilaplana et al. (2008) os materiais poliméricos que já foram processados podem ser reutilizados como novos recursos de fabricação, por meio do processo de reciclagem, com uma performance similar ao material virgem, que esse por sua vez é extraído a partir de recursos como, o petróleo. A proposta é alcançar produtos com material virgem com adição de material reciclado de qualidade, que consequentemente deve ter desempenho satisfatório e competitivo para o mercado.

Para garantir o desempenho em novas aplicações, o material virgem com adição de material reciclado deve ser submetido a testes e ensaios de qualificação, para análise e avaliação das características térmicas, físicas e mecânicas, verificando sua conformidade junta

ás especificações técnicas. Com isso diferentes estratégias são utilizadas para o reprocessamento. Um exemplo é reforçar a estrutura do material, aplicando aditivos como, elastômeros, cargas minerais, fibra de vidro, etc (GOODSHIP et al., 2007).

De acordo com Goodship (2007) para compreender a reciclagem do material plástico é necessário saber como é o seu comportamento, devido ser produzido na base de polímeros e aditivos, dependendo da aplicação que se destina esse material.

A classificação do polímero pode ser natural ou sintética. Na presente pesquisa será dada ênfase aos polímeros sintéticos, que são os plásticos, as borrachas e fibras que podem ser produzidos a baixo custo, com propriedades superiores aos naturais e substituir outros materiais como metálicos e madeira. Os polímeros são de origem orgânica composta por hidrocarbonetos (hidrogênios e carbonos), formando as macromoléculas caracterizadas pelo seu tamanho, estrutura química e ligações intramoleculares que são covalentes, que vão se repetindo ao longo de sua cadeia (CALLISTER, 2007).

Quanto à classificação dos polímeros, podem ser termoplásticos ou termofixos; para este trabalho será estudado o termoplástico. Os termoplásticos amolecem quando aquecidos e endurecem quando resfriados; esses processos são reversíveis, podendo ser repetidos, pois a maioria dos polímeros lineares possui estruturas ramificadas com cadeias flexíveis, fabricados em uma aplicação de calor e pressão. No entanto, à medida que esse processo de reaquecimento ocorre, poderá haver uma deterioração das suas propriedades térmicas, físicas e mecânicas. Quando o termoplástico é submetido a uma temperatura excessiva a degradação do material é irreversível. Exemplos de polímeros termoplásticos são: polietileno e poliamida (CALLISTER, 2007).

A necessidade da reciclagem parte desde o ínicio da produção de polímeros em escala industrial na década de 1940. A partir de então o consumo e a taxa de desperdício de geração de resíduos sólidos plásticos, tem aumentado consideravelmente. Assim a reciclagem tem sido um foco de muitos pesquisadores nas últimas décadas (AL-SALEM et al., 2009).

Com a sistemática de zero descarte e sustentabilidade, foram criados alguns termos como o "Carbono neutro ", " Renovação de recursos " e a " Utilização circulativa ", acompanhadas por palavras do campo da química como a " Reciclagem ". Entretanto alguns plásticos são chamados de " Plásticos recicláveis ", que podem ser re-processados em matéria prima ou produtos, capaz de retornar ao monômero correspondente (NISHIDA, 2011).

Segundo Spinacé e Paoli (2005) os polímeros são considerados materiais que podem prejudicar o meio ambiente, devido ao alto tempo de degradação do material polimérico na natureza e como faz parte do resíduo sólido, tem uma ocupação significativa nos aterros sanitários, participando de forma negativa para os processos de estabilização biológica, gerando um impacto ao meio ambiente.

Para diminuir o impacto ambiental, a reciclagem é uma das alternativas para obter resultados positivos por meio de aspectos como: o fornecimento da matéria-prima bruta para tratamento adequado em competentes organizações, tecnologia para conversão adequada da matéria-prima, recolocação do produto reciclado no mercado e viabilidade no ponto de vista econômico (SPINACÉ;PAOLI, 2005).

## 2.6 Aditivo (Fibra de vidro)

A fibra de vidro é um aditivo que aumenta as propriedades mecânicas do material utilizado na pesquisa, que é a Poliamida 6. Entretanto o comprimento da fibra de vidro é uma característica importante para o material reciclado porém ocorre cisalhamento da fibra, devido o processo mecânico utilizado para moagem, afetando diretamente o comprimento da fibra que diminui, alterando seu formato original (conforme Figura 7). Dependendo do produto ou processo utilizado, pode formar tensões, nas regiões que possuem as fibras de vidro cisalhadas, gerando bolhas e trincas, resultando até na ruptura do produto (PEDROSO et al., 1998).

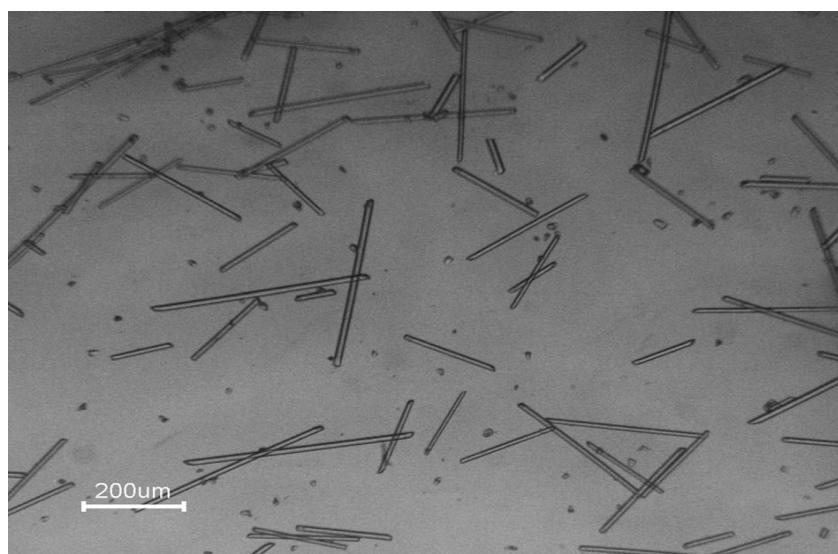


Figura 7 - Imagem de fibras extraídas de uma amostra de PA 66 GF 35%. Fonte: Bernasconi et al. (2006).

A Figura 8 mostra a análise do comportamento da distribuição do comprimento das fibras de vidro de uma poliamida que é apresentada por meio de histogramas e funções da distribuição Weibull, contendo material com 100% de reciclo e faixas diferenciadas de material reciclado, como 25% e 50% adicionado ao material virgem, (BERNASCONI et al., 2006).

De acordo com a Figura 8, pode-se observar que quando o material está na fase de material virgem, o comprimento da fibra se mantém em uma dispersão maior (com alguns pontos até aproximadamente 1400  $\mu\text{m}$ ), conforme o material é modificado para material virgem processado e material virgem com adição de material reciclado, o comprimento da fibra vai diminuindo, se concentrando em uma determinada faixa de comprimento da fibra menor, como exemplo o caso de 100% de material reciclado, que permanece em um comprimento de no máximo de 600  $\mu\text{m}$ .

Essa variação diminui a resistência do material proposto, com o reforço de fibra de vidro devido o cisalhamento da fibra ocorrido no processo de moagem do resíduo.

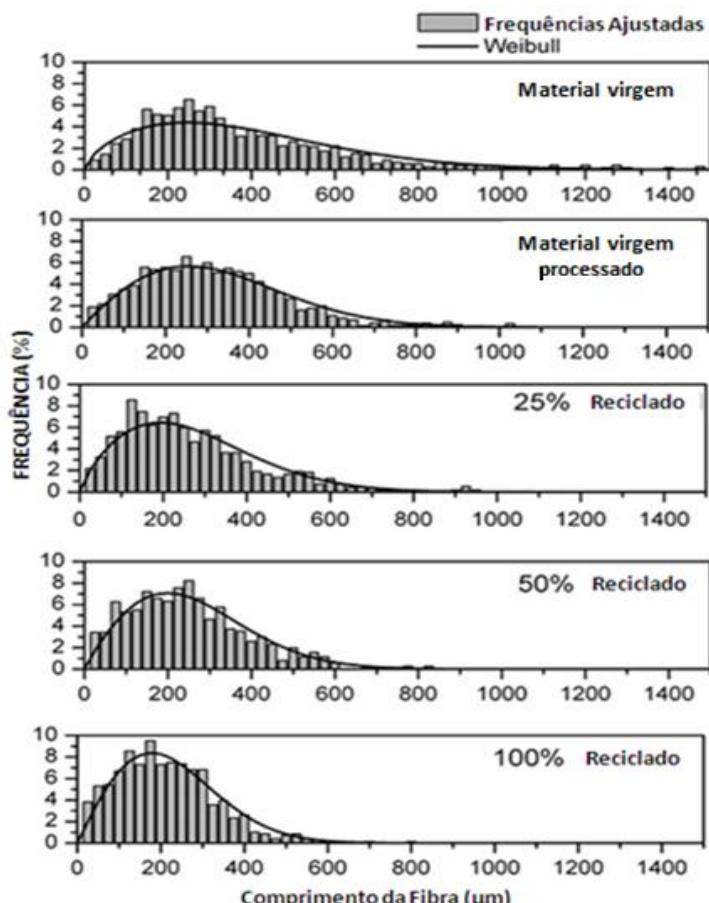


Figura 8 - Histogramas da distribuição do comprimento das fibras de vidro para as amostras de material, tanto a freqüência corrigida e a distribuição Weibull são plotados. Fonte: Bernasconi, 2007.

### **3. MÉTODO DE PESQUISA**

Conforme visto no capítulo 1, a presente pesquisa tem o caráter exploratório (no que se refere ao método de pesquisa) e está dividida em uma parte experimental e um estudo de caso.

Na parte experimental procura-se identificar a viabilidade de utilização de matéria prima com adição de material reciclado para a fabricação de peças poliméricas da indústria automotiva. Já na parte referente ao estudo de caso, pretende-se verificar no processo de moldagem plástica se o uso da matéria prima com adição de material reciclado resulta também em melhorias do nível de ecoeficiência do processo de moldagem plástica.

Com base nos objetivos propostos nesse trabalho de pesquisa, que são: avaliar a propriedade térmica, física e mecânica do material virgem com adição de material reciclado e analisar a evolução do nível de ecoeficiência no processo de moldagem plástica, a metodologia mais adequada para essa pesquisa segundo Boente (2004) é a exploratória, utilizando procedimentos de estudo de caso e experimentais, com uma abordagem quantitativa.

Com isso a aplicação do método de investigação consegue-se classificar e analisar os resultados adquiridos pela medição e monitoramento dos indicadores ambientais, dados oriundos do processo de injeção, ensaios e testes da qualificação do material.

#### **3.1 Desenvolvimento da pesquisa**

A pesquisa bibliográfica realizada para a construção do referencial teórico deste trabalho foi realizada em periódicos, anais de congressos, revistas, livros, teses, dissertações e outros, tendo como base de dados o portal de periódicos CAPES, as publicações do *Science Direct* e artigos do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET), como exemplos. Algumas das palavras chaves utilizadas foram: "ISO 14000", "Integrated Management System" (Sistema de Gestão Integrado), "Ecoefficiency" (Ecoeficiência), "Life Cycle Assessment" (Avaliação do Ciclo de Vida), "Environment Indicators" (Indicadores Ambientais), "Environmental Impact Measurement" (Medição do Impacto Ambiental),

"Sustainability" (Sustentabilidade), "Recyclability of Waste" (Reciclagem de Resíduo), entre outras.

Para atender ao primeiro objetivo da pesquisa (verificar a viabilidade de uso de matéria prima com adição de material reciclado), foi realizado um comparativo nas seguintes condições de material: material 100% virgem, material 100% reciclado e material virgem com adição de material reciclado (em proporções como: 10%, 20%, 30% e 50% de reciclagem), para qualificação da reciclagem em conjunto com as interfaces ambientais, proporcionando um processo ecoeficiente com vantagens competitivas para a empresa.

Para delimitação do trabalho experimental foi escolhido um material poliamida 6 com 30% de fibra de vidro, por ser um material de larga utilização no segmento de autopeças, mais especificamente no ramo de peças para o sistema de segurança dos veículos.

O estudo de caso foi realizado para atender ao segundo objetivo da pesquisa (verificar se o uso da matéria prima com adição de material reciclado resulta também em melhorias nos indicadores de ecoeficiência do processo de moldagem plástica). Foram avaliados indicadores de ecoeficiência relacionados aos seguintes aspectos ambientais: consumo de energia elétrica, consumo de água, consumo de matéria prima e geração de resíduos do processo de fabricação em questão.

A empresa pesquisada é uma multinacional, que pertence ao segmento automotivo, com cerca de 900 funcionários, realizando manufatura de áreas primárias como: injeção de peças plásticas e injeção de peças com material de liga zamak, tratamentos superficiais como: pintura automotiva e banhos galvânicos. A empresa fornece peças automotivas para seus clientes, que são as grandes montadoras de veículos automotores.

Em busca da melhoria continua a empresa possui certificações da qualidade ISO/TS 16949, meio ambiente ISO 14001 e segurança e saúde ocupacional OHSAS 18001. Com essa visão a empresa se preocupa com questões normativas e competitivas, para atendimento das exigências e satisfação dos clientes.

Visando atender a ISO 14001 e as exigências de mercado, a empresa tem objetivos de reduzir os riscos ambientais, minimizando a geração de resíduo que estão presentes nas áreas de manufatura da empresa.

O processo de reciclagem consiste utilizar material reciclado junto do material virgem para injetar peças automotivas (maçanetas externas) e reaproveitar os resíduos gerados

como galhos, bolsas e peças defeituosas. Para este caso a empresa possui trinta máquinas injetoras na área da injeção plástica, porém foram avaliadas nove máquinas injetoras devido utilizarem o mesmo material, sendo seis máquinas da marca Haitian e outras três máquinas da marca Battenfeld, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Características das Máquinas Injetoras

Nº das Máquinas	Fabricante	Força de Fechamento (t)	Diâmetro da Rosca	Pressão de Injeção (bar)	Pontência Instalada (kW)	Dimensões (mm) (comp x larg x alt)
M1	Haitian	250	55	1780	30	6090 x 1670 x 2090
M2	Haitian	250	55	1780	30	6090 x 1670 x 2090
M3	Haitian	320	65	1820	37	6900 x 1910 x 2080
M4	Haitian	320	65	1820	37	6900 x 1910 x 2080
M5	Haitian	250	55	1780	30	6090 x 1670 x 2090
M6	Haitian	250	55	1780	30	6090 x 1670 x 2090
M7	Battenfeld	270	55	2041	45	5710 x 1780 x 2285
M8	Battenfeld	210	50	1913	30	7500 x 1650 x 2170
M9	Battenfeld	180	55	1822	30	6930 x 1500 x 2100

### 3.2 Fluxo do processo de reciclagem

O fluxo do processo de reciclagem em uma injetora plástica se inicia no reaproveitamento do resíduo produtivo das peças que são produzidas (Figura 9) que são chamados de galhos, bolsas e peças defeituosas descritas a seguir:

\* galhos: são hastas produzidas oriundas de canais do molde plástico que separam as cavidades de peças produzidas.

\* bolsas: são pequenas bolsas produzidas oriundas de canais do molde plástico para balanceamento das cavidades.

\* peças defeituosas: são peças com problemas de qualidade com manchas, bolhas, etc.



Figura 9 – Peças produzidas - Maçanetas externas automotivas

No experimento que foi realizado, os resíduos utilizados foram os galhos, bolsas e as peças defeituosas. O resíduo é colocado no moinho, sendo triturado por facas e controlado o tamanho do moído por meio de peneiras.

O material moído é separado e vai para outro reservatório, que contém um filtro que aspira o pó, não o deixando no sistema, pois este é prejudicial ao reprocessamento (provocando bolhas e manchas nas peças).

Após esta etapa o material moído é levado para o dosador no qual será colocado na porcentagem definida para a mistura com o material virgem. Os materiais são misturados e levados para o alimentador da máquina injetora, para o processamento de novas peças, conforme a Figura 10.

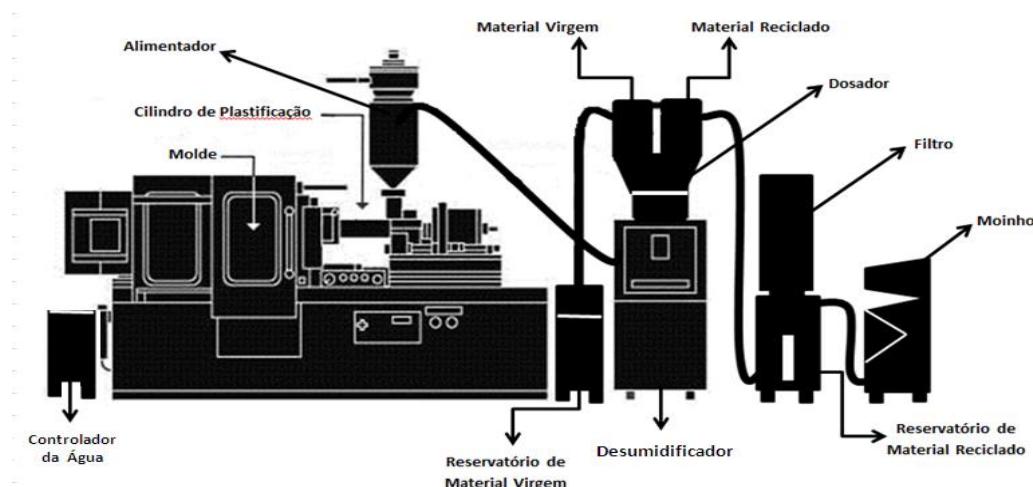


Figura 10 – Esquema do processo de reciclagem em uma máquina injetora.

### 3.3 Propriedades do material

Para a verificação da viabilidade de uso da matéria prima virgem com adição de material reciclado, serão analisadas as propriedades térmicas, físicas e mecânicas do material realizando ensaios para qualificação.

Para o critério de escolha dos ensaios, foi realizada uma entrevista com um especialista na área de materiais poliméricos do Laboratório Newtech – Assessoria, Consultoria e Prestação de Serviços S/S Ltda o Engenheiro Dr. Miguel Luiz de Souza, 51 anos de idade, 27 anos de experiência, Doutor na área de materiais compósitos desde 2001, Responsável Técnico do laboratório, com CREA n° 0605056757.

Todos os valores de especificação dos testes que foram realizados com o material objeto de estudo utilizaram como referência os padrões empregados em uma empresa montadora automotiva multinacional americana que opera no Brasil, cuja o nome não se divulga por solicitação da própria empresa.

A Tabela 3 a seguir mostra as propriedades do material que serão analisadas, sendo duas características de propriedades mecânicas, uma física e duas térmicas. Para as propriedades mecânicas destaca-se a resistência à tração e impacto izod, para a propriedade física foi analisada a viscosidade, entretanto para as propriedades térmicas têm-se outras características importantes como DSC e teor de cinzas.

Tabela 3 – Valores de Referência das Propriedades Térmicas, Físicas e Mecânicas que foram avaliadas na pesquisa.

### PROPRIEDADES DO MATERIAL

CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICAÇÃO	CONDIÇÃO	PADRÃO	AMOSTRA
<u>PROPRIEDADES TÉRMICAS</u>				
CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA (DSC)	215 - 225°C (Fusão)	25 a 300°C - 10°C/min. - 50 mL/min	ASTM D 3418-08	Material
TEOR DE CINZAS	27,5 - 32,5 % de FV	600 ± 25	ISO 34561/4	Granulos
<u>PROPRIEDADE FÍSICA</u>				
VISCOSIDADE	Ref. Material Virgem (81 mL/g)	Ác. Fórmico / 23°C	ISO 307	Granulos
<u>PROPRIEDADES MECÂNICAS</u>				
RESISTÊNCIA Á TRAÇÃO	≥ 155 MPa	5 mm/min	ISO R 527	150,0 x 10,0 x 4,0 ± 0,2 mm
IMPACTO IZOD	≥ 9,0 kJ/m <sup>2</sup>	23 ± 2 °C	ASTM D 256 Método A	63,5 x 10,0 x 4,0 ± 0,2 mm

#### 3.3.1 Ensaios Térmicos

##### a) DSC (Calorimetria Diferencial de Varredura)

É um ensaio que serve para caracterizar diferentes materiais (contaminantes) presentes na amostra que está sendo analisada, sendo utilizado para análise do comportamento térmico dos materiais (ELGADIR et al., 2009). Auxilia na avaliação do ponto de fusão do material com o aquecimento da temperatura (PACHEKOSKI et al, 2009), conforme norma DIN 51007 (MCHUGH et al, 2010).

O ensaio de DSC é realizado para avaliação de características da propriedade térmica do material. O equipamento utilizado foi um TA

*Instruments* DSC Q-20, cadinho de alumínio hermeticamente fechado e atmosfera dinâmica de nitrogênio.

A condição de ensaio foi programada de acordo com a norma ASTM D 3418-08, para uma dinâmica de temperatura com aquecimento de 25 á 300°C com a taxa de aquecimento de 10°C/min e fluxo de 50mL/min. de nitrogênio, com uma especificação de fusão do material de 215 a 225°C.

Para analisar esse ensaio é realizada uma avaliação gráfica na curva do material comparando com o padrão para verificar se há presença de contaminantes. Também é analisado o ponto de fusão de acordo com o procedimento específico adotado por uma montadora automotiva multinacional americana.

### **b) Teor de cinzas**

De acordo com a norma ISO 3451/4, o ensaio de teor de cinzas destina-se a analisar a quantidade porcentual do agente de reforço, que nesse caso é a fibra de vidro adicionada á poliamida, para o aumento de resistência do material. É retirada uma amostra de 1 g do material e submetida a uma temperatura de  $600 \pm 25$  °C.

Por meio dos cálculos de diferença de massa, encontra-se o resultado da porcentagem de fibra de vidro intrínseca ao material. Avaliando a especificação deste ensaio conforme o procedimento específico adotado por uma montadora automotiva multinacional americana, os valores observados devem estar contemplados em 27,5 á 32,5% de Fibra de Vidro.

O ensaio de teor de cinzas também é realizado para qualificação da propriedade térmica do material. Foram ensaiadas trinta amostras de cada característica, para mostrar a comprovação de pesquisa (100% virgem, 100% de reciclo e faixas de 10%, 20%, 30% e 50% de reciclo), de acordo com a norma ISO 3451/4. Baseando-se na norma foi adotado um procedimento com a condição de teste, que a temperatura seja de  $600 \pm 25$  °C, com uma massa de um grama.

Os equipamentos utilizados foram uma balança analítica, marca GEHAKA com capacidade de 500g e uma resolução de 0.0001g para a pesagem de um grama do material e uma mufla, marca QUIMIS com capacidade de 1300°C e uma resolução de 1°C.

### **3.3.2 Ensaio Físico**

#### **Viscosidade**

O ensaio de viscosidade é realizado para comprovação de uma das características da propriedade física do material. Nas soluções poliméricas, o comportamento se dá pelo aumento da massa molecular e a concentração realizada do polímero, conforme Wasilkoski (2006). De acordo com Lu et al. (2012) a viscosidade é uma propriedade fundamental para caracterizar soluções poliméricas diluídas. Essa metodologia é utilizada para determinação do tamanho e peso molecular, em conjunto com a estrutura topológica de polímeros.

Este ensaio foi solicitado pelo especialista para verificar uma característica que influencia diretamente no processo de injeção do material e ressaltou este ensaio para ser realizado fazendo um comparativo com a amostra do material 100% virgem (referência), sendo um valor aproximado à 81 ml/g.

### **3.3.3 Ensaios mecânicos**

De acordo com o especialista para o material reciclado oriundo de resíduos poliméricos do processo de injeção plástica, se faz necessário realizar alguns ensaios mecânicos, que são utilizados para verificar o comportamento do material, como características de resistência de tração e ao impacto, que no caso dessa pesquisa tem como foco a comparação do material 100% virgem com o material virgem com adição de material reciclado. Para realizar o comparativo entre os dois materiais (100% virgem versus virgem

com adição de reciclado) são colocados diferentes proporções de porcentagens de reciclo, para verificação das propriedades mecânicas e do comportamento das amostras.

### a) Resistência à tração

A resistência à tração é realizada com a utilização de corpos de prova padrão. Para isso os materiais são separados em badejas e colocados em uma estufa para secagem à 80°C em um período de duas horas antes de ser injetado (para evitar umidade, devido a Poliamida 6 ser um material higroscópico). O material é injetado em um molde específico para corpos de prova, conforme norma ASTM D 638, tipo I (Ex. Figura 11).

Para avaliação deste ensaio a especificação é considerada de acordo com o procedimento específico adotado por uma montadora automotiva multinacional americana, que para a aprovação das amostras os resultados obtidos devem ser superiores á 155 MPa.

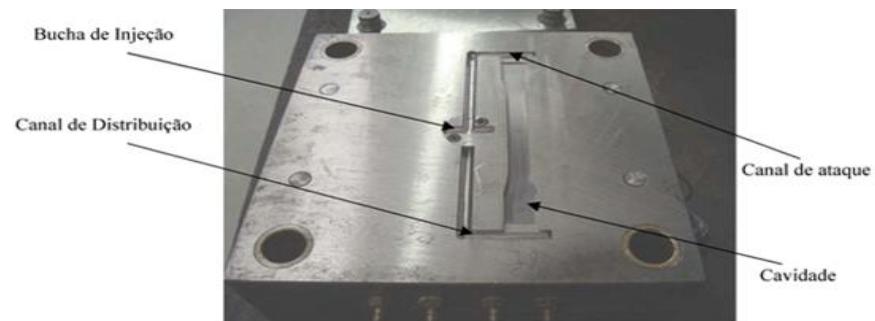


Figura 11 - Imagem de uma placa móvel de um molde de injeção. Fonte: Bom e Kalin, 2008

Para a realização do ensaio de resistência a tração foi necessário á injeção dos corpos de prova (Figura 12) conforme ASTM D 638, tipo I, utilizando uma máquina injetora modelo 250, marca Battenfeld, 22 mm de diâmetro da rosca e com uma capacidade de injetar com 27g de polímero. Os parâmetros de processo que foram utilizados para controle da injeção dos corpos de prova foram: temperatura de injeção (°C), temperatura do molde (°C), tempo de injeção (s), tempo de recalque (s), tempo de solidificação (s), pressão de injeção (Mpa) e pressão de recalque (Mpa).

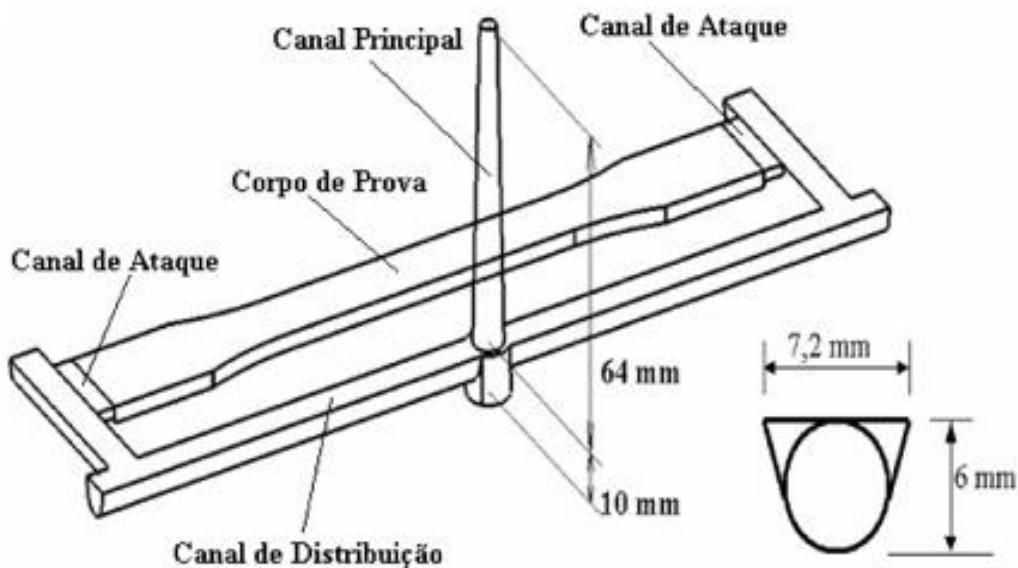


Figura 12 - Imagem de um corpo de prova e canais de distribuição. Fonte: Bom e Kalin, 2008.

O ensaio de resistência á tração é realizado para avaliação da propriedade mecânica do material. Esse ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D 638, tipo I. O equipamento utilizado para a execução do ensaio foi uma máquina de tração marca EMIC DL 10.000 com capacidade de 10 toneladas, utilizando uma célula de carga de 50.000N, com resolução de 0,01N e velocidade de teste de 5 mm/min.. Manteve-se a temperatura controlada entre  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e uma umidade de  $50\% \pm 5\%$  URA (Umidade Relativa do Ar).

Devido ao fato do material poliamida 6 com 30% de FV ser higroscópico, para realização do ensaio os corpos de prova foram condicionados a uma temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  no período de duas horas e 24 horas em uma temperatura ambiente ( $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), para tirar a umidade do material e iniciar os testes de acordo com a norma. As amostras devem atender a uma especificação de no mínimo 155 Mpa.

Foram testadas 30 amostras de cada característica analisada (material 100% virgem, 100% de reciclo e também com diferentes faixas de reciclo 10%, 20%, 30% e 50%).

### **b) Resistência ao impacto Izod**

O ensaio de resistência ao impacto é realizado para avaliação de uma das características da propriedade mecânica do material. Os corpos de prova foram confeccionados e o ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM D256-10, tipo 1. O equipamento utilizado para o ensaio foi uma máquina de impacto Izod & Charpy marca NZ e modelo: XJC-25D. Para a condição de ensaio, foram utilizados corpos de prova injetados tipo 1, entalhe de 2.5mm e pêndulos de 1J, com uma temperatura controlada de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e uma umidade de  $50\% \pm 5\%$  URA.

As amostras do material de poliamida 6 com 30% de FV, foram condicionados a uma temperatura de  $110^{\circ}\text{C}$  no período de duas horas e 24 horas em uma temperatura ambiente ( $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), para secagem do material, por se tratar de um material higroscópico e após este processo iniciou-se os testes de acordo com a norma. As amostras devem atender a uma especificação de no mínimo  $9,0 \text{ kJ/m}^2$ .

### **3.4 Avaliação dos indicadores ambientais**

Para a avaliação no sistema de medição de desempenho ambiental, foram utilizados os indicadores escolhidos e determinados pelo departamento de segurança e meio ambiente, responsáveis em definir os métodos e as variáveis a serem monitoradas, conforme procedimento específico adotado pela empresa.

A medição e monitoramento dos indicadores de ecoeficiência têm como base os aspectos e riscos significativos, critério operacional, requisitos regulatórios, legislação e outros fatores que podem definir parâmetros para serem controlados. Aplicando este procedimento para controles preventivos ou corretivos, cada determinada área realiza o monitoramento de acordo com o plano de controle estabelecido.

Os indicadores de desempenho da ecoeficiência que serão monitorados e controlados foram escolhidos por serem os indicadores ambientais que influenciam significativamente no processo pesquisado. Eles são:

- Indicadores de Desempenho do Consumo de Energia Elétrica;
- Indicadores de Desempenho do Consumo de Água;
- Indicadores de Desempenho da Utilização de Matéria Prima (Plástico);
- Indicadores de Desempenho de Geração de Resíduo Plástico.

Entretanto, no acompanhamento da evolução dos indicadores e da análise das ações preventivas e corretivas, são implementadas ações, que devem ser estudadas e verificadas se o processo pesquisado está atingindo a ecoeficiência desejada (no caso de cada indicador).

Na escolha dos indicadores foi realizada uma análise crítica, para identificar os indicadores mais significativos para o processo em estudo. Foram levantados quatro variáveis ambientais que fazem parte do processo de injeção plástica, são eles:

\* consumo de energia elétrica em kWh;

O consumo de energia elétrica é um dos principais fatores para análise em um indicador ambiental, portanto está sendo avaliada no setor de injeção plástica a influência dessa característica, levando em consideração o número de peças produzidas, se tornando um indicador significativo para análise da evolução da ecoeficiência no processo de injeção.

\* consumo devido à evaporação de água em  $\text{dm}^3$ ;

No que se refere ao consumo de água nas máquinas injetoras na área de moldagem plástica, foi observado à utilização de uma torre de resfriamento para a refrigeração dos moldes em sistema fechado. Nesse processo de refrigeração o funcionamento da torre de resfriamento trabalha com uma perda de água por evaporação, que por recomendação do fabricante essa perda é considerada 1% da água que é utilizada no sistema. Avaliando esse indicador pela influência da característica do consumo de evaporação da água levando em consideração o número de peças produzidas no processo.

\* consumo de matéria prima virgem em kg;

A análise entre a quantidade de matéria prima virgem consumida dividida pelo número de peças produzidas é significativa do ponto de vista da ecoeficiência porque com esse monitoramento pode-se identificar se a empresa está utilizando mais material reciclado na produção de suas peças. Devido a esse monitoramento e controle mensal da entrada de matéria prima, consegue-se analisar a evolução desse indicador.

\* geração de resíduo plástico em kg;

Esse indicador tem um controle e monitoramento mensal da quantidade de resíduo gerado na área de injeção plástica, que analisa a evolução de minimização da geração de resíduo.

A proposta do trabalho é avaliar a ecoeficiência por meio dos indicadores de desempenho que foram levantados, a partir do processo de reciclagem de peças automotivas injetadas em uma máquina injetora, seguindo as recomendações do WBCSD (WBCSD, 2000a).

Posto isso foi realizada uma comparação da ecoeficiência calculada no primeiro semestre dos últimos três anos, considerando 2010, 2011 e 2012, para comprovação das proposições da pesquisa.

Para a medição da ecoeficiência, foram escolhidas 9 máquinas injetoras (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 e M9) da área de injeção plástica, conforme item 2.3. Foi feita uma primeira avaliação no primeiro semestre de 2010 ( $E_{P1}$ ), a próxima etapa é avaliar os indicadores de desempenho no primeiro semestre de 2011( $E_{P2}$ ) e para finalizar avaliar os indicadores no primeiro semestre de 2012 ( $E_{P3}$ ). Com o levantamento dos dados, foram realizados os cálculos da medição de ecoeficiência no decorrer dos três anos, após esta etapa os resultados foram analisados, observando se há diferença significativa na comparação do nível de ecoeficiência e após esta etapa verificar se o processo de reciclagem na área de injeção plástica pode ser considerado ecoeficiente.

### 3.5 Medição da ecoeficiência em um processo de manufatura

De acordo com Santos (2013) o processo industrial tem partes como: equipamentos, ferramentas, matérias primas, mão de obra, componentes e muitos outros recursos, que são necessários transformar entradas em saídas dentro de uma organização, como por exemplo energia, instalações industriais, etc. Para fazer uma avaliação do nível de evolução da ecoeficiência de um determinado processo, deve avaliar o desempenho ambiental e o valor econômico de um conjunto de equipamentos, medindo continuamente a relação do valor dos produtos produzidos e sua influência ambiental.

Considere-se um equipamento  $M$  para o qual  $n$  indicadores de desempenho foram estabelecidos para medição da ecoeficiência. Sejam  $e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$  os valores dos indicadores de desempenho em um determinado instante  $t$ .

De acordo com Santos (2013), a medida da ecoeficiência no equipamento  $M$  será dada pela relação (2) e (3).

$$E_{Mt} = \frac{E'_{Mt}}{n} [e_1 \times e_2 + e_2 \times e_3 + e_3 \times e_4 + \dots + e_n \times e_1] \times \frac{\text{sen}\alpha}{2n} \quad (2)$$

Onde:  $\alpha = \frac{360^\circ}{n}$  (3)

Santos (2013) ainda demonstra que em um processo industrial no qual existe  $i$  equipamentos, no nível de ecoeficiência desse processo pode ser calculado pela relação (4).

$$E_{Pt} = \frac{\sum_{q=1}^i E_{Mqt}}{i} \quad (4)$$

Onde:

$E_{Pt}$  - Valor da ecoeficiência do processo  $P$

$E_{Mqt}$  - Medida do nível de ecoeficiência em cada um dos equipamentos existentes nesse processo

### 3.6 Cálculos e interpretações dos indicadores ambientais

Os Indicadores serão calculados por meio de equações (5), (6), (7) e (8), de maneira específica para cada indicador escolhido como: energia elétrica, água evaporada da torre de resfriamento, matéria-prima e resíduo. A interpretação será realizada com base no levantamento dos dados. Para análise dos indicadores no que se refere à influência ambiental foram utilizados alguns critérios, como descreve a seguir:

\* Energia elétrica:

Para o levantamento do consumo de energia elétrica, foi medido o consumo médio de cada máquina em kiloWattshora, no período de uma hora conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Consumo de energia médio em kWh em cada máquina injetora avaliada.

MÁQUINA	CONSUMO em kWh (1 hora de operação)
01	16,17
02	16,17
03	11,17
04	11,17
05	7,37
06	7,37
07	7,18
08	7,18
09	7,18

Com os dados levantados na Tabela 6 e levando em consideração as peças produzidas em cada máquina avaliada, consegue-se fazer a relação da medição do nível da ecoeficiência para este indicador, conforme a Equação (5) a seguir:

$$EE_{ee} = \frac{\text{Número de peças produzidas}}{\text{Energia elétrica em kWh}} \quad (5)$$

EE<sub>ee</sub> – Medição da ecoeficiência do consumo de energia elétrica

\* Água:

A empresa possui uma torre de resfriamento de água para refrigeração dos moldes. O levantamento do consumo de água foi realizado medindo a vazão de água em dm<sup>3</sup>, para cálculo do consumo de água evaporada da torre de resfriamento no período de 1 minuto a taxa de evaporação foi considerada 1% de perda, conforme recomendação do fabricante. A Figura 14 mostra a sistemática de funcionamento de uma torre de resfriamento.

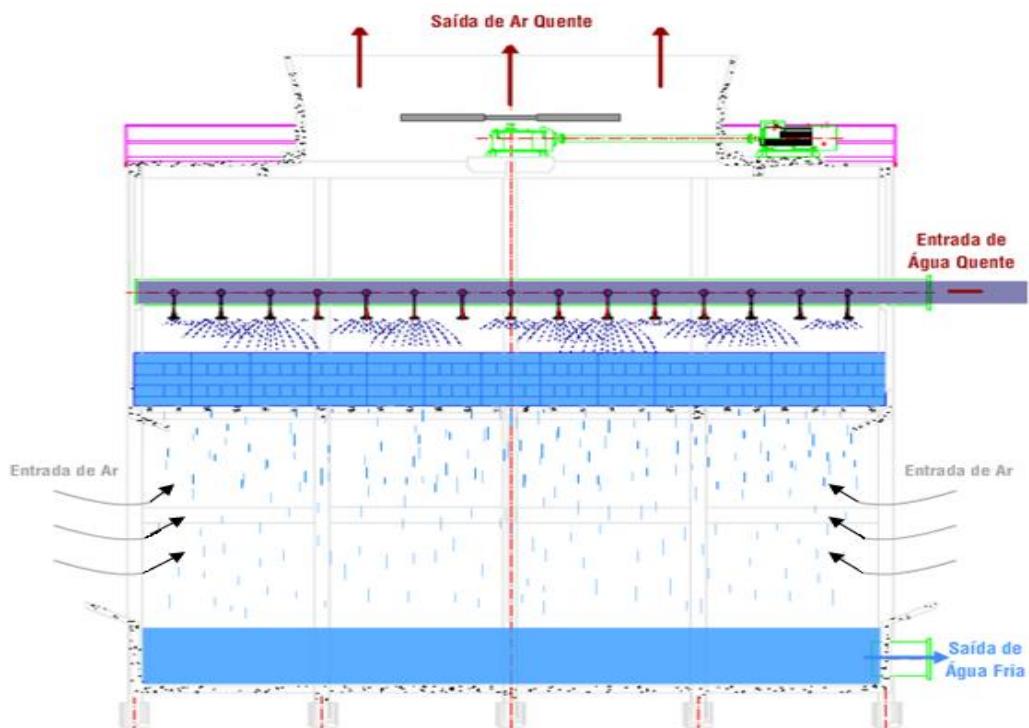


Figura 14 – Sistema de funcionamento de uma torre de resfriamento. Fonte: TRA, 2012.

A torre de resfriamento recebe a água quente, após o processo de refrigeração do molde, que por meio de um sistema de exaustão o ar quente com a água evaporada é liberada pela parte superior da torre, ficando a maior parte de concentração do consumo de água nesta etapa do processo (evaporação da água). Em seguida com uma tubulação de sistema de

pulverização, as gotículas de água são depositadas sobre uma serpentina que tem a função de distribui-las em toda sua superfície. Se armazenando em um reservatório de água, que nesse trajeto é realizado uma troca de calor com o ar, deixando a água em uma temperatura menor, adequada novamente para a reutilização no processo em um sistema fechado.

Para cálculo do nível da ecoeficiência neste indicador é utilizada a seguinte Equação (6):

$$EE_{ea} = \frac{\text{Número de peças produzidas}}{\text{Evaporação da água em dm}^3} \quad (6)$$

EE<sub>ea</sub> - Medição da ecoeficiência do consumo de evaporação da água

\* Matéria prima:

A empresa realiza o controle do consumo de matéria prima, a partir de um monitoramento mensal calculado em quilogramas (cálculo realizado no período de um mês), sendo que esse apontamento é realizado pelo próprio setor. Para cálculo do nível de ecoeficiência neste indicador é utilizada a seguinte Equação (7):

$$EE_{mp} = \frac{\text{Número de peças produzidas}}{\text{Matéria prima consumida em kg}} \quad (7)$$

EE<sub>mp</sub> - Medição da ecoeficiência do consumo de matéria-prima

\* Resíduo:

A empresa realiza o controle de geração de resíduo, a partir de um monitoramento mensal calculado em quilogramas (cálculo realizado no período de um mês), sendo que esse apontamento é realizado pelo próprio setor. Para cálculo do nível de ecoeficiência neste indicador é utilizada a seguinte Equação (8):

$$EE_{rs} = \frac{\text{Número de peças produzidas}}{\text{Resíduo gerado em kg}} \quad (8)$$

EE<sub>rs</sub> - Medição da ecoeficiência da geração de resíduo

A Tabela 7 mostra os indicadores de desempenho escolhidos para o cálculo e avaliação do nível da ecoeficiência na área de moldagem plástica.

Tabela 7 – Indicadores de desempenho para cálculo da ecoeficiência do processo de reciclagem.

Indicadores de Desempenho	
e1	Número de peças produzidas / ( kWh ) de energia elétrica
e2	Número de peças produzidas / ( dm <sup>3</sup> ) de evaporação de água
e3	Número de peças produzidas / ( kg ) de matéria prima consumida
e4	Número de peças produzidas / ( kg ) de resíduo

Como a melhoria continua é uma ferramenta da qualidade que se aplica em qualquer processo, a proposta de medição da ecoeficiência desse trabalho, é verificar a evolução dos indicadores de desempenho escolhidos, sendo monitorados e controlados para atendimento a norma ISO 14001. A fim de buscar melhoria do sistema foram implementadas ações pelas áreas responsáveis (Meio Ambiente e Injeção Plástica) nos anos de pesquisa (2010 á 2012) referentes ao processo de injetar peças plásticas automotivas como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Ações de melhorias e suas influências em seus Indicadores.

ANO	AÇÕES DE MELHORIAS	INFLUÊNCIA DA AÇÃO NO INDICADOR
2010	* INÍCIO DA PESQUISA	-
2011	* TREINAMENTO E CONSCIENTIZAÇÃO DOS OPERADORES NOS PROCEDIMENTOS E INSTRUÇÃO DE TRABALHO.	* DIMINUIÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIA PRIMA 100% VIRGEM * DIMINUIÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUO
	* ANÁLISE NO TEMPO DE CICLO NA PRODUÇÃO DE PEÇAS NAS MÁQUINAS INJETORAS.	* DIMINUIÇÃO DO CONSUMO DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA
	* MANTAS AQUECEDORAS INSTALADAS NO SUPORTE DO BICO INJETOR PARA MANTER A AQUECIMENTO.	* DIMINUIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
2012	* MOINHOS PARA REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS	* DIMINUIÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUO * AUMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
	* DOSADORES PARA MISTURA DE MATÉRIA PRIMA 100% VIRGEM E MATÉRIA PRIMA RECICLADA.	* DIMINUIÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUO * AUMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA
	* FILTROS PARA TRATAMENTO DO MATERIAL RECICLADO PARA RETIRADA DE PEQUENAS PARTÍCULAS QUE PREJUDICAM NO REPROCESSAMENTO.	* DIMINUIÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUO * AUMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, tanto no que se refere à avaliação do uso do material virgem, reciclado e com adição de reciclo, quanto no que se refere aos indicadores ambientais para medição do nível de ecoeficiência.

### 4.1 Avaliação da possibilidade de utilização do material virgem com adição de material reciclado

Para a avaliação da viabilidade de utilização do material virgem com adição de material reciclado, foram realizados testes comparativos entre o material 100% virgem, 100% de reciclo e com adição de material reciclado com faixas de 10%, 20%, 30% e 50%. Os materiais foram submetidos á ensaios para verificação de propriedades térmicas, físicas e mecânicas de acordo com o apresentado no item 3.4.

Os ensaios de resistência á tração e teor de cinzas foram realizados no laboratório da empresa pesquisada e os ensaios de resistência ao impacto, DSC e viscosidade foram realizados em laboratório externo na Newtech – Engenharia, Consultoria, Assessoria & Serviços S/C Ltda, localizada em São Carlos, devido à empresa pesquisada não ter os equipamentos específicos para realização dos ensaios para esse tipo de testes.

#### 4.1.1 Ensaios de propriedade térmica

##### a) Resultados do ensaio de DSC

Analizando os valores obtidos das amostras 100% virgem, 100% de reciclo e com adição de reciclo com faixas de 10%, 20%, 30% e 50%, observa-se que todas as amostras atenderam a especificação de temperatura de fusão entre 215 a 225°C. Para análise gráfica a referência é a curva do material

100% virgem para verificação de contaminação e analisando as curvas individualmente pode-se observar que as curvas das amostras 100% de reciclo e o material com adição de reciclo com faixas de 10% e 30% apresentaram comportamento similar ao material 100% virgem e as amostras com adição de reciclo de 20% e 50% apresentaram um ruído na curva, porém nos dois casos não são contaminantes significativos porque se fossem afetaria diretamente no ponto de fusão do material. Conforme mostra as Figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

Considerando o ensaio de DSC de forma independente para verificação da propriedade térmica do material, os resultados obtidos permitem a utilização de qualquer taxa de reciclo entre as amostras analisadas.

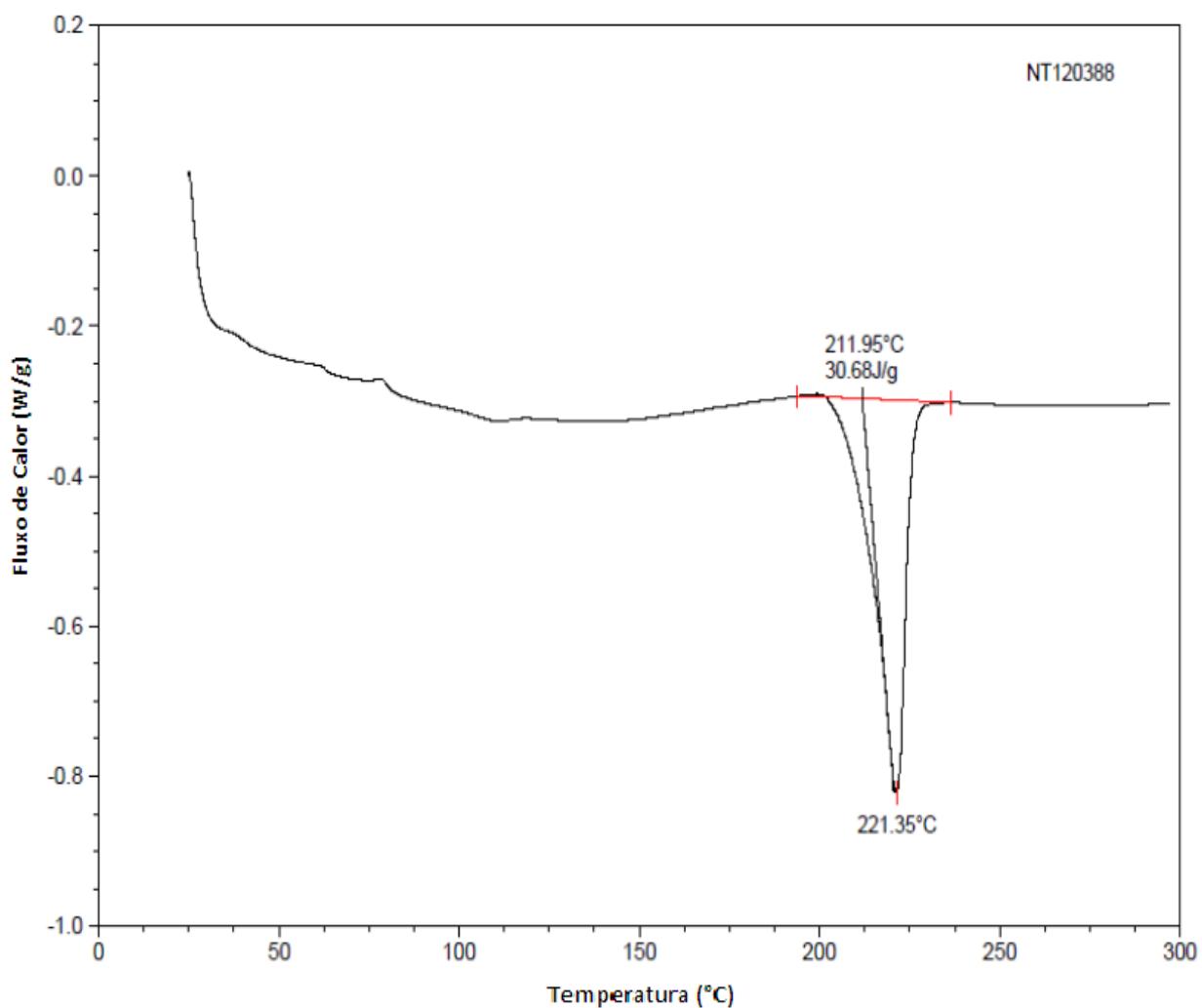


Figura 14 – Curva do DSC da amostra de material 100% virgem. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

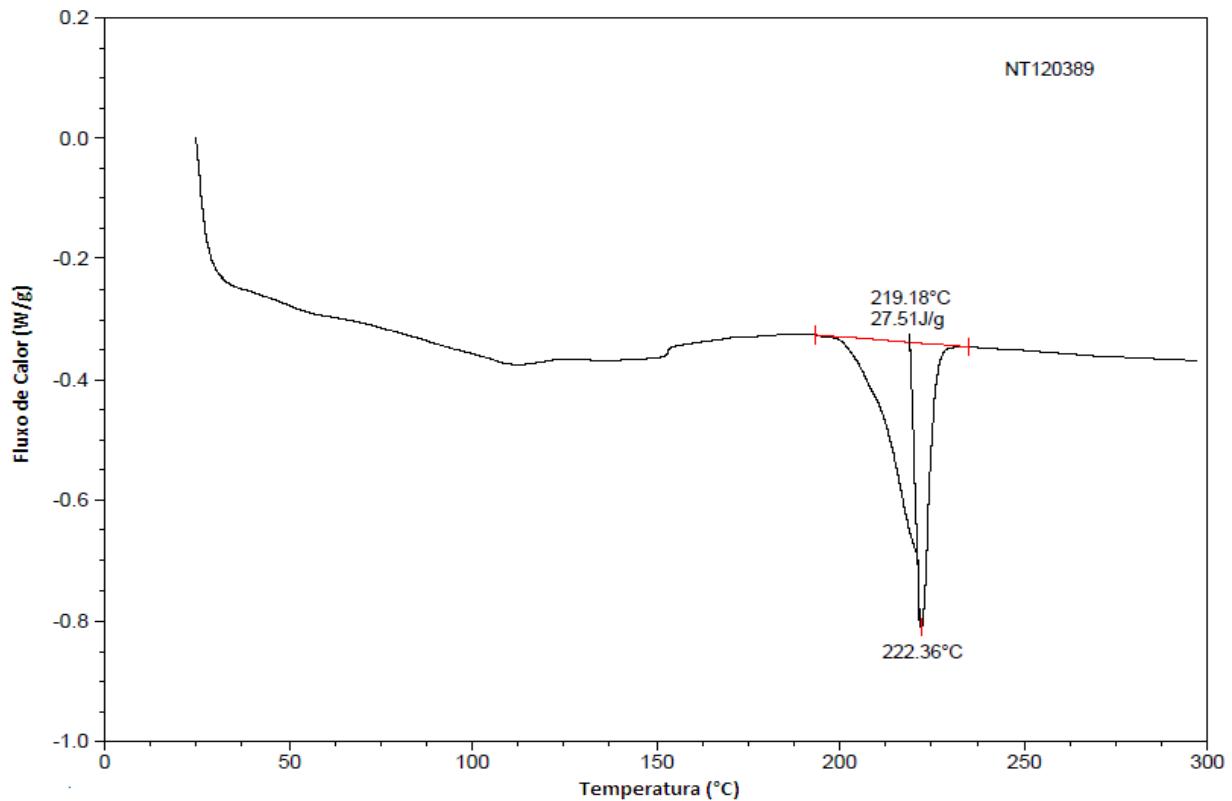


Figura 15 – Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 10% de material reciclado. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

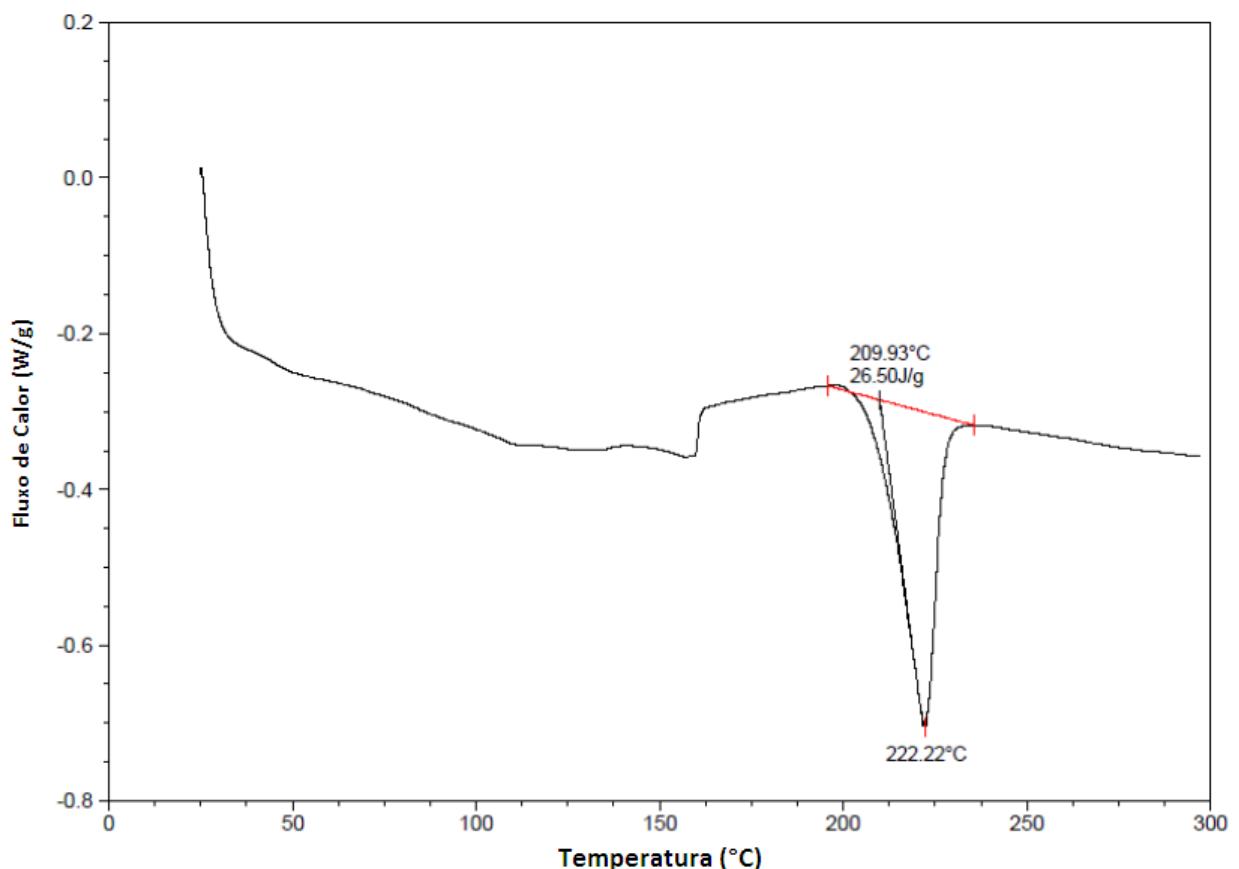


Figura 16 – Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 20% de material reciclado. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

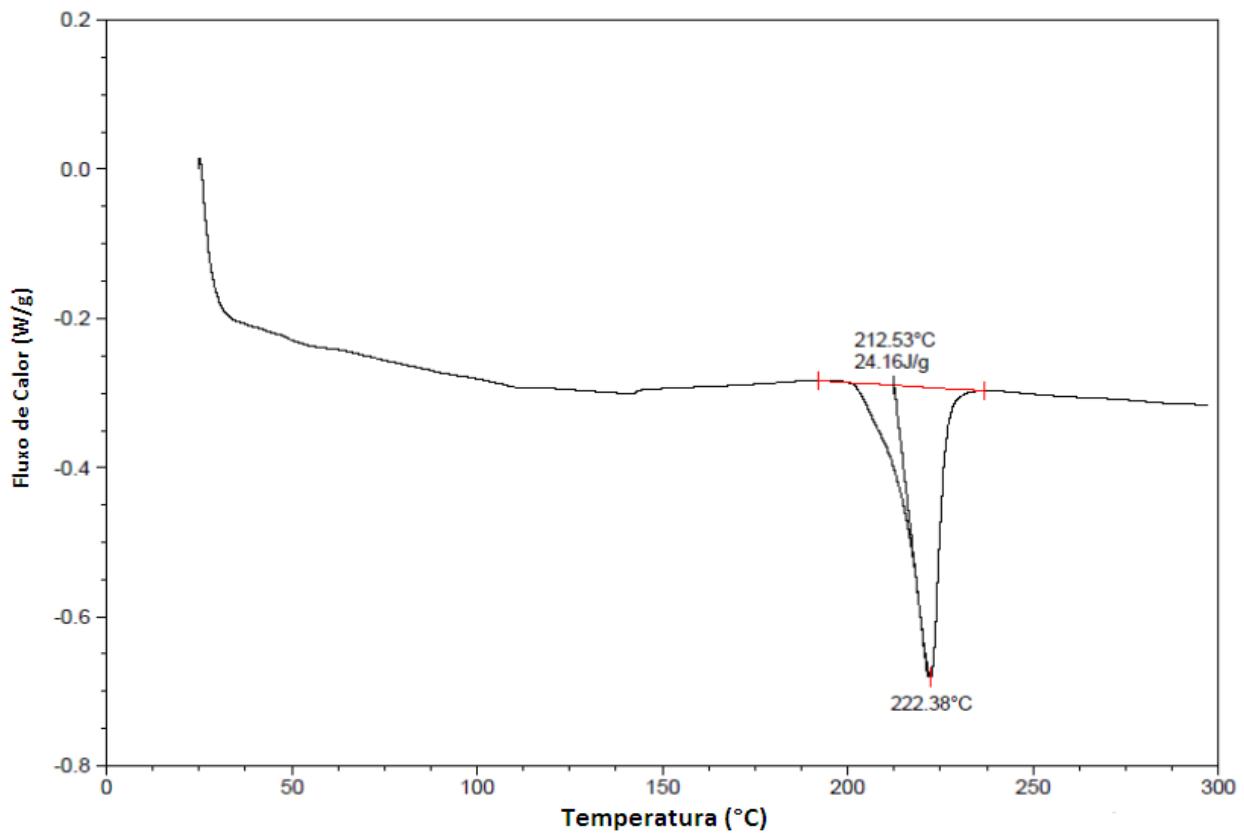


Figura 17 – Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 30% de material reciclado. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

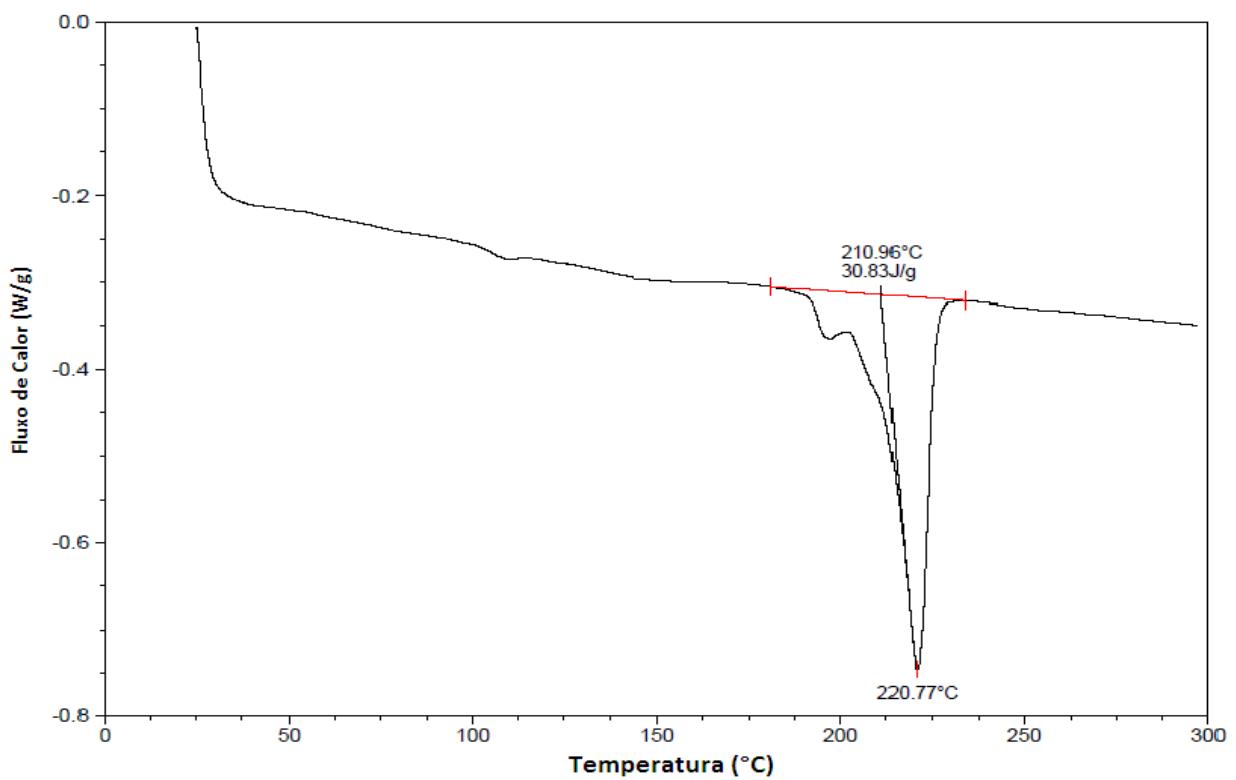


Figura 18 – Curva do DSC da amostra de material virgem com adição de 50% de material reciclado. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

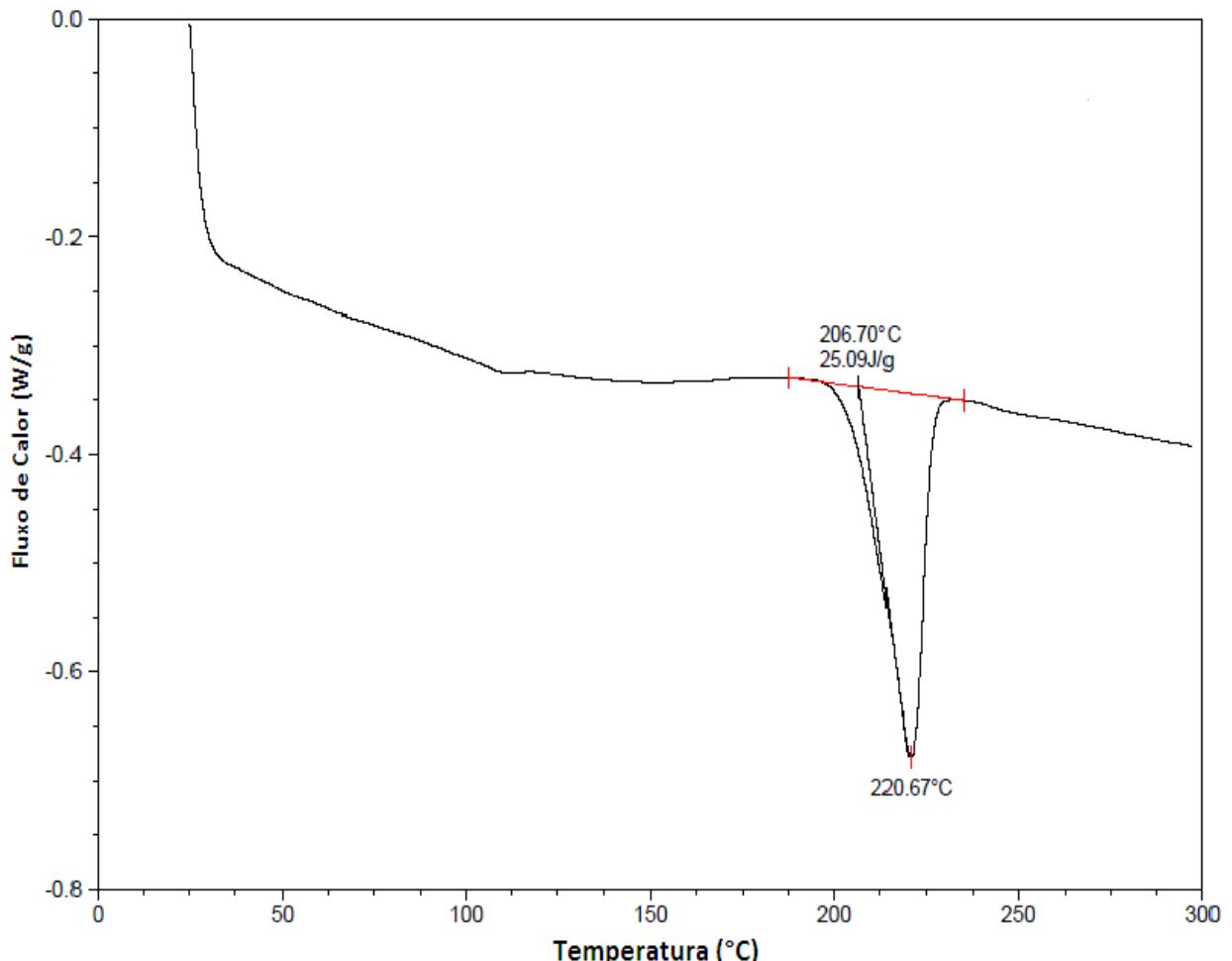


Figura 19 – Curva do DSC da amostra de material 100% reciclado. Fonte: Relatório Newtech n° 1965/12 (2012).

### b) Resultados do ensaio de teor de cinzas

Observando os resultados encontrados (Tabela 9), pode-se destacar que todas as amostras, atendem a especificação de 27,5 a 32,5% de Fibra de Vidro (com um valor médio de 30,10 / 30,69 / 30,57 / 30,59 / 30,36 / 30,46, respectivamente) e com valores de desvio padrão (0,178 / 0,146 / 0,175 / 0,144 / 0,173 / 0,170, respectivamente) não havendo diferença significativa do ponto de vista prático, devido não ter grande variação entre as amostras.

Se considerar somente o ensaio de teor de cinzas, para verificação da propriedade térmica do material, permite a utilização de qualquer taxa de reciclo entre as amostras analisadas.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de teor de cinzas das amostras de cada tipo de material, 100% virgem, 100% de reciclo e com adição de material reciclado (10%, 20%, 30% e 50%)

<b><u>ENSAIO DE TEOR DE CINZAS</u></b>						
<b>AM</b>	<b>VIRGEM</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>100%</b>
1	30,30	30,52	30,48	30,70	30,39	30,33
2	30,07	30,89	30,84	30,67	30,12	30,55
3	29,93	30,72	30,53	30,48	30,29	30,55
4	30,15	30,87	30,65	30,58	30,42	30,49
5	30,12	30,80	30,57	30,57	30,13	30,32
6	29,88	30,59	30,60	30,49	30,36	30,46
7	30,06	30,74	30,50	30,72	30,31	30,42
8	30,22	30,60	30,79	30,53	30,25	30,38
9	30,19	30,62	30,72	30,51	30,20	30,52
10	29,96	30,53	30,57	30,52	30,14	30,35
11	29,87	30,48	30,36	30,38	30,12	30,45
12	29,68	30,59	30,55	30,85	30,56	30,74
13	30,25	30,78	30,45	30,89	30,68	30,25
14	30,36	30,85	30,68	30,38	30,54	30,77
15	30,42	30,95	30,78	30,46	30,62	30,56
16	30,10	30,51	30,25	30,52	30,31	30,64
17	30,08	30,58	30,36	30,65	30,23	30,25
18	30,16	30,67	30,54	30,68	30,52	30,41
19	30,19	30,85	30,68	30,35	30,47	30,33
20	30,24	30,89	30,67	30,69	30,58	30,45
21	30,29	30,93	30,26	30,62	30,45	30,41
22	30,35	30,47	30,38	30,41	30,23	30,79
23	30,02	30,81	30,46	30,45	30,09	30,82
24	29,91	30,76	30,55	30,43	30,25	30,41
25	29,86	30,77	30,64	30,78	30,26	30,31
26	29,99	30,62	30,24	30,71	30,55	30,29
27	30,04	30,49	30,83	30,75	30,24	30,55
28	29,84	30,71	30,82	30,76	30,37	30,62
29	30,15	30,63	30,78	30,62	30,39	30,21
30	30,21	30,59	30,52	30,61	30,64	30,25
<b>Σ</b>	<b>902,88</b>	<b>920,81</b>	<b>917,05</b>	<b>917,77</b>	<b>910,71</b>	<b>913,88</b>
<b><math>\bar{x}</math></b>	<b>30,10</b>	<b>30,69</b>	<b>30,57</b>	<b>30,59</b>	<b>30,36</b>	<b>30,46</b>
<b>MÁX</b>	<b>30,42</b>	<b>30,95</b>	<b>30,84</b>	<b>30,89</b>	<b>30,68</b>	<b>30,82</b>
<b>MÍN</b>	<b>29,68</b>	<b>30,47</b>	<b>30,24</b>	<b>30,35</b>	<b>30,09</b>	<b>30,21</b>
<b>D.P.</b>	<b>0,178</b>	<b>0,146</b>	<b>0,175</b>	<b>0,144</b>	<b>0,173</b>	<b>0,170</b>

#### 4.1.2 Ensaio de propriedade física

##### a) Resultado do ensaio de viscosidade

Por não haver uma especificação da montadora norte americana para este ensaio foi realizado um ensaio para fins comparativos entre o material virgem versus o reciclado. Conforme entrevista e orientação do especialista em materiais, foi utilizada uma amostra de cada material (material 100% virgem, 100% reciclado, com adição de material reciclado de 10%, 20%, 30% e 50%). Os resultados encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Ensaio comparativo do número de viscosidade do material 100% virgem versus material reciclado e o material virgem com adição de material reciclado em diferentes porcentagens (10%, 20%, 30% e 50%).

#### ENSAIO DE NÚMERO DE VISCOSIDADE

Amostra	Virgem	10%	20%	30%	50%	100%
Nº de Viscosidade	81	82	83	81	74	106

Analisando os valores obtidos no ensaio de número de viscosidade, percebe-se que a amostra 100% virgem (referência), 10, 20 e 30%, têm um comportamento similar com um número de viscosidade de 81 a 83, não sendo uma diferença significativa. Porém as amostras de 50 e 100% de reciclo apresentaram valores bem diferentes, em comparação com o valor de referência do material virgem, com um número de viscosidade de 74 e 106 respectivamente. Percebe-se que acima de 50% de material reciclado, há uma influência significativa nas propriedades físicas do material em relação à viscosidade. Com o material mais ou menos viscoso há uma dificuldade de injetar o material que impacta diretamente na formação do produto e dos modos de falha que acontece como bolhas, manchas e defeitos superficiais.

Considerando o ensaio de número de viscosidade de forma independente, para verificação da propriedade física do material, o ensaio realizado permite a utilização das amostras analisadas até 30% de reciclo.

#### **4.1.3 Ensaios de propriedade mecânica**

##### **a) Resultados do ensaio de resistência à tração**

Observando os resultados encontrados (Tabela 11), pode-se destacar que as amostras de material 100% virgem, 10% e 20% de reciclo, atendem a especificação de no mínimo 155 MPa (com um valor médio de 164,55 /

164,40 / 159,99, respectivamente), com valores de desvio padrão (2,468 / 2,564 / 3,379, respectivamente) inferior as demais amostras, demonstrando uma estabilidade maior no processo. Para as amostras de 30, 50 e 100% nenhuma delas atendeu a especificação de no mínimo 155 MPa (com um valor médio de 140,32 / 140,09 / 140,54, respectivamente), com valores de desvio padrão (3,735 / 5,492 / 6,027, respectivamente) superior às demais amostras.

Tabela 11 - Resultados do ensaio de resistência á tração das amostras de cada tipo de material, 100% virgem, 100% de reciclo e com adição de material reciclado (10%, 20%, 30% e 50%).

***ENSAIO DE RESISTÊNCIA Á TRAÇÃO***

AM	VIRGEM	10%	20%	30%	50%	100%
1	164,85	168,06	160,70	140,55	141,60	135,66
2	163,41	163,81	156,34	142,19	135,95	138,11
3	171,92	162,30	163,67	137,26	149,00	151,71
4	172,13	164,78	159,07	133,75	143,69	152,07
5	160,20	167,57	161,20	141,04	152,76	134,76
6	162,90	160,09	156,02	141,26	137,48	144,76
7	163,26	163,98	156,44	145,27	146,94	138,71
8	161,93	162,61	160,87	141,18	131,16	142,02
9	162,37	165,98	158,47	137,30	141,42	144,67
10	165,76	165,00	161,32	136,28	136,03	140,95
11	166,99	164,59	172,30	140,03	138,27	137,68
12	164,62	163,28	157,92	136,43	145,86	147,88
13	163,12	163,35	160,26	142,19	138,21	140,93
14	162,62	158,66	160,43	135,70	149,27	144,77
15	164,32	165,39	156,01	143,32	134,35	138,06
16	166,39	167,30	158,48	146,53	141,99	150,09
17	164,30	168,60	157,38	135,81	137,50	141,71
18	164,58	167,85	156,82	133,86	135,63	120,56
19	163,47	167,86	165,88	144,24	136,36	142,63
20	163,42	162,47	157,77	141,99	132,64	141,42
21	166,24	165,43	158,19	142,90	137,30	141,65
22	165,20	164,03	159,85	145,36	136,71	143,24
23	164,73	166,50	161,95	135,95	147,66	134,54
24	163,83	160,71	160,38	141,81	144,40	140,34
25	163,99	162,80	156,27	138,32	131,61	136,67
26	164,49	164,46	160,26	147,74	137,73	137,79
27	162,69	165,62	161,10	138,48	138,09	139,07
28	163,25	163,46	159,29	143,70	139,62	135,32
29	164,50	159,76	161,40	139,27	144,14	137,11
30	164,93	165,74	163,56	140,00	139,30	141,32
$\Sigma$	4936,41	4932,04	4799,60	4209,71	4202,67	4216,20
$\bar{x}$	164,55	164,40	159,99	140,32	140,09	140,54
MÁX	172,1	168,6	172,3	147,7	152,8	152,1
MÍN	160,2	158,7	156,0	133,8	131,2	120,6
D.P.	2,468	2,564	3,379	3,735	5,492	6,027

Com os resultados adquiridos pode-se observar que as amostras de material virgem, 10 e 20% atenderam a especificação referente ao teste de resistência à tração, aprovando as amostras e não influenciando nas propriedades mecânicas do material. Com os resultados obtidos das amostras com 100% de reciclo e com faixas de reciclo de 30% e 50%, verificou-se que as amostras não atenderam a especificação, com isso estando reprovadas, influenciando de forma significativa na propriedade mecânica do material não viabilizando a utilização dessas amostras.

Levando em consideração o ensaio de resistência à tração de forma independente, para verificação da propriedade mecânica do material, só é possível a utilização das amostras analisadas até 20% de reciclo.

#### **b) Resultados do ensaio de resistência ao impacto IZOD**

Observa-se na Tabela 12 que as amostras de material 100% virgem, 10 e 20% de reciclo, atendem a especificação de mínimo 9,0 kJ/m<sup>2</sup> (com um valor médio de 12,1 / 10,7 / 11,5, respectivamente). Fazendo uma análise de comparação com os valores de desvio padrão encontrados no resultado do ensaio das amostras analisadas não foi observada uma grande diferença na dispersão dos valores.

Para as amostras de 100% de reciclo, e com faixas de reciclo de 30% e 50% utilizando-se o valor médio atendem a especificação de no mínimo 9,0 kJ/m<sup>2</sup> (com um valor médio de 9,8 / 10,2 / 9,0, respectivamente), porém foram encontradas algumas amostras, fora do especificado com valores inferiores a 9,0 kJ/m<sup>2</sup>, reprovando esta característica de resistência ao impacto para estas taxas de reciclo.

Tabela 12 – Resultados do ensaio de resistência ao impacto do material, 100% virgem, 100% de reciclo e com adição de material reciclado (10%, 20%, 30% e 50%).

***ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO***

AM	VIRGEM	10%	20%	30%	50%	100%
1	12,21	11,23	11,43	9,45	10,45	8,21
2	12,37	9,53	13,23	10,57	8,34	8,37
3	13,00	9,30	14,80	9,20	8,05	8,20
4	10,58	10,41	10,63	9,31	7,41	8,52
5	13,17	12,91	9,40	9,72	9,97	9,47
6	12,41	11,91	11,10	11,76	9,76	7,62
7	15,43	10,41	10,06	10,56	9,62	11,56
8	9,93	10,08	11,48	8,07	9,14	9,33
9	10,89	11,46	10,39	10,15	11,07	10,14
10	10,99	9,69	12,95	9,68	11,19	8,46
$\Sigma$	120,98	106,93	115,47	98,47	102,00	89,88
$\bar{x}$	12,1	10,7	11,5	9,8	10,2	9,0
MÁX	15,4	12,9	14,8	11,8	17,5	11,6
MÍN	9,9	9,3	9,4	8,1	7,4	7,6
D.P.	1,597	1,160	1,453	0,992	1,268	1,168

Analisando os resultados encontrados pode-se observar que as amostras de material 100% virgem, 10 e 20% atenderam a especificação referente ao teste de resistência ao impacto e não apresentaram em nenhuma das suas amostras, valores inferiores a especificação de 9,0 kJ/m<sup>2</sup>, aprovando as amostras e não influenciando as propriedades mecânicas do material. Para as amostras com 100% de reciclo, com adição de material reciclado de 30% e 50%.

Os resultados apresentados com o valor médio atendem a especificação, entretanto foi encontradas amostras com resultados inferiores a especificação de 9,0 kJ/m<sup>2</sup>, reprovando as amostras para estas condições de reciclo, influenciando significativamente a propriedade mecânica do material.

Considerando somente o ensaio de resistência ao impacto, para verificação da propriedade mecânica do material, só é possível a utilização do material até 20% de reciclo entre as amostras analisadas.

#### 4.1.4 Avaliação da qualificação dos materiais

Avaliando os materiais de forma geral, com os ensaios aos quais foram submetidos, somente duas condições podem ser utilizadas que são as amostras de matéria prima virgem com adição de 10 e 20% de reciclo que foram aprovadas em todos os testes em comparação com o material 100% virgem, atendendo as especificações e exigências dos clientes. Também consegue-se observar que a maior influência do material reciclado nas amostras analisadas é constatada nas propriedades mecânicas dos materiais, a partir dos ensaios de resistência à tração e ao impacto que não atenderam as especificações do cliente, conforme mostra a Tabela 13 a seguir:

Tabela 13 - Status dos resultados dos ensaios

Ensaios	Material Virgem	Quantidade de material reciclado				
		10%	20%	30%	50%	100%
DSC	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Teor de cinzas	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Viscosidade	OK	OK	OK	OK	ÑOK	ÑOK
Resistência à tração	OK	OK	OK	ÑOK	ÑOK	ÑOK
Resistência ao impacto	OK	OK	OK	ÑOK	ÑOK	ÑOK

#### 4.2 A evolução do nível da ecoeficiência

Para iniciar a análise da medição da ecoeficiência, foi dado um ponto de partida referente aos indicadores de desempenho, que já eram monitorados para atendimento a norma ISO 14001 em 2010. Com isso foram levantados os dados para medição da ecoeficiência, no primeiro semestre de cada ano, para obter o mesmo período de análise dos três anos propostos no trabalho. O nível de ecoeficiência do ano de 2010 está na Tabela 14 a seguir:

Tabela 14 – Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2010.

<b>Ecoeficiência no 1º semestre de 2010</b>					
Indicadores de Desempenho					
	e1	e2	e3	e4	
e1	Número de peças produzidas / ( kWh ) de energia elétrica				
e2	Número de peças produzidas / ( dm <sup>3</sup> ) de evaporação de água				
e3	Número de peças produzidas / ( kg ) de matéria prima consumida				
e4	Número de peças produzidas / ( kg ) de resíduo				
<b>Situação no 1º semestre de 2010</b>					
Processo	Indicadores de Desempenho				
Máquina	e1	e2	e3	e4	E <sub>Mit1</sub>
<b>1</b>	2,29	4,93	8,52	54,85	<b>80,81</b>
<b>2</b>	2,09	4,70	7,76	34,03	<b>47,68</b>
<b>3</b>	3,65	6,76	9,30	68,02	<b>120,98</b>
<b>4</b>	3,73	6,92	9,51	67,10	<b>122,55</b>
<b>5</b>	4,88	8,38	10,42	65,20	<b>140,67</b>
<b>6</b>	5,08	8,28	10,84	85,44	<b>186,55</b>
<b>7</b>	5,36	8,13	10,64	70,07	<b>156,42</b>
<b>8</b>	3,37	5,31	9,90	57,87	<b>104,84</b>
<b>9</b>	2,49	3,48	7,18	40,01	<b>52,58</b>
<b>Média</b>	<b>3,66</b>	<b>6,32</b>	<b>9,34</b>	<b>60,29</b>	<b>E<sub>Pt1</sub></b>
<b>Nível de ecoeficiência do processo</b>					<b>112,56</b>

Pode-se observar que a Tabela 14 mostra a ecoeficiência de cada máquina (E<sub>Mit1</sub>) e do processo considerado (E<sub>Pt1</sub>) com o valor global de 112,56.

Com base nos resultados do ano 2010, a equipe responsável aplicou algumas ações para melhoria do sistema em 2011, como conscientização e treinamento dos funcionários para evitar os desperdícios, colocando procedimentos e instruções nos postos de trabalho e envolvendo os funcionários para a conscientização da importância dos aspectos e impactos ambientais no processo nos quais eles participam. Observado na Tabela 15 a seguir:

Tabela 15 – Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2011.

<b>Ecoeficiência no 1º semestre de 2011</b>					
<b>Indicadores de Desempenho</b>					
	<b>e1</b>	<b>e2</b>	<b>e3</b>	<b>e4</b>	
<b>e1</b>	Número de peças produzidas / ( kWh ) de energia elétrica				
<b>e2</b>	Número de peças produzidas / ( dm <sup>3</sup> ) de evaporação de água				
<b>e3</b>	Número de peças produzidas / ( kg ) de matéria prima consumida				
<b>e4</b>	Número de peças produzidas / ( kg ) de resíduo				
<b>Situação no 1º semestre de 2011</b>					
<b>Processo</b>	<b>Indicadores de Desempenho</b>				
<b>Máquina</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>	<b>e3</b>	<b>e4</b>	<b>E<sub>Mit2</sub></b>
<b>1</b>	2,43	5,22	9,03	56,10	<b>87,81</b>
<b>2</b>	2,25	5,06	8,34	33,05	<b>50,46</b>
<b>3</b>	4,00	7,41	10,19	71,50	<b>139,90</b>
<b>4</b>	3,85	7,14	9,81	68,39	<b>128,94</b>
<b>5</b>	5,08	8,72	10,84	65,86	<b>148,39</b>
<b>6</b>	5,45	8,89	11,64	86,02	<b>202,84</b>
<b>7</b>	5,80	8,79	11,51	75,63	<b>182,60</b>
<b>8</b>	3,76	5,92	11,04	63,37	<b>128,17</b>
<b>9</b>	2,62	3,66	7,55	40,28	<b>55,90</b>
<b>Média</b>	<b>3,92</b>	<b>6,76</b>	<b>9,99</b>	<b>62,24</b>	<b>E<sub>Pt2</sub></b>
<b>Nível de ecoeficiência do processo</b>					<b>125,00</b>

Como se observa a ecoeficiência melhorou no ano de 2011 no mesmo período medido em 2010, tendo um aumento do nível de ecoeficiência na ordem de 10% em 12,44 pontos, saindo de um valor inicial de 112,56 para 125,00.

Entretanto a partir do segundo semestre de 2011, intensificou-se a conscientização dos funcionários e também agregou-se mais uma etapa ao processo, que é a reciclagem de galhos/bolsas e peças defeituosas, com alguns investimentos, como moinhos, dosadores e filtros. Com os equipamentos instalados no processo de reciclagem, haverá uma redução do volume de matéria prima virgem adquirida, porque uma parte será reprocessada.

Em uma análise mais aprofundada do ponto de vista da ecoeficiência, esse tipo de processo irá minimizar a extração de recursos naturais, provenientes do petróleo, trazendo benefícios para o meio ambiente, porém com a entrada de novos equipamentos o consumo de energia elétrica aumenta, reduzindo nesse aspecto a ecoeficiência. Porém de acordo com Santos (2013), pode-se avaliar o nível de ecoeficiência global, e verificar a influência combinada dos indicadores aplicados em um determinado processo. A Tabela 16 a seguir mostra os resultados da medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2012:

Tabela 16 - Medição da ecoeficiência no 1º semestre de 2012.

<b>Ecoeficiência no 1º semestre de 2012</b>					
<b>Indicadores de Desempenho</b>					
	<b>e1</b>	Número de peças produzidas / ( kWh ) de energia elétrica			
e2		Número de peças produzidas / ( dm <sup>3</sup> ) de evaporação de água			
e3		Número de peças produzidas / ( kg ) de matéria prima consumida			
e4		Número de peças produzidas / ( kg ) de resíduo			
<b>Situação no 1º semestre de 2012</b>					
<b>Processo</b>	<b>Indicadores de Desempenho</b>				
<b>Máquina</b>	<b>e1</b>	<b>e2</b>	<b>e3</b>	<b>e4</b>	<b>E<sub>Mit3</sub></b>
<b>1</b>	2,24	5,89	10,18	61,49	<b>104,59</b>
<b>2</b>	2,02	5,55	9,15	38,01	<b>60,82</b>
<b>3</b>	3,99	9,39	12,91	93,86	<b>218,08</b>
<b>4</b>	3,29	7,75	10,65	72,26	<b>139,38</b>
<b>5</b>	4,26	9,67	12,02	73,79	<b>169,82</b>
<b>6</b>	4,46	9,62	12,59	88,56	<b>209,21</b>
<b>7</b>	4,57	9,33	12,22	81,03	<b>189,65</b>
<b>8</b>	2,93	6,22	11,60	66,21	<b>131,54</b>
<b>9</b>	2,32	4,40	9,06	46,47	<b>72,36</b>
<b>Média</b>	<b>3,34</b>	<b>7,54</b>	<b>11,15</b>	<b>69,08</b>	<b>E<sub>Pt3</sub></b>
<b>Nível de ecoeficiência do processo</b>					<b>143,94</b>

Pode-se notar que a Tabela 14 mostra o crescimento do nível de ecoeficiência no primeiro semestre do ano de 2012 em relação aos últimos anos, um aumento na ordem de 13.16% em relação ao ano de 2011 e um percentual de 21.80 em relação ao ano de 2010.

#### 4.3 Discussão

Para analisar os resultados encontrados neste trabalho, se faz necessário ressaltar duas etapas: a comprovação do material virgem com adição de material reciclado comparado com o material 100% virgem; e análise da ecoeficiência na área de injeção plástica para um processo de reciclagem, no período de três anos considerando o primeiro semestre de cada um, utilizando nove máquinas que trabalham com o mesmo material PA 6 com 30% de fibra de vidro.

Analisando o caso da comprovação do material virgem com adição de material reciclado, foram realizados ensaios para análise das propriedades térmicas, físicas e mecânicas do material, como ensaio DSC e teor de cinzas (propriedade térmica), viscosidade (propriedade física), resistência à tração e ao impacto (propriedade mecânica).

Avaliando os materiais de forma geral, com os ensaios aos quais as amostras foram submetidas, somente duas condições do material virgem com adição do material reciclado podem ser utilizadas: 10% e 20% de reciclo, que foram aprovadas em todos os testes em comparação com o material 100% virgem, atendendo às especificações e exigências dos clientes.

Com isso pode-se notar nos ensaios que verificam as propriedades mecânicas, testes de resistência à tração e ao impacto, reprovando as amostras acima de 20 % de reciclo. Entretanto os ensaios que verificam as propriedades térmicas, que são os testes de DSC e teor de cinzas, mostram que nesse caso o material virgem com adição de material reciclado está aprovado, demonstrando que o material virgem com adição de material reciclado não impacta esta propriedade. Para a propriedade física o teste utilizado foi a viscosidade, para uma avaliação comparativa, que de acordo com o resultado acima de 50% de reciclo, a viscosidade se torna instável, dificultando na prática o processamento do material.

Para a avaliação da ecoeficiência realizando análise individual nos indicadores tem-se:

- Para o indicador de consumo de energia elétrica houve um aumento do nível da ecoeficiência no ano 2011. Considerando os valores médios, ela aumentou 6.6% em comparação ao ano de 2010. Entre as ações implantadas a manta aquecedora instalada no suporte do bico injetor das máquinas contribuiu com a diminuição de energia elétrica aumentando assim a ecoeficiência. Já no ano de 2012 com a implantação do sistema de reciclagem e o aumento do número de equipamentos para a realização desse processo, o nível de ecoeficiência desse indicador diminuiu comparado ao ano de 2011, resultando em um consumo maior de energia elétrica.
- Para o indicador de consumo de água evaporada da torre de resfriamento foram considerados os valores médios, com isso o aumento do nível de ecoeficiência foi de 6.5% no ano de 2011 comparado ao ano de 2010. Para a

melhoria desse indicador foi reduzido o tempo de ciclo, que em 2012 a ação se manteve com a implantação do sistema de reciclagem.

- No caso do indicador de consumo de matéria prima no ano de 2011 o aumento do nível da ecoeficiência foi de 6,5% comparado ao ano de 2010. Esse aumento foi devido o maior controle e conscientização dos operadores seguindo os procedimentos e instrução de trabalho. No ano de 2012 o aumento foi na ordem de 10,40%, este indicador foi favorecido pela implantação do processo de reciclagem.

- Com o indicador de geração de resíduo também houve um aumento do nível de ecoeficiência no ano de 2011 em comparação ao ano de 2010, devido o maior controle e conscientização dos operadores seguindo os procedimentos e instrução de trabalho. No ano de 2012 houve um aumento do nível da ecoeficiência na ordem de 10% comparado ao ano de 2011.

Após a análise individual dos indicadores de ecoeficiência a Tabela 17 mostra a evolução do nível de ecoeficiência global nos três anos de análise, pode-se perceber que no ano de 2012 ficou evidente a melhoria, em comparação aos anos de 2010 e 2011. Os investimentos aplicados na área da moldagem plástica para efetivar o uso do material reciclado elevaram significativamente o nível de ecoeficiência global do processo estudado. De forma geral a produção de peças automotivas em uma área de moldagem plástica em conjunto com a reciclagem, pode se tornar um processo mais ecoeficiente de acordo com a pesquisa realizada.

Tabela 17 – Evolução do nível de ecoeficiência

<b>Evolução do nível de ecoeficiência</b>			
<b>Processo</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Máquina</b>	<b><math>E_{Mit1}</math></b>	<b><math>E_{Mit2}</math></b>	<b><math>E_{Mit3}</math></b>
<b>1</b>	<b>80,81</b>	<b>87,81</b>	<b>104,59</b>
<b>2</b>	<b>47,68</b>	<b>50,46</b>	<b>60,82</b>
<b>3</b>	<b>120,98</b>	<b>139,90</b>	<b>218,08</b>
<b>4</b>	<b>122,55</b>	<b>128,94</b>	<b>139,38</b>
<b>5</b>	<b>140,67</b>	<b>148,39</b>	<b>169,82</b>
<b>6</b>	<b>186,55</b>	<b>202,84</b>	<b>209,21</b>
<b>7</b>	<b>156,42</b>	<b>182,60</b>	<b>189,65</b>
<b>8</b>	<b>104,84</b>	<b>128,17</b>	<b>131,54</b>
<b>9</b>	<b>52,58</b>	<b>55,90</b>	<b>72,36</b>
<b>Nível de Ecoeficiência</b>	<b><math>E_{Pt1}</math></b>	<b><math>E_{Pt2}</math></b>	<b><math>E_{Pt3}</math></b>
	<b>112,56</b>	<b>125,00</b>	<b>143,94</b>

## 5. CONCLUSÕES

Após a pesquisa realizada pode-se considerar que as perguntas dos problemas foram respondidas conseguindo alcançar os objetivos propostos.

Para a proposta de trabalhar no processo de moldagem plástica utilizando material virgem com adição de diferentes faixas de material reciclado, foi observado que as amostras ensaiadas foram qualificadas. As amostras de material virgem com adição de material reciclado apresentaram resultados que podem ser utilizados até 20% de reciclo, com comportamento similar ao material 100% virgem.

Em relação à proposta de melhoria da ecoeficiência por meio da adoção do processo de moldagem plástica com adição do material reciclado ao material virgem, após os resultados obtidos essa proposta também foi aceita. A partir dos resultados obtidos verificou-se um aumento no nível de evolução da ecoeficiência global de 13.16% no ano de 2012 em comparação ao ano anterior.

O presente trabalho tem uma contribuição ao conhecimento e à prática da Engenharia de Produção no que se refere à avaliação de um determinado material para utilização no processo e à análise do nível de evolução da ecoeficiência global considerando um conjunto de máquinas em um determinado processo e suas métricas ambientais, contribuindo com a constatação de poder utilizar o material reciclado em até 20% e apresentando melhoria no nível de ecoeficiência global.

Devido à utilização de um material para análise (PA6 com 30% de fibra de vidro), um conjunto de nove máquinas injetoras com moldes específicos em uma determinada área do processo (moldagem plástica), nesta dissertação pode-se observar uma limitação: a impossibilidade de se generalizar a aplicação dos resultados de ensaios, do processo de moldagem plástica com adição de material reciclado e suas métricas ambientais que foram abordadas, pelo fato da pesquisa ser desenvolvida em uma área e condição específica.

Este trabalho também propicia o desenvolvimento de pesquisas futuras para uma investigação mais aprofundada sobre o tema sugerindo a utilização de outros processos, outras máquinas, outros materiais, outros indicadores em outras proporções em relação às quantidades, para melhor entendimento da avaliação do nível de medição da ecoeficiência global expostas em outras condições.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: Sistema de Gestão Ambiental –Requisitos com orientação para uso –diretrizes. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14031**: Gestão Ambiental –Avaliação de Desempenho Ambiental – diretrizes. Rio de Janeiro, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3418 – 08**: Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry, USA, 2008.

\_\_\_\_\_. **ASTM D256 – 10**: Standard Test Method for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastic, USA, 2010.

\_\_\_\_\_. **ASTM D638 – 10**: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, USA, 2010.

AL-SALEM S. M.; LETTIERI P.; BAEYENS J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review, **Waste Management**, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2009.06.004.

BRENT G. F. Quantifying eco-efficiency within life cycle management using a process model of strip coal mining, **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, 2011, doi: 10.1080/17480930.2011.553476.

BURNETT R. D.; HANSEN D. R. Ecoefficiency: Defining a role for environmental cost management, **Accounting, Organizations and Society**, 2007, doi:10.1016/j-aos.2007.06.002.

CALLISTER W. D. **Materials Science and Engineering : an Introduction**. 7th ed., p. 355-420, Utah: Wiley, 2007

\_\_\_\_\_. **Materials Science and Engineering : an Introduction**. 7th ed., p. 629-636, Utah: Wiley, 2007

CAUCHICK MIGUEL P. A., (org) **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPROM, 2012.

COMOGLIO C.; BOTTA S. The use of indicators and the role of environmental management systems for environmental performances improvement: a survey on ISO 14001 certified companies in the automotive sector, **Journal of Cleaner Production**, 2011, doi:10.1016/j.jclepro.2011.08.022.

ELGADIR M. A.; BAKAR J.; ZAIDUL I. S. M.; RAHMAN R. A.; ABBAS K. A.; HASHIM D. M.; KARIM R. Thermal behavior of selected starches in presence of other food ingredients studied by Differential Scanning Calorimetry (DSC) - Review, **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2009, doi:10.1111/j.1541-4337.2009.00078.x.

EVORA M. C.; GONÇALVES O. L.; DUTRA R. C. L.; DINIZ M. F.; WIEBECK H.; SILVA L. G. A. Comparação de técnicas FTIR de transmissão, reflexão e fotoacústica na análise de poliamida-6, reciclada e irradiada, **Polímeros**, 2002, doi: 10.1590/S0104-14282002000100013.

FERNANDES B. L.; DOMINGUES A. J. Caracterização mecânica de polipropileno reciclado para a indústria automotiva, **Polímeros**, 2007, doi: 101590/S0104-14282007000200005.

GIBSON K.; TIERNEY J. M. The Evolution of Environmental Management Systems: Back to Basics, **Environmental Quality Management**, 2011, doi:10.1002/tqem.20306.

GIL, Antônio Carlos. **Metodologia**: Como elaborar projeto de pesquisa. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996.

\_\_\_\_\_. **Metodologia**: Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOITISOLO I.; EGUIAZÁBAL J. I.; NAZÁBAL J. Effects of reprocessing on the structure and properties of polyamide 6 nanocomposites, **Journal Polymer Degradation and Stability**, 2008, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2008.07.030.

GOODSHIP V. Plastic recycling, **Science Progress**, 245-268, 2007, doi:10.3184/003685007X228748.

GUENSTER N.; BAUER R.; DERWALL J.; KOEDIJK K. The economic value of corporate eco-efficiency, **European Financial Management**, 2010, doi:10.1111/j.1468-036X.2009.00532.x.

HERAS-SAIZARBITORIA I.; MOLINA-AZORÍN J.F.; DICK G.P.M. ISO 14001 certification and financial performance: selection-effect versus treatment-effect, **Journal of Cleaner Production**, 2011, doi:10.1016/j.jclepro.2010.09.002.

HERVA M.; FRANCO A.; CARRASCO E. F.; ROCA E. Review of corporate environmental indicators, **Journal of Cleaner Production**, 2011, doi: 10.1016/j.jclepro.2011.05.019.

HOPEWELL J.; DVORAK R.; KOSIOR E. Plastic recycling: challenges and opportunities, **Biological Sciences**, 2008, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 307:2007**: Plastics – Polyamides – Determination of viscosity number, Genebra, 2007.

\_\_\_\_\_. **ISO 3451-4:1998**: Plastics –Determination of ash, Genebra, 1998.

JEKEL L. J.; ASCE M.; TAM E. K. L. Plastics Waste Processing: Comminution Size Distribution and Prediction, **Waste Management & Research**, 2007, doi:10.1177/0734242X06069474.

KABIR M. R.; ROOKE B.; DASSANAYAKE G. D. M.; FLECK B. A. Comparative life cycle energy, emission, and economic analysis of 100 kW nameplate wind power generation, **Renewable Energy**, 2011, doi:10.1016/j.renene.2011.06.003.

LAZAREVIC D.; AOUSTIN E.; BUCLET N.; BRANDT N. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective, **Resources, Conservation and Recycling**, 2010, doi:10.1016/j.resconrec.2010.09.014.

LIFSET R. Moving beyond eco-efficiency articulating visions for industrial ecology, **Journal of Industrial Ecology**, 2011, doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00399.x.

LU Y. Y.; SHI T. F.; AN L. J.; WANG Z. G. Intrinsic viscosity of polymers: From linear chains to dendrimers, **EPL – A Letters Journal Exploring the Frontiers of Physics**, 2012, doi: 10.1209/0295-5075/97/64003.

KUMAR S.; PANDA A. K.; SINGH R. K. A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel, **Resources, Conservation and Recycling**, 2011 doi:10.1016/j.resconrec.2011.05.005.

MEYERS G. D.; MCLEOD G.; ANBARCI M. A., An international waste convention: measures for achieving sustainable development, **Waste Management & Research**, 2006, doi:10.1177/0734242X06069474.

NAWROCKA D.; BRORSON T.; LINDHQVIST T. ISO 14001 in environmental supply chain practices, **Journal of Cleaner Production**, 2009, doi:10.1016/j.jclepro.2009.05.004.

NAWROCKA D.; PARKER T. Finding the connection: environmental management systems and environmental performance, **Journal of Cleaner Production**, 2008, doi:10.1016/j.jclepro.2008.10.003.

NISHIDA H. Development of materials and technologies for control of polymer recycling, **Polymer Journal**, 2011, (2011) 43, 435-447; doi:10.1038/pj.2011.16.

MCHUGH J.; FIDEU P.; HERRMANN A.; STARK W. Determination and review of specific heat capacity measurements during isothermal cure of an epoxy using TM-DSC and standard DSC techniques, **Journal Polymer Testing**, 2010, doi:10.1016/j.polymertesting.2010.04.004.

OLUGU E. U.; WONG K. Y.; SHAHAROUN A. M. Development of key performance measures for the automobile green supply chain, **Resources, Conservation and Recycling**, 2010, doi:10.1016/j.resconrec.2010.06.003.

PACHEKOSKI W. M.; AGNELLI J. A. M.; BELEM L. P. Thermal, mechanical and morphological properties of poly (hydroxybutyrate) and polypropylene blends after processing, **Materials Research**, 2009, doi:10.1590/S1516-14392009000200008.

PEDRINI D. C.; RAFAELI L.; PIZZOLATO M.; CATEN C. S. Análise da Ecoeficiência de uma Indústria Siderúrgica Brasileira, **XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET)**, Rio de Janeiro, 2008.

PETROSILLO I.; RAFAELI L.; PIZZOLATO M.; CATEN C. S. EMAS in local authorities: Suitable indicators in adopting environmental management systems, **Ecological Indicators**, 2011, doi:10.1016/j.ecolind.2011.06.011.

PSOMAS E. L.; FOTOPOULOS C. V.; KAFETZOPOULOS D. P. Motives, difficulties and benefits in implementing the ISO 14001 Environmental Management System, **Management of Environmental Quality**, 2011, doi:10.1108/1477783111136090.

ROMÃO W.; SPINACÉ M. A. S.; PAOLI M-A, Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação a sua reciclagem, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2009, vol. 19, nº 2, p. 121-132.

SANJUAN N.; RIBAL J.; CLEMENTE G.; FENOLLOSA M. L. Measuring and improving eco-efficiency using data envelopment analysis: A case study of Mahón-Menorca cheese, **Journal of Industrial Ecology**, 2011, doi: 10.1111/j.1530-9290.2011.00347.x.

SANTOS J. C. S. Proposta de integração da técnica seis sigma (DMAIC) com métricas ambientais para a busca de melhorias na ecoeficiência de um processo industrial. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho – UNINOVE, São Paulo, 2013.

SPINACÉ M. A. S.; DE PAOLI M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros, **Química Nova**, 2005, doi:10.1590/S0100-40422005000100014.

TRA, Torres de Resfriamento de Água, São Paulo. Disponível em:  
<<http://www.tratorres.com.br/flash/default.aspx>>. Acesso em: 16 out.2012. 11:42:24

VILAPLANA F.; KARLSSON S. Quality Concepts for the improve use of recycled polymeric materials: A Review, **Journal Macromolecules**, 2008, doi:10.1002/mame.200700393.

YANG M.; KHAN F.I.; SADIQ R.; AMYOTE P. A roughest-based quality function deployment (QFD) approach for environmental performance evaluation: a case of offshore oil and gas operations, **Journal of Cleaner Production**, 2011, doi:10.1016/j.jclepro.2011.04.005.

WASILKOSKI C. M. Comportamento mecânico dos materiais poliméricos, Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 2006.

WBCSD, The World Business Council for Sustainable Development - **Measuring ecoefficiency**. A guide to reporting company performance. Geneva: WBCSD, 2000A.

WBCSD – World Business Council for Sustainable Development., **Ecoefficiency - creating more value with less impact**. Geneva: WBCSD, 2000B.

ZHAO W.; HUPPES G.; VOET E. V. D. Eco-efficiency for greenhouse gas emissions mitigation of municipal solid waste management: A case study of Tianjin, China, **Waste Management**, 2011, doi: 10.1016/j.wasman.2011.01.013.