

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M

**ESTUDO DO CICLO DE RECICLAGEM DE MATERIAIS EM BLENDS
ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO / POLICARBONATO**

Luis Henrique Alves Cândido

Tese de Doutorado

Porto Alegre
2011

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M

**ESTUDO DO CICLO DE RECICLAGEM DE MATERIAIS EM BLENDS
ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO / POLICARBONATO**

Luis Henrique Alves Cândido

Trabalho realizado no Laboratório de Design e Seleção de Materiais do Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre

2011

LUIS HENRIQUE ALVES CÂNDIDO

**ESTUDO DO CICLO DE RECICLAGEM DE MATERIAIS EM BLENDA
ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO / POLICARBONATO**

Esta Tese de doutorado foi avaliada pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior – PPGE3M/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Fernanda Giannotti da Silva Ferreira – CONCREMAT/SP

Prof. Dr. Hugo Marcelo Veit – PPGE3M/UFRGS

Prof. Dr. Ricardo Vinícius Bof de Oliveira – IQ/UFRGS

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGE3M/UFRGS

Patrícia,
minha amada esposa.
Obrigado por sua dedicação,
pelo carinho,
por cuidar da rafa,
enquanto eu estava ausente.
Obrigado por entender a importância dessa etapa,
em nossas vidas.

Filha,
obrigado por teu sorriso amoroso,
pelas nossas brincadeiras
e por tua alegria,
a cada dia.

Aos meus pais e irmãos
pelo apoio, incondicional, em todos
os momentos dessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Ao Mestre maior pela oportunidade desse momento.

Ao meu orientador, Professor Dr. Wilson, por acreditar, incentivar e apoiar meu trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, particularmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais-PPGE3M.

Aos amigos e colegas do LdSM pelo apoio e incentivo.

Aos laboratórios que me apoiaram nos ensaios térmicos e mecânicos, em especial ao LACER.

Agradeço a Professora Dr^a Tatiana Rocha, ao Professor Dr. Ricardo Oliveira, ao Professor Dr. Hugo Veit e a Professora Dr^a Raquel Mauler, pelo apoio técnico e científico desse trabalho.

Agradeço aos amigos Renan e Larissa, do Instituto de Química, pela dedicação e apoio para a realização deste trabalho.

Aos meus familiares por sua disponibilidade em todos os momentos.

Aos que me ajudaram com seus ensinamentos, exemplos e atitudes, em todos os lugares que passei, durante toda minha vida.

RESUMO

Embora tenham sido desenvolvidas ferramentas de projeto com foco ambiental, como o Ecodesign e os 3R's, o descarte de materiais, sem o devido tratamento, tem ampliado durante os últimos anos. Esta situação faz com que diversas empresas, muitas vezes pressionadas por órgãos públicos, legislações e pelo consumidor, repensem seus processos industriais e suas metodologias para a projeção e fabricação de produtos. Desta forma, a presente pesquisa estuda o Ciclo de Reciclagem dos Materiais (CRM) como uma ferramenta de apoio técnico-científica para a Seleção de Materiais, que visa a auxiliar a área de Engenharia e de Design no desenvolvimento de novos produtos. O CRM possibilita a tomada de decisões projetuais, pois é possível avaliar a vida útil do material, tendo como parâmetro suas propriedades mecânicas após cinco ciclos de reciclagem. Como estudo de caso, a ferramenta do CRM foi aplicada na análise da blenda ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno)/PC (Policarbonato), na composição de 70% em ABS, mais 30% em PC. Essas amostras foram caracterizadas pelas técnicas da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), calorimetria exploratória diferencial (DSC), termogravimetria (TG), cromatografia de permeação em gel (GPC), ensaios de tração e ensaios de impacto. Os dados obtidos, a partir dessas técnicas, deram origem ao ponto de intersecção do CRM. A geração desse ponto permite um maior controle e monitoramento das propriedades mecânicas do material após sua reciclagem. Dessa forma, os resultados obtidos, apontaram que a blenda 70/30 precisa sofrer uma correção na composição da mistura após sua reciclagem, objetivando, assim, manter ou melhorar suas propriedades mecânicas de impacto. A presente pesquisa também avaliou a utilização do ABS reciclado, oriundo de carcaças de computadores pessoais, para a fabricação da blenda 70/30. Os resultados obtidos demonstraram que, com a utilização de 2% de ABS reciclado, a força de impacto obtida, se aproxima dos valores observados para o ABS virgem. Acima de 2%, a composição torna-se extremamente frágil. Neste sentido, os resultados dos estudos de caso, apontaram a viabilidade de aplicação do CRM, como ferramenta para a Seleção de Materiais, tendo como parâmetro projetual a reciclagem do material.

Palavras-chave: Reciclagem. Ciclo. Engenharia. Materiais. Design. Ecodesign.

ABSTRACT

Although some project tools with focus on the environment such as Ecodesign and the 3R's have been developed, material disposal without proper treatment has expanded in recent years. This situation causes many companies, following pressure from public bodies, laws and consumers, to re-think their industrial processes and methodologies for the design and manufacture of products. Thus, the present study involves the cycle of recycling of materials (CRM) as a tool of scientific-technical support for the selection of materials, which aims to assist both engineering and design areas in the development of new products. CRM enables decision-making involving projects, since it is possible to evaluate the useful life of materials by taking as parameter their mechanical properties after five cycles of recycling. As a case study, the CRM tool was applied in the analysis of ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene)/PC (polycarbonate), in the composition of 70% ABS and 30% PC. These samples were characterized by fourier transform Infrared spectroscopy (FT-IR), differential scanning calorimetry (DSC), thermogravimetry (TG), gel permeation chromatography (GPC), traction tests and impact tests. Data obtained from these techniques gave rise to the point of intersection of CRM. The generation of such point allows greater control and monitoring of mechanical properties of the material after its recycling. This way, the results obtained showed that the 70/30 blend must suffer a correction in its composition after recycling in order to maintain or improve its mechanical properties of impact. This study also evaluated the use of recycled ABS derived from carcasses of personal computers, for the manufacture of 70/30 blend. The results showed that, with the use of 2% recycled ABS, the impact strength obtained approaches the obtained values observed for the virgin ABS. Above 2%, the composition becomes extremely fragile. In this respect, the results of case studies pointed out the feasibility for CRM implementation as a tool for the selection of materials, taking the recycling material as a project parameter.

Keywords: Recycling; Cycle; Engineering; Materials; Design; Ecodesign.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índices de extração de recursos naturais	14
Figura 2 - 3R's.....	18
Figura 3 - Desmontagem de aparelhos de televisão.....	26
Figura 4 - Geração de resíduos sólidos	26
Figura 5 - Panorama evolutivo dos materiais	28
Figura 6 - Materiais x modalidades sensoriais	30
Figura 7 - Método para escolha de materiais.....	32
Figura 8 - Materiais e design na fase projetual.....	33
Figura 9 - Ciclo de vida dos materiais	33
Figura 10 - Primeiro ciclo de vida dos materiais	34
Figura 11 - Panorama de blendas.....	35
Figura 12 - Ciclo global dos materiais	37
Figura 13 - Compatibilidade dos materiais	43
Figura 14 - Espectro de FTIR do ABS reciclado (a) e do ABS virgem (b).....	46
Figura 15 - Espectro de FTIR do PC reciclado (a) PC virgem (b).....	47
Figura 16 - ABS v, ABS r e PC.....	53
Figura 17 - Ciclo de reciclagem dos materiais	54
Figura 18 - Organograma de aplicação do CRM.....	54
Figura 19 - Primeira etapa processual.....	56
Figura 20 - Segunda etapa de processamento.....	57
Figura 21 - Terceira etapa de processamento	59
Figura 22 - Quarta etapa de processamento.....	61
Figura 23 - Máquina extrusora	62
Figura 24 - Perfil da rosca utilizada no processo de extrusão	63
Figura 25 - Injetora dos corpos de prova.....	64
Figura 26 - Equipamento de FTIR.....	65
Figura 27 - Equipamento DSC	66
Figura 28 - Equipamento TGA.....	67
Figura 29 - Equipamento GPC	67
Figura 30 - Corpo de prova ensaio de tração.....	68
Figura 31 - Máquina universal - ensaio de tração.....	68
Figura 32 - Equipamentos para ensaio de impacto Izod	69
Figura 33 - Corpo de prova ensaio de impacto.....	69
Figura 34 - Materiais de referência.....	70
Figura 35 - Materiais com processamento.....	71
Figura 36 - Espectro de FTIR CRM a.....	72
Figura 37 - Espectro de FTIR CRM b.....	73
Figura 38 - Espectro de FTIR ABS r	74
Figura 39 - Curvas de DSC dos materiais utilizados	75
Figura 40 - Curvas de DSC da segunda etapa do CRM	76
Figura 41 - Curvas de DSC da terceira etapa do CRM	77
Figura 42 - Curvas de DSC da quarta etapa do CRM.....	78
Figura 43 - Termograma TGA do ABS v, do ABS r e do PC	79
Figura 44 - Termograma DTG do CRM a.....	79
Figura 45 - Termograma DTG do CRM b.....	80
Figura 46 - Termograma DTG da blenda 70/30 v composta de ABS r.....	81
Figura 47 - Ponto de intersecção do CRM	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mercado de celulares e computadores pessoais no Brasil	44
Tabela 2 - Blendas poliméricas.....	50
Tabela 3 - Características mecânicas dos materiais utilizados	52
Tabela 4 - Composição da blenda padrão	53
Tabela 5 - Formulações contendo ABS r	61
Tabela 6 - Parâmetros de extrusão da primeira etapa.....	63
Tabela 7 - Parâmetros de extrusão da segunda, terceira e quarta etapas de processamento.....	64
Tabela 8 - Parâmetros de injeção.....	65
Tabela 9 - GPC da Blenda 70/30 v	82
Tabela 10 - Valores de referência para o ensaio de tração	83
Tabela 11 - Valores de ensaio de tração após processo em CRM a e CRM b.....	84
Tabela 12 - Valores de ensaio de tração após processo com ABS r	84
Tabela 13 - Valores de referência para o ensaio de impacto	85
Tabela 14 - Valores de ensaio de impacto após processo em CRM a e CRM b.....	86
Tabela 15 – Resistência ao impacto com uso do ABS r.....	87

LISTA DE SÍMBOLOS

FTIR - Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier
DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial
TGA - Termogravimetria
TIC's - Tecnologias de Informação e Comunicação
ABS - Acrilonitrila-Butadieno-Estireno
PC - Policarbonato
CRM - Ciclo de Reciclagem dos Materiais
3R's - Reduzir, Reutilizar e Reciclar
DfE - Design for Environment
DfD - Design for Disassembly
ASTM - American Society for Testing and Materials
WEEE - Waste Electrical and Electronic Equipment
DfR - Design For Recycling
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ISO - International Organization For Standardization
SMS - International Sound Material-Cycle Society
G8 - Grupo de oito países (Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Rússia, Reino Unido e os Estados Unidos)
TPU - Termoplastico Poliuretano
PET - Politereftalato de Etileno
EPDM - Etileno-Propileno-Dieno
PPO - Poly(P-Phenylene Oxide)
VDI - Verein Deutscher Ingenieure
SAN - Estireno Acrilonitrila
PE - Polietileno
PP - Polipropileno
EPR - Etileno Propileno
PMMA - Polimetilmetacrilato
POM - Polioximetileno
PVC - Policloreto de Vinila
PPE - Polifenileno Éter
PSF - Polissulfona
PA - Poliamida
PC - Policarbonato
MPa - Mega Pascal
THF - Tetrahydrofurano
IZOD - English engineer Edwin Gilbert Izod (1876-1946)
IQ - Instituto de Química
LdSM - Laboratório de Design e Seleção de Materiais
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
PEEK - PolyEtherEtherKetone
PPS - Polyphenylene sulphide
PSU - Polysulfone
PI - Polyimide
LAMAT - Laboratório Multi-usuário de Análise Térmica
GPC - Cromatografia de Permeação em Gel
ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
J - Joule

SUMÁRIO

RESUMO	- 6 -
ABSTRACT	- 7 -
LISTA DE FIGURAS	- 8 -
LISTA DE TABELAS	- 9 -
LISTA DE SÍMBOLOS	- 10 -
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivo Específico	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Ecodesign	16
3.1.1 3R's	18
3.1.1.1 Redução	19
3.1.1.2 Reutilização	19
3.1.1.3 Reciclagem	20
3.1.1.3.1 Classificação dos tipos de reciclagem	22
3.1.1.3.2 Métodos de reciclagem de polímeros	22
3.1.1.3.3 Visão global da reciclagem de materiais	23
3.1.1.3.4 Barreiras técnicas	24
3.1.1.3.5 International Sound Material (ISM)	25
3.2 Design e Seleção de Materiais	27
3.3 Mix de materiais poliméricos	35
3.4 Técnicas de Processamento e Caracterização de Polímeros	38
3.4.1 Extrusão e injeção de polímeros	38
3.4.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR)	39
3.4.3 Calorimetria de varredura diferencial (DSC)	40
3.4.4 Termogravimetria (TGA)	40
3.4.5 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC)	41
3.4.6 Ensaio de tração e de impacto	41
3.5 Sistemas miscíveis e imiscíveis	42
3.6 Materiais Recicladados	44
3.6.1 Equipamentos eletroeletrônicos	44
3.6.2 ABS virgem	45
3.6.3 PC	46
3.6.4 Blendas	47
3.6.4.1 Blendas ABS/PC	49
3.6.4.2 Tg da blenda ABS/PC	50
3.6.4.3 TGA da blenda ABS/PC	50
4 MATERIAIS E MÉTODOS	52
4.1 Materiais - ABS v, ABS r e PC	52
4.1.1 Composição da blenda padrão	53
4.2 Método - Ciclo de Reciclagem dos Materiais	53
4.2.1 Fluxograma de processamento dos materiais	56
4.2.1.1 Fluxograma da primeira etapa	56
4.2.1.2 Fluxograma da segunda etapa – CRM a	57
4.2.1.3 Fluxograma da terceira etapa – CRM b	58
4.2.1.4 Fluxograma da quarta etapa	60
4.2.2 Processo de extrusão	62
4.2.3 Processo de injeção	64
4.2.4 Parâmetros de caracterização das amostras	65
4.2.4.1 FTIR	65
4.2.4.2 DSC	66

4.2.4.3 TGA.....	66
4.2.4.4 GPC	67
4.2.4.5 Ensaio de tração	67
4.2.4.6 Ensaio de impacto	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1 FTIR.....	70
5.1.1 Primeira etapa de processamento	72
5.1.2 Segunda etapa de processamento	72
5.1.3 Terceira etapa de processamento.....	73
5.1.4 Quarta etapa de processamento.....	74
5.2 DSC	75
5.2.1 Segunda etapa de processamento	76
5.2.2 Terceira etapa de processamento.....	77
5.2.3 Quarta etapa de processamento	77
5.3 TGA e DTG	78
5.3.1 Segunda etapa de processamento	79
5.3.2 Terceira etapa de processamento.....	80
5.3.3 Quarta etapa de processamento.....	80
5.4 GPC	81
5.5 Ensaio de tração	83
5.5.1 Segunda e terceira etapas de processamento.....	84
5.5.2 Quarta etapa de processamento	84
5.6 Ensaio de impacto	85
5.6.1 Segunda e terceira etapas de processamento.....	86
5.6.2 Quarta etapa de processamento.....	87
5.7 Ponto de intersecção do CRM	88
6 CONCLUSÃO	90
7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	93
8 PUBLICAÇÕES DO AUTOR NA ÁREA DA TESE	94
BIBLIOGRAFIA	95
APÊNDICE 1 - Software de seleção de materiais	105
ANEXO 1 – Lei 12305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos	106

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o ambiente vem, a cada dia, ganhando ênfase em todos os setores da sociedade¹⁻³, uma vez que inúmeros países têm adotado legislações severas aos efeitos nocivos causados por materiais inadequados, utilizados na fabricação de diversos produtos, que, após o uso, são descartados sem um tratamento adequado.⁴⁻⁷

Estima-se, segundo Ashby⁸, que temos de lidar com mais de cinquenta mil tipos de materiais disponíveis no mercado. Assim, a extração, o refinamento, o transporte, a reciclagem ou deposição final destes materiais são exemplos da complexidade do impacto ambiental gerado pelo grande número de materiais atualmente existentes.^{9-12,33} Durante o último século, os problemas ambientais eram muitas vezes vistos como problemas locais, devido ao impacto de um determinado produto.

No entanto, hoje em dia, com a globalização, torna-se mais evidente que os problemas são muito mais complexos e relacionados a todas as fases do ciclo de vida de um produto.¹³⁻¹⁵ Esta situação faz com que as empresas, muitas vezes pressionadas por órgãos públicos, legislações e até pelo consumidor, repensem seus processos industriais e suas metodologias para a projeção e fabricação de produtos mais sustentáveis.^{16-18, 120}

Embora ações venham sendo tomadas, pode-se dizer que existem pelo menos quatro problemas básicos que são complexos de resolver nos dias atuais: o excesso de consumo, a utilização descontrolada dos recursos naturais, a poluição e o crescimento populacional.¹⁹⁻²¹ Assim, é possível apontar que não existe nenhuma forma de desenvolver produtos sustentáveis sem que haja, no mínimo, um baixo nível de impacto²²⁻²⁵, ou seja, no momento em que se inicia qualquer processo, o impacto ambiental começa a ocorrer, resguardadas as proporções de cada um.

A gravidade destes impactos, quando relacionados com a redução dos recursos naturais, é evidenciada pelo *Ecological Footprint*²⁶, que mede a demanda da extração de recursos naturais pela humanidade. Este índice é construído, tendo como balizador, a quantidade de área produtiva necessária para satisfazer a demanda global de recursos naturais.

A Figura 1 apresenta os índices de extração de materiais entre os anos de 1963 a 2003.

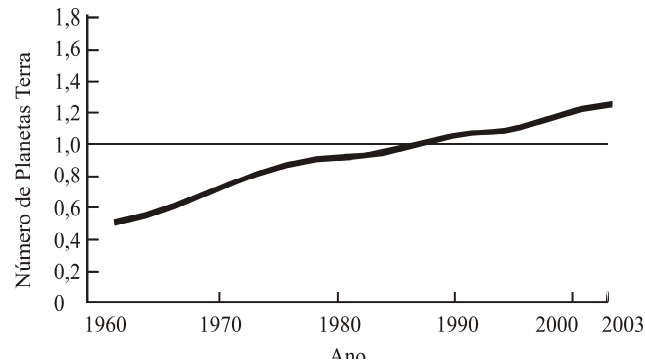


Figura 1 - Índices de extração de recursos naturais
 Fonte: Adaptado de *Ecological Footprint*²⁶

Podemos observar na Figura 1 que, por volta do ano de 1985, a capacidade produtiva do planeta chegou a seu limite de extração. Porém, ao observar o ano de 2003, constata-se que a capacidade produtiva natural foi superada em aproximadamente 25%. Este número reflete a velocidade de regeneração natural do planeta e demonstra que a atual extração de recursos naturais supera essa capacidade. Meadows²⁷, em seu livro *Los limites del crecimiento*, aponta índices semelhantes de degradação ambiental, e mostra que o limite de extração de recursos naturais do planeta, observado no ano de 1980, alcançou em 1999 um índice de extração 20% superior à capacidade de regeneração natural.

A extração de recursos naturais primários exige processar grandes quantidades de materiais que podem alterar e degradar o ambiente. Ao longo dos processos de extração, processamento, fabricação e uso destes materiais, grandes quantidades de rejeito são produzidas. Isto implica em dizer, segundo Meadows²⁷, que, para cada tonelada de material processado, outras cinco toneladas de resíduos são geradas na fase de produção e que, para a sua extração, são geradas aproximadamente outras vinte toneladas de resíduos.

A redução da extração da matéria-prima leva em conta, principalmente, a aplicação e o desenvolvimento de técnicas que permitam, no mínimo, realizar o mesmo trabalho com menor quantidade e diversidade de material. É preciso que engenheiros e *designers* tenham acesso a informações técnico-científicas que relacionem a influência da escolha de um material com sua futura reciclagem. Assim, é possível avaliar a estratégia de utilização deste material, ou seja, utilizar a matéria-prima virgem ou um material reciclado ou reciclável.

O desenvolvimento de um ciclo de projeto que englobe a redução, reutilização e reciclagem dos materiais, ou seja, os 3R's, torna-se fundamental neste processo. Porém, a reciclagem, tema foco deste trabalho, deve ser vista como um processo horizontal de projeto e seleção de materiais, no qual existam ponderações para a redução, reutilização e reciclagem dos materiais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é o de desenvolver e avaliar a aplicação do Ciclo de Reciclagem dos Materiais (CRM) em blendas poliméricas constituídas de ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno) / PC (Policarbonato). O CRM visa auxiliar a área de Engenharia e de Design na busca de soluções que incentivem o uso de materiais reciclados no desenvolvimento de produtos. Assim, pretende-se prolongar a vida útil dos materiais, independentemente do produto a ser desenvolvido.

2.2 Objetivo Específico

Tendo como foco o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Desenvolver e aplicar a técnica do CRM em blendas de ABS/PC;
- Avaliar a utilização de ABS reciclado na fabricação de blendas de ABS/PC;
- Caracterizar a blenda desenvolvida, através das técnicas de espectroscopia no infravermelho (FTIR), da calorimetria exploratória diferencial (DSC), da termogravimetria (TGA), da cromatografia de permeação em gel (GPC), do ensaio de tração e do ensaio de impacto;
- Gerar uma biblioteca de espectros, de ABS virgem, ABS reciclado, PC e das blendas desenvolvidas, a ser utilizado em equipamentos de FTIR.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os temas, Ecodesign, 3R's, Design, Seleção de Materiais e Mix de Materiais, foram selecionados devido a sua fundamental importância para o desenvolvimento do CRM. Estes temas abordam áreas do conhecimento que são referências quando se objetiva estudar a inserção da reciclagem, como fator de avaliação da vida útil dos materiais.

3.1 Ecodesign

O Ecodesign diz respeito ao ato de projetar produtos com a preocupação focada no ambiente e em todo seu ciclo de vida, evitando ou diminuindo as agressões ao ecossistema. Busca-se, mediante a correta utilização e seleção dos materiais ou processos de fabricação, facilitar o reuso, a reutilização e a reciclagem de materiais e produtos.⁴⁰ Com essa premissa, o emprego do Ecodesign busca diminuir o desperdício e a poluição ambiental, promovendo a resolução do conflito entre o desenvolvimento econômico e as questões referentes à preservação da natureza.³⁵

O Ecodesign, na atividade de desenvolvimento de produtos, procura incorporar a variável ambiental, considerando o meio ambiente com mesmo grau de importância que a eficiência, a estética, o custo, a ergonomia e a funcionalidade.³⁵ As áreas de Design e Engenharia de Materiais são detentoras dos maiores desafios na procura de critérios de avaliação e análise para posterior desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos. Sendo bem gerenciadas, as decisões da Engenharia de Materiais e do Design podem determinar a diminuição dos danos ao ambiente.

O Ecodesign é a integração de considerações ambientais na fase de concepção, considerando o ciclo de vida completo do produto, desde a aquisição de matérias-primas, até a deposição final. Assim, o Ecodesign, no aspecto do ciclo de vida do produto, pode ser balizado por cinco etapas fundamentais:

1. Seleção de materiais;
2. Otimização da produção;
3. Sistema eficiente de transporte;
4. Redução do impacto em vida útil do produto;
5. Fim da vida útil do produto.

Estas etapas visam agregar os conceitos básicos necessários para uma política de implementação do Ecodesign como técnica de desenvolvimento de produtos, incorporando os princípios da cadeia produtiva, desde a seleção da matéria-prima, até o fim da vida útil do produto, evidenciando, assim, a responsabilidade ambiental do fabricante do produto.

A primeira etapa desta estratégia posiciona a seleção de materiais como o início do ciclo de vida do produto. Essa abordagem se justifica, porque o primeiro processo de obtenção da matéria-prima é a sua extração do ambiente, e o impacto, gerado nessa fase, deve ser avaliado profundamente, buscando sua redução.

A demanda, a produção e o preço dos materiais estão estreitamente relacionados com o consumo de energia durante o processo de obtenção dessas matérias-primas e que, segundo Padilha³⁶, o consumo de energia na produção de materiais é da ordem de 15 a 25% de toda a energia primária utilizada nas economias industrializadas. Conforme descrito por Branco³⁷, é possível avaliar se um produto possui as características que o torne sustentável, se este contemplar os seguintes critérios:

- elimina ou reduz a formação de resíduos, em especial não recicláveis;
- apresenta baixo consumo de energia ou utiliza fontes alternativas de energias ou energias renováveis;
- utiliza matérias-primas e insumos ecologicamente sustentáveis;
- minimiza as possibilidades de uso inadequado do produto;
- não utiliza mão-de-obra infantil ou processos de transformação agressivos ao operário fabricante;
- apresenta soluções que racionalizem o uso de matérias-primas naturais;
- possibilita a substituição de partes e peças reduzindo a formação de resíduos e que facilita a manutenção, o reuso e a reciclagem;
- apresenta maior durabilidade, comparativamente com os produtos similares, ampliando o ciclo de vida;
- apresenta qualidade, objetividade, criatividade e soluções inovativas ao exteriorizar os conceitos de Ecodesign;
- utiliza um planejamento de marketing compatível com o conceito de sustentabilidade;
- oferece suporte de pós-venda com relação ao descarte e à reciclagem;
- atende às normas específicas de Ecodesign ou referentes à produção sustentável;

- deriva de metodologias de projeto compatíveis com os requisitos finais de sustentabilidade do produto;
- está protegido pelos instrumentos da propriedade intelectual;
- facilita o desmonte;
- apresenta características de multifuncionalidade;
- prioriza a utilização de tecnologias e materiais acessíveis.

Este conjunto de critérios permite diferenciar os produtos que incorporam reais conceitos de preservação ambiental, daqueles que permanecem na superficialidade da utilização de matérias-primas recicladas ou recicláveis.³⁷ Com base nestes critérios, é fundamental que, durante o desenvolvimento de novos produtos, a equipe de projeto (Engenheiros, Designers, e demais projetistas) considere ao máximo estes itens.

3.1.1 3R`s

Segundo Marques³⁸, é fundamental que o governo e a sociedade assumam novas atitudes, visando gerenciar de modo mais adequado a grande quantidade e diversidade de resíduos que são produzidos diariamente pelas empresas e residências. É preciso pôr em prática a desejável política dos “3R’s” (Reduzir, Reutilizar e Reciclar) e não continuar produzindo e gerando mais resíduos, deixando sem solução adequada seu tratamento e disposição.³⁸⁻⁴⁰

Conforme descrito por Veit^{93,94}, um dos grandes problemas da prática da reciclagem em produtos eletroeletrônicos é a dificuldade de desmontagem destes produtos, ou seja, a aplicação dos 3R’s não é levada em consideração na maioria dos produtos atualmente existentes. Esta prática projetual deve ser balizadora para o desenvolvimento de novos produtos, pois tende a reduzir o impacto no ambiente em todas as fases de execução e descarte. A Figura 2 mostra a configuração dos 3R’s e os respectivos subitens que foram considerados nesta pesquisa.

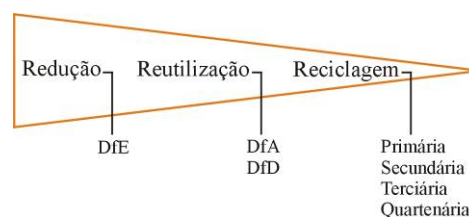


Figura 2 - 3R`s

3.1.1.1 Redução

O primeiro “R de reduzir” consiste basicamente na busca constante pela redução do número de componentes de um produto, pela redução do volume de materiais e pela redução do número de materiais incompatíveis e tóxicos.

O DfE, *Design for Environment*, é definido como a maneira sistemática de incorporação de atributos ambientais, fazendo escolhas adequadas durante o processo de concepção, o que resultará em menor impacto ambiental durante todo o ciclo de vida do produto até seu descarte. O DfE deve ocorrer no início da fase de concepção para assegurar que as variáveis ambientais sejam levadas em consideração antes de qualquer decisão de fabricação. A seguir, são listados alguns exemplos de requisitos orientados pela aplicação do DfE:

- utilizar sistemas de junção eficientes;
- minimizar o volume de materiais;
- minimizar a variedade de materiais utilizados;
- identificar todos os materiais, visando a sua posterior reciclagem;
- projetar sistemas modulares.

Estes requisitos são pontos que devem ser considerados no início do projeto, devendo ser balizados por informações técnico-científicas que auxiliem na reflexão sobre o impacto de ações tomadas no presente, e o que irão representar no futuro.

3.1.1.2 Reutilização

O segundo “R de reutilizar” significa utilizar novamente os sistemas e subsistemas dos objetos em sua forma original, ou não, incluindo também a reutilização dos materiais. O Design de Produto vem passando por mudanças profundas no processo de projeto nos últimos anos. Essa mudança transpassa a questão do produto ser esteticamente agradável, ser funcional e ter uma estrutura bem resolvida. Mas, além dessas questões, a aplicação do fator ambiental vem sendo imposta dia a dia como outro requisito de projeto.

Além de um projeto eficiente, as áreas de Engenharia e de Design precisam estar constantemente em vigília tecnológica no tocante à inovação, à seleção de materiais, aos processos de fabricação e outros. Produtos complexos, diversidade de materiais compatíveis e

incompatíveis, dificuldade de separação dos componentes, a escassa identificação do tipo de material utilizado e raras informações sobre a reciclabilidade dos produtos são barreiras técnicas para que o processo de reutilização tenha uma aplicação mais ativa e eficiente.

Conforme Azapagic ⁴¹, existem três principais obstáculos para que o processo de reutilização seja aplicado com eficiência. O primeiro diz respeito à coleta do produto, que é dificultada pela falta de uma estratégia de recolhimento e, na sequência deste problema, existe o baixo interesse da indústria em aplicar esta prática. O segundo obstáculo diz respeito ao *design* do produto que, em muitos casos, é projetado sem a preocupação pelo processo de desmontagem, ou seja, o *Design for Dissassembly* (DfD). O terceiro e último obstáculo traz a questão da baixa aceitação pelo usuário final de produtos reciclados.

Diante destas afirmações, pode-se concluir que o processo de reutilização de um produto, ou de seu respectivo material, em muitos casos, é preterido em função dos atuais processos de reciclagem, que não levam em consideração a relação produto *standard* e produto reciclado, principalmente, no tocante à qualidade do material utilizado.

3.1.1.3 Reciclagem

O terceiro e último “R de reciclar” é utilizado como foco nesta pesquisa, e consiste em aproveitar os materiais descartados no processo produtivo e também os materiais oriundos de produtos descartados. Nos dias atuais, a busca pela eficiência dos processos de reciclagem é vista como prioritária em diversos países industrializados, isto porque a quantidade de materiais e produtos descartados tem aumentado dramaticamente.⁴² Além do aspecto ambiental, já discutido pela sociedade, o aspecto econômico tem feito a reciclagem tomar uma importância estratégica sem precedentes, não só para os materiais poliméricos, mas também para as demais classes de materiais.⁴⁶

O aumento na produção de bens de consumo e a redução de seu ciclo de vida geram vultuosa quantidade de resíduos sólidos em nosso planeta, sendo que o cenário tecnológico atual está agindo de forma direta nessa degradação, principalmente pela dificuldade de separação dos componentes de um produto, o que inviabiliza sua plena reciclagem. Segundo Kindlein et al.¹⁰, encontramos-nos numa situação em que a sustentabilidade de nossas vidas está diretamente relacionada com a preservação do ecossistema, e torna-se cada vez mais necessário criar soluções e tomar medidas preventivas para minimizar este problema, sendo

que, uma medida viável é o reaproveitamento dos diferentes materiais utilizados na composição de um produto.

A preocupação com o fim da vida útil confere ao produto um maior valor agregado sempre que a eficiência no uso da energia, no uso dos materiais, na produtividade, na reciclagem e no uso do produto é planejada antecipadamente.⁴³ Lennart e Kevin¹³ afirmam que uma forma de vida mais correta ambientalmente é cada vez mais necessária e imprescindível para a sobrevivência do ser humano. Porém, a falta de informação sobre o assunto, juntamente com a escassez de material de pesquisa disponível, dificultam o desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos e economicamente viáveis.

Conforme Domingo⁴⁴, podem-se definir três pontos principais no processo de avaliação da qualidade do material reciclado: a primeira diz respeito à composição do material, a segunda descreve o estado de degradação do material e a terceira descreve o nível de contaminantes no material, como, por exemplo, aditivos, cargas minerais e outros. Ainda conforme Domingo⁴⁴, existem fatores que dificultam a separação e reutilização dos materiais do produto durante o processo de reciclagem. Esses fatores são definidos como:

- dificuldade de separação e escassa identificação do tipo de material;
- a baixa pesquisa na área dos processos de reciclagem que avaliem a composição, estrutura e propriedades dos materiais reciclados;
- a presença de componentes agressivos na composição dos materiais;
- o baixo desenvolvimento de técnicas de caracterização, *in loco*, que visem a avaliação do material a ser reciclado;
- a falta de métodos padronizados de reciclagem;
- a baixa preocupação do desenvolvimento de produtos com foco na reciclabilidade dos materiais.

Segundo Carvalho⁴⁵, cada vez mais as empresas estão enxergando na reciclagem um importante recurso para maximizar os lucros e colaborar com a sociedade na qual estão inseridas.

Porém, na contramão dessa tendência, Carvalho⁴⁵ descreve que existe uma restrição muito forte, na indústria, quanto à utilização de material reciclado para a fabricação de peças técnicas de maior valor agregado. Esse fato se deve pela falta de dados técnicos e simulações das condições de uso do produto. Ao analisar as informações descritas por Domingo⁴⁴ e

Carvalho⁴⁵, fica clara a necessidade do desenvolvimento de ferramentas ou técnicas de reciclagem que possibilitem um maior controle das propriedades dos materiais reciclados e incentive, assim, a maior utilização destes materiais pela indústria de transformação.

3.1.1.3.1 Classificação dos tipos de reciclagem

A norma ASTM D5033-00/revisão 2000 classifica a reciclagem em quatro tipos:

Reciclagem primária – processo no qual o resíduo gerado pela indústria no processo de fabricação do produto, como sobra de aparas, canais de injeção e outros, é introduzido novamente no processo produtivo. A matéria-prima deve conter propriedades similares ou iguais à matéria-prima virgem;

Reciclagem secundária – processo no qual a utilização da matéria-prima reciclada gera produtos com características técnicas diferentes do produto original, sendo que suas propriedades são inferiores a do material virgem;

Reciclagem terciária – processo pelo qual os materiais são reciclados via processo químico, gerando matérias-primas que podem ser reutilizadas no processo produtivo direto ou indireto;

Reciclagem quaternária – processo pelo qual os materiais são utilizados como fonte energética.

3.1.1.3.2 Métodos de reciclagem de polímeros

Reciclagem mecânica – a reciclagem mecânica utiliza processos manuais ou mecânicos para a separação e reciclagem dos materiais. Nesse processo é realizada, se necessária, a lavagem e homogeneização do material. O material virgem pode ser agregado ao reciclado, melhorando, assim, suas propriedades;

Reciclagem química – a reciclagem química é aplicada devido à necessidade de separação de materiais, quando não existe a compatibilidade química necessária para a sua reutilização no processo produtivo. O material gerado serve como componente para a geração de uma nova composição;

Reciclagem energética – essa forma de reciclagem é utilizada em processos de incineração, em que o resultado final é a geração de energia, que pode ser térmica ou elétrica. O resíduo desse processo é colocado em aterros sanitários controlados, sendo

que o material utilizado nesse processo pode ser oriundo tanto da reciclagem mecânica quanto da química.

Segundo Azapagic⁴¹, a escolha por um destes três processos deve ser orientada pela localização do agente gerador do resíduo, pelo tipo de transporte do material, pela infraestrutura existente e pela viabilidade econômica e tecnológica. Dentre os processos descritos anteriormente, a reciclagem primária é balizadora nesta pesquisa, isto porque a aplicação do CRM busca obter dos materiais reciclados características e propriedades similares, ou iguais, as da matéria-prima virgem.

3.1.1.3.3 Visão global da reciclagem de materiais

Segundo Medina⁴⁶, a mais importante sinalização de tendências dos rumos do desenvolvimento tecnológico e produtivo, para esse século, é a de que os processos produtivos que não levam em consideração os fatores ambientais são insustentáveis diante da aclamação pela consciência ecológica e da redução do uso de recursos naturais. Nessa nova visão, os processos produtivos e a aplicação de critérios de reciclabilidade passam a fazer parte da seleção dos materiais aplicados ao projeto de novos produtos, conforme salientado por Medina.⁴⁶

Um sinal importante desta tendência da preocupação com a reciclagem e reaproveitamento de materiais foi a implementação, em 2005, na União Européia, da diretiva denominada de *Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)*.⁴⁷⁻⁴⁸ Esta diretiva visa melhorar a reutilização e reciclagem de equipamentos eletroeletrônicos, objetivando, assim, a redução de seu descarte no ambiente. Esta legislação obriga os fabricantes a recolherem e reciclarem os aparelhos eletroeletrônicos descartados pelo usuário. A WEEE é vista também como um assunto fundamental, não somente do ponto de vista do tratamento de resíduos, mas também da recuperação do valor destes resíduos. Assim, é necessário identificar corretamente os materiais, quantificar os materiais valiosos e eliminar o uso de componentes tóxicos.

Conforme Medina⁴⁶, a tendência no aumento da taxa de reciclabilidade é resultado de diversos aspectos, tais como:

- um novo padrão de competitividade tecnológica que inclui inovações ambientais;

- uma seleção de materiais direcionada por essa tendência (reciclabilidade) global e irreversível;
- um forte desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental;
- novos métodos de desenvolvimento de projetos: Ecodesign, DfR (*Design for Recycling*) e DfE (*Design for Environment*);
- tecnologias limpas para produção, tratamento e reciclagem de materiais.

No Brasil, a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (ANEXO 1), institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que dispõe os princípios, objetivos e instrumentos sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

Esta lei tem como principais objetivos a proteção da saúde pública e da qualidade ambiental, a redução, a reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Com vistas a fortalecer a responsabilidade compartilhada, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidades que abrangem desde o investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos que estejam aptos após o uso pelo consumidor, até a reutilização, reciclagem, ou outra forma de destinação ambientalmente adequada.

Neste sentido, torna-se imprescindível o desenvolvimento e a aplicação de ferramentas que orientem a área de projeto de produtos na construção de planos de reciclagem que contemplem a visão futura das propriedades dos materiais e sua possível aplicação a novos produtos. Assim, a ferramenta do CRM (Ciclo de Reciclagem dos Materiais) visa orientar a prática projetual, demonstrando, assim, a importância do conhecimento sobre as propriedades dos materiais, tendo como balizador sua reciclagem.

3.1.1.3.4 Barreiras técnicas

As barreiras não-tarifárias, em especial as barreiras técnicas, assumem grande importância como mecanismos de proteção aos mercados atuais. Estas barreiras atingem as exportações dos países em desenvolvimento, sob a forma de exigências técnicas que os fabricantes desses países, por sua menor capacitação tecnológica, têm maior dificuldade de cumprir, como, por exemplo, a diretiva WEEE, a ISO 14000, a ISO 9000 e outras.^{49,50}

Barreiras Técnicas são barreiras comerciais derivadas da utilização de normas ou regulamentos técnicos, sendo que normas e regulamentos técnicos são entendidos como documentos que estabelecem características do produto, como função, desempenho, embalagem, etiquetagem ou métodos e processos de produção.⁴⁹

Podemos concluir, diante destas questões, que os países em desenvolvimento, como o Brasil, devem estar preparados para superar estas barreiras técnicas. Ao mesmo tempo em que existe um contexto global de competitividade produtiva e de consumismo exagerado, existe também uma elevação da preocupação ambiental, e temas como a WEEE podem, em um futuro não muito distante, servir de barreira à exportação ou importação de produtos.

Neste sentido, Medina⁴⁶ descreve que a busca por soluções que reduzam o impacto ambiental torna-se cada vez mais um item de concorrência em setores como o da indústria automobilística, incluindo-se, ainda, a indústria de produtos eletroeletrônicos.

3.1.1.3.5 *International Sound Material (ISM)*

Tendo como foco a sustentabilidade ambiental, o Japão promove a implementação dos 3R's, a nível global, através da *International Sound Material (ISM)*.⁵¹⁻⁵² Esta estratégia conta com políticas de reciclagem para um ciclo contínuo de tratamento de resíduos, e que atualmente tem como integrantes 21 países (Brasil, Canadá, China, União Européia, França, Alemanha, Índia, Indonésia, Itália, Japão, Malásia, México, Filipinas, Coreia, Rússia, Cingapura, África do Sul, Tailândia, Reino Unido, Estados Unidos e Vietnã).

Dentre as bases dos 3R's – Reduzir, Reutilizar e Reciclar –, a reciclagem é o ponto fundamental da política do ISM. Isto ocorre devido ao fato de que a produção industrial cada vez mais é exigida a aumentar sua velocidade de fabricação e a lançar novos produtos no mercado, e, assim, atender à demanda vigente em várias áreas da sociedade. Objetivando exemplificar o nível de comprometimento com essa política, a Figura 3, de A a L, mostra a estrutura desenvolvida no Japão para a desmontagem de aparelhos de televisão.



Figura 3 - Desmontagem de aparelhos de televisão
Fonte: Adaptado de ISM⁵¹

No processo apresentado na Figura 3, o produto (televisão) passa por um ciclo de desmontagem no qual, depois de completado, tem-se como resultado o reaproveitamento de 95% dos materiais utilizados no produto, sendo estes divididos em polímeros 25%, vidro 57%, aço 10%, alumínio 2%, cobre 3% e aproximadamente 3% de outros materiais. No Japão, esses procedimentos são aplicados também em aparelhos de ar-condicionado, máquinas de lavar roupas e refrigeradores.

A estratégia do ISM⁵¹ prevê a redução do consumo dos recursos naturais, minimizando, assim, o impacto no ambiente e, para isso, aplica princípios que promovem a reciclagem correta de produtos, a reciclagem de recursos naturais e orienta para a disposição de resíduos não reciclados. A importância da busca pela eficiência da reciclagem pode ser compreendida através dos dados apresentados pelo ISM⁵¹ (Figura 4), que mostram algumas regiões do planeta e os seus respectivos resíduos sólidos projetados até o ano de 2050.

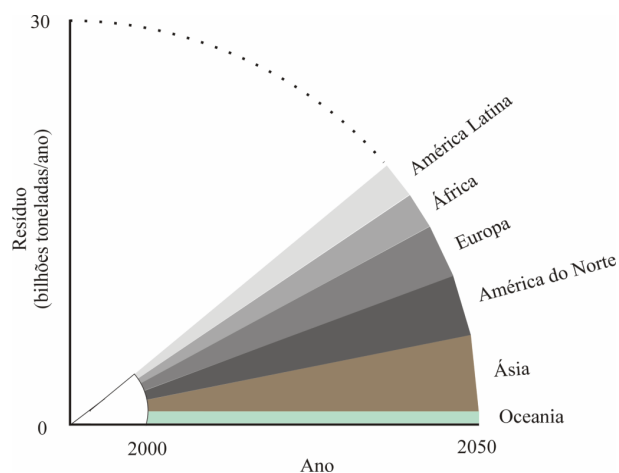


Figura 4 - Geração de resíduos sólidos
Fonte: Adaptado de ISM⁵¹

Ao avaliar a Figura 4, fica clara a previsão do aumento do resíduo sólido gerado pelas regiões em destaque, cabendo salientar que a Oceania é a única região onde a taxa de volume de resíduos se manteve constante. Neste sentido, ao constatar a tendência do aumento contínuo da geração de resíduos, pode-se apontar que os atuais processos de reciclagem utilizados para evitar esse aumento não estão sendo totalmente eficientes e, ou, suficientes.

Essa avaliação vai ao encontro da análise apresentada por Brown⁵⁸ de que tanto a indústria como os consumidores reconhecem que o ciclo de produção massiva e o consumo sem limites não podem mais ser sustentado.

Diante dessa constatação, torna-se necessário desenvolver uma nova abordagem que aponte para um caminho de desenvolvimento de novos produtos, em que seja considerada a reciclagem como parâmetro técnico-científico para a seleção de materiais, ainda na fase de projeto. Assim, pretende-se que a geração futura de resíduos venha a ser minimizada.

3.2 Design e Seleção de Materiais

Os materiais sempre estiveram presentes na evolução do homem. Mesmo sem entender essa interdependência, esses materiais eram utilizados para a sobrevivência humana.

Mas, ao longo do tempo, essa prática foi sendo incorporada a todas as culturas, tornando-se substância de realização em todas as esferas das civilizações. Basta lembrar que as diversas eras pelas quais o homem passou são caracterizadas pelo grau de desenvolvimento e utilização dos materiais: idade da pedra, idade do bronze, idade do ferro, etc.^{53,54,56}

O Designer tem como uma de suas incumbências transformar os materiais e tecnologias existentes em objetos de uso, ou seja, a materialização do contato do homem com o meio, através da forma tridimensional-física do objeto.^{55-57,60} Por mais avançada que seja a concepção de um projeto, esse fracassará se não resultar em um objeto funcional. Portanto, o conhecimento dos processos de fabricação e dos materiais é indispensável para que o Designer consiga materializar um projeto conceitual ou ideológico.⁵⁸⁻⁵⁹ Objetivando compreender a importância dos materiais para a civilização humana, a Figura 5 mostra um panorama evolutivo dos materiais ao longo dos tempos.

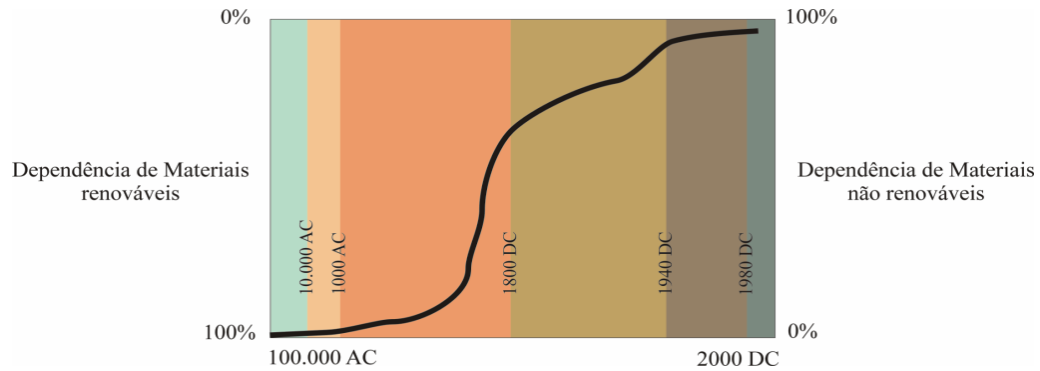


Figura 5 - Panorama evolutivo dos materiais
Fonte: Adaptado de Ashby⁵⁹

Observa-se, na Figura 5, que, no início da utilização dos materiais (100.000 AC), o homem era dependente somente de materiais naturais, ou seja, materiais renováveis. Ao longo da evolução humana, da descoberta de novos materiais e novas necessidades de consumo, o homem foi sendo levado a utilizar materiais altamente dependentes de recursos não renováveis (2000 DC). Esta atual dependência por materiais não renováveis dificilmente retornará a patamares mínimos, visto que a evolução humana, ao longo dos anos, teve como alicerce o desenvolvimento destes materiais provenientes de recursos não renováveis, como, por exemplo, o petróleo.

Com o surgimento dos polímeros, foi possível desvincular a relação direta material/produto existente até então⁴⁰, ou seja, uma faca não precisa ser fabricada somente em metal, mas pode ser construída utilizando-se outra classe de material, como, por exemplo, polímeros ou cerâmicos.

O processo inovador na área do Design é potencializado quando existe o interesse e a apropriação comercial de invenções ou a introdução de aperfeiçoamentos nos bens e/ou serviços utilizados pela sociedade.^{40,63-68} Neste sentido, a evolução dos materiais (Figura 5) propiciou ao Engenheiro e ao Designer o aumento no número de oportunidades e a quebra de paradigmas na utilização de materiais. Porém, as informações sobre a reciclabilidade destes materiais não tiveram a mesma evolução, gerando, com isso, uma carência de informações técnicas sobre esse tema.

Podemos dizer que o surgimento dos polímeros para uso mercadológico proporcionou um caráter radical na inovação dos produtos, o que modificou completamente as práticas técnico-científicas e sociais. Dentre estas inúmeras possibilidades, a utilização de um determinado material ocorre desde que suas propriedades físicas, mecânicas, químicas, seu custo e sua disponibilidade no mercado possam atender às especificações de projeto.^{8,17,19}

Na concepção atual de um produto, é possível utilizar materiais e processos de fabricação que até bem pouco tempo não eram sequer considerados.^{58,62} Um exemplo disso é o Titânio, que até recentemente era visto como um material exclusivo, caro e para uso militar, e que, atualmente, tem sido utilizado para outros fins, como próteses humanas, relógios, acessórios para alpinismo e outros. Da mesma forma, a Fibra de Carbono, que foi desenvolvida para aplicações específicas como em coletes à prova de balas e pontas de ogivas nucleares, é utilizada atualmente para outros fins, dadas as suas características peculiares, como a alta resistência mecânica aliada à leveza.

O Titânio e a Fibra de Carbono estão entre os milhares de diferentes materiais que utilizam diversos processos e técnicas de transformação que hoje estão disponíveis.⁸ Neste cenário, de quase infinita possibilidade de utilização de materiais, o Designer passa a ter a necessidade de adquirir conhecimentos que até então eram específicos das engenharias, tais como a estrutura e as propriedades dos materiais.⁵³⁻⁵⁴

Ocorre que, mesmo para a Engenharia, estes conhecimentos baseados em ciência e tecnologia vêm sendo suplantados frequentemente, com tempos cada vez mais curtos entre a pesquisa e a disponibilidade do material para o mercado. Isto certamente é estimulado pela concorrência entre os desenvolvedores de matérias-primas. Seguindo essa mesma ordem, no campo do Design, os ciclos de criação e maturação das ideias são também cada vez mais rápidos, não sendo raro um produto manter-se no mercado por apenas 30 ou 40 semanas. Assim, torna-se necessário agilizar e estreitar a relação entre os projetistas^{8,53,54}, sejam Designers ou Engenheiros, e favorecer a intercomunicação entre ambos⁵⁷, pois, em muitos casos, produtos são mal sucedidos devido justamente a esta falta de sinergia entre a seleção de materiais e o design, ou ainda, devido à escolha incorreta do processo produtivo.

Segundo Dias⁶³, selecionar materiais é muito mais do que simplesmente combinar requisitos de um produto com o objetivo de escolher um único material adequado para a sua produção, mas tudo começa com a definição das condições de trabalho do material. A seleção de materiais em uma empresa acontece em diferentes situações, como, por exemplo, na criação de um novo produto, em sua modificação ou em seu redesign. A Figura 6 apresenta, conforme Dias⁶³, uma síntese comparativa entre as modalidades sensoriais do usuário, como a visão, o tato, a audição, o olfato e o paladar com as propriedades intrínsecas dos materiais.

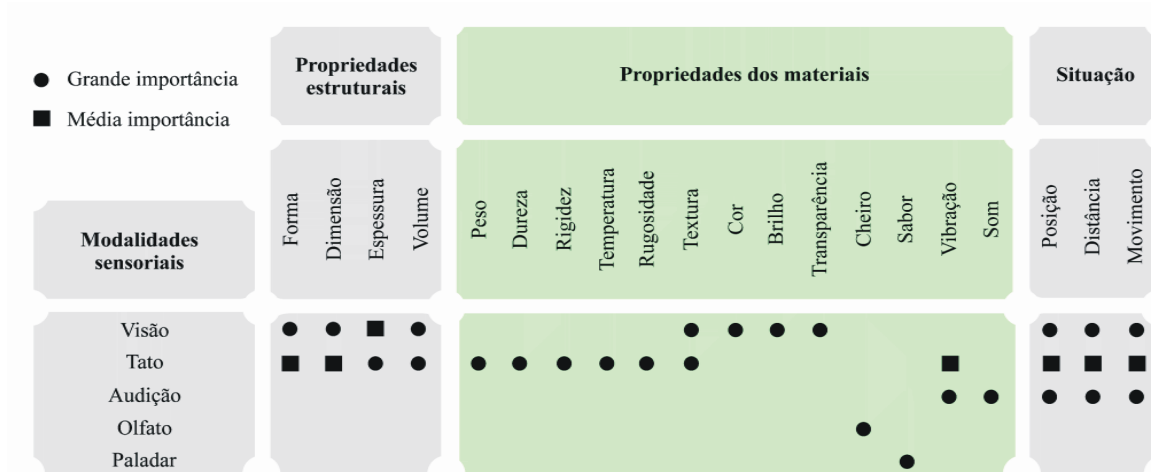


Figura 6 - Materiais x modalidades sensoriais
Fonte: Adaptado de Dias⁶³

Na síntese apresentada na Figura 6, fica claro que as propriedades mecânicas como resistência ao impacto, tração, propriedades químicas e a compatibilidade dos materiais não são características relevantes no entendimento do usuário final do produto, mas são informações fundamentais para a seleção do material na fase do projeto do produto. Esse fato demonstra que a integração da seleção de materiais para posterior reciclagem é de responsabilidade da equipe de projeto, ou seja, das áreas de design e de engenharia.

Para Löbach⁶⁴, um dos critérios principais na produção industrial é o uso econômico dos materiais para o desenvolvimento do produto. Neste sentido, a seleção de materiais tem um papel fundamental para que isso ocorra, a saber, o de classificar os materiais segundo as características desejadas no produto.

Conforme Munari²⁰, a indústria que apresenta o problema de um produto ou problema de processo ao Designer ou ao Engenheiro tem, certamente, uma tecnologia própria capaz de trabalhar certos materiais, mas fica limitada, não podendo utilizar outros materiais, devido à restrição de processo. É inútil pensar em soluções de projeto que desconsiderem os dados relativos aos materiais e às tecnologias de transformação (reciclagem primária), pois estas duas áreas precisam caminhar paralelamente para que ocorra uma perfeita sinergia entre produto e a seleção do material.

Para Ashby e Johnson⁵⁸, os produtos alcançam sucesso com uma combinação entre o bom projeto técnico e o projeto industrial criativo, na qual os materiais e os processos são usados para fornecer a funcionalidade, a usabilidade e a satisfação na compra. Segundo Baxter¹⁷, uma pesquisa realizada com mais de quinhentos produtos demonstrou que, desde a primeira ideia até se chegar a produtos lucrativos, existe uma taxa de mortalidade de 95%

desses produtos. O usuário mudou seu perfil, está mais informado, mais exigente e com altas expectativas de qualidade, serviço, design, preços baixos e também com os olhos voltados para questões ambientais.

Dentro deste contexto, a atividade de seleção de materiais exerce forte influência, pois o material escolhido deve se adequar perfeitamente ao conjunto de atributos esperados pelo produto, como a forma almejada, a usabilidade e o respeito ao ambiente.^{61,63,70} Manzini e Vezzoli¹⁵ descrevem que, para o desenvolvimento de um produto, não há atualmente apenas um material que se mostra como uma escolha óbvia, mas que existem inúmeros materiais diferentes que podem atender às necessidades esperadas.

Segundo Ferrante³⁴, as propriedades mecânicas, físicas, processos de fabricação, suprimentos, custos, certificações, acabamentos e reciclagem são as principais características a serem abordadas para a correta seleção dos materiais. Conforme Lennart e Kevin¹³, existem muitas idéias diferentes de como a seleção dos materiais para um produto deve ser feita, e muitas consideram somente a criação de um produto funcional. Lennart e Kevin¹³ propõem um método de desenvolvimento de novos produtos que leve em consideração o desenvolvimento do produto integrado. Nesta proposta, são apresentadas a unificação da seleção de materiais, o marketing e a análise do projeto como ferramentas para o desenvolvimento do produto. Esses dois autores descrevem que há muitos métodos diferentes para a seleção de materiais, entretanto, a maioria desses métodos se limita ao material como uma entidade física para dar forma a um produto, não considerando outros aspectos, como, por exemplo, sua reciclabilidade.

Pesquisas apontam que aproximadamente 90% de todos os bons produtos técnicos não são um sucesso no mercado.¹⁷ Um produto pode ser desenvolvido com uma técnica avançada, levando em consideração a seleção dos materiais, função e estética, mas, por muitas razões, o produto é uma falha no mercado.¹³ Segundo Lennart e Kevin¹³, para um produto ser bem aceito, os usuários devem compreender também as vantagens físicas do produto, aceitá-las, aprendê-las e devem apreciar as vantagens abstratas desse produto. A vantagem física é a característica material do produto como a seleção dos materiais, do ciclo de vida e de reciclabilidade.^{34,58}

Ferroli⁶⁶ desenvolveu, em sua tese, um método auxiliar para escolha de materiais que visa dar suporte ao design de produtos industriais. O método tem uma abordagem diferente de outros métodos para escolha de materiais existentes, pois, é aplicado durante a etapa de seleção das concepções viáveis, auxiliando na tarefa de verificação de qual alternativa melhor

se encaixa nos requisitos preestabelecidos pelos usuários. A Figura 7 mostra a abordagem da seleção de materiais desenvolvida por Ferroli.⁶⁶

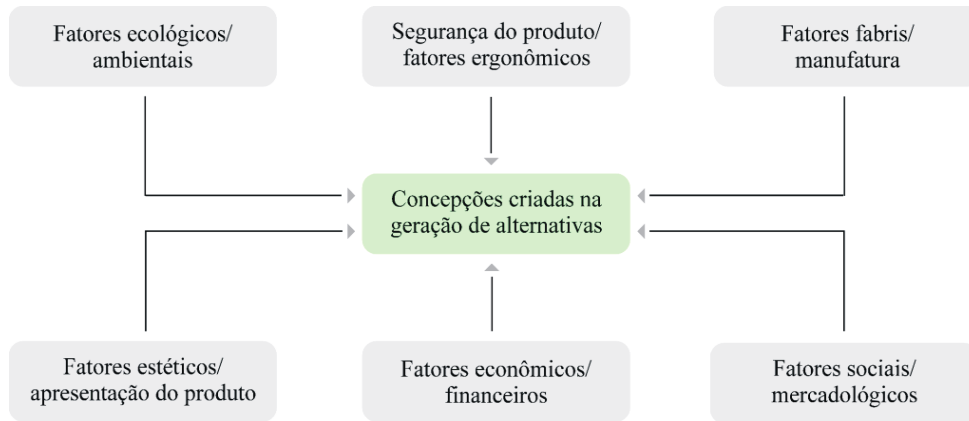


Figura 7 - Método para escolha de materiais
Fonte: Adaptado de Ferroli.⁶⁶

O método desenvolvido por Ferroli⁶⁶ demonstra, em um de seus pilares, a importância da utilização de fatores ecológicos e ambientais na fase de desenvolvimento do produto. Porém, a seleção de um material é tradicionalmente feita por informações técnicas, como demandas pelo preço, resistência dos materiais, temperatura de utilização, estabilidade dimensional, densidade, dureza e outras.^{73,74}

Na Figura 8, Deng e Edwards⁶⁹ descrevem as várias etapas que a seleção de materiais permeia durante o desenvolvimento de novos produtos. A primeira etapa constitui-se da identificação dos possíveis materiais que podem ser aplicados no projeto. Na segunda etapa, ocorre a seleção dos materiais, quando são avaliadas as possibilidades de uso, tendo como referência os materiais existentes no mercado. Se os materiais existentes não satisfazem os requisitos do projeto, então existe a possibilidade do desenvolvimento do material em uma terceira etapa. Após definido o material, o projeto pode prosseguir para as outras etapas de desenvolvimento.

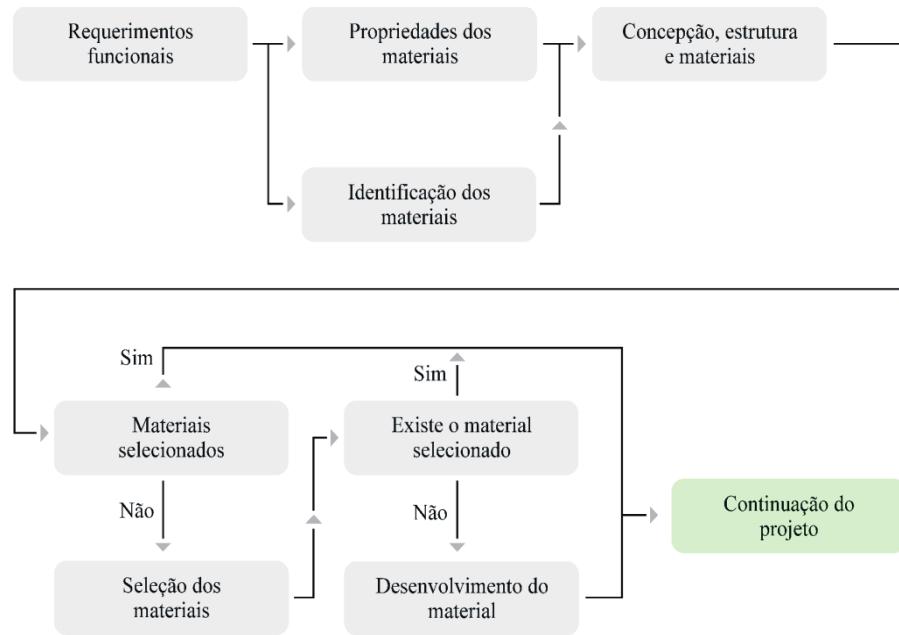


Figura 8 - Materiais e design na fase projetual
 Fonte: Adaptado de Deng e Edwards⁶⁹

Observa-se, na Figura 8, que a fase da Seleção de Materiais deve ser vista pelo Designer como de vital importância para o sucesso funcional do produto. Se a escolha do material não for a correta, o produto poderá sofrer danos, desde a baixa até graves consequências, dependendo de sua utilização pelo usuário. Porém, o processo descrito não menciona a escolha de processos de reciclagem durante a seleção do material, fato este que poderá dificultar ou anular a futura reciclagem dos materiais selecionados, isto porque nem todos os materiais desenvolvidos atualmente contemplam informações sobre sua reciclabilidade.

Callister³² descreve que um material que seja utilizado em algum produto final e que não seja descartado passa, ao longo de sua vida, por diversos estágios de utilização que são chamados de ciclo de vida dos materiais. A Figura 9 apresenta a estrutura desse ciclo e as relações de extração, processamento, utilização e descarte do material.

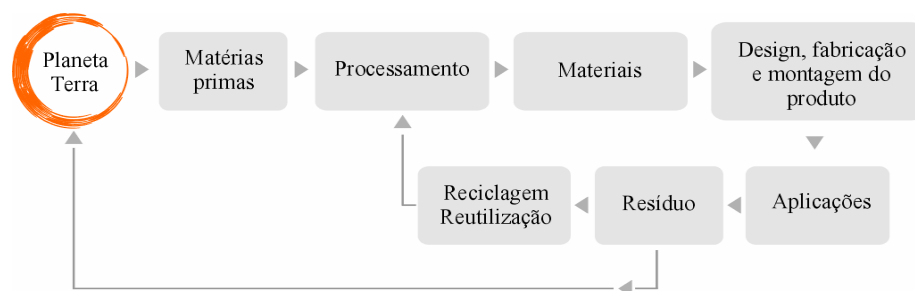


Figura 9 - Ciclo de vida dos materiais
 Fonte: Adaptado de Callister³²

Ao avaliar a Figura 9, nota-se que o estágio de reciclagem encontra-se após a aplicação do produto, não sendo avaliada a viabilidade da reciclagem, em fases anteriores.

Conforme apresentado por Ashby⁵⁹ (Figura 10), o fim de vida útil dos materiais, passa por várias etapas, que vão desde o processamento, projeto, uso e reciclagem.

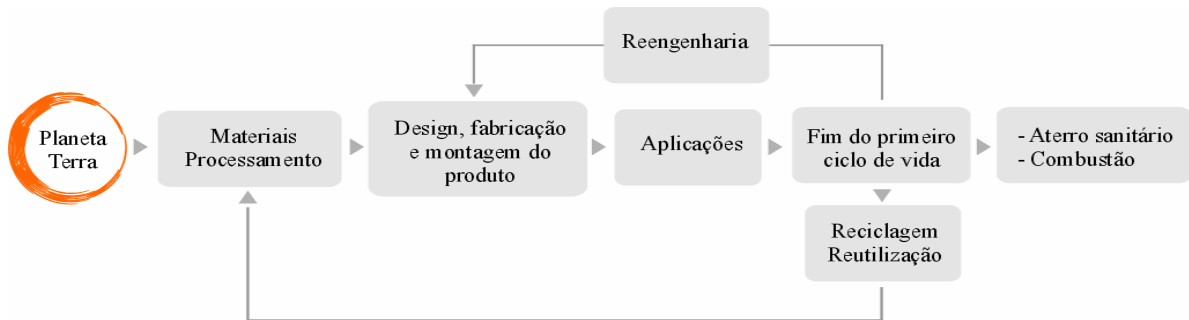


Figura 10 - Primeiro ciclo de vida dos materiais

Fonte: Adaptado de Ashby⁵⁹

Muito próximo, do processamento apresentado por Callister³² (Figura 9) , Ashby⁵⁹ avalia que o processo de reutilização dos materiais ocorre após o descarte do produto, ou seja, no fim do primeiro ciclo de vida, não contemplando, desta forma, uma avaliação da reciclabilidade do material antes do desenvolvimento do produto, ou seja , na etapa materiais/processamento.

Ashby e Johnson⁵⁸ descrevem que há pelo menos três formas de enfrentarmos a futura escassez de material. A primeira forma é o projeto eficiente de materiais que, segundo os respectivos autores, vários projetos utilizam material em demasia ou usam materiais escassos, enquanto os mais abundantes serviriam. A segunda forma de enfrentamento é entender que o fundamental para o produto são as propriedades do material e não o material em si. Assim, a substituição de um material por outro, desde que atenda às necessidades de projeto, é um caminho viável e inteligente, principalmente quando questões ambientais estão envolvidas. A terceira abordagem trata da reciclagem, ou seja, o projeto deve levar em conta todo o ciclo de vida do produto, desde o projeto até a reciclagem do material.

Neste sentido, Ashby e Johnson⁵⁸ apontam que, se não ocorrer o aumento do consumo de materiais reciclados, certamente, em um futuro próximo, os resíduos gerados chegarão a um volume insustentável ambientalmente. Ao avaliar estas ponderações, torna-se claro que não basta desenvolver um produto eficiente, bem aceito pelo usuário e com baixo custo de fabricação. O desenvolvimento deve levar em consideração a responsabilidade ambiental envolvida em todo o processo de projeto de fabricação e reciclagem. Porém, em vários casos,

os projetistas não possuem, ou são raras, as informações sobre um determinado material no que tange à sua reciclabilidade, sendo que predominam informações físicas, químicas ou mecânicas do material a ser utilizado.

3.3 Mix de materiais poliméricos

Atualmente, existe um número muito amplo de mix de materiais que podem ser aplicados nas mais diversas áreas, como, por exemplo, produtos eletroeletrônicos, indústria automobilística, utilidades domésticas, brinquedos e outros. De uma maneira geral, esse mix é fabricado a partir de materiais *commodities*, ou seja, são avaliados pelo preço de mercado, devido a seu alto consumo. Assim, a importância da mistura de polímeros torna-se cada vez mais evidente na indústria de transformação que busca melhorar o desempenho do material virgem reduzindo seu custo. Por esse motivo, é desenvolvida uma grande gama de composições de materiais que cresce anualmente em torno de 10%.⁹⁵

Segundo Lemmens⁹⁵, no ano de 1996, foram produzidas, a nível mundial, em torno de um milhão e quatrocentas mil toneladas de blendas, sendo grande parte deste material aplicado na indústria automobilística. A Figura 11 apresenta um panorama de polímeros termoplásticos e suas respectivas blendas desenvolvidas nesse período.

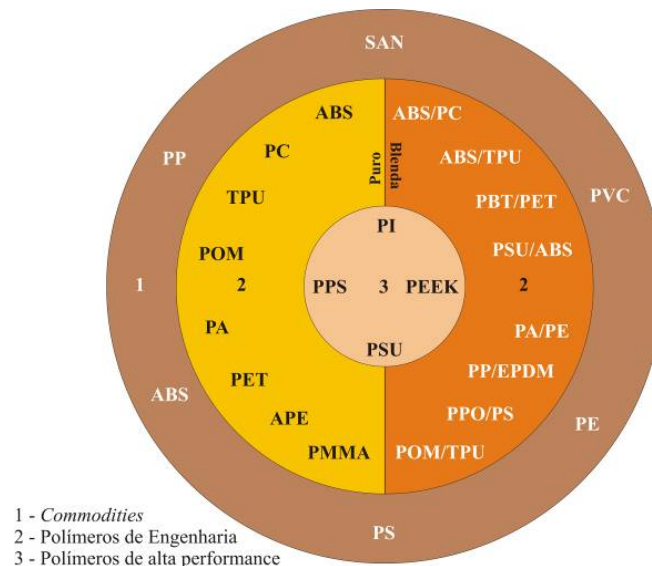


Figura 11 - Panorama de blendas
Fonte: Adaptado de Lemmens⁹⁵

A problemática que surge, ao avaliar o panorama mostrado na Figura 11, é a diversidade de blendas e suas respectivas composições que, ao serem utilizadas, podem

dificultar a separação e reciclagem destes materiais. Buscando reduzir essa problemática, Moraes⁷⁰ descreve que os novos paradigmas industriais influenciam o campo dos termoplásticos de engenharia e visam reduzir os ciclos de produção e melhorar o processo de reciclagem destes materiais. Assim, os fabricantes de matérias-primas investem em novas concepções e em formulações que melhor se ajustem à velocidade produtiva e aos compromissos ambientais deste novo século.

Lipkau⁷⁰, gerente geral de marketing para a América Latina da área de negócios plásticos da empresa Bayer, argumenta que a corrida pela reciclagem desencadeou a tendência de se buscar maior uniformidade no emprego dos materiais, reduzindo-se ao máximo o mix de diferentes polímeros destinados à indústria.

Esse fato, segundo Lipkau⁷⁰, sugere que a busca pela redução da diversidade de tipos de blendas também entrará neste ciclo da uniformidade, objetivando atender à necessidade da indústria quanto ao desempenho do material e facilitar o processo de reciclagem. A melhora no processo de reciclagem acontece porque, ao se ter um menor mix de blendas ABS/PC, por exemplo, o processo de identificação do material, com vistas a sua reciclagem, fica facilitado. Segundo Moraes⁷⁰, os materiais reciclados de engenharia deverão ocupar uma função mais relevante na produção deste século, e cita como exemplo a empresa Rhodia, que desenvolve uma linha de materiais reciclados, como a poliamida e outros. Motta⁷⁰ destaca que, dentre as vantagens da utilização de materiais reciclados e tecnológicos, deve-se observar a regularidade das propriedades do material durante seu processamento.

O contraponto destas questões pode ser exemplificado, quando a empresa Bayer, ao lançar no mercado a chamada *Bayblend*⁷¹, com variações de composição de até trinta aplicações diferentes de blendas de ABS/PC e PC/ABS, pode inviabilizar uma redução mais efetiva do mix de materiais existente. Já a empresa UNIGEL-RESARBRAS⁷² desenvolve três tipos de blendas ABS/PC, e a empresa DOW QUÍMICA⁷² tem, em seu catálogo, quatro tipos destas blendas. Ao avaliar as considerações descritas por Moraes, Lipkau e Motta, podemos apontar que a adoção da exigência de um alto índice de reciclagem em países desenvolvidos, principalmente os europeus, tem impulsionado a pesquisa focada na melhoria das propriedades de materiais reciclados. Esta melhora, segundo Lemmens⁹⁵, deve ser buscada a cada momento, incentivando, assim, o uso destes materiais pela indústria de transformação, que é a principal responsável pela sua inserção na fabricação de produtos.

Segundo Amaral¹¹⁷, no ciclo global dos materiais, apresentado na Figura 12, a cadeia se inicia na terra (A) de onde se realiza a prospecção, mineração ou colheita dos elementos

que irão compor a matéria-prima bruta (B), como carvão, minérios, madeira, petróleo, rochas e plantas. É a partir dela, então, que, através de um processo de extração, refino ou processamento, obtém-se a matéria-prima básica (C), como metais, papel, cimento, fibras, produtos químicos, que fornecerá condições necessárias, através de processos de transformação, para a obtenção da matéria-prima industrial (D), como *pellets*, chapas, barras, tarugos, rolos, etc. Esta, por sua vez, servirá para fabricação ou montagem de produtos industriais, caracterizando os bens de consumo (E), tais como máquinas, acessórios, utensílios, embalagens, ou seja, produtos diversos.

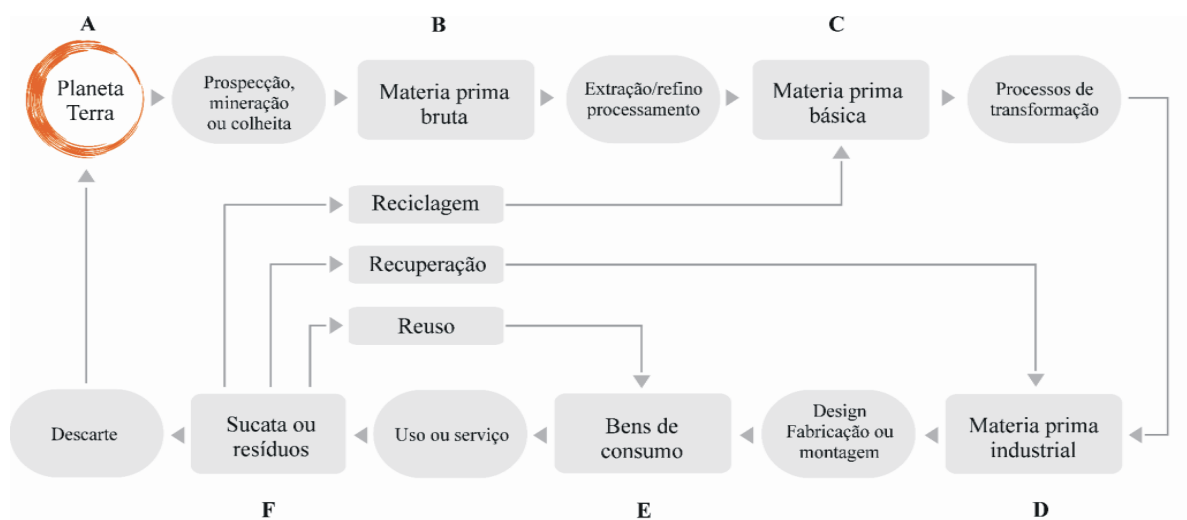


Figura 12 - Ciclo global dos materiais

Fonte: Adaptado de Amaral¹¹⁷

Ainda segundo Amaral¹¹⁷, estes bens possuem determinados ciclos de vida úteis que, através do seu uso ou serviço, transformam-se, no futuro, em sucatas ou resíduos (F), sendo que, neste estágio, este material proveniente da sucata retorna para o meio ambiente, podendo afetar, de certa forma, a continuidade da mineração da matéria-prima bruta, através de contaminações. No entanto, se o material passa a ser reutilizado, recuperado ou reciclado, os esforços para novas produções industriais são minimizados. Porém, o ciclo global dos materiais não orienta sobre a viabilidade de reciclagem do material antes do desenvolvimento do produto.

Ao avaliar o ciclo global dos materiais, fica claro que a indústria de transformação é uma das principais responsáveis pelo processamento dos materiais. Neste sentido, torna-se essencial que informações técnico-científicas, orientadoras no processo de reciclagem, sejam

desenvolvidas e aperfeiçoadas, visando, assim, obter materiais com propriedades mecânicas adequadas à aplicação desejada, ampliando dessa forma, sua vida útil.

3.4 Técnicas de Processamento e Caracterização de Polímeros

O processo de extrusão e de injeção de polímeros, as técnicas de caracterização via espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR), calorimetria de varredura diferencial (DSC), termogravimetria (TGA), cromatografia de permeação em gel (GPC) e ensaio de tração e de impacto, foram utilizadas na presente pesquisa.

3.4.1 Extrusão e injeção de polímeros

No processo de extrusão, o material é exposto a altas temperaturas e condições de cisalhamento extremas, o que afeta a reologia e a degradação dos polímeros. Os principais parâmetros que devem ser observados no processo de extrusão são o perfil da rosca, a velocidade de rotação e a temperatura de fusão dos materiais utilizados. A configuração da rosca é classificada como simples ou dupla. Porém, a rosca dupla possibilita um melhor desempenho em relação à rosca simples, isso porque melhora a homogeneização da amostra. Esse fato é devido, principalmente, a maiores forças de cisalhamento obtidas, conforme a geometria dos módulos de montagem do perfil.¹⁰⁷

As roscas com giro de co-rotação interpenetrantes, utilizadas nesta pesquisa, possuem rotação na mesma direção, ou seja, o material é transportado de uma rosca para outra, resultando em uma boa dispersão e alta taxa de cisalhamento, devido, principalmente, à velocidade de rotação. As roscas de contra-rotação giram em sentido contrário uma em relação à outra, e, assim, o material é movido para frente, sendo parcialmente misturado em uma abertura localizada na matriz de saída. A obtenção de uma boa mistura é devido à montagem do perfil da rosca com módulos que permitem um cisalhamento especial e característico para cada material ou composição a ser extrudada.¹⁰⁷

A moldagem por injeção é atualmente um dos processos mais utilizados para a fabricação de produtos poliméricos. Basicamente, o processo consiste em forçar o polímero fundido para o interior da cavidade de um molde previamente definido. No processo de injeção, as propriedades finais do produto são fortemente influenciadas pelos parâmetros do processo e a avaliação das características do material.

Assim, como no processo de extrusão e no processo de injeção, o material é exposto a altas temperaturas e condições de cisalhamento extremas, o que afeta, também, a degradação de materiais poliméricos. A escolha dos parâmetros de processamento para blendas poliméricas é um dos problemas encontrados para o processamento destas misturas, principalmente pelas características térmicas de cada componente. Como exemplo, citam-se os materiais utilizados neste trabalho, como o ABS, que tem sua temperatura de processamento entre 220°C e 260°C, e o PC, que é processado entre 240°C e 300°C. O essencial nesta situação é não ultrapassar a temperatura máxima de processamento do componente matriz, isto porque, altas temperaturas podem ter um efeito de degradação importante, modificando as propriedades dos componentes.

Especificamente na fabricação de blendas poliméricas os limites de temperatura de processamento, dos materiais utilizados, devem ser avaliados tendo como foco, proporcionar a melhor homogeneidade destes componentes. Este problema geralmente é resolvido, segundo Goós⁹⁹, escolhendo-se a temperatura de processamento mais adequada para a matriz, sendo que, no caso do presente trabalho, é a do ABS.

Conforme Goós⁹⁹, em sua pesquisa com blendas de PC, condições mais severas de temperatura resultaram na melhora das propriedades de tração e impacto destas blendas, independentemente do tipo de equipamento utilizado para o processo de mistura. Assim, o principal processo a ser utilizado neste trabalho para a mistura dos componentes será o processo de mistura contínuo, ou seja, o equipamento denominado de extrusora com dupla rosca. Neste sentido, os parâmetros de extrusão e de injeção, do ABS e do PC, foram selecionados por especificações técnicas dos fabricantes desses materiais e, também, por publicações científicas pesquisadas.

3.4.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR)

A técnica de análise via espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR) tornou-se fundamental para a caracterização de materiais poliméricos, sendo empregada na análise qualitativa dos materiais poliméricos e suas misturas.¹⁰³ Através da avaliação dos picos espectrais e suas respectivas bandas pode-se determinar a composição da amostra. Estes picos e bandas são características de determinados grupos funcionais e, através de sua análise, pode-se identificar a estrutura química dos materiais. É possível acompanhar os processos de degradação oxidativo ou termo-oxidativo dos materiais poliméricos, quando

ocorre a quebra de algumas ligações, causando, assim, mudanças na característica do espectro do material.

Outro campo de interesse na utilização de técnicas espectroscópicas é a caracterização de blendas através da miscibilidade entre diferentes componentes da amostra.¹⁰²

Os espectros podem ser obtidos de duas formas: pela transmissão, no qual, é a relação da intensidade de radiação transmitida, através da amostra, e a intensidade incidente na amostra, e, a absorvância, representa o logaritmo decimal do quociente, entre, a intensidade incidente e a intensidade de radiação através da amostra. Neste sentido, na presente pesquisa, foi aplicada a avaliação espectral, através da absorvância, devido às características dos materiais utilizados.

3.4.3 Calorimetria de varredura diferencial (DSC)

Segundo Rocha¹⁰⁶, para o estudo de polímeros amorfos, identificar a temperatura de transição vítrea (Tg) do material constitui-se em uma das mais importantes propriedades a ser conhecida, mesmo antes da aplicação do material como produto. A calorimetria de varredura diferencial (DSC) registra as alterações de energia sofridas por uma amostra em relação a um material inerte que é utilizado como referência. As curvas obtidas, após o ensaio, são funções das variações de energia, que podem ser químicas ou físicas, ocorridas durante a investigação de um sistema.

Para este trabalho, a técnica do DSC é utilizada para a obtenção da Tg do ABS e do PC, tendo como principal objetivo a avaliação da compatibilidade entre estes materiais, após os processos extrusão e de injeção.

3.4.4 Termogravimetria (TGA)

A análise via Termogravimetria (TGA) determina a alteração da massa da amostra em função da temperatura ou do tempo, sob a ação de um programa de temperatura controlada.⁹² Essa técnica é particularmente apropriada para estudar o curso dos processos de degradação dos materiais poliméricos, através da identificação de diferentes processos experimentados pela amostra, e a estimativa dos principais parâmetros cinéticos levantados. A curva resultante da variação da massa x temperatura fornece informações sobre a estabilidade térmica, a composição da amostra e de todos os produtos intermediários e finais, quando houver. A TGA de polímeros é uma ferramenta importante na identificação dos possíveis componentes

presentes em uma mistura. Através da utilização dessa técnica, é possível obter informações a respeito das quantidades dos diferentes componentes na amostra, sendo isto conseguido através da análise da perda de massa destes componentes. Algumas reações que ocorrem em uma mesma faixa de temperatura originam curvas TG que consistem de uma perda de massa contínua. Porém, as curvas DTG (Termogravimetria Derivada) evidenciam as inflexões da TG, e, assim, sutis variações de massa são enfatizadas.¹⁰⁰

Como os principais componentes do ABS e do PC sofrem degradação em distintas temperaturas, tanto a curva TG como a DTG foram estudadas neste trabalho.

3.4.5 Cromatografia de Permeação em Gel (GPC)

O GPC é uma técnica de fracionamento das cadeias poliméricas, com relação ao volume hidrodinâmico que cada uma das cadeias ocupa na solução. Esse procedimento permite avaliar as massas molares médias, tais como massa molar numérica (Mn) e massa molar ponderal média (Mw).

Normalmente, as propriedades mecânicas e químicas do polímero são afetadas por mudanças na massa molar média. A obtenção da distribuição das massas molares, via GPC, fornece informações, que em muitos casos, é impossível de ser caracterizadas por outros métodos. O principal interesse na aplicação dessa técnica, no presente trabalho, foi o de avaliar a degradação termomecânica da blenda ABS/PC, visando a sua reciclagem.

3.4.6 Ensaio de tração e de impacto

O comportamento mecânico de tração de um material reflete a relação entre o estado ou o nível de estresse mecânico que o material suporta, sendo que essa resposta é avaliada através de uma deformação da natureza elástica ou plástica.

Segundo Canevaloro¹⁰⁰, na prática, a análise mecânica via ensaio de tração é uma das considerações essenciais a serem feitas no processo de seleção de materiais poliméricos para o projeto de produtos. Como regra geral, polímeros com comportamento frágil não apresentam ponto de escoamento, portanto, não deformam plasticamente. Polímeros com comportamento dúctil apresentam ponto de escoamento nítido e deformam-se plasticamente. Assim, a partir das curvas geradas, é possível extrair informações sobre as secções de deformação elástica e plástica, bem como alguns parâmetros que definem o comportamento à tração, tais como módulo de elasticidade e tensão de ruptura. A resistência ao impacto é uma das técnicas mais

requisitadas para a especificação do comportamento mecânico dos polímeros, sendo que a habilidade de um material polimérico em suportar choques acidentais pode decidir o sucesso ou o fracasso de um produto.¹⁰⁰ Assim, materiais que apresentam elevada tenacidade são classificados como dúcteis e, materiais que apresentam baixa tenacidade, são classificados como frágeis.¹⁰⁰ Para a realização dos ensaios de impacto, da presente pesquisa, foi utilizada a técnica denominada de IZOD.

3.5 Sistemas miscíveis e imiscíveis

O nível da miscibilidade de uma blenda polimérica é função da composição química e das massas molares dos polímeros constituintes desta mistura. A presença de determinados grupos funcionais, como metileno, fenileno, éter ou amida, na unidade de repetição dos polímeros, pode gerar interações intermoleculares que favorecem a miscibilidade da mistura.⁷⁸

Conforme Araújo⁷⁸, no caso de blendas de polímeros amorfos à base de ABS (acrilonitrila, estireno e butadieno) e PC (policarbonato), a miscibilidade deve ser analisada dentro de uma única fase. Dependendo da estrutura química dos componentes, das condições experimentais de mistura e da composição da blenda, obtém-se um sistema miscível, imiscível ou parcialmente miscível.

Distinguir os materiais utilizados no desenvolvimento de um produto e apontar a qual destes três sistemas o material se enquadra torna-se fundamental quando necessitamos conhecer as perdas e ganhos de propriedades mecânicas que estes materiais podem atingir em um ou mais ciclos de reciclagem. Podemos avaliar que, quanto melhor for a miscibilidade dos componentes de uma mistura, menor será seu impacto no processo de reciclagem, isso porque incorporar materiais miscíveis em um processo de reciclagem torna essa ação mais confiável e reduz a possibilidade de contaminação destes materiais.

Porém, ao avaliar a Figura 13 que apresenta as diversas possibilidades de mistura de alguns materiais poliméricos, conclui-se que essas informações, quando vistas somente por esse ponto de análise, ou seja, o da compatibilidade, gera muitas dúvidas quanto ao nível de miscibilidade destes materiais. A Figura 13 mostra algumas tabelas de compatibilidade de materiais, utilizadas atualmente para avaliar esse parâmetro. A Figura 13A apresenta a pesquisa desenvolvida pela empresa *Bayer*, a Figura 13B apresenta as informações geradas

pela norma alemã VDI 2243, a Figura 13C mostra a tabela desenvolvida pela empresa *Recycling* e a Figura 13D mostra a tabela de miscibilidade da empresa *Scania*.

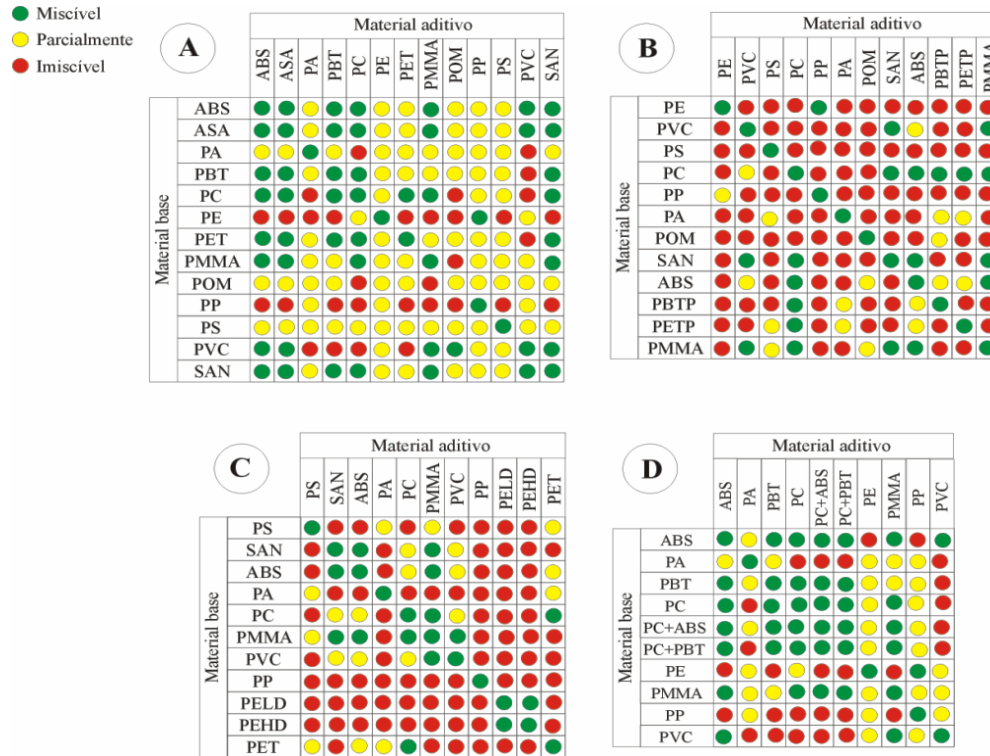


Figura 13 - Compatibilidade dos materiais

As Figuras 13A, 13B e 13D mostram a total compatibilidade do ABS e do PC, já a Figura 13C mostra a parcial compatibilidade destes materiais. As informações apresentadas na Figura 13 podem gerar dúvidas ao designer, quando o mesmo utilizar esses parâmetros no projeto de um novo produto com vistas à futura reciclagem dos componentes, isto porque um dos requisitos do Ecodesign é eliminar ao máximo o número de materiais incompatíveis. Segundo Fiegenbaum⁷⁹, poucos polímeros formam uma blenda totalmente miscível e são caracterizadas por apresentar uma única Tg. Assim, a dispersão homogênea em uma mistura, torna-se um componente fundamental quando se busca qualificar as propriedades mecânicas de uma blenda.¹⁰¹

3.6 Materiais Reciclados

A área de equipamentos eletroeletrônicos e seus respectivos materiais foram pesquisados devido ao grande volume comercial destes produtos e sua aplicação no processo de reciclagem industrial.

3.6.1 Equipamentos eletroeletrônicos

As Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC's) são empregadas para reunir, distribuir e compartilhar informações. Como parte integrante das TIC's, há os setores de telecomunicação e de informática, como por exemplo, celulares e computadores pessoais. Estes dois segmentos tendem a ser mais dinâmicos em inovação tecnológica, contribuindo assim, para o seu alto consumo, isso porque, o consumidor final é atraído por essas inovações.²⁸ A Tabela 1 apresenta, segundo a ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica), o mercado de celulares e de computadores pessoais no Brasil.

Tabela 1- Mercado de celulares e computadores pessoais no Brasil

Produto (total em milhões de unidade)	Ano							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011
Celulares	27	42	65	66	68	73	62	61
Computadores pessoais	3,2	4,0	5,6	8,2	9,9	12	12	14

Ao avaliar os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que, do lado da demanda para os produtos destinados aos consumidores finais, como celulares e computadores pessoais, o aumento do poder aquisitivo da população e a redução do preço desses produtos tiveram grande influência no aumento de seu consumo.^{28-31,110} É preciso avaliar essa informação sobre dois aspectos: o primeiro é a comemoração pela melhora do poder aquisitivo da população, porém, em segundo lugar, esse número, tanto de celulares como de computadores pessoais, pode representar um aumento substancial no descarte destes aparelhos e, em muitos casos, sem a devida destinação final.

Segundo Parente¹²¹, o consumo de materiais reciclados, pela indústria de eletroeletrônicos no Brasil, chegou a aproximadamente trinta e sete toneladas no ano de 2003. Lucas¹⁰⁵ descreve que, ao adotar uma conduta preocupada com a reciclagem, com processos

mais eficazes de produção e o descarte responsável, as empresas podem ter uma economia importante na fabricação de TIC's.

Kasper et al ⁹⁶ desenvolveram um estudo sobre a reutilização de carcaça de aparelhos de celular descartados verificando, que os materiais existentes eram compostos por blendas de policarbonato, poliamida e compósitos de poliamida com fibra de vidro demonstrando, assim, a grande variedade de materiais utilizados na fabricação desses componentes. A grande questão levantada, diante dessa afirmação, é a de como reciclar esses materiais, mantendo, ou, melhorando suas propriedades mecânicas.

3.6.2 ABS virgem

O ABS virgem (v), termoplástico de origem amorfa, é composto por acrilonitrila (entre 20 a 30%), estireno (entre 20 a 60%) e a fase elastomérica butadieno (entre 20 a 30%).^{97,98} Conforme descrito por Carvalho⁴⁵, o ABS consiste de duas fases, em que o copolímero de SAN, composto pela acrilonitrila e o estireno é a fase contínua, matriz, na qual está dispersa a fase elastomérica do butadieno. A fase butadieno possui uma camada de SAN enxertado (*grafting*) em sua superfície, o que garante a compatibilidade entre as duas fases. Carvalho⁴⁵ descreve que a acrilonitrila proporciona resistência térmica e química, resistência à fadiga, dureza e rigidez, o estireno proporciona a facilidade de processamento, brilho, dureza e rigidez e o butadieno proporciona ductilidade à baixa temperatura, resistência ao impacto, estabilidade térmica e bom acabamento superficial. Conforme Yang⁸⁴, a degradação dos componentes do ABS inicia-se em três distintas temperaturas, sendo o butadieno a 340°C, o estireno a 350°C e o acrilonitrila a 400°C.

A presença de uma fase elastomérica (butadieno) que é sensível à degradação termo-oxidativa torna-se um fator preponderante no desempenho final do ABS v, isto porque sua degradação causa uma diminuição na aderência com a matriz SAN. Deste modo, pode surgir um concentrador de tensões, o que reduz sua resistência ao impacto e, conseqüentemente, sua tenacidade. A Figura 14 mostra o espectro de uma amostra de ABS r (a) e o espectro de uma amostra de ABS v (b).

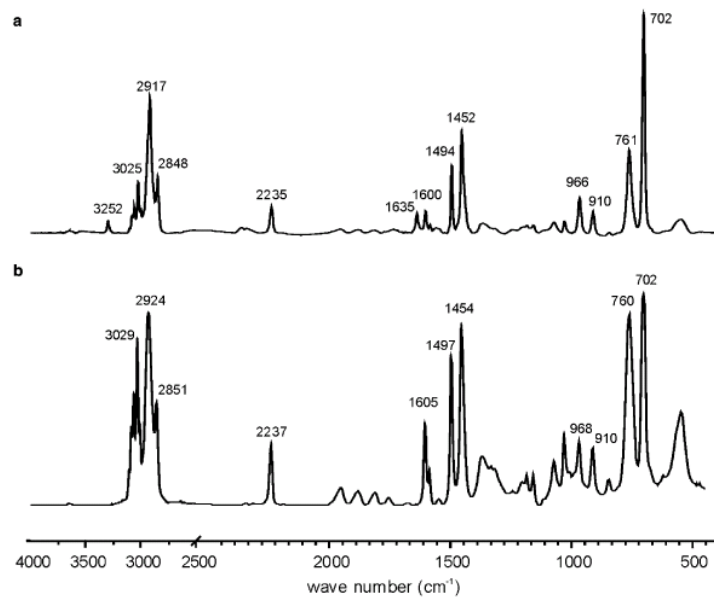


Figura 14 - Espectro de FTIR do ABS reciclado (a) e do ABS virgem (b)
 Fonte: Montaudou^{82,83}

Segundo Montaudou^{82,83}, existe uma pequena degradação do ABS r (Figura 14), identificada pela presença de hidroxila, grupos que são absorvidos na faixa de 3250 cm^{-1} . A falta de grupos carbonil (que são absorvidos na faixa de 1750 cm^{-1}) representa uma alta termo-oxidação, porém não influencia de forma significativa no desempenho final do material.

3.6.3 PC

O PC, termoplástico de origem amorfa, é constituído de longas cadeias lineares de poliésteres de ácido carbônico e fenóis (fenila), tais como o bisfenol A. As bandas entre 1770 cm^{-1} e 1220 cm^{-1} se referem à absorção dos grupos $\text{C}=\text{O}$. As bandas 1235 cm^{-1} , 1160 cm^{-1} e 1195 cm^{-1} distinguem o PC de outro poliéster. As bandas entre 700 cm^{-1} e 750 cm^{-1} são referentes aos grupos fenilas. A presença do grupo fenila na cadeia molecular e os dois grupos metilo irá contribuir para a rigidez molecular do PC. Esta rigidez tem um grande efeito sobre as propriedades do PC, e isso contribui para a falta de mobilidade das moléculas individuais, resultando, assim, em uma boa resistência térmica e uma excelente resistência ao impacto. Hage^{75,76} descreve que, em blendas de ABS/PC, espera-se que a resistência ao impacto seja superior a do componente matriz.

A avaliação da degradação térmica do PC é de fundamental importância quando se pretende avaliar suas propriedades mecânicas, principalmente quando sua temperatura de

injeção ultrapassar os 300°C.⁸⁷ Nesta temperatura, as reações de degradação são prováveis de ocorrer e, portanto, o entendimento do seu comportamento térmico é determinante para o projeto de produto. Montaudou⁸² descreve que à temperatura de 300°C, em presença de ar, o PC sofre reações de degradação extensiva que podem produzir uma redução da massa molar do material, formação de metilcetona, de bifenil e os grupos finais de fenol, sendo este último responsável pelo amarelamento do material. Na Figura 15, observa-se o espectro de uma mostra de PC reciclado (a) e uma amostra de PC virgem (b).

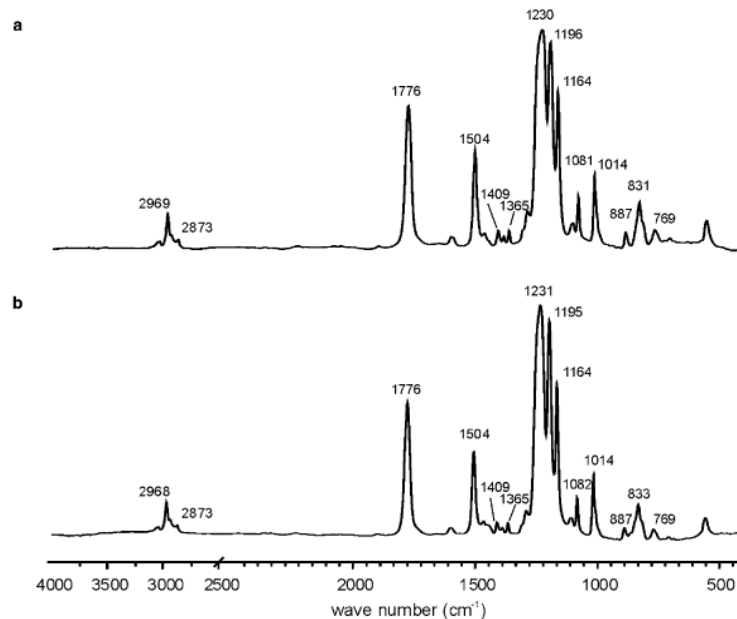


Figura 15 - Espectro de FTIR do PC reciclado (a) PC virgem (b)
Fonte: Balart⁸⁸

Conforme Balart⁸⁸, embora o PC seja sensível a termo-oxidação, os dois espectros (Figura 15) não mostram uma variação importante nos principais picos e não devem influenciar em suas propriedades, quando forem processados entre 240 e 290°C. Mas, segundo Goós⁹⁹, se o PC for processado a temperaturas entre as faixas de 430-550°C, ocorrerá uma perda de 67% da massa total do PC.

3.6.4 Blendas

As blendas poliméricas são miscíveis quando os segmentos moleculares dos componentes poliméricos se misturam intimamente sem que haja qualquer segregação entre as moléculas, ou seja, são homogêneas em escala molecular.⁷⁹ A miscibilidade de dois componentes poliméricos ocorre principalmente em função de três parâmetros: sua compatibilidade, a proporção relativa em que se encontram e as condições de temperatura e

pressão a que são submetidos ao longo de determinados tempos.⁸⁵ A blenda polimérica imiscível pode apresentar diferentes tipos de morfologias de fases, podendo ser dispersa em matriz contínua ou co-contínua.⁷⁹

Ao contrário das blendas miscíveis, em que a compatibilidade é total, existindo apenas uma fase, pode ocorrer que o sistema apresente mais de uma fase com compatibilidade parcial ou incompatibilidade total entre os seus componentes, assim verifica-se mais de uma Tg, o que corresponde ao Tg de cada material separadamente. Segundo Utracki e Weiss⁷⁴, realizar a avaliação da miscibilidade de blendas poliméricas, através da análise via Tg, é um critério fundamental para a avaliação destas misturas, neste sentido, o ensaio via DSC viabiliza a aquisição destes dados.

Na mistura de dois componentes de natureza química diversa, de qualquer dimensão ou forma, para que ocorra uma interação, é essencial a existência de áreas de contatos entre estes componentes. Quanto maior for esta área, tanto maior será a possibilidade de ocorrer uma interação de natureza física, química ou fisico-química. A fratura frágil em blendas ABS/PC ocorre, segundo Balart⁸⁸, devido à baixa aderência da fase elastomérica oriunda do butadieno, que é mais sensível a termo-oxidação a altas temperaturas. Nesta condição, existe o risco de se intensificar os pontos concentradores de tensões e que promovem a ruptura da blenda em condições de uso.^{81,91}

Conforme Balart⁹¹, a mistura ideal visando um bom desempenho mecânico de uma blenda ABS/PC fica entre 10 e 20% de PC, e que a morfologia da mistura é um fator determinante nas propriedades mecânicas desta blenda. Ao considerar a importância da morfologia de uma mistura como fator determinante para suas propriedades mecânicas, precisamos ponderar que, mesmo entre os autores como Balart⁹¹, Mantaux⁸⁹ e Jin et al⁹⁰, não existe um consenso claro da composição ideal de uma mistura quando se utiliza o ABS e o PC. Mesmo a norma ASTM 7209, que trata da redução, reutilização e reciclagem de materiais e produtos poliméricos, não define uma composição ideal de material reciclado para o desenvolvimento de produtos, porém, Mantaux⁸⁹ e Jin et al⁹⁰ descrevem que a mistura ideal para blendas deveria ser 70/30.

Atualmente, devido à preocupação com o impacto ambiental, exige-se um maior grau de responsabilidade nos processos que envolvem os materiais poliméricos englobando todo o seu ciclo de vida. Tal fato tem induzido engenheiros e pesquisadores a incluírem os materiais reciclados no desenvolvimento de compostos termoplásticos, seja como compatibilizantes

entre materiais virgens, ou na combinação e adição de compostos virgens.^{78,101,104} Segundo Araújo⁷⁸, os principais objetivos para a obtenção de uma blenda são os seguintes:

- adicionar um polímero de baixo custo a um polímero de engenharia, mantendo um bom desempenho do material resultante;
- combinar as propriedades dos polímeros componentes da blenda, a fim de atingir um alto desempenho;
- obter uma melhor processabilidade da blenda em relação a um dos polímeros puros.

Segundo Utracki and Weiss⁷⁴, a mistura de blendas via processo mecânico no estado fundido é o método mais utilizado industrialmente por razões econômicas, e porque permite a mistura de polímeros em grande escala. Apenas a mistura entre dois polímeros não garante a formação de uma blenda com as propriedades desejadas. Uma das características importantes a ser considerada é a miscibilidade entre seus componentes, o que corresponde ao nível de mistura molecular entre os polímeros ou das fases constituintes do sistema.⁸⁰ Utracki and Weiss⁷⁴ descrevem que uma blenda polimérica ou co-polimérica é definida quando a porcentagem de um dos componentes é maior que 2% da massa total.

Conforme Garcia⁷⁷, blendas não compatíveis, em que o material matriz é inferior a 70% da massa total, não são aconselháveis, isto porque estas blendas são muito dependentes da porcentagem de mistura do componente matriz. Segundo Garcia⁷⁷, isso ocorre devido aos componentes contaminantes oriundos, principalmente, de materiais reciclados e que são de difícil controle e podem contaminar a massa da blenda, e, assim, podem ser gerados concentradores de tensões que reduzem ou inviabilizam a utilização do respectivo material.

3.6.4.1 Blendas ABS/PC

Pastorini⁸⁵ destaca que existem diversas oportunidades para aplicações comerciais de blendas poliméricas, e mostra, na Tabela 2, algumas das principais blendas atualmente pesquisadas pela indústria e com grande potencial comercial.

Tabela 2 - Blendas poliméricas
 Fonte: Adaptado de Utrack e Weiss⁷⁴

Materiais	
Polímero A	Polímero B
PO (PE, PP, EPR) PS, ABS PMMA POM	PS, ABS, PMMA, PVC, PPE, PSF PMMA, PVC, PSF, PA EPR, PPE, PA PC, PA, PPE, PPS,

Blendas poliméricas produzidas com a mistura de materiais de alto valor agregado, como o ABS e o PC, possibilitam a obtenção de materiais com uma ampla gama de propriedades físicas, químicas, mecânicas, e ainda oferecem a possibilidade da reciclagem destes materiais.^{89, 98} Assim, o ABS contribui para uma melhor processabilidade e menor custo da blenda, isto porque o custo por quilo do material é menor do que o custo do PC, porém, o PC fornece boas propriedades mecânicas e térmicas à blenda, o que justifica sua utilização.⁹⁰⁻¹⁰⁹ Estes dois materiais possuem uma forte interação química, porém, segundo Utrack e Weiss⁷⁴, são dependentes da porcentagem da mistura de cada componente.

3.6.4.2 Tg da blenda ABS/PC

A dependência dos valores da Tg com a composição da blenda indica as interações que ocorrem entre os componentes. Segundo Balart⁹¹, na blenda ABS/PC ocorre uma ampla gama de miscibilidade entre os componentes. Por exemplo, em uma mistura com composições 20/80 e 80/20, um único ponto de transição (Tg) é observado no ensaio via técnica de DSC, o que corresponde ao polímero de maior concentração, indicando, também, a miscibilidade total dos componentes.

Porém, para uma blenda com composição 50/50, são observadas duas Tg's, o que corresponde à Tg de cada um dos componentes da blenda, e demonstra a parcial miscibilidade destes materiais.

3.6.4.3 TGA da blenda ABS/PC

Segundo Jiang⁸⁶, a degradação do PC ocorre a elevadas temperaturas, porém, no ABS, a degradação ocorre similarmente como em outros materiais que contenham estireno. Esta

informação colabora com os dados descritos por Yang⁸⁴, que mostra a degradação dos componentes do ABS, iniciando-se a 340°C com o butadieno. Segundo Utracki and Weiss⁷⁴, a temperatura ideal de injeção da blenda PC/ABS, na qual são mantidas as propriedades dos componentes virgens, situa-se a aproximadamente 260°C com temperatura do molde a 80°C.

Mantaux⁸⁹ realizou um estudo no qual foi fabricada uma blenda de ABS/PC, em que o ABS é o material reciclado e o PC é o material virgem em diversas proporções. Assim, com a utilização de 30% de PC (em uma matriz de ABS), observou-se a melhora da resiliência da blenda, chegando-se a parâmetros próximos aos do ABS virgem. Esta afirmação vem ao encontro do trabalho desenvolvido por Jin et al⁹⁰, no qual o autor descreve que a tenacidade da blenda ABS/PC foi aumentada com o incremento de 15 a 45% de PC sobre a massa total de ABS, e que na blenda 70/30, os resultados dos ensaios de resistência ao impacto demonstraram uma variação entre 350 a 420 J/m.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa são apresentados os materiais utilizados na presente pesquisa e seus respectivos métodos e processos de fabricação.

4.1 Materiais - ABS v, ABS r e PC

O ABS v, utilizado nesse trabalho é desenvolvido pela empresa BASF, sendo denominado de Terluran[®] GP-22-Natural. O PC é desenvolvido pela empresa Policarbonatos do Brasil, sendo denominado de PC cristal VR-2000[®], com proteção UV (Ultra-Violeta). O ABS r é oriundo de carcaças de vídeos (modelo: tubo de raios catódicos) de computadores pessoais descartados. A Tabela 3 mostra os principais valores, das propriedades mecânicas destes materiais, segundo os dados obtidos de corpos de prova injetados.

Tabela 3 - Características mecânicas dos materiais utilizados

Propriedades	Materiais		
	ABS v	ABS r	PC
Módulo de Tração (MPa)	2387	2407	2415
Resistência ao impacto (J/m)	224	104	690
Temperatura de injeção (°C)	*220-260	220-260	*240-300
Temperatura do molde (°C)	*30-60	30-60	*80-100
Valor pago na presente pesquisa (R\$/Kg)	5,45	s/custo	11,05

Obs.:* - dados técnicos do fabricante para os respectivos materiais.

A norma ASTM D-1238 – 04C aponta às temperaturas de 230°C até 265°C para a extrusão da blenda de ABS/PC. Neste sentido, essas temperaturas são balizadoras no ensaio de extrusão e injeção dos respectivos experimentos dessa pesquisa e não deve ultrapassar a temperatura máxima para o ABS v, que é de 260°C. Esse fato pode gerar a aceleração da degradação, podendo afetar diretamente suas propriedades mecânicas. A Figura 16 mostra os materiais utilizados na pesquisa (escala em milímetros).

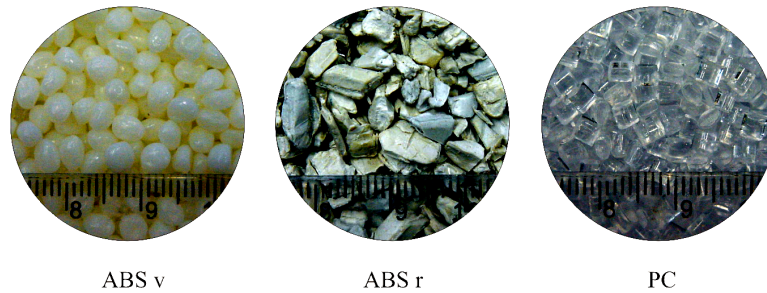


Figura 16 - ABS v, ABS r e PC

A Figura 16 mostra os *pellets* dos materiais utilizados nos experimentos. O ABS r é oriundo do Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais (LACOR/DEMAT/UFRGS), onde, foi triturado em moinho de facas.

4.1.1 Composição da blenda padrão

Visando criar uma biblioteca de espectros de blendas poliméricas, compostas de ABS/PC, foram formuladas blendas padrões, que posteriormente, foram inseridas na biblioteca do equipamento de FTIR utilizado nessa pesquisa. As amostras, desenvolvidas em ABS v e PC, foram misturadas manualmente e pesadas em balança eletrônica. As composições utilizadas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Composição da blenda padrão

Composição	Peso (Kg)	Materiais	
		ABS v (%) em volume	PC (%) em volume
ABS	1	100	0
PC	1	0	100
Blenda 1	3	90	10
Blenda 2	3	80	20
Blenda 3	3	70	30
Blenda 4	3	60	40
Blenda 5	3	50	50

4.2 Método - Ciclo de Reciclagem dos Materiais

Visando contribuir para o processo de seleção de materiais, tendo como um dos parâmetros de seleção, o conhecimento das propriedades do material em sua reciclagem, a Figura 17 apresenta o Ciclo de Reciclagem dos Materiais (CRM), que contempla também, os

itens Ecodesign, 3R's, Design, Seleção de Materiais e o Mix de Materiais como termos referenciais desse trabalho.¹¹⁸⁻¹¹⁹

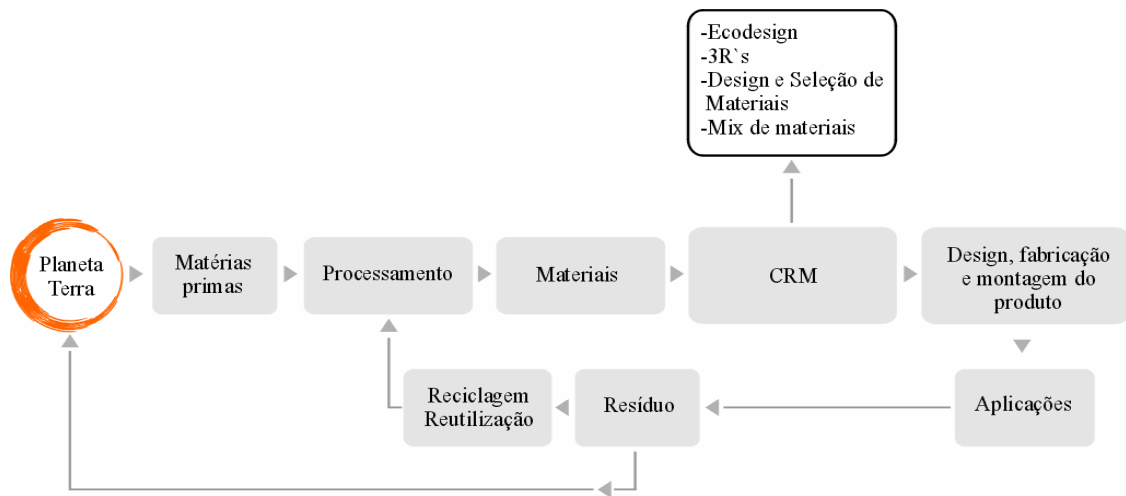


Figura 17 - Ciclo de reciclagem dos materiais
Fonte: Adaptado de Callister³²

O ciclo de CRM, mostrado na Figura 17, é inserido após a fabricação dos materiais e, em uma etapa anterior ao desenvolvimento do produto. Esse posicionamento, permite que seja questionado a vida útil do material, antes mesmo da definição do produto a ser fabricado. Esse questionamento tende a aumentar a responsabilidade ambiental da área de projetos, isso porque, é possível compreender melhor o impacto do material no ambiente, sugerindo assim, estratégias que torne possível reciclar o material utilizado, mantendo ou melhorando suas propriedades mecânicas. Assim, a Figura 18 apresenta o organograma de aplicação do CRM e as etapas que constituem essa ferramenta.

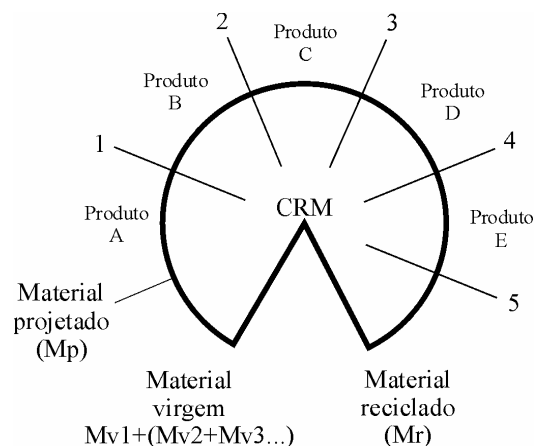


Figura 18 - Organograma de aplicação do CRM

O processo de aplicação do CRM (Figura 18) têm início pela definição do Material virgem (Mv), quando for avaliado um mono material, ou, quando for utilizado mais de um material (Mv2 + Mv3...) formando então o Material projetado (Mp). O Produto A, refere-se ao produto original com as propriedades físicas, químicas e mecânicas, especificadas conforme o Mp. Se as propriedades resultantes, do processo de aplicação do CRM 1, satisfizerem as características do Mp, o material poderá ser reutilizado para a fabricação do mesmo produto. Porém, se as propriedades obtidas forem inferiores as necessidades requeridas do Produto A, esse material poderá ser aplicado no desenvolvimento do Produto B.

Esse procedimento é balizador para a definição dos Produtos C, D e E, que também, são desenvolvidos segundo as propriedades dos materiais resultantes, após a aplicação de cada etapa do CRM, ou seja, CRM 3, CRM 4 e CRM 5. Após a execução destes ciclos obtêm-se o Material reciclado (Mr), que poderá ser utilizado novamente, se contemplar as propriedades requeridas para o produto.

A aplicação das cinco etapas do CRM é, diretamente, influenciada pelos resultados de caracterização do material, ou seja, o Mp poderá obter as propriedades desejadas em qualquer uma das cinco etapas do CRM. Caso se verifique a necessidade de um maior refinamento dessas propriedades, o respectivo material poderá passar por outras etapas do CRM.

O CRM pode ser inserido, no desenvolvimento de novos produtos, através de uma forma sistemática de desenvolvimento de produtos, onde, as propriedades mecânicas requeridas são avaliadas a partir de subsídios técnicos-científicos gerados por essa ferramenta.

Assim, abre-se a possibilidade do desenvolvimento de produtos que utilizam desde o Mp até o Mr, como por exemplo, inicia-se pela fabricação de invólucros de celulares (Produto A), até produtos de uso geral (Produto E), como porta objetos, potes e outros. Esses exemplos de produtos, visam demonstrar que o conhecimento antecipado das propriedades do material, oriundo de sua reciclagem, permite que à área de projetos tenha subsídios técnico-científicos, que propicie a geração de estratégias de reciclagem para a reutilização desses materiais, tanto em produtos técnicos, domésticos ou de uso geral.

Essa visão de projeto, busca quebrar o paradigma, ainda existente, de deixar a reciclagem do produto e, ou, do material, para um terceiro ou quarto planos, dificultando ou inviabilizando sua reciclagem. Esse fato se deve, principalmente, as incertezas de como proceder para que a reutilização desse material seja feita e, que tal procedimento, venha a garantir as propriedades requeridas para o produto.

Neste sentido, a estratégia de aplicação do CRM visa incentivar a discussão sobre a ampliação do ciclo de vida do material, ainda na fase inicial do desenvolvimento de produtos.

4.2.1 Fluxograma de processamento dos materiais

O processamento dos materiais, ABS v, ABS r e PC, foram divididos em quatro etapas principais. A primeira etapa consiste na confecção dos corpos de prova padrão, utilizando materiais virgens, sem aplicação do CRM. A segunda etapa consiste na confecção de corpos de prova, aplicando o CRM a. A terceira etapa consiste na confecção de corpos de prova aplicando o CRM b e a quarta e última etapa, consiste na confecção de corpos de prova, utilizando material reciclado (ABS r).

4.2.1.1 Fluxograma da primeira etapa

O processamento dos materiais da primeira etapa, visando fabricar as blendas padrão, é orientado conforme o fluxograma apresentado na Figura 19.

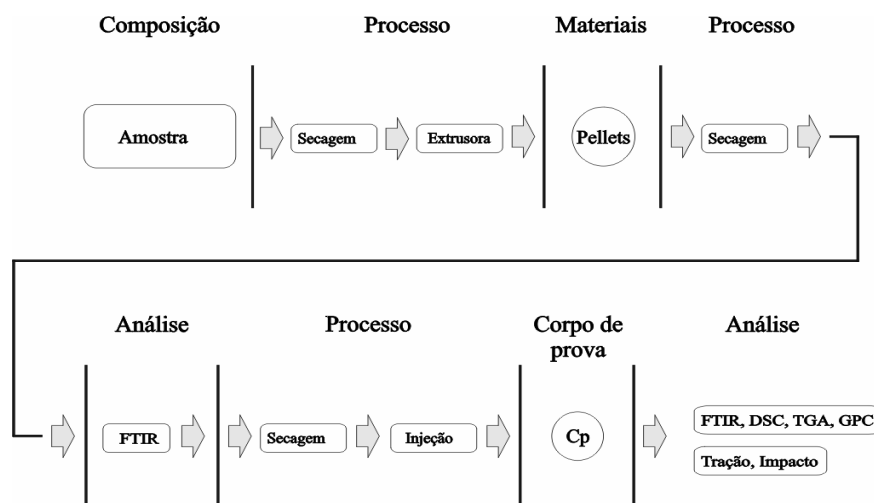


Figura 19 - Primeira etapa processual

Nesta primeira etapa, os materiais ABS v e o PC são pesados e misturados, conforme composição descrita na Tabela 4. Após essa etapa, a mistura passa por um processo de secagem (4 horas a 90°C em estufa), sofrendo então o processo de extrusão, que visa à homogeneização dos materiais. Após esta etapa, se obtêm as blendas de referência em forma de *pellets*, que passam novamente pelo processo de secagem e, na seqüência, são caracterizadas pela técnica do FTIR. Para o processo de injeção, os *pellets* passam primeiramente pelo processo de secagem e então são injetados visando à obtenção de corpos

de prova. Os corpos de prova, após secagem, foram caracterizados pelas técnicas de FTIR, DSC, TGA, GPC, ensaio de tração e de impacto. Os dados obtidos após os ensaios são utilizados como referencial comparativo entre os materiais virgens e os materiais processados via CRM. Tendo como parâmetro os dados apresentados por Garcia⁷⁷, a porcentagem de 70% de material matriz (ABS) foi utilizada como balizadora na composição das blendas desenvolvidas pela técnica do CRM. Assim, o presente trabalho utilizou a Blenda 3 (Tabela 4), como referencial na aplicação de todas as etapas descritas nos fluxogramas de processamento apresentados nas Figuras 20 e 21.

4.2.1.2 Fluxograma da segunda etapa – CRM a

O processamento dos materiais da segunda etapa é orientado conforme o fluxograma apresentado na Figura 20.

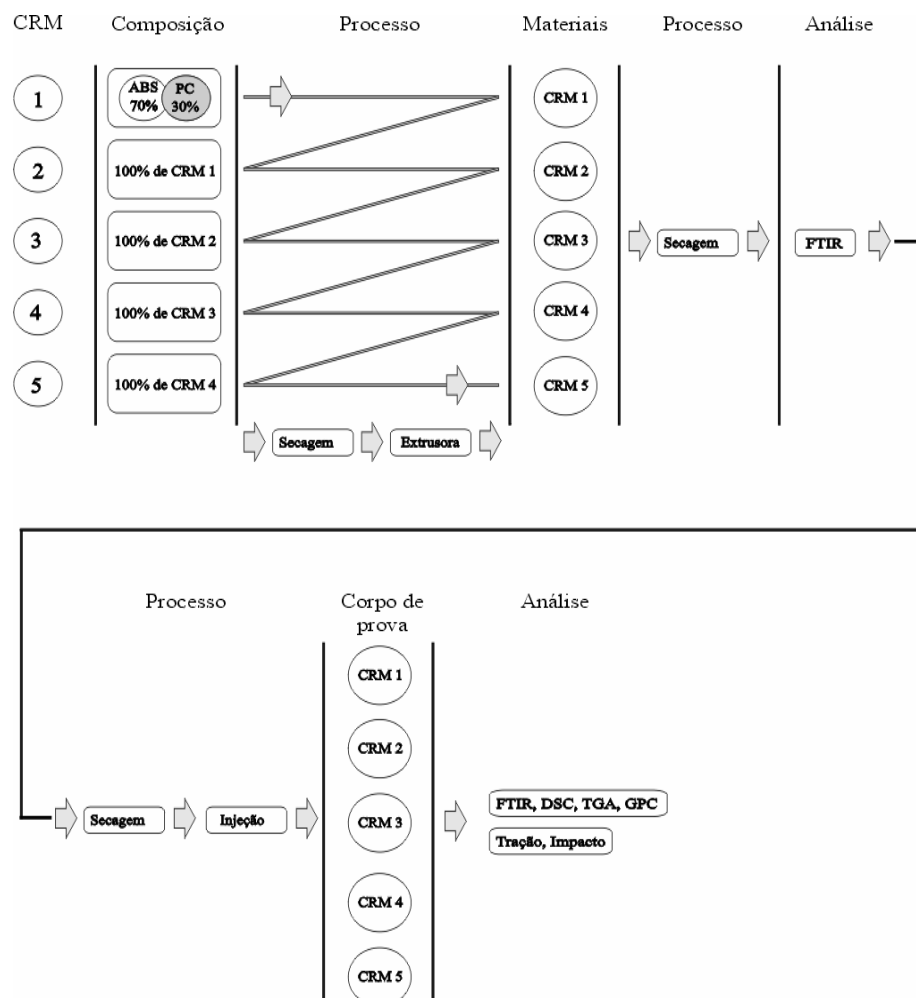


Figura 20 - Segunda etapa de processamento

O processo de CRM 1 inicia-se com a efetivação da mistura de 70% de ABS v, mais 30% de PC virgem, todos em forma de *pellets*, totalizando um volume inicial de 3 kg de material, conforme formulação apresentada na Tabela 4 (Blenda 3). A etapa seguinte é constituída pela secagem do material (4 horas a 90°C em estufa), que segue posteriormente para o processo de extrusão. Após o processo de extrusão, obtém-se o *pellet* CRM 1 a.

As próximas etapas são constituídas de secagem, caracterização via FTIR, secagem novamente e posterior processo de injeção para a obtenção dos corpos de prova. Para o processo de injeção são utilizadas 400 gramas de material. Os corpos de prova são caracterizados via técnica de FTIR, DSC, TGA, GPC, ensaio de tração e de impacto. A sobra de material (2,6 kg), em forma de *pellet*, oriunda do CRM 1a, é então utilizada para a fabricação do CRM 2a, seguindo posteriormente, as mesmas etapas de caracterização aplicadas no processo de CRM 1a.

Os próximos ciclos de CRM (3a, 4a e 5a) passam pelas etapas descritas tanto para o CRM 1a e CRM 2a, sendo que, para o processo de injeção dos corpos de prova, são utilizadas 400 gramas de material, para cada CRM.

4.2.1.3 Fluxograma da terceira etapa – CRM b

O processamento dos materiais da terceira etapa é orientado conforme o fluxograma apresentado na Figura 21.

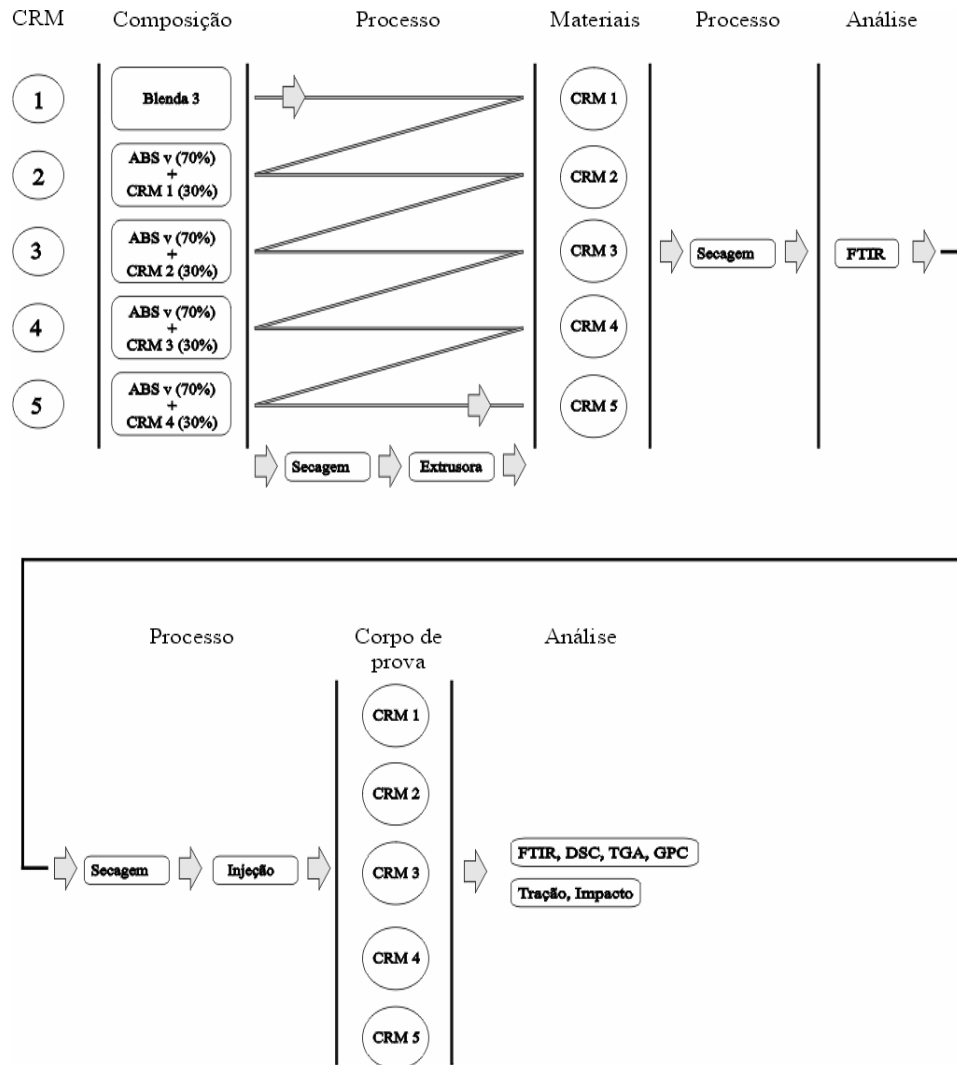


Figura 21 - Terceira etapa de processamento

O processo de CRM 1b, inicia com a fabricação da Blenda 3 em forma de *pellets*, totalizando um volume inicial de 3 kg de material, conforme formulação apresentada na Tabela 4. Na sequência do processo é realizada a secagem do material (4 horas a 90°C em estufa), que segue posteriormente para o processo de extrusão. Após o processo de extrusão, obtém-se o *pellet* CRM 1b. As próximas etapas são constituídas de secagem, caracterização via FTIR, secagem novamente e posterior processo de injeção para a obtenção dos corpos de prova, sendo que, para o processo de injeção de cada CRM, são utilizadas 400 gramas de material. Para a continuação do processo, as demais misturas seguem a seguinte sequência:

- CRM 2b - utiliza a mistura de 70% de ABS v (700 gramas) + 30% (300 gramas) de material oriundo da sobra do CRM 1;

- CRM 3b - utiliza a mistura de 70% de ABS v (700 gramas) + 30% (300 gramas) de material oriundo da sobra do CRM 2;
- CRM 4b - utiliza a mistura de 70% de ABS v (700 gramas) + 30% (300 gramas) de material oriundo da sobra do CRM 3;
- CRM 5b - utiliza a mistura de 70% de ABS v (700 gramas) + 30% (300 gramas) de material oriundo da sobra do CRM 4.

Os corpos de prova obtidos nessas etapas, foram caracterizados via técnica de FTIR, DSC, TGA, GPC, ensaio de tração e ensaio de impacto.

4.2.1.4 Fluxograma da quarta etapa

Segundo Paoli¹¹¹, embora a preparação e o estudo das blendas já serem amplamente usadas e estudadas, ainda não são muito bem compreendidas a razão e os efeitos de sua degradação no processo produtivo. Assim, se ocorrer variações nas propriedades viscoelásticas dos polímeros, a resposta ao ensaio de impacto pode ser alterada, mesmo entre amostras fabricadas a partir de materiais oriundos de um mesmo fornecedor. A análise de resistência ao impacto, que o Mp deve suportar, é uma das mais importantes informações mecânicas a ser utilizada no desenvolvimento de um produto. Essa informação tende a refletir, por exemplo, a carga necessária que o produto precisa suportar, a quedas, por exemplo, quando em utilização pelo usuário final. De uma forma geral, as alterações físicas e químicas, sofridas pelo material polimérico durante o processamento, irão influenciar a resposta dos ensaios mecânicos realizados.

Uma das problemáticas encontradas na avaliação das propriedades mecânicas, de materiais reciclados é, o fato, que a grande maioria utiliza aditivos em sua composição. Esses aditivos visam melhorar ou modificar as propriedades do material, porém, podem gerar alterações estruturais durante seu reprocessamento. Assim, durante o processamento, tanto na extrusão quanto no processo de injeção, esses aditivos estarão sujeitos ao aquecimento, a pressão e ao cisalhamento, sendo que, esses processos podem iniciar as reações de degradação do material e, desse modo, alterar suas propriedades mecânicas. Esse fato, em muitos casos, torna a utilização de materiais reciclados praticamente inviável, isso porque, são raras as indústrias de transformação que fazem a caracterização destes materiais, visando, dessa

forma, compreender o que essas reações poderiam implicar na qualidade final de seus produtos. Uma das técnicas que visam avaliar essas implicações é a do ensaio de impacto.

Esta técnica gera informações que podem auxiliar a tomada de decisão, sobre a utilização de um material reciclado, ou, de um material virgem, para a fabricação de produtos. Neste sentido, visando avaliar essa propriedade em materiais reciclados, foram desenvolvidas e processadas formulações, da Blenda 70/30, contendo ABS r, oriundo da carcaça de computadores pessoais, em conjunto com o ABS v e o PC. A Tabela 5 descreve as formulações utilizadas.

Tabela 5 - Formulações contendo ABS r

Amostra	Quantidade total (gramas)	Material A + Material B		PC	
		A = 70 %			B = 30 %
		ABS v	ABS r		
1	400	0	70		
2	400	50	50		
3	400	60	40		
4	400	70	30		
5	400	80	20		
6	400	90	10		
7	400	92	8		
8	400	94	6		
9	400	96	4		
10	400	98	2		

A Figura 22 apresenta o fluxograma do processo de fabricação dessas formulações.

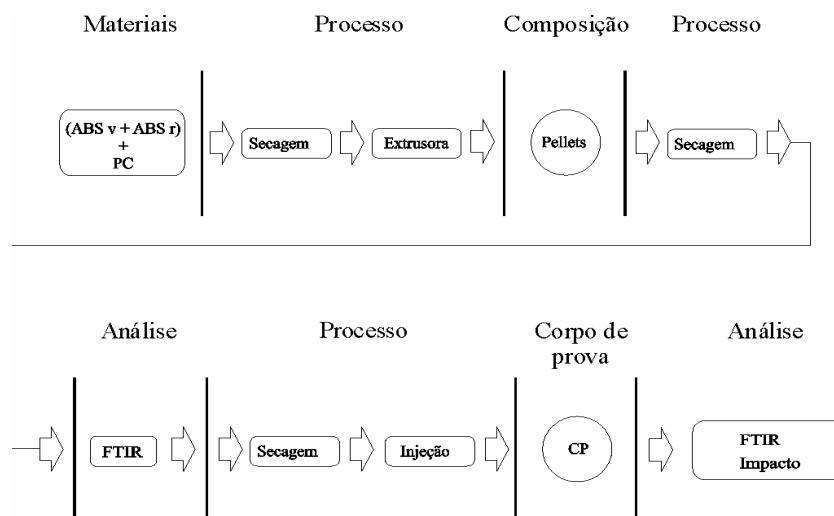


Figura 22 - Quarta etapa de processamento

O processo inicia com a preparação manual da mistura descrita na Tabela 5. O volume da mistura é aferido em balança eletrônica. Após a homogeneização manual é feita a secagem do material (4 horas a 90°C em estufa), que segue posteriormente para o processo de extrusão.

Após o processo de extrusão, obtêm-se a composição em forma de *pellet*. Esse *pellet* passa posteriormente pela secagem, pela caracterização via FTIR, novamente pela secagem, seguindo então para o processo de injeção, onde, se obtém os corpos de prova, que posteriormente passam pela avaliação via FTIR e ensaio de impacto, visando assim, selecionar a mistura com melhores propriedades de impacto

4.2.2 Processo de extrusão

Os materiais dos experimentos foram misturados em uma extrusora marca COPERION (Werner & Fleiderer – Tipo ZSK 18ML / ano 2008). O processo de extrusão visa homogeneizar as misturas, gerando assim, os *pellets* utilizados no processo de injeção. A Figura 23 mostra o equipamento utilizado.



Figura 23 - Máquina extrusora
Fonte: autor - Local: IQ/UFRGS

O perfil da rosca (co-rotação interpenetrante) empregada no processo de extrusão é mostrado na Figura 24.

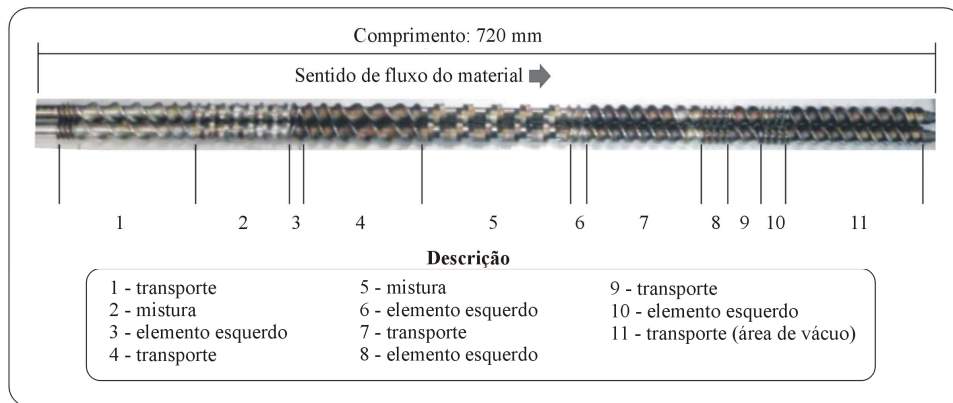


Figura 24 - Perfil da rosca utilizada no processo de extrusão

Fonte: Adaptado de Santos, Mauler e Demori¹⁰⁸

O perfil da rosca é um dos principais parâmetros na extrusão de blendas poliméricas, porque é na configuração da rosca que se obtém uma melhor homogeneização dos componentes da mistura.

Assim, foi utilizado o processamento contínuo em extrusora de dupla-rosca, como o perfil de montagem descrito na Figura 24. Cabe ressaltar que devido ao longo processo de alteração desses perfis e ao elevado número de usuários deste equipamento, o perfil da rosca existente não foi alterado. Os parâmetros utilizados no processo de extrusão da primeira etapa são descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de extrusão da primeira etapa

Material	Pressão (Bar)	Velocidade (Kg/h)	Temperatura (°C)						
			Estágios						
			1	2	3	4	5	6	7
ABS	20	2	180	200	220	230	235	240	245
PC	20	2	180	200	220	230	235	240	245
Blenda 1	20	2	180	200	220	230	235	240	245
Blenda 2	20	2	180	200	220	230	235	240	245
Blenda 3	20	2	180	200	220	230	235	240	245
Blenda 4	15	1	185	205	225	230	235	240	245
Blenda 5	15	1	185	205	225	230	235	240	245

A pressão, a velocidade e as temperaturas de extrusão da Blenda 4 e Blenda 5 (estágios 1, 2 e 3) foram recalibradas visando sua adequação a capacidade do equipamento

utilizado. Os parâmetros utilizados no processo de extrusão da segunda, terceira e quarta etapas, são descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros de extrusão da segunda, terceira e quarta etapas de processamento

Pressão (Bar)	Velocidade (Kg/h)	Temperatura (°C)						
		Estágios						
		1	2	3	4	5	6	7
20	2	180	200	220	230	235	240	245

Os parâmetros apresentados na Tabela 7 foram balizadores na confecção dos corpos de prova de todas as amostras realizadas nas respectivas etapas. Assim, foi possível avaliar o efeito da temperatura no processo de extrusão, visando à produção de blendas com composição ABSv, ABS r e PC.

4.2.3 Processo de injeção

Os corpos de prova, para os ensaios de tração e de resistência ao impacto de todas as amostras produzidas, foram obtidos pelo processo de injeção, utilizando uma injetora *Battenfeld PLUS 350*, com um ponto de injeção. A temperatura do molde foi de 80°C. A Figura 25 mostra a injetora e a Tabela 8 descreve os parâmetros de injeção utilizados. A coluna denominada “Blenda 3” é orientadora no processo de injeção das amostras fabricadas na segunda, terceira e quarta etapas.



Figura 25 - Injetora dos corpos de prova
Fonte: autor - Local: IQ/UFRGS

Tabela 8 - Parâmetros de injeção

Parâmetros	Amostras							
	ABS	PC	Blenda 1	Blenda 2	Blenda 3	Blenda 4	Blenda 5	
Injeção (bar)	50	50	50	50	50	50	50	
Recalque (bar)	20	20	20	20	20	20	20	
Contra-pressão (bar)	20	20	20	20	20	20	20	
Tempo de Injeção (seg)	2	2	2	2	2	2	2	
Resfriamento (seg)	30	30	30	30	30	30	30	
Ciclo total (seg)	47	47	47	47	47	47	47	
Temperatura (°C)	Zona 1	50	50	30	30	30	30	30
	Zona 2	230	280	230	230	230	230	230
	Zona 3	230	270	230	230	230	230	230
	Zona 4	240	260	240	240	240	240	240

4.2.4 Parâmetros de caracterização das amostras

São diversas as técnicas que podem ser utilizadas para análises de polímeros, sendo que, para este trabalho foram utilizadas: FTIR, DSC, TGA, GPC, ensaio de tração e ensaio de impacto. A identificação dos equipamentos e seus respectivos parâmetros são descritos a seguir.

4.2.4.1 FTIR

Os espectros foram obtidos em espectrômetro marca *PerkinElmer – Spectrum 100* (Figura 26) com resolução de 4 cm⁻¹ realizando 16 varreduras, por amostra, na região de 4000 a 650 cm⁻¹. As amostras são retiradas de materiais virgens, de *pellets* e dos corpos de prova injetados.



Figura 26 - Equipamento de FTIR
Fonte: autor - Local: LdSM/UFRGS

4.2.4.2 DSC

As análises foram realizadas em equipamento tipo *PerkinElmer* DSC Q20 TA *Instruments* (Figura 27), utilizando amostras retiradas dos materiais virgens e dos corpos de prova injetados, sendo que esta técnica, foi utilizada para avaliar a miscibilidade das blendas de acordo com a Tg de cada componente. Os experimentos foram conduzidos em atmosfera inerte (panela fechada), utilizando a seguinte programação:

1. Temperatura inicial: -20 °C
2. Rampa de aquecimento: 10°C/min até 300°C
3. Isotherma: 10 minutos
4. Rampa de resfriamento: 300°C até -20°C
5. Isotherma: 10 minutos
6. Rampa de aquecimento: -20 até 300°C
7. Massa aproximada da amostra: 10mg



Figura 27 - Equipamento DSC
Fonte: LAMAT/UFRGS

4.2.4.3 TGA

As análises foram realizadas em equipamento marca *METTLER TOLEDO* – *TGA/SDTA851e* (Figura 28), utilizando amostras retiradas dos materiais virgens e dos corpos de prova injetados. Os experimentos foram conduzidos utilizando-se a seguinte programação:

1. Aquecimento: de 22 a 900°C
2. Taxa de aquecimento: 10°C/min
3. Intervalo de medição: 2,5°C
4. Atmosfera de ensaio: N2



Figura 28 - Equipamento TGA
Fonte: autor - Local: LACER/UFRGS

4.2.4.4 GPC

As análises foram realizadas em equipamento marca GPC Viscotek VE 2001 (Figura 29), utilizando amostras retiradas dos materiais virgens e dos corpos de prova injetados, com cerca de 10 mg por amostra. Os experimentos foram conduzidos utilizando-se a seguinte programação:

1. Aquecimento coluna: 45°C
2. Solvente: THF
3. Fluxo de injeção: 1 ml/min
4. Volume de injeção: 150 ul



Figura 29 - Equipamento GPC
Fonte: IQ/UFRGS

4.2.4.5 Ensaio de tração

Foram injetados corpos de prova conforme norma ASTM D 638 (Figura 30A) utilizando-se os materiais dos experimentos, ABS v (Figura 30B), ABS r (Figura 30C) e PC (Figura 30D).

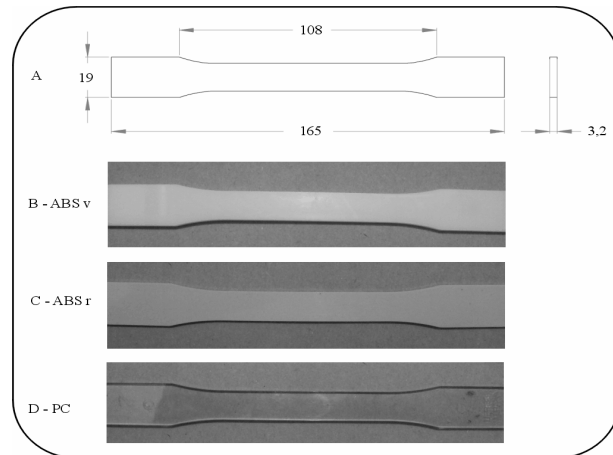


Figura 30 - Corpo de prova ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado em equipamento marca EMIC – DL 10000 (Figura 31), utilizando-se uma célula de carga de 5000N, velocidade do ensaio de 50mm/min e avaliação via software TESC.



Figura 31 - Máquina universal - ensaio de tração
Fonte: autor - Local: IQ/UFRGS

4.2.4.6 Ensaio de impacto

Os ensaios de impacto foram realizados, conforme norma ASTM D 256, em equipamento marca CEAST modelo 6845-800, sendo que, as amostras foram retiradas dos corpos de prova injetados (Figura 30B, C e D). A Figura 32A mostra o equipamento de ensaio de impacto. A Figura 32B mostra a máquina de entalhar e a Figura 32C mostra a ferramenta de entalhe.

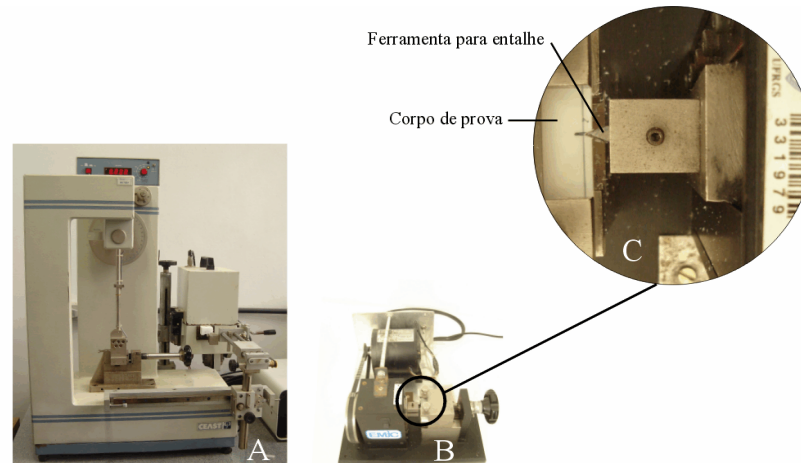


Figura 32 - Equipamentos para ensaio de impacto Izod
 Fonte: autor - Local: IQ/UFRGS

A Figura 33 mostra a geometria do corpo de prova ensaiado (unidade= milímetros).

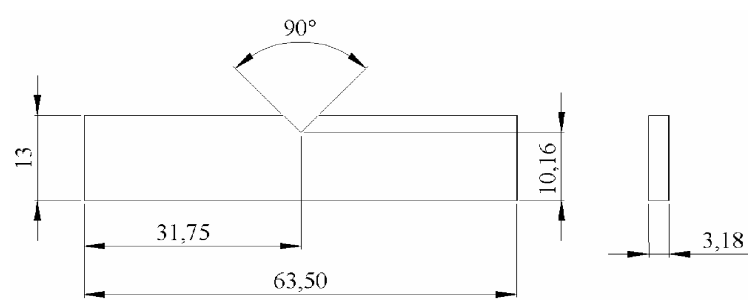


Figura 33 - Corpo de prova ensaio de impacto

O entalhe de 90° , no corpo de prova, serve para minimizar a deformação plástica e orientar a fratura na amostra, na parte posterior ao entalhe (dimensão: 10,16 mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados e as respectivas discussões de cada etapa executada na pesquisa.

5.1 FTIR

A utilização da técnica de caracterização via FTIR, teve como foco apontar a existência de componentes característicos dos materiais utilizados e, também, apontar a ocorrência do termodegradação desses materiais após os processos de extrusão, de injeção e após a aplicação do CRM. Inicialmente foram caracterizados o ABS v, o ABS r e o PC. A Figura 34 apresenta os principais picos utilizados como parâmetro de análise dos materiais empregados.

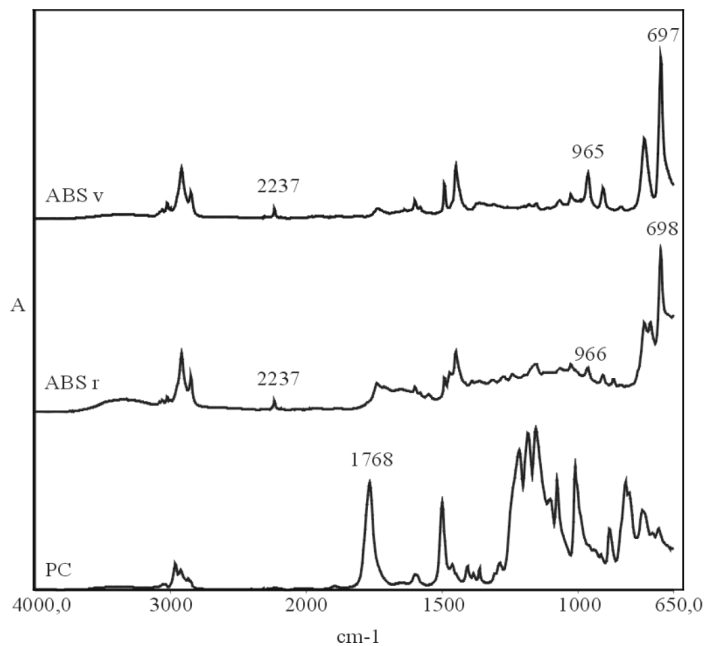


Figura 34 - Materiais de referência

Os espectros do ABS v e do ABS r (Figura 34) pico de 697 cm^{-1} (indicativo da presença do estireno) referente ao grupo das fenilas e o pico de 965 cm^{-1} (indicativo da presença do butadieno) é concordante com os valores apresentados por Montaudo.^{82,83} O valor de pico na faixa de 1768 cm^{-1} (indicativo da presença do bisphenol A) do PC é concordante com os valores descritos por Lemmens⁹⁵, aproximadamente 1770 cm^{-1} e refere-se à faixa do grupo C=O.

Os valores de pico do butadieno e do estireno foram definidos como referência para avaliação da degradação do ABS v e do ABS r, pois conforme Yang⁸⁴ são componentes

sensíveis a altas temperaturas e podem demonstrar uma termodegradação oriunda do processo de extrusão e injeção.

Uma variação de pico na faixa de 1768 cm^{-1} , que têm como indicativo a presença do bisphenol A, pode representar, segundo Montaudou⁸², a termodegradação deste componente nos processos térmicos de transformação. Assim, os picos indicativos do butadieno, do estireno e do bisphenol A, são orientadores no processo de caracterização das blendas ABS/PC pela técnica de ensaio via FTIR.

Visando avaliar o efeito da degradação térmica nos respectivos materiais, foi realizada a análise via FTIR do ABS v, do ABS r e do PC, após o processo de injeção dos corpos de prova. A Figura 35 mostra os espectros oriundos dessa avaliação.

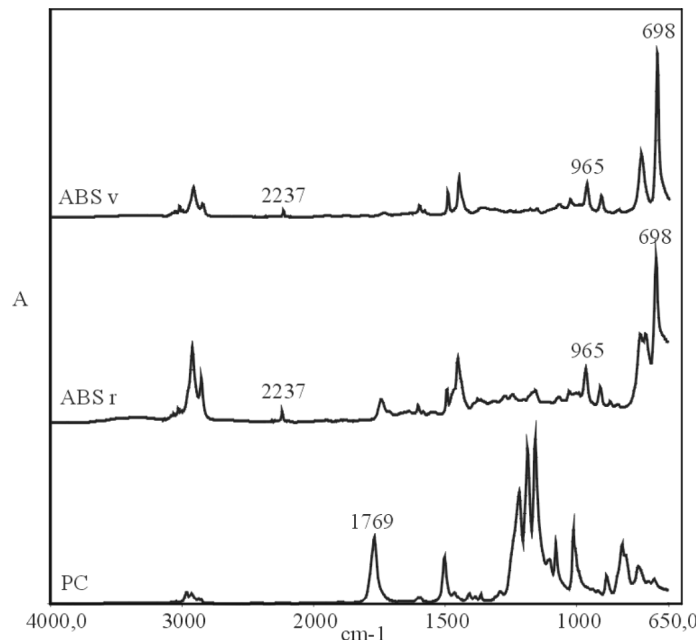


Figura 35 - Materiais com processamento

Ao realizar a análise comparativa entre as informações apontadas na Figura 34 e na Figura 35, especificamente na faixa de 3250 cm^{-1} , observa-se uma pequena redução na intensidade do sinal, podendo ser um indicativo da ocorrência da termodegradação. O espectro do PC, entre as bandas de 1770 cm^{-1} e 1220 cm^{-1} referem-se à absorção dos grupos funcionais C=O demonstraram uma pequena absorção. Ao avaliar o espectro do ABS r, observa-se uma absorção acentuada entre as faixas de 965 cm^{-1} , indicando a ocorrência da termodegradação do butadieno. Na faixa espectral do ABS v, não foram observadas variações significativas após o processo. Neste sentido, ao analisar as Figuras 34 e 35, fica clara a possibilidade da redução na carga de impacto da blenda, quando esses materiais forem

misturados e processados em ciclos contínuos, isto porque, a análise demonstra que ocorreu uma redução do sinal referente ao butadieno - componente responsável pela performance mecânica do ABS.

5.1.1 Primeira etapa de processamento

A primeira etapa de processamento foi realizada somente para a fabricação da blenda padrão 70/30 v. Neste sentido, nos ensaios a seguir, são apresentados os resultados dessa avaliação.

5.1.2 Segunda etapa de processamento

Os espectros apresentados na Figura 36 apontam os principais picos da Blenda 70/30 v e os picos analisados no processo de CRM 1a, CRM 2a, CRM 3a, CRM 4a e CRM 5a dessa respectiva blenda padrão. O processamento dessa etapa é apresentado na Figura 20.

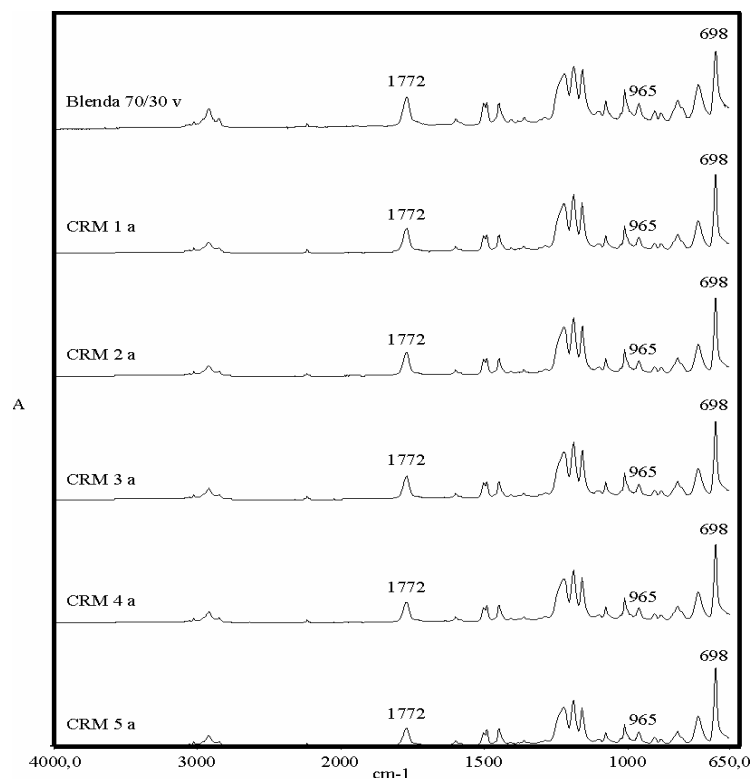


Figura 36 - Espectro de FTIR CRM a

Ao avaliar os espectros da Figuras 36 nas faixas de 1750 cm-1 e 3250 cm-1, não observa-se nenhuma absorção nessas bandas, mantendo-se estáveis. Ao avaliar o pico na

faixa de 965 cm^{-1} , não é observada nenhuma absorção. Apesar da aparente estabilidade espectral das amostras, é preciso levar em consideração os resultados apresentados nas Figuras 34 e Figura 35, onde é apontada a redução da fase de butadieno. Neste sentido, mesmo não havendo a indicação da absorção existe a possibilidade da redução da carga de impacto da blenda.

5.1.3 Terceira etapa de processamento

Os espectros apresentados na Figura 37 apontam os principais picos da Blenda 70/30 v e os picos analisados no processo de CRM 1b, CRM 2b, CRM 3b, CRM 4b e CRM 5b, sendo que, o processamento dessa etapa é apresentado na Figura 21.

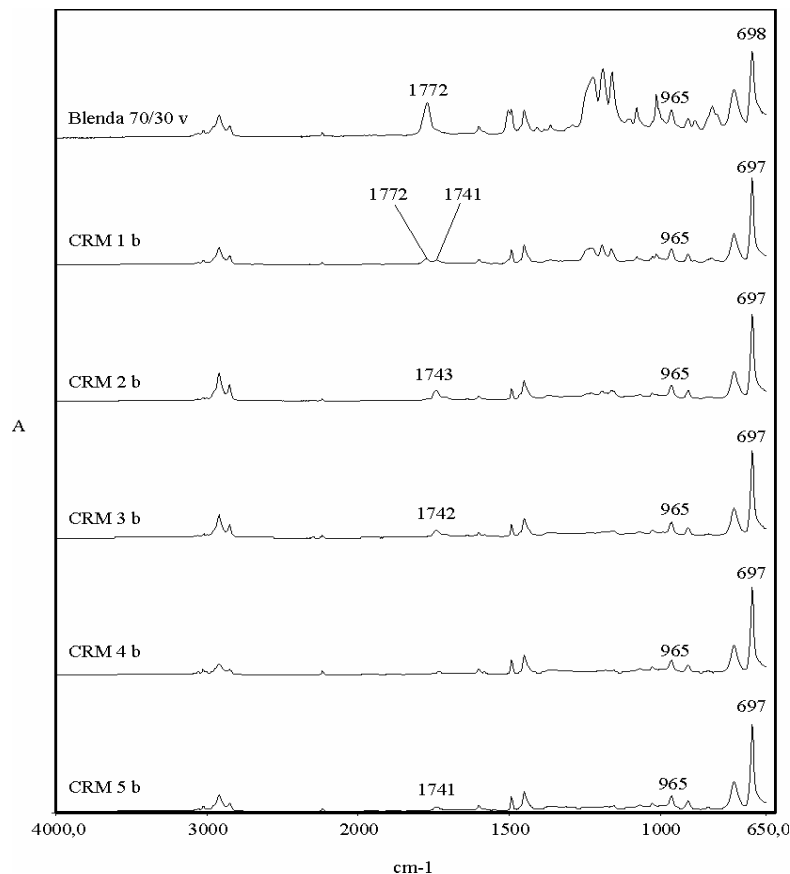


Figura 37 - Espectro de FTIR CRM b

Ao analisar os dados da Figura 37, observa-se que os picos na faixa da presença do butadieno (965 cm^{-1}) e do estireno (697 cm^{-1}) mantiveram um sinal uniforme em todos os cinco ciclos de reciclagem. O não aparecimento de hidroxila na faixa de 3250 cm^{-1} indica a não ocorrência da degradação térmica da blenda durante os cinco ciclos. Os picos indicadores da presença de bisphenol A (1772 cm^{-1}) aparecem na Blenda 70/30 v e no CRM 1b, porém, o

sinal desaparece a partir do CRM 2b. Essa redução representa a diminuição da quantidade de PC, devido ao processo de mistura apresentado na Figura 21. Ao avaliar os valores dos picos de referência (Figuras 36 e Figura 37), na faixa de início do butadieno, do estireno e do bisphenol A, observa-se que, ao aplicar o CRM a e o CRM b, os valores destes picos continuam estáveis com uma leve redução de sua intensidade.

5.1.4 Quarta etapa de processamento

A quarta etapa de processamento teve como fator preponderante à utilização do ABS r para a fabricação da Blenda 70/30. Essa análise visou compreender o comportamento mecânico da blenda, quando esse material foi utilizado em conjunto com o ABS v e o PC.

Nesta etapa, foram utilizados os mesmos parâmetros de processo (extrusão e injeção) aplicados para a fabricação de corpos de provas oriundos de materiais virgens. Neste sentido, os espectros apresentados na Figura 38 apontam os picos de referência da Blenda 70/30 v, quando esta foi formulada com 6%, 4% e 2% de ABS r. O processamento dessa etapa foi realizado conforme fluxograma apresentado na Figura 22.

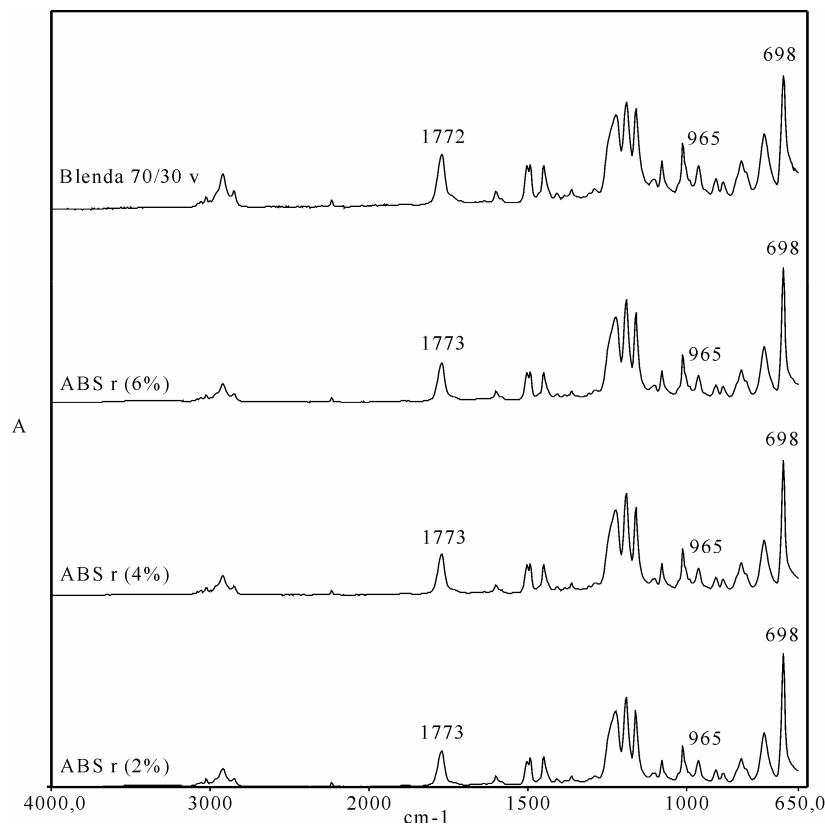


Figura 38 - Espectro de FTIR ABS r

Segundo Carvalho⁴⁵ e Sanchez¹²², o reprocessamento do ABS, em temperaturas adequadas, não gera o desaparecimento de ligações importantes no material, porém, pode ocorrer uma alteração na intensidade dos picos do butadieno e do estireno. Neste sentido, ao analisar os espectros da Figura 38, observa-se a uniformidade dos picos de referência. O não aparecimento de hidroxila na faixa de 3250 cm⁻¹ é um importante indicador da não ocorrência da termodegradação da blenda.

Conforme Canevarolo¹⁰⁰, dois materiais podem apresentar perda de massa ocorrendo na mesma faixa de temperatura. Assim, a identificação do sinal do espectro, pode ser dificultada ou anulada. Neste sentido, as técnicas apresentadas a seguir, visam complementar a caracterização dos materiais utilizados.

5.2 DSC

A aplicação da análise via DSC visou à verificação da miscibilidade da Blenda 70/30. Esta avaliação é de fundamental importância, quando se pretende estudar as propriedades mecânicas dessas misturas, isso porque, quanto mais próximas forem as Tg's, maior será a possibilidade da completa miscibilidade dos componentes. A Figura 39 apresenta as curvas do ABS v, do ABS r e do PC, oriunda da análise dos corpos de prova injetados. Essa informação é orientadora para a avaliação da miscibilidade entre esses materiais.

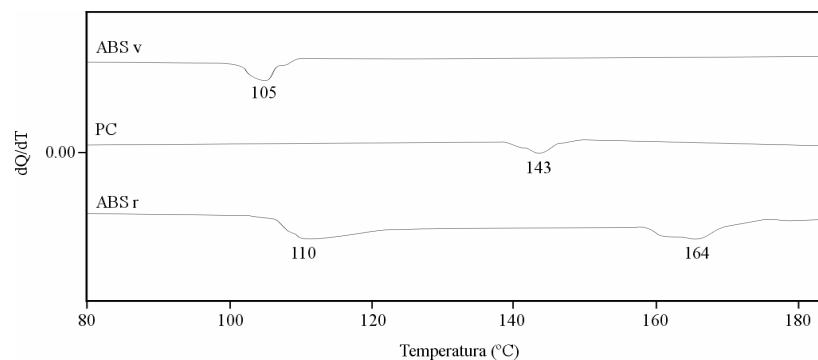


Figura 39 - Curvas de DSC dos materiais utilizados

Ao avaliar os termogramas da Figura 39, se observa a Tg do ABS v a 105°C e a Tg do PC a 143°C. O ABS r apresenta uma Tg de 110°C, sendo que o pico de Tg 164°C, pode representar outros componentes existentes no material, como, por exemplo, aditivos. Esses componentes não foram avaliados nessa pesquisa, devido, à opção de se utilizar o ABS r na

forma em que esse é extraído do produto original, independentemente de outros componentes que não sejam o ABS. Buscou-se dessa forma, empregar o procedimento aplicado pela indústria de transformação, que utiliza materiais reciclados no desenvolvimento de seus produtos.

5.2.1 Segunda etapa de processamento

A Figura 40 mostra o resultado dos termogramas, oriundos da segunda etapa de processamento aplicado na Blenda 70/30 v. O processamento dessa etapa é apresentado na Figura 20.

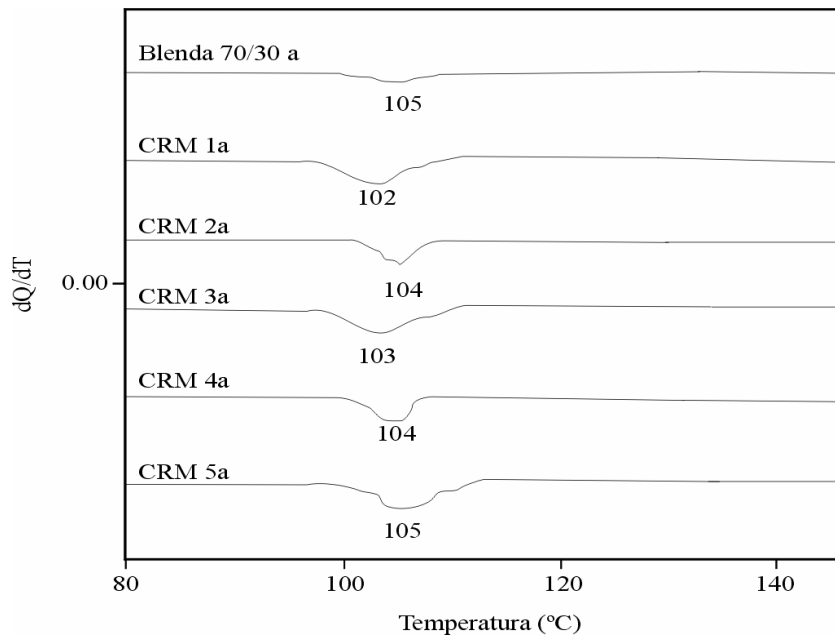


Figura 40 – Curvas de DSC da segunda etapa do CRM

Ao avaliar o termograma da Figura 40 observa-se que, no espectro da Blenda 70/30 v ocorre somente uma inflexão no pico de 105°C. Esse fato deixa claro a miscibilidade dessa blenda. Essa tendência é descrita por Balart⁹¹, que aponta a existência de uma ampla faixa de miscibilidade destes componentes. Essa miscibilidade é dependente das composições formuladas e do processo de fabricação do material, sendo que, a miscibilidade total é observada em todos os ciclos do CRM a.

Cabe ressaltar que, conforme Paoli¹¹¹, a sensível redução da Tg em CRM 1a, CRM 2a, CRM 3a e CRM 4a, indicam a tendência de cisalhamento desses materiais, devido ao processo de extrusão.

5.2.2 Terceira etapa de processamento

A Figura 41 mostra o resultado dos termogramas, oriundos da terceira etapa de processamento aplicado na Blenda 70/30 v. O processamento dessa etapa é apresentado na Figura 21.

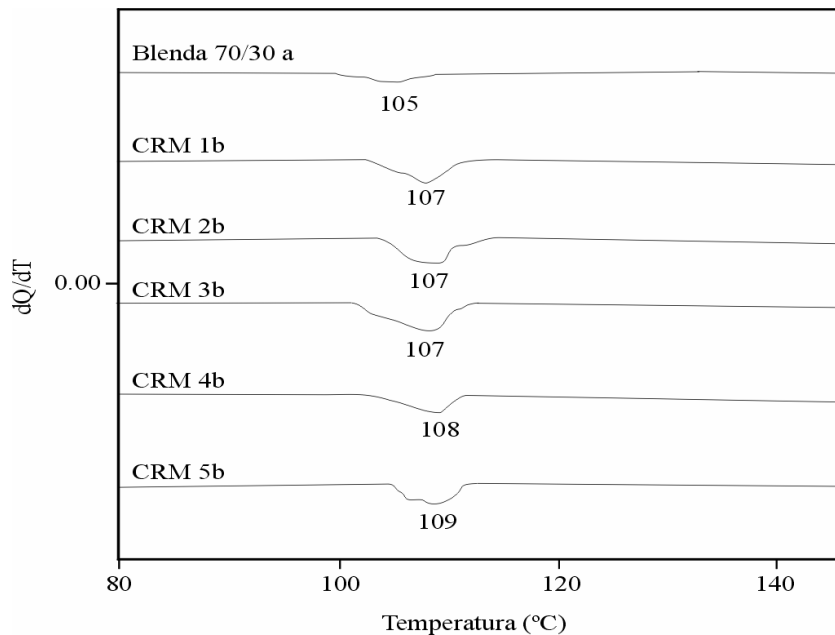


Figura 41 - Curvas de DSC da terceira etapa do CRM

Ao avaliar os espectros na Figura 41, observa-se o deslocamento da T_g para temperaturas mais elevadas, entre a Blenda 70/30 v e os ciclos de CRM b. Essa variação tende a não influenciar significativamente as propriedades mecânicas da blenda, porém, pode representar a tendência da degradação dos materiais utilizados, principalmente pelo fato do aumento quase linear da T_g, que inicia em 105 °C e vai aumentando até 109 °C. Segundo Paoli¹¹¹, esse fato sinaliza a tendência da reticulação do material devido ao processamento termomecânico.

5.2.3 Quarta etapa de processamento

A quarta etapa utiliza tanto o ABS v, o ABS r e o PC em sua composição. Os espectros (Figura 42) demonstram a utilização de 6%, 4% e 2% de ABS r, aplicado na fabricação da Blenda 70/30 v. O processamento dessa etapa é apresentado na Figura 22.

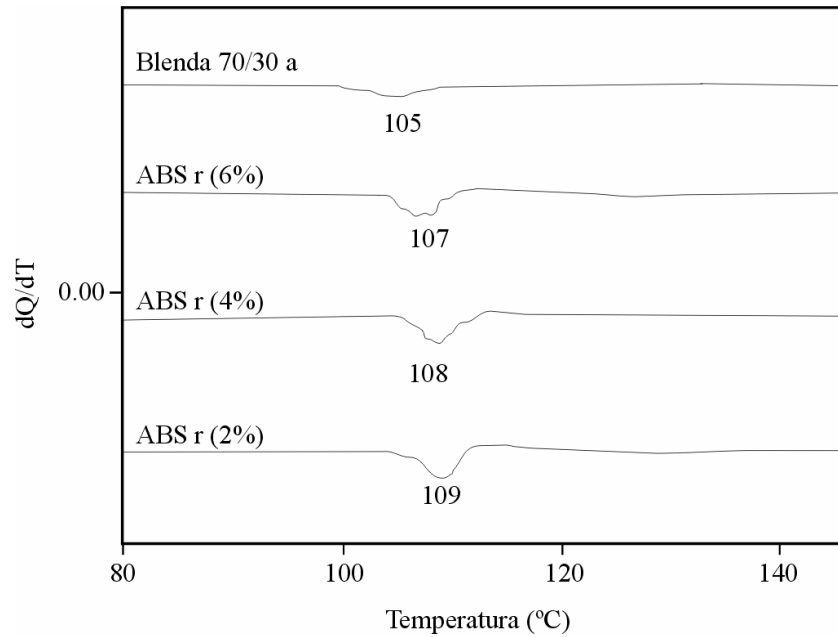


Figura 42 - Curvas de DSC da quarta etapa do CRM

Ao avaliar os espectros, apresentados na Figura 42, observa-se o aumento da T_g no ABS r, nas proporções de 6%, 4% e 2%, para temperaturas maiores, o que, indica a tendência da reticulação desse material.

5.3 TGA e DTG

A aplicação da análise via TGA e DTG visou à verificação da estabilidade térmica da Blenda 70/30 v. A Figura 43 mostra o TGA do ABS v, do ABS r e do PC. Essa informação é utilizada como referencial na avaliação da Blenda 70/30 v. A temperatura balizadora para essa análise, inicia-se em $T_{onset} = 240^\circ\text{C}$ (temperatura utilizada no processo de injeção). As curvas DTG indicam o ponto de T_i , temperatura na qual inicia a decomposição térmica do material e o ponto T_{pico} , temperatura em que ocorre a inflexão da degradação térmica.

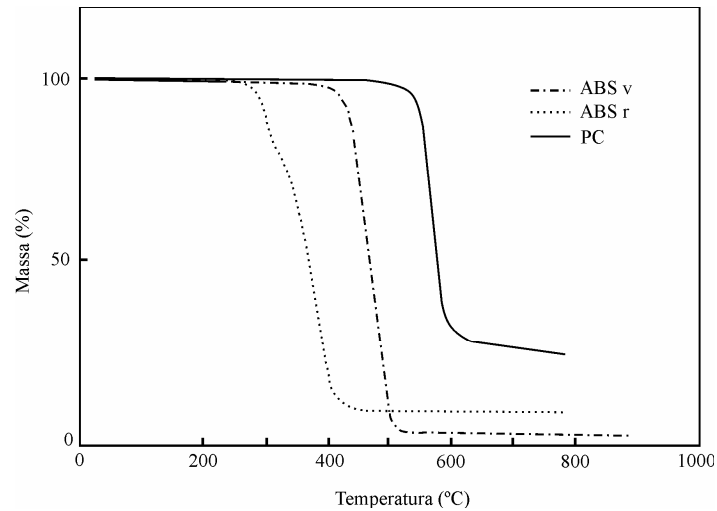


Figura 43 - Termograma TGA do ABS v, do ABS r e do PC

Segundo Yang⁸⁴, a degradação dos componentes do ABS inicia-se a 340°C com o butadieno e a 350°C com o estireno. Como estes componentes são mais sensíveis termicamente em relação aos componentes do PC, a avaliação via TGA, possibilita observar o efeito da termodegradação durante os processos de extrusão e injeção dos materiais. Assim, a degradação térmica, do ABS r, inicia a 220°C, a degradação térmica do ABS v inicia-se a 235°C e a degradação do PC inicia-se a 274°C. Essas informações são utilizadas como referência nas próximas etapas de processamento.

5.3.1 Segunda etapa de processamento

A Figura 44 apresenta o termograma DTG da etapa do CRM a, oriundo do processamento descrito na Figura 20.

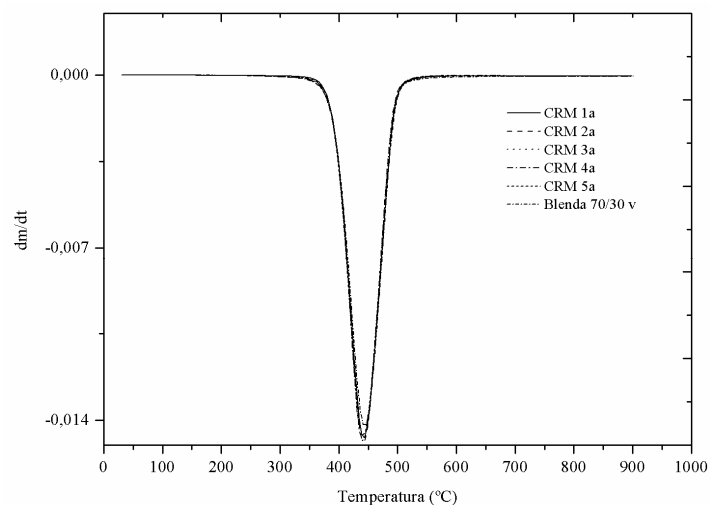


Figura 44 - Termograma DTG do CRM a

Ao avaliar os espectros da Figura 44, observa-se o início de T_i a 250°C e de T_{pico} , com inflexão a 445°C. Assim, constata-se que a temperatura utilizada no processo de fabricação da blenda, não apresentou uma termodegradação importante nas respectivas amostras.

5.3.2 Terceira etapa de processamento

A Figura 45 apresenta o termograma de DTG da etapa do CRM b oriundo do processamento descrito na Figura 21.

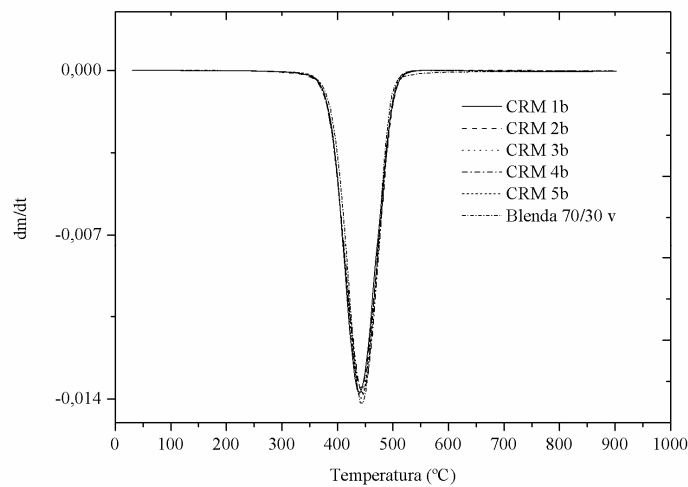


Figura 45 - Termograma DTG do CRM b

Ao avaliar os espectros da Figura 45, observa-se o início de T_i a 250°C e de T_{pico} , com inflexão a 445°C. Assim, constata-se que a temperatura utilizada no processo de fabricação da blenda não apresentou termodegradação nas respectivas amostras. Neste sentido, conclui-se que a temperatura utilizada no processo de fabricação das amostras, apresentada nas Figuras 44 e 45, não indica a termodegradação nesses respectivos materiais. Porém, observa-se que a temperatura do processo de injeção (240 °C) situa-se no limite máximo recomendado.

5.3.3 Quarta etapa de processamento

A quarta etapa de processamento utiliza tanto o ABS v, o ABS r e o PC em sua composição, sendo que, os espectros (Figura 46) apresentam a utilização de 6%, 4% e 2% de ABS r.

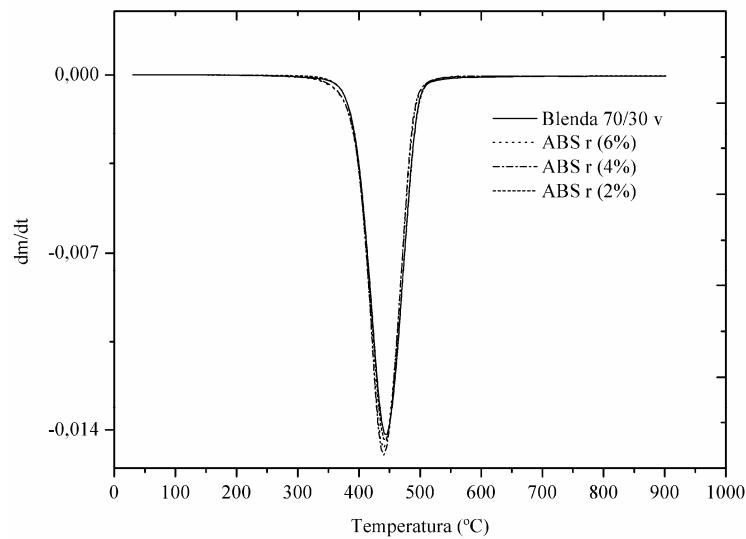


Figura 46 - Termograma DTG da blenda 70/30 v composta de ABS r

Ao analisar os dados da Figura 44, Figura 45 e da Figura 46, constata-se a não ocorrência de uma variação importante de T_i nos materiais utilizados. A adição de ABS r (Figura 46) não tende a influenciar a estabilidade térmica da blenda. Porém, o espectro do ABS r (6%) é o primeiro material a sofrer uma degradação acentuada a aproximadamente 310°C. A análise indica que, quanto maior a quantidade de ABS r misturado a blenda, maior é a possibilidade da redução das propriedades mecânicas devido a termodegradação.

5.4 GPC

Existem diversos mecanismos atuantes na síntese de polímeros que podem proporcionar variações em sua massa molar. Os valores da massa molar numérica média (M_n) e da massa molar ponderal média (M_w), quando relacionadas através de M_w/M_n , definem o quão larga é a curva de distribuição das massas, ou seja, a sua polidispersão. A curva de distribuição dessas massas pode demonstrar o aumento ou redução de propriedades mecânicas de impacto e de tração. Segundo Salari¹²³ a diminuição do peso molecular em materiais de base ABS, pode explicar a redução do alongamento da ruptura em tração após o reprocessamento desse material. Neste sentido, a Tabela 9 apresenta os resultados obtidos através da aplicação da técnica de GPC na Blenda 70/30 v, no CRM a, no CRM b e na Blenda 70/30 v fabricada com a inclusão do ABS r.

O objetivo da análise é avaliar a termodegradação da blenda durante o processo de extrusão. Para a obtenção da amostra padrão, foram diluídos em THF (Tetrahydrofurano)

pellets de ABS v e PC na proporção de 70/30, sem qualquer tipo de processamento. Os *pellets* foram pesados em balança eletrônica de precisão.

Tabela 9 - GPC da Blenda 70/30 v

Material	Mw (g/mol)	Mn (g/mol)	Mw/Mn
Blenda 70/30*	120.000	40.000	3,0
ABS v	101.000	42.000	2,4
ABS r	114.000	53.000	2,1
PC	59.000	24.000	2,4
CRM 1 a	116.000	38.000	3,0
CRM 2 a	108.000	42.000	2,5
CRM 3 a	121.000	55.000	2,2
CRM 4 a	122.000	56.000	2,1
CRM 5 a	103.000	43.000	2,4
CRM 1 b	104.000	28.000	3,7
CRM 2 b	100.000	29.000	3,5
CRM 3 b	100.000	26.000	3,8
CRM 4 b	104.000	30.000	3,5
CRM 5 b	100.000	30.000	3,3
ABS r (6%)	176.000	93.000	1,9
ABS r (4%)	129.000	45.000	2,9
ABS r (2%)	102.000	31.000	3,2

Ao avaliar os dados da Tabela 9, observa-se uma tendência a redução inicial do Mw e do Mn nos processos de CRM a, CRM b, em relação a Blenda 70/30*. O processamento no CRM a, demonstra uma redução significativa da relação entre Mw/Mn o que, evidencia a termodegradação desses materiais. A situação crítica, verificada no CRM a, é que a relação inicia em 3,0 e termina em 2,4. Esses dados indicam que a continuação do processo em outros ciclos de CRM a, irá piorar a condição mecânica desse material.

Por sua vez, o CRM b, inicia com uma relação de 3,7 no CRM 1b e, termina com uma relação de 3,3. Este dado indica que a continuação do processo com aplicação de outras etapas do CRM b, tende a melhorar a condição mecânica da blenda. Esse fato é devido, ao processo de CRM aplicado, no qual é acrescentado o ABS v. Assim, nota-se que os valores apresentados de Mw, para o ABS v (Tabela 10), aproximam-se dos valores apresentados no CRM b. Ao contrário das evidências descritas anteriormente, quando é analisada essa relação de Mw/Mn nos campos do ABS r, observa-se o aumento da relação quando é reduzida a

quantidade de ABS r. Neste sentido, as informações dessa etapa apontam que a quantidade máxima indicada de ABS r para a fabricação da blenda é de 2%.

5.5 Ensaio de tração

A diminuição nas propriedades mecânicas dos materiais poliméricos podem ser atribuídas a diferentes fenômenos. A redução de uma fase elastomérica, como a do butadieno, que é especialmente sensível à termodegradação é um dos fatores que mais influenciam no desempenho final do material.

Sua degradação promove uma diminuição da adesão entre a matriz SAN com o PC, podendo gerar pontos concentradores de tensões. Segundo Carvalho⁴⁵, a avaliação do comportamento mecânico de materiais poliméricos depende de diversos fatores como, velocidade de ensaio, da condição ambiental da amostra, da temperatura do ensaio, de pré-cargas de ensaio, da geometria do corpo-de-prova, da fabricação do corpo-de-prova e outros.

Sendo assim, foram ensaiados conforme a norma ASTM D 638, os materiais utilizados nesta pesquisa (ABS v, ABS r, PC e Blenda 70/30) sendo que, foram ensaiados cinco corpos de prova por amostra. O propósito deste ensaio foi o de gerar valores referenciais. A Tabela 10 apresenta esses valores.

Tabela 10 - Valores de referência para o ensaio de tração

Ensaio	Blenda 70/30 v	Materiais		
		ABS v	ABS r	PC
Módulo de Tração (MPa)	2438	2387	2407	2415
Alongamento médio (%)	5	5	2	>100
Desvio % (+/-)	5	5	12	6

Ao avaliar os dados da Tabela 10, observa-se que os Módulos de Tração do ABS v e do ABS r, são praticamente iguais, porém, os valores de alongamento são visivelmente diferentes o que indica, o aumento da fragilidade mecânica do ABS r. Portanto, se avaliarmos somente as propriedades de tração desses materiais, sem considerar, por exemplo, a propriedade de impacto, correríamos o risco de fabricar produtos frágeis. O valor do ensaio de tração da Blenda manteve-se próximo aos observados para os materiais virgens.

5.5.1 Segunda e terceira etapas de processamento

A Tabela 11 apresenta os dados relativos aos ensaios de tração da Blenda 70/30 v, obtidos no CRM a e no CRM b.

Tabela 11 - Valores de ensaio de tração após processo em CRM a e CRM b

Tração	CRM				
	1	2	3	4	5
CRM a					
Módulo de Tração (MPa)	2387	2339	2327	2307	2306
Desvio % (+/-)	4	5	8	5	5
CRM b					
Módulo de Tração (MPa)	2365	2393	2380	2415	2368
Desvio % (+/-)	5	5	6	3	6

Ao avaliar os dados da Tabela 11, observa-se no Módulo de Tração uma boa repetição de valores, não sendo possível identificar alterações significativas no comportamento sobre tração tanto no CRM a quanto no CRM b.

5.5.2 Quarta etapa de processamento

A Tabela 12 apresenta os dados relativos ao ensaio de tração da Blenda 70/30 v com a utilização do ABS r.

Tabela 12 - Valores de ensaio de tração após processo com ABS r

Tração	Materiais		
	ABS r (6%)	ABS r (4%)	ABS r (2%)
Módulo de Tração (MPa)	2385	2368	2363
Desvio % (+/-)	5	6	5

Os dados apresentados na Tabela 12, demonstram uma estabilidade de tração em todas as amostras de ABS r. Diante dos dados apresentados não é possível identificar alterações dessa propriedade devido a utilização do material. Os resultados correspondem aos dados observados por Carvalho⁴⁵ que, ao fabricar corpos de prova com o ABS r, oriundo de refugos industriais, observou que a propriedade de tração manteve-se praticamente inalterada.

Neste sentido, ao avaliar os dados do ensaio de tração descritos na Tabela 11 e Tabela 12, pode-se afirmar que não ocorreram mudanças significativas nessa propriedade, devido à

aplicação do CRM a e do CRM b, e da utilização do ABS r como componente na mistura da Blenda 70/30. Esse comportamento, conforme apresentado por Salari¹²³, são semelhantes em diversos polímeros que utilizam o estireno em sua formulação.

5.6 Ensaio de impacto

Conforme Jin et al⁹⁰, o aumento da resistência ao impacto em blendas de ABS/PC é melhorada com o incremento de PC em uma matriz de ABS. Um dos principais componentes responsáveis pela melhora do desempenho, da resistência ao impacto é o polibutadieno, que disperso na matriz SAN tende a aumentar a aderência entre estes dois componentes (ABS e PC), melhorando assim sua tenacidade. Diversos autores descrevem que a degradação do polibutadieno, devido a reações de cisão durante o processo de extrusão, podem formar microestruturas que atuam como concentradores de tensão levando, dessa forma, o material a desenvolver um comportamento de dúctil para frágil.^{124, 125}

Neste sentido, a Tabela 13 apresenta os resultados de impacto no ABS v, ABS r e no PC que são valores referências para a avaliação do processo de CRM.

Tabela 13 - Valores de referência para o ensaio de impacto

Resistência ao Impacto	Blenda 70/30 v	Materiais		
		ABS v	ABS r	PC
J/m	404	224	104	690
Desvio % (+/-)	8	5	10	5

Observa-se na Tabela 13, uma acentuada redução da carga de impacto (J/m) no ABS r, sugere-se que essa redução pode ser influenciada pelo cisalhamento do material, ocorrido no processo de extrusão. Esse fato poderia ter causado a termodegradação desse material, afetando assim, suas propriedades mecânicas.

O valor de referência do ABS v, será balizador na aplicação do processo de CRM, isso porque, representa a carga mínima de impacto aceitável. Abaixo desse valor o material perde suas características de Mp.

5.6.1 Segunda e terceira etapas de processamento

A Tabela 14 apresenta os resultados de impacto do CRM a. O processamento dessa etapa é apresentado na Figura 20 (CRM a) e Figura 21 (CRM b).

Tabela 14 - Valores de ensaio de impacto após processo em CRM a e CRM b

Resistência ao Impacto	CRM				
	1	2	3	4	5
CRM a					
J/m	312	265	223	185	146
Desvio % (+/-)	5	2	5	5	5
CRM b					
J/m	175	190	207	210	218
Desvio % (+/-)	4	5	5	5	5

Ao avaliar os dados da Tabela 14, observa-se nos valores de Resistência ao Impacto (J/m) uma redução da carga de impacto, que inicia no CRM 1a e decresce até o CRM 5a. Os dados demonstram que, se o processo fosse seguido por mais etapas de CRM a, a blenda sofreria uma severa perda mecânica. Porém, os dados apontam que, no CRM 3a, a blenda apresenta valores próximos ao obtido para o ABS virgem que é de 224 J/m.

Sugere-se que os materiais obtidos no CRM 1a e no CRM 2a possam ser utilizados ainda como blenda de ABS/PC e, o material oriundo no CRM 3a, possa ser empregado na fabricação de produtos que utilizem somente o ABS em sua construção. Para os resultados apresentados no CRM 4a e CRM 5a, recomenda-se que esses materiais sejam reprocessados em conjunto com materiais virgens, visando assim, recuperar suas propriedades de impacto que ficaram abaixo da carga mínima (212 J/m) do ABS v.

Os dados de Resistência ao Impacto (J/m), apresentados para o CRM b demonstram a tendência do aumento da carga de impacto da blenda durante as etapas que são aplicadas entre o CRM 1b e o CRM 5b. Essa tendência, ao contrário dos valores apresentados pelo CRM a, demonstra que a continuidade de aplicação do CRM b, tenderia a melhorar a performance do material, podendo assim, ser utilizado como Mp para a fabricação de novos produtos, que utilizasse somente o ABS.

Diante dos resultados apresentados no CRM 1b, CRM 2b, CRM 3b e CRM 4b, recomenda-se que os respectivos materiais, sejam misturados a materiais virgens e, assim,

recuperem as propriedades de impacto mínimas obtidas para o ABS v. Sugere-se que o material, oriundo do CRM 5a seja utilizado para fabricação de produtos em ABS.

5.6.2 Quarta etapa de processamento

Essa avaliação visou selecionar as amostras com potencial de aplicação no processo de fabricação da Blenda 70/30. A seleção da mistura teve como balizador a força de impacto mínima suportada pelo ABS r, sem processamento. A Tabela 15 apresenta o resultado da força de impacto suportada pelas formulações ensaiadas.

Tabela 15 – Resistência ao impacto com uso do ABS r

Amostra	Impacto (J/m)	Desvio % (+/-)
1	13,5	4
2	17,5	5
3	19	6
4	25	5
5	28	8
6	29	5
7	64	5
8	125	6
9	177	6
10	212	6

Os dados apresentados na Tabela 15 demonstram à grande influencia da utilização de materiais reciclados, no resultado dos ensaios de impacto. A aplicação de ABS r, tende a reduzir drasticamente a tenacidade do material. Esse aumento da fragilidade pode ser atribuído a duas hipóteses principais, a primeira, é relativa a termo-oxidação do butadieno, e a segunda, relaciona-se aos aditivos adicionados ao material.

Assim sendo, as amostras 8, 9 e 10 foram selecionadas para posterior avaliação, via técnica de FTIR, DSC, TGA, GPC e ensaio de tração, pois, a carga de impacto, registrada para essas amostras, é superior a carga de impacto do ABS r, que é de 104 J/m, conforme dados da Tabela 13.

5.7 Ponto de intersecção do CRM

Diversos trabalhos tem descrito a importância da prática de aplicação de estratégias ambientais na fabricação de produtos, ([Luttrupp e Lagerstedtb¹¹⁵], [Harrie e Bommel¹¹²], [Subramoniam¹¹⁶] e [Lofthouse¹¹⁴]), onde, uma das principais abordagens apontadas, para a minimização do impacto ambiental global, é o conhecimento sobre os efeitos gerados pela etapa de pós-consumo do produto em relação a economia de recursos naturais.

Olhando por esse aspecto, podemos apontar que o conhecimento sobre as reais propriedades mecânicas, dos materiais reciclados, tende a reduzir as incertezas sobre a utilização desses materiais no desenvolvimento de novos produtos. Klemes e Huisingh¹¹³ expõem que as grandes pressões ambientais no planeta, gerada pela poluição industrial, forçará a interação entre diversas áreas da sociedade, para que sejam desenvolvidas e implementadas ferramentas e tecnologias que garantam um futuro mais sustentável. Seguindo este fato, Subramoniam¹¹⁶ aponta que o descarte futuro de produtos, no final do ciclo de vida, será um ponto fortemente controlado por regulamentações governamentais que forçaram as empresas a aplicar ferramentas de avaliação de produtos, onde, certamente, a reciclagem de materiais deve ser contemplada.

Luttrupp e Lagerstedtb¹¹⁵ apontam que as ferramentas de concepção ecológica deveriam ser utilizadas nas fases iniciais de desenvolvimento do produto e, assim, possibilitar o aumento da sustentabilidade. Segundo esses autores¹¹⁵, dentre dez instruções que afetam a utilização de ferramentas ecológicas, no projeto de novos produtos, destaca-se a importância da qualidade do material reciclado, ou seja, quanto maior o controle da composição desse material, melhor será sua aceitação pela área de projeto e manufatura. Conforme Lofthouse¹¹⁴, designers industriais necessitam de ferramentas de concepção ecológica que promovam a educação, a orientação e a informação sobre o impacto ambiental gerado por um produto, ao ser desenvolvido.

Neste sentido, a geração de informações que reduzam as incertezas sobre a qualidade técnica do material reciclado, pode encorajar sua maior utilização no processo produtivo e, assim, garantir que tomadas de decisões projetuais sejam balizadas, não somente por questões estéticas, funcionais e estruturais, mas também, pela possibilidade do aumento da vida útil do material.

Assim sendo, a Figura 47 mostra o ponto de intersecção do CRM, pelo qual, torna-se possível traçar estratégias de reciclagem que proporcionem alongar a vida útil do material utilizado.

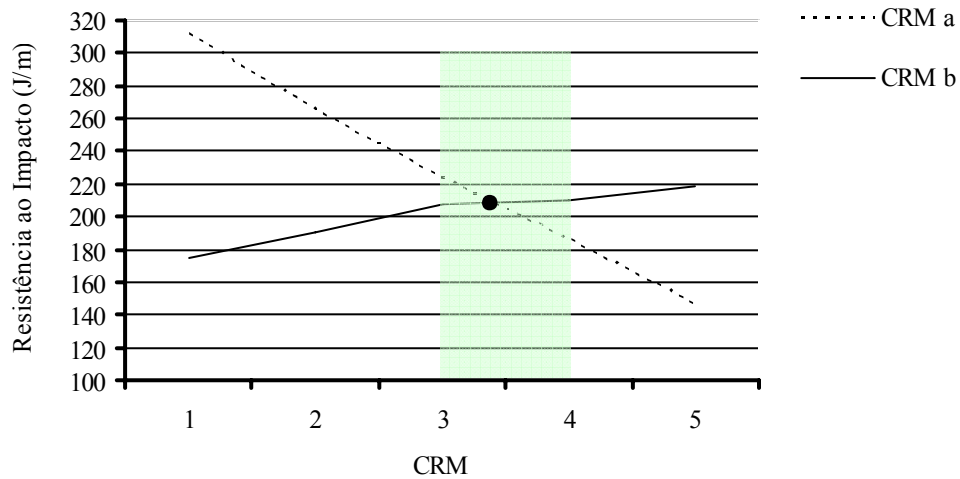


Figura 47 - Ponto de intersecção do CRM

A Figura 47 apresenta informações oriundas de dados da carga de impacto (Tabela 14), observados para o CRM a e para o CRM b. O ponto de intersecção indica a necessidade de intervenção no processo de fabricação da Blenda 70/30 v, no sentido de preservar e melhorar a propriedade de impacto do material. Entre o CRM 3 e o CRM 4, encontra-se a faixa de carga de impacto mínima, encontrada para o ABS v que é de 212 J/m, conforme dados da Tabela 13. Nesse momento, deve ser tomada a decisão de como abordar o material para que suas propriedades mecânicas sejam mantidas ou melhoradas. Pelo contrário, se o processo de CRM a continua sendo realizado, as propriedades do Mp chegaria a níveis muito baixos de qualidade estrutural e, dessa forma, vindo a comprometer drasticamente a qualidade do produto final.

No presente caso, ao se optar pela utilização somente do ABS, pode-se então, misturar o ABS v com o material oriundo do CRM 3 e, assim, estabilizar a propriedade mecânica do Mp. Nesse momento, que é realizada a mistura, o CRM b começa a governar o processo.

Neste sentido, o ciclo de CRM deve ser aplicado até que se atinja as propriedades mecânicas semelhantes ao do Mv.

As informações, apontadas na Figura 47, visam orientar a indústria de transformação de como refinar o Mp, buscando assim, a melhora de suas propriedades mecânicas. Ao conhecer o ponto de intersecção dos materiais através do CRM, áreas como Engenharia e Design, podem monitorar os limites da carga de impacto suportada pelo material reciclado, corrigindo, se necessário, essa propriedade.

6 CONCLUSÃO

Materiais poliméricos podem sofrer mudanças significativas em sua estrutura e propriedade devido ao somatório de processos de transformação como a extrusão, a injeção e a processos físicos/químicos oriundos da reciclagem. Essas mudanças, associadas à baixa informação técnica, de como esses processos podem influenciar as propriedades dos materiais, após seu uso, vêm dificultando a geração de soluções projetuais que prolonguem a vida útil dos materiais através de sua reciclagem.

Visando minimizar essa dificuldade, a presente pesquisa, ao desenvolver e aplicar a ferramenta do CRM vem contribuir para o efetivo aumento da vida útil dos materiais. Essa contribuição proporciona a geração de informações técnico-científicas que podem orientar e conduzir o processo de desenvolvimento de novos produtos, visando, a redução do impacto ambiental por meio da reciclagem de materiais.

Os dados levantados, oriundos da utilização do ABS e do PC para a fabricação da Blenda 70/30, visam dar suporte quanto a reciclabilidade desses materiais e, principalmente, gerar informações, que possibilitem a tomada de decisão sobre o uso, ou não, de materiais reciclados para a fabricação de novos produtos. Diante dos resultados apresentados, nessa pesquisa, a ferramenta do CRM pretende ser um balizador para a mudança em curso, que é a da preocupação do controle ambiental em todo o ciclo produtivo. Os resultados apontados no CRM, sobre as propriedades mecânicas dos materiais utilizados, vêm demonstrar que não é mais possível que tomadas de decisão, para o desenvolvimento de novos produtos, não levem em consideração processos de reciclagem, que garantam a qualidade desses materiais, tanto para a indústria de transformação, quanto para o usuário final. Essa abordagem, de viabilidade técnica de reciclagem dos materiais, visa reduzir a grande negativa de utilização de materiais reciclados em diversas classes de produtos.

Neste sentido, a primeira etapa desse trabalho, buscou investigar os materiais envolvidos no processo de fabricação de blendas poliméricas. A presente análise confirma a existência de uma grande utilização de monomateriais e materiais compósitos para a fabricação de produtos. Como a fabricação de produtos, oriundo de materiais compósitos gera uma maior preocupação sobre sua reciclabilidade, a blenda 70/30 foi utilizada como estudo de caso para aplicação do CRM, principalmente, porque é utilizada pela indústria de transformação e apresenta uma boa relação entre processabilidade e propriedade mecânica.

A segunda e terceira etapas do trabalho, descrevem a aplicação do CRM a e do CRM b. O CRM a representou o reciclo direto da blenda 70/30, sem complemento de materiais virgens ou reciclados. O CRM b representou a reutilização de materiais oriundos do próprio CRM b, com a complementação de ABS v. Os resultados do ensaio de tração apontaram que o Módulo de Tração permanece estável em todos os ciclos do CRM a e do CRM b, concluindo-se então, que os processos aplicados não influenciam essa propriedade. Porém, fica claro que o material não pode ser avaliado somente pela força de tração, isso porque, através dos ensaios de impacto, levantados para a Blenda 70/30, fica evidente a variação da resistência desse material, o que pode, em muitos casos, inviabilizar sua utilização. Segundo Salari¹²³ esse fato é um dos pontos mandatários para a decisão sobre a utilização, ou não, do material reciclado no processo produtivo.

O resultado dos ensaios de impacto demonstraram duas linhas de comportamento bem distintos entre o CRM a e o CRM b. No CRM a destaca-se a queda acentuada da carga de impacto a cada ciclo do CRM. Esse fato deixa claro que, para esses respectivos materiais, é essencial que correções estruturais sejam previstas e executadas, visando assim, manter as propriedades mecânicas requeridas para o produto.

Porém, no CRM b, com a evolução dos ciclos, a propriedade de impacto apresenta uma melhora considerável chegando no CRM5, com uma carga de impacto semelhante ao ABS v. Os ensaios de impacto realizados utilizando-se o ABS r, apontam que seria viável uma quantidade de apenas 2% desse material na mistura de fabricação da Blenda 70/30, em conjunto com ABS v e o PC, o que, para a indústria de transformação, pode ser inviável industrialmente. Sugere-se que o ABS r não seja reutilizado como monomaterial, isso porque, apresenta uma propriedade mínima de impacto, na ordem de 94 J/m, que fica bem abaixo da carga mínima do ABS v, que é de 213 J/m. Estes dados revelam o porquê da temeridade, pela indústria de transformação, da utilização do ABS reciclado em produtos técnicos.

Os ensaios de FTIR realizados no ABS v e ABS r, demonstraram uma pequena degradação do butadieno após os processos de extrusão e injeção. Esse fato, quando relacionado aos ensaios de impacto, vem demonstrar que esse componente teve uma grande influência na redução da carga de impacto das amostras principalmente no ciclo de CRM a.

Os ensaios de DSC, TGA e DTG, não assinalaram resultados conclusivos que apontassem para uma alta degradação dos materiais. Essa conclusão demonstra que há dificuldade da avaliação de blendas poliméricas por essas técnicas de caracterização. Assim,

para o estudo desses materiais, devem ser aplicados ensaios complementares a cada técnica utilizada, reduzindo assim, as incertezas das medições.

Neste sentido, o ensaio via técnica do GPC foi fundamental para o entendimento da influência da processabilidade via extrusão e injeção nas propriedades mecânicas dos materiais utilizados. O ensaio de GPC, indicou uma redução importante na relação de M_w/M_n em CRM a, indicando a ocorrência da degradação térmica nessa etapa do processo. Ao observar a pequena variação da T_g nas etapas do CRM a e CRM b, sugere-se que o processo que governa a degradação é o cisalhamento, isso porque, ocorre uma redução mais pronunciada do M_w . Porém, no ciclo de CRM b que recebe ABS v no seu reprocessamento, observa-se a tendência da equalização da carga de impacto, chegando aos níveis apresentados pelo ABS v. Observa-se nos resultados do CRM b, que a relação M_w/M_n manteve-se estável em todos os ciclos do CRM b. Esta análise vem demonstrar a importância da correção físico/química do material quando se pretende manter ou qualificar as propriedades mecânicas do material a ser utilizado.

Como item finalizador dessa pesquisa fica claro que, ao indicar o ponto de intersecção do CRM, abre-se uma janela de possibilidades de desenvolvimento de produtos a partir de materiais reciclados. Ao conhecer o ponto de intersecção do CRM pode-se então melhorar as propriedades do material, alongando sua vida útil, mesmo após vários processos de reciclagem. Esse conhecimento visa ampliar a pesquisa na área de processos de reciclagem, incrementar métodos padronizados de reciclagem e, também, contribuir para o aumento do desenvolvimento de produtos com foco na reciclabilidade dos materiais.

A presente pesquisa através dos estudos de casos apresentados, vem demonstrar que, o levantamento de informações sobre a reciclagem dos materiais, visando alargar seu ciclo de vida, torna-se extremamente importante quando se quer auxiliar a área de projeto de produtos na seleção de materiais.

Sugere-se, neste sentido, que os dados de CRM sejam levantados tanto pela indústria primária que, poderia ser responsável pela aplicação do CRM a, como pela indústria de transformação, que seria responsável pela aplicação do CRM b. Essas informações poderiam vir anexadas a tabelas de especificações técnicas dos respectivos materiais e, por simbologias, gravadas no próprio produto onde fosse indicada a etapa de reciclagem pelo qual o material tenha sofrido. Neste sentido, pretende-se que essa pesquisa seja balizadora para a seleção de materiais tendo como um dos parâmetros de seleção a aplicação do CRM.

7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Avaliar a degradação do ABS, através de ensaio em câmara UV visando avaliar o ciclo de vida desse material, tanto em uso doméstico/industrial, quanto descartado em centros de triagem;
2. Desenvolver blendas poliméricas utilizando o PC como material base, visando compreender a tendência do desenvolvimento de produtos com espessura de parede muito fina e com formato orgânico;
3. Ampliar a biblioteca de espectros de FTIR tendo como foco observar a degradação dos materiais gerada por fatores externos como: luz solar, luz ambiente e intempérie;
4. Aplicar o CRM em outras blendas e monomateriais poliméricos, gerando um banco de informações que sejam balizadoras para o processo de avaliação do ciclo de vida desses materiais;
5. Utilizar outras porcentagens (%) de Blendas ABS/PC e comparar com os dados obtidos com a Blenda 70/30;
6. Avaliar a influência dos módulos da rosca de extrusão para a fabricação de blendas poliméricas de ABS/PC.

8 PUBLICAÇÕES DO AUTOR NA ÁREA DA TESE

CÂNDIDO, Luis; KINDLEIN, Wilson; DEMORI, Renan; CARLI, Larissa; MAULER, Raquel; OLIVEIRA, Ricardo. **The recycling cycle of materials as a design project tool.** Journal of Cleaner Production. Volume 19, May 2011, Pages 1438-1445.

CÂNDIDO, Luis; KINDLEIN, Wilson; DEMORI, Renan; CARLI, Larissa; MAULER, Raquel; **Effect of reprocessing cycles on the mechanical properties of an ABS/PC blend.** PPS-27. 27th World Congress of the Polymer Processing Society, May, 2011. Pages 10-14, Marrakech, Morocco

CÂNDIDO, Luis; KINDLEIN, Wilson. **Reciclagem de produtos eletroeletrônicos em centros de triagem: proposta de processo.** Proceedings of the 2nd International Symposium on Sustainable Design (II ISSD). São Paulo, 2009.

PLATCHECK, Elizabeth; SCHAEFFER, Lirio; KINDLEIN, Wilson; CÂNDIDO, Luis. **Methodology of ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments.** Journal of Cleaner Production. Volume 16, February 2007, Pages 75-86.

Cabe ressaltar que, paralelamente a essa pesquisa, esta sendo desenvolvido um software de seleção de materiais que visa auxiliar as áreas de engenharia e design no desenvolvimento de novos produtos.

O layout do software pode ser visualizado no Apêndice 1.

BIBLIOGRAFIA

1. NGASSA, Armand; KINDLEIN, Wilson. Conception de produits innovants: proposition d'une méthode pour favoriser la synergie entre le Designer et l'ingénieur. *International Journal of Design and Innovation Research*, França, 2005.
2. NGASSA, Armand.; KINDLEIN, Wilson.; Deshayes, Phillipe. Eco conception et developpement: Intelligence pour la planète et nouvelles intelligence methodologique. In: ECOLE CENTRALE DE PARIS (Org.). *Intelligence et innovation en conception de produits et services*. Paris: L'Harmattan, 2006. p. 359-382.
3. KINDLEIN, Wilson.; CÂNDIDO, Luis. O ecodesign e o redesign de produtos. *Revista ABC Design*, Curitiba, ed. 15, p. 26-27, 2005.
4. BITENCOURT, Antônio. Desenvolvimento de uma metodologia de reprojeção de produto para o meio ambiente. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
5. KINDLEIN, Wilson.; ETCHEPARE, Hélio.; TURRA, Dilce. Caracterização e viabilidade de reciclagem dos materiais nos Centros de triagem de Porto Alegre e região metropolitana. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2002, Campinas. Anais... São Paulo, 2002. CD-ROM.
6. SANTOS, Petras. Inovação sustentável: o ecodesign aplicado ao projeto de novos produtos. Porto Alegre: UCS, 2001.
7. SCHWALB, Carlos. Materiais alternativos para inovação tecnológica em sala de aula. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
8. ASHBY, Michael.; JONES, David. *Engenharia de Materiais: uma introdução a propriedades, aplicações e projeto*. 3º. ed. Editora Elsevier. RJ, 2007.
9. KINDLEIN, Wilson. Princípios básicos de junção utilizados em sistemas e subsistemas de produtos industriais e sua importância no desenvolvimento sustentável. In: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 1., 2002, Campinas. Anais. SÃO PAULO, 2002. CD-ROM.
10. KINDLEIN, Wilson.; CÂNDIDO, Luis.; PLATCHECK, Elizabeth. Analogia entre as metodologias de desenvolvimento de produtos atuais, com a proposta de uma metodologia com ênfase no ecodesign. Congresso Internacional de Pesquisa em Design, outubro, Rio de Janeiro. 2003. Anais. Rio de Janeiro: ANPED, 2003. CD-ROM.
11. KINDLEIN, Wilson. Implementação do ecodesign na Incubadora Tecnológica de Design (CIENDEC/NdSM). In: P & D DESIGN 2002, 2002, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: AEND BR, 2002. 1 CD-ROM.

- 12.KINDLEIN, Wilson.; SEADI, Andréa. Proposta de uma metodologia para o desenvolvimento de produtos baseados no estudo da biônica. In: P & D DESIGN 2002, 2002, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: AEND BR, 2002. 1 CD-ROM.
- 13.LENNART, Ljungberg.; KEVIN, Edwards. Design, materials selection and marketing of successful products. *Materials & Design*, Surrey, v. 24, n. 7, p. 519-529, 2003.
- 14.MALDONADO, Tomás. Design industrial. Portugal: Ed. 70, 1991.
- 15.MANZINI, Ézio.; VEZZOLI, Carlo. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. 1. ed. São Paulo, SP: Ed. da USP, 2005.
- 16.AMARAL, Everton.; HEIDRICH, Regina.; KINDLEIN, Wilson. Reflexões sobre técnicas e materiais para agilizar a representação de design de produto: concepção x exequibilidade. In: P & D DESIGN 2002, 2002, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: AEND BR, 2002. 1 CD-ROM.
- 17.BAXTER, Mike. Projeto de produto: guia prático para o design de novos produtos. 2. ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- 18.LESKO, Jim. Industrial design: materials and manufacturing. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- 19.LENNART, Ljungberg.; KEVIN, Edwards. Materials selection and design for development of sustainable products. *Materials & Design*, Surrey, v. 28, n. 2, p. 466-479, 2007.
- 20.MUNARI, Bruno. Das coisas nascem coisas. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- 21.CAEIRO, Mário. A alma do design: artesanato e design, estranho, fronteiras do design. Lisboa: IPL's Scientific Production, 2003. Centro Português de Design. Cadernos.
- 22.ANINK, David.; BOONSTRA, Chiel. Handbook of sustainable building: an environmental preference method for selection of materials for use... London: James & James, 1998.
- 23.AMARAL, Everton.; SEADI, Andréa.; KINDLEIN, Wilson. Sistemas de fixação baseados na biônica e no design de produto: estudo do caso velcro a partir do fruto do carrapicho. *Revista Estudos em Design*, Rio de Janeiro, v. 10, p. 20-28, 2002.
- 24.BYARS, Mel. 50 products: innovations in design and materials. Switzerland: Rotovision, 1998. (ProDesign)
- 25.ESCOREL, Ana. O efeito multiplicador do design. 2. ed. São Paulo: SENAC, 1999.
- 26.Ecological Footprint. Programa de difusión e investigación en Sustentabilidad Universidad Abierta Interamericana (UAI). Centro de Altos Estudos Globais. Boletim acadêmico. 2ª edição. Setembro, 2008.
- 27.MEADOWS, Donella.; RANDERS, Jorgen.; MEADOWS, Dennis. Los límites del crecimiento: 30 años después. Livro. Barcelona, Espanha, 2006. 514 p.

28. ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020 - Uma Estratégia de Desenvolvimento. Fórum ABINEE TEC 2009. Edição ABINEE. Elaboração LCA Consultores. SP, Junho 2009.
29. ALADI – Associação Latino-Americana de Integração. A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020 - Uma Estratégia de Desenvolvimento. Fórum ABINEE TEC 2009. Edição ABINEE. Elaboração LCA Consultores. SP, Junho 2009.
30. Brasil: a revolução dos 100.000.000 de celulares. Revista Veja. Edição 1991. Janeiro de 2007. pg. 68-72.
31. SCHNEIDER, Eduardo. Contribuição à engenharia e ao ecodesign na avaliação do potencial de reuso de células de baterias descartadas de NiMH e Li-Íon de telefonia celular. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, BR-RS, 2009.
32. CALLISTER, Wilian. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 5º. ed. São Paulo: LTC, 2004.
33. TURRA, Dilce.; KINDLEIN, Wilson.; ETCHEPARE, Hélio. Caracterização e viabilidade de reciclagem dos materiais nos centros de triagem de Porto Alegre e região metropolitana. In: ENCONTRO DA ANPPAS – Associação Nacional de Pósgraduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. Anais. Campinas, 2002. CD-ROM.
34. FERRANTE, Maurizio. Seleção de Materiais. São Carlos: UFSCAR, 1996.
35. PLATCHECK, Elizabeth.; KINDLEIN, Wilson.; CÂNDIDO, Luis. Methodology of Ecodesign for the development of more sustainable electro-electronic equipments. Journal of Cleaner Production, Amsterdam, v. 16, n. 1, p. 75-86, 2006.
36. PADILHA, Angelo. Materiais de engenharia-microestrutura e propriedades. Curitiba: Hemus, 2000.
37. BRANCO, Alceu. Critérios de avaliação de produtos sustentáveis – Ecodesign. São Paulo: Centro de Gestão de Design da Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica (ABIPTI), 2003.
38. MARQUES, André. Análise de similares: desenvolvimento de uma metodologia de seleção de materiais e ecodesign. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
39. Guide to engineering materials: advanced materials & processes. [S.l.: s.n.], 2001.
40. CÂNDIDO, Luis. Contribuição ao Estudo da Reutilização, Redução e da Reciclagem dos Materiais com Aplicação do Ecodesign. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

41. AZAPAGIC, Adisa.; EMSLEY, Alan.; HAMERTON, Ian. Polimers: the environment and sustainable development. Livro. West Sussex, England: Wiley, 2003. 219 p.
42. LIMA, Rose. Aplicação da AET como Contribuição ao Projeto para Meio Ambiente com Ênfase na Reciclagem. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2003.
43. LOWE, Ernest. Industrial ecology: a context for Design and decision. In: FIKSEL, Joseph. Design for environment: creating eco-efficient products and processes. New York: McGraw-Hill, 1996.
44. DOMINGO, Francisco. Analytical strategies for the quality assessment of recycled high-impact polystyrene (HIPS). Tese (doutorado). Department of Thermal Engines and Machines. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2008.
45. CARVALHO, Claudemir. Reciclagem Primária de ABS: Propriedades Mecânicas, Térmicas e Reológicas. Dissertação (mestrado)- Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC, Centro de Ciências Tecnológicas, Joinville, BR-SC, 2009.
46. MEDINA, Heloisa. Reciclagem de Materiais: Tendências Tecnológicas de um Novo Setor. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – série estudos e documentos. SP, 2005.
47. YU, J.; WELFORD, R.; HILLS, P. Industry responses to EU WEEE and ROHS Directives: perspectives from China. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 13, 286-299 (2006)
48. ANSANELLI, Stela. Os Impactos Internacionais das Exigências Ambientais da União Européia para o Setor de Equipamentos Eletro-Eletrônicos. 1st International Workshop | Advances in Cleaner Production. Journal of Cleaner Production. São Paulo, SP. 2007.
49. INMETRO - Barreiras Técnicas às exportações – o que são e como supera-las. Elaboração: Equipe da Divisão de Superação de Barreiras Técnicas. Produção: Divisão de Comunicação Social do INMETRO. 3ª Edição. Abril, 2009.
50. PITCE - Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior. A Indústria Elétrica e Eletrônica em 2020 - Uma Estratégia de Desenvolvimento. Fórum ABINEE TEC 2009. Edição ABINEE. Elaboração LCA Consultores. SP, Junho 2009.
51. HIDETO, Yoshida.; KAZUYUKI, Shimamura.; HIROFUMI, Aizawa. 3R strategies for the establishment of an international sound material-cycle Society. J Mater Cycles Waste Manag, 2007.
52. Asia 3R conference. Local: www.env.go.jp/en/focus/061116.html. Acesso 2005.
53. ASHBY, Michael.; JOHNSON, Kara. Materiais e Design - Arte e Ciência da Seleção de Materiais no Design de Produtos. 2ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
54. VLACK, Lawrence. Princípios de ciências dos materiais. São Paulo: Edgard Blücher, 1970.

- 55.COINEAU, Yves.; KRESLING, Biruta. Le invenzioni della natura e la bionica. Milano: Paoline, 1989.
- 56.KINDLEIN, Wilson.; MORELLI, Gaetano.; MALDONADO, Ana. Uma ferramenta chamada design. Logos, Canoas, v. 4, n. 8, p. 25-30, 1996.
- 57.KINDLEIN, Wilson.; WOLFF, Fabiane. Design professionals, industries and university relationships: a brazilian experience. In: International Forum on Design Management Research and Education, 9., 1999, Nova York. 9ºIFDMRE. CD-ROM.
- 58.BROWN, Tim. Design Thinking - Uma metodologia poderosa para decretar o fim das velhas ideias. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- 59.ASHBY, Michael. Materials and the Environment: Eco-informed Material Choice. Butterworth Heinemann, Oxford, UK. 2009.
- 60.KINDLEIN, Wilson.; KUNZLER, Lizandra.; CHYTRY, Sílvia. Relação das propriedades de condutividade térmica e dureza com a percepção tátil de alguns materiais utilizados em projeto de produto. In: P & D DESIGN 2002, 2002, Brasília. Anais. Rio de Janeiro: AEND BR, 2002. 1 CD-ROM.
- 61.ASHBY, Michael. Materials Selection in Mechanical Design. Fourth edition. Burlington/USA: Butterworth-Heinemann, 2011.
- 62.ASHBY, Michael.; JONES, David. Engineering materials 2: an introduction to microstructures, processing & Design. 2. ed. Oxford: Bitterworth Heinemann, 1998.
- 63.DIAS, Maria. Percepção dos materiais pelos usuários: modelo de avaliação Permatius. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina (EGC/UFSC). Florianópolis, 2009.
- 64.LÖBACH, Bernd. Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais. São Paulo: Edgard Blücher, 2001.
- 65.KINDLEIN, Wilson.; COLLET, Iara.; DISCHINGER, Maria. Development of tactile perceptive textures as factor of emotion Design. In: Conference on Design and Emotion, 2006, Göteborg-Sweden, 2006. Anais. CD-ROM
- 66.FERROLI, Paulo. MAEM-6F - Método auxiliar para escolha de materiais em seis fatores: Suporte Ao Design De Produtos Industriais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (PPGEP-UFSC). FLORIANÓPOLIS, SC 2004.
- 67.BUDINSKI, Kenneth.; BUDISNKI, Michael. Engineering materials: properties and selection. 6. ed. New Jersey: Prentice- Hall, 1999.
- 68.Cambridge Engineering Selector. CES - EDUPACK 2007: software. Reino Unido: GrantaDesign, 2007.

69.DENG, Yung.; EDWARDS, Kelvin. The role of materials identification and selection in engineering Design. *Materials & Design*, Surrey, v. 28, n. 1, p. 131-139, 2007.

70.Revista Plástico Moderno. Reciclagem forçada pede menos materiais. Edição nº 335 de Setembro de 2002

71.Bayblend.Local:www.plastics.bayer.com/plastics/emea/en/product/bayblend/product_dataheets/producttype.jsp?lineId=43. Acesso 2008.

72.Activas. Local: www.activas.com.br/. Acesso 2009.

73.FEITOSA, Marcos. Compatibilização de blenda polimérica de poliamida 6,6/polietilene de baixa densidade utilizando radiação ionizante de feixe de elétrons. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). São Paulo,2008.

74.UTRACKI, Leszek.; WEISS, Robert. *Multiphase Polymers Blend and Monomers* Acs. Symposium. Editors, 1989.

75.HAGE, Elias.; PESSAN, Luiz.; BASSANI, Adriane. Propriedades mecânicas nylon acrilonitrila-EPDM-estireno (AES) compatibilizadas com copolímero acrílico reativo. In, 6º Congresso Brasileiro, 2001. Gramado – RS. 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2001 v. 01.

76.HAGE, Elias.; HALE, Westendra.; KESKKULA, Henno. Impact modification of poly(butylenes terephthalate) by ABS materials. *Polymer* Vol. 38 No. 13, pp. 3237-3250, 1997

77.GARCÍA, Francisco. Investigación de las variables limitantes en la recuperación de residuos de poliestireno procedentes del sector envase. Tese de Doutorado. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y Dde Materiales. Valência, Espanha. Maio, 2005

78.ARAÚJO, Rogério. Análise das Propriedades Micro e Macroscópicas de Blendas de Poliamida 4,6/Poliamida 6. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Florianópolis, Março de 2002.

79.FIEGENBAUM, Fernanda. Estudo da compatibilização das blendas PP/PA6 e PA6/EPR. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Porto Alegre, BR-RS, 2007.

80.MANO, Eloisa.; Mendes, Luis. *Introdução a Polímeros*. São Paulo: Editora Edgard Blücher L., 1999, 58-65.

81.NIMMER, Ron. *Structural analysis of thermoplastic components*. Livro. New York : Mcgraw-Hill, 1994. 366 pg.

82. MONTAUDO Giorgio.; CARROCCIO, Schmidt .; PUGLISI, Caravage. Thermal and thermoxidative degradation processes in poly(bisphenol-A carbonate). *J Anal Appl Pyrolysis*. 2002;64:229e47.
83. MONTAUDO Giorgio.; CARROCCIO, Schmidt .; PUGLISI, Caravage. Thermal oxidation of poly(bisphenol- A polycarbonate) investigated by SEC/MALDI. *Polym Degrad Stab* 2002; 77:137e46.
84. YANG, Shuying.; CASTILLEJA, Jose.; BARRERAB, E.; LOZANO, Karen. Thermal analysis of an acrylonitrile–butadiene–styrene/SWNT composite. *Polymer Degradation and Stability* 83 (2004) 383–388
85. PASTORINI. M.; NUNES, R.. Mica as a Filler for ABS/Polycarbonate Blends. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Macromoléculas. Rio de Janeiro, Brasil. RJ, 1999.
86. JIANG, Who; TJONG, Syu. Thermal stability of polycarbonate composites reinforced with potassium titanate whiskers: effect of coupling agents addition. *Polym Degrad Stab* 1999; 66: 241e6.
87. JANG, BokNam .; WILKIE, Charles. A TGA/FTIR and mass spectral study on the thermal degradation of bisphenol A polycarbonate. *Polym Degrad Stab*. 2004 ; 86: 419e30.
88. BALART, Rafael.; SANCHEZ, Luiz.; LOPEZ, Julio.; JIMENEZ, Augusto.. Kinetic analysis of thermal degradation of recycled polycarbonate/acrylonitrilebutadiene styrene mixtures from waste electric and electronic equipment. *Polymer Degradation and Stability* 91 (2006) 527e534.
89. MANTAUX, Olivier; BARTHÈS, Marie.; DUMON, Michel; LACOSTE, Eric. Recyclage d’ABS issu de DEEE en mélange avec du PC. Laboratoire de Génie Mécanique et Matériaux de Bordeaux. IUT Bordeaux 1, 15 rue Naudet 33175 Gradignan.
90. JIN, Dong.; SHON, Kim.; JEONG, Hyo.; KIM, Buom. Compatibility Enhancement of ABS/Polycarbonate Blends. Department of Polymer Science and Engineering. National University, Pusan. Korea, Dezembro, 1997.
91. BALART, Rafael.; LOPEZ, Julio.; GARCIA, Domingo.; SALVADOR, Miguel.. Recycling of ABS and PC from electrical and electronic waste. Effect of miscibility and previous degradation on final performance of industrial blends. *European Polymer Journal* 41 (2005) 2150–2160.
92. SCAPINI, Patrícia. Morfologia e propriedades térmicas de compósitos de HDPE/EVA com Poss. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Materiais. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2008.
93. VEIT, Hugo. Recuperação de cobre de sucatas de placas de circuito impresso por processamento mecânico e eletrometalurgia. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

- 94.VEIT, Hugo.; Bernardes, Andréa.; Ferreira, Jane.; Tenório, Jorge.; Malfatti, Célia. Recovery of copper from printed circuit boards scraps by mechanical processing and electrometallurgy. *Journal of Hazardous Materials*, Volume 137, Issue 3, 11 October 2006, Pages 1704-1709
- 95.LEMMENS, Joop. Recycling and recovery of plastics. Livro. New York, USA: Hanser Publishers, 1996. 892 p.
- 96.KASPER, Ângela.; Aravanis, Alexandros.; Ferreira, Carlos.; Bernardes, Andréa.; Veit, Hugo. Reciclagem de Polímeros Presentes em Sucatas de Celulares. III Seminário sobre Tecnologias Limpas e V Fórum Internacional de Produção mais Limpa. UFRGS, 2009.
- 97.Polymer blends and alloys. Livro. London: Blackie Academic & Professional, 1993. 262 p.
- 98.Recycling and recovery of plastics. New York, USA: Hanser Publishers, 1996. 892 p.
- 99.GOÓS, Silvia. Blendas de policarbonato e polietileno linear de baixa densidade: processamento e compatibilização. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Departamento de Físico-Química. Campinas,SP. 2005.
- 100.CANEVAROLO, Sebastião. Técnicas de caracterização de polímeros. Livro. São Paulo: Artliber, 2004. 448 p.
- 101.FRIED, Joel. Polymer science and technology. 2nd ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, 2003. 582 p.
- 102.TRANTINA, Gerald. Livro. Structural analysis of thermoplastic components. New York: Mcgraw-Hill, 1994. 366 p.
- 103.KOENIG, Jack. Livro. Spectroscopy of polymers. Washington: American Chemical Society Professional Reference Book, 1992. 328p.
- 104.Young, Robert. Livro. Introduction to polymers. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 1991. 443p.
- 105.LUCAS, Anselmo. Uma idéia ecologicamente correta. *Revista Tema. Editoração-Serviço Federal de Processamento de Dados (SERPRO)*. Ano XXXV, Nº 201, 2010. p.30-31.
- 106.ROCHA, Tatiana. Influência da Modificação Química de Polidienos sobre suas Propriedades Finais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciências dos Materiais (PGCIMAT). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2003.
- 107.MARTINS, Cristiane. Blendas de Polianilina e Poliestireno obtidas por Processamento Reativo: Preparação e caracterização. Tese de Doutorado. Instituto de Química. UNICAMP. Campinas, SP. 2002.
- 108.SANTOS, Kelly.; MAULER, Raquel.; DEMORI, Renan. The influence of two different profile screw configuration and feed mode on dispersion of pp/clay nanocomposites.

Chemistry Institute, Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS. Proceedings of the Polymer Processing Society 26th Annual Meeting, 2010. Banff, Canadá.

109.LIU, Xiaodong.; BERTILSSON, Hans. Recycling of ABS and ABS/PC Blends. Department of Polymeric Materials, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 74, 510–515 (1999).

110.BIZZO, Waldir. Gestão de resíduos e Gestão ambiental da indústria eletroeletrônica.. Faculdade de Engenharia, UNICAMP. ABINEE TEC, SP, 2007.

111.PAOLI, Marco. Degradação e estabilização de polímeros. 2ª versão on-line (revisada) 2008. Chemkeys.

112.BOMMEL, Harrie. A conceptual framework for analyzing sustainability strategies in industrial supply networks from an innovation perspective. *J. Cleaner. Prod.* 19 (8), 895 e 904. 2011.

113.KLEMES, Jari.; HUISINGH, Donald. Making progress toward sustainability by using cleaner production technologies, improved design and economically sound operation of production facilities. *J. Cleaner. Prod.* 13 (5), 451 e 454. 2005.

114.LOFTHOUSE, Vicky. Ecodesign: tools for designers: defining the requirements. *J. Cleaner. Prod.* 14 (15 e 16), 1386 e 1395. 2006.

115.LUTTROP, Conrad.; LAGERSTEDTB, Jessica. EcoDesign and the ten golden rules: generic advice for merging environmental aspects into product development. *J. Cleaner. Prod.* 14 (15 e 16), 1396 e 1408. 2006.

116.SUBRAMONIAM, Ramesh.; HUISINGH, Donald.; CHINNAM, Ratna. Aftermarket remanufacturing strategic planning decision-making framework: theory & practice. *J. Cleaner. Prod.* 18 (16 e 17), 1575 e 1586. 2010.

117.AMARAL, Everton. Um sistema informacional e perceptivo de seleção de materiais com enfoque no design de calçados. 2005. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia ênfase: Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

118.CÂNDIDO, Luis.; KINDLEIN, Wilson.; DEMORI, Renan.; CARLI, Larissa.; MAULER, Raquel.; OLIVEIRA, Ricardo. The recycling cycle of materials as a design project tool. *Journal of Cleaner Production*. Volume 19, May 2011, Pages 1438-1445.

119.CÂNDIDO, Luis.; KINDLEIN, Wilson.; DEMORI, Renan.; CARLI, Larissa.; MAULER, Raquel. Effect of reprocessing cycles on the mechanical properties of an ABS/PC blend. PPS-27. 27th World Congress of the Polymer Processing Society, May, 2011. Pages 10-14, Marrakech, Morocco

120.CÂNDIDO, Luis.; KINDLEIN, Wilson. Reciclagem de produtos eletroeletrônicos em centros de triagem: proposta de processo. Proceedings of the 2nd International Symposium on Sustainable Design (II ISSD). São Paulo, 2009.

121.PARENTE, Ricardo. Elementos estruturais de plástico reciclado. Dissertação. Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

122.SANCHEZ, Elisabeth; FELISBERTI, M.; COSTA, Carlos; GALEMBECK, Fernando. Avaliação da Degradação Térmica e Fotooxidativa do ABS para fins de Reciclagem. Revista Polímeros - Ciência e Tecnologia, São Carlos, volume 13 – número 3, 2003.

123.SALARI, Dariuosh; RANJBAR, Heidar. Study on the Recycling of ABS Resins: Simulation of Reprocessing and Thermo-oxidation. Iranian Polymer Journal, v. 17 (8), p. 599-610, 2008.

124.TIGANIS, Burn.; DAVIS, Paul.; HILL Jonhson. Thermal degradation of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) blends, Polymer Degradation Stablish, 76, 425-434, 2002.

125.ADENIYI, Jonh. Clarification and discussion of chemical transformations involved in thermal and photo-oxidative degradation of ABS, European Polymers Journal, 20, 291-299, 1984.

APÊNDICE 1 - Software de seleção de materiais

O presente software visa auxiliar a área de engenharia e de design na seleção de materiais para o projeto de produto. O software contempla, além dos materiais utilizados, o processo de fabricação, o processo de reciclagem e a indicação de compatibilidade/incompatibilidade dos materiais.

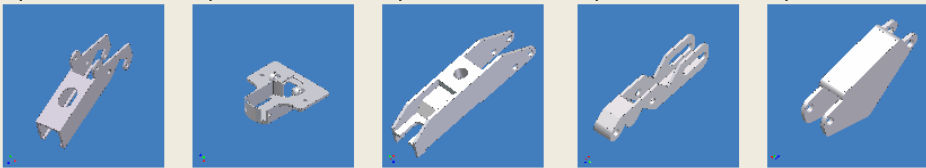
No campo denominado “Indicador” é apresentado um índice de seleção de materiais, no qual, quanto menor o índice, melhor é o ranking ambiental. Dessa forma, a definição do material é diretamente influenciada pelo design do produto.

Design de Produto - Projeto orientado pelo DFMS

Arquivo Ajuda Créditos

Número da Peça	Material 1	Material 2	Peso da peça (Kg)	Processo de Fabricação da peça	Processo de reciclagem do material	Indicador	Compatibilidade
1	PS	PC	0,020	Molde de Injeção Geral	Reciclagem	0,30316	Incompatível
2	PP	PP	0,020	Molde de Injeção Geral	Reciclagem	0,076956	Compatível
3	PA	PP	0,020	Molde de Injeção Geral	Reciclagem	0,30316	Incompatível
4	ABS	PC	0,020	Molde de Injeção Geral	Reciclagem	0,216876	Compatível
5	PET	PC	0,020	Molde de Injeção Geral	Reciclagem	0,165572	Compatível

Peça 1 Peça 2 Peça 3 Peça 4 Peça 5 Peça 6



Dados

Número da Peça:

Material 1:

Material 2:

Peso da Peça (Kg):

Processo de Fabricação:

Processo de Reciclagem:

ANEXO 1 – Lei 12305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos

LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010.

Art. 1º Esta Lei institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis.

§ 1º Estão sujeitas à observância desta Lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 2º Esta Lei não se aplica aos rejeitos radioativos, que são regulados por legislação específica.

Art. 2º Aplicam-se aos resíduos sólidos, além do disposto nesta Lei, nas Leis nºs 11.445, de 5 de janeiro de 2007, 9.974, de 6 de junho de 2000, e 9.966, de 28 de abril de 2000, as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

CAPÍTULO II**DEFINIÇÕES**

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

I - acordo setorial: ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;

II - área contaminada: local onde há contaminação causada pela disposição, regular ou irregular, de quaisquer substâncias ou resíduos;

III - área órfã contaminada: área contaminada cujos responsáveis pela disposição não sejam identificáveis ou individualizáveis;

IV - ciclo de vida do produto: série de etapas que envolvem o desenvolvimento do produto, a obtenção de matérias-primas e insumos, o processo produtivo, o consumo e a disposição final;

V - coleta seletiva: coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição;

VI - controle social: conjunto de mecanismos e procedimentos que garantam à sociedade informações e participação nos processos de formulação, implementação e avaliação das políticas públicas relacionadas aos resíduos sólidos;

VII - destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

VIII - disposição final ambientalmente adequada: distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

IX - geradores de resíduos sólidos: pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo;

X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;

XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

XII - logística reversa: instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

XIII - padrões sustentáveis de produção e consumo: produção e consumo de bens e serviços de forma a atender as necessidades das atuais gerações e permitir melhores condições de vida, sem comprometer a qualidade ambiental e o atendimento das necessidades das gerações futuras;

XIV - reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os

impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei;

XVIII - reutilização: processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa;

XIX - serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades previstas no art. 7º da Lei nº 11.445, de 2007.

TÍTULO II

DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

CAPÍTULO I

DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 4º A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Art. 5º A Política Nacional de Resíduos Sólidos integra a Política Nacional do Meio Ambiente e articula-se com a Política Nacional de Educação Ambiental, regulada pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, com a Política Federal de Saneamento Básico, regulada pela Lei nº 11.445, de 2007, e com a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005.

CAPÍTULO II

DOS PRINCÍPIOS E OBJETIVOS

Art. 6º São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:

a) produtos reciclados e recicláveis;

b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

CAPÍTULO III

DOS INSTRUMENTOS

Art. 8º São instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, entre outros:

I - os planos de resíduos sólidos;

II - os inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos;

III - a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

IV - o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

V - o monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária;

VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos;

VII - a pesquisa científica e tecnológica;

VIII - a educação ambiental;

IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;

X - o Fundo Nacional do Meio Ambiente e o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;

XI - o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir);

XII - o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa);

XIII - os conselhos de meio ambiente e, no que couber, os de saúde;

XIV - os órgãos colegiados municipais destinados ao controle social dos serviços de resíduos sólidos urbanos;

XV - o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;

XVI - os acordos setoriais;

XVII - no que couber, os instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, entre eles: a) os padrões de qualidade ambiental;

b) o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

c) o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

d) a avaliação de impactos ambientais;

e) o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (Sinima);

f) o licenciamento e a revisão de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras;

XVIII - os termos de compromisso e os termos de ajustamento de conduta; XIX - o incentivo à adoção de consórcios ou de outras formas de cooperação entre os entes federados, com vistas à elevação das escalas de aproveitamento e à redução dos custos envolvidos.

TÍTULO III

DAS DIRETRIZES APLICÁVEIS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS

CAPÍTULO I

DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental.

§ 2º A Política Nacional de Resíduos Sólidos e as Políticas de Resíduos Sólidos dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios serão compatíveis com o disposto no **caput** e no § 1º deste artigo e com as demais diretrizes estabelecidas nesta Lei.

Art. 10. Incumbe ao Distrito Federal e aos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados nos respectivos territórios, sem prejuízo das competências de controle e fiscalização dos órgãos federais e estaduais do Sisnama, do SNVS e do Suasa, bem como da responsabilidade do gerador pelo gerenciamento de resíduos, consoante o estabelecido nesta Lei.

Art. 11. Observadas as diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento, incumbe aos Estados:

I - promover a integração da organização, do planejamento e da execução das funções públicas de interesse comum relacionadas à gestão dos resíduos sólidos nas regiões metropolitanas,

aglomerações urbanas e microrregiões, nos termos da lei complementar estadual prevista no § 3º do art. 25 da Constituição Federal;

II - controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental pelo órgão estadual do Sisnama.

Parágrafo único. A atuação do Estado na forma do **caput** deve apoiar e priorizar as iniciativas do Município de soluções consorciadas ou compartilhadas entre 2 (dois) ou mais Municípios.

Art. 12. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios organizarão e manterão, de forma conjunta, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (Sinir), articulado com o Sinisa e o Sinima.

Parágrafo único. Incumbe aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios fornecer ao órgão federal responsável pela coordenação do Sinir todas as informações necessárias sobre os resíduos sob sua esfera de competência, na forma e na periodicidade estabelecidas em regulamento.

Art. 13. Para os efeitos desta Lei, os resíduos sólidos têm a seguinte classificação:

I - quanto à origem:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

II - quanto à periculosidade:

a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;

b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Parágrafo único. Respeitado o disposto no art. 20, os resíduos referidos na alínea “d” do inciso I do **caput**, se caracterizados como não perigosos, podem, em razão de sua natureza, composição ou volume, ser equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal.

CAPÍTULO II

DOS PLANOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Seção I

Disposições Gerais

Art. 14. São planos de resíduos sólidos:

I - o Plano Nacional de Resíduos Sólidos;

II - os planos estaduais de resíduos sólidos;

III - os planos microrregionais de resíduos sólidos e os planos de resíduos sólidos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas;

IV - os planos intermunicipais de resíduos sólidos;

V - os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos;

VI - os planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. É assegurada ampla publicidade ao conteúdo dos planos de resíduos sólidos, bem como controle social em sua formulação, implementação e operacionalização, observado o disposto na Lei nº 10.650, de 16 de abril de 2003, e no art. 47 da Lei nº 11.445, de 2007.

Seção II

Do Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Art. 15. A União elaborará, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com vigência por prazo indeterminado e horizonte de 20 (vinte) anos, a ser atualizado a cada 4 (quatro) anos, tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos;

II - proposição de cenários, incluindo tendências internacionais e macroeconômicas;

III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos da União, para a obtenção de seu aval ou para o acesso a recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade federal, quando destinados a ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão regionalizada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos das regiões integradas de desenvolvimento instituídas por lei complementar, bem como para as áreas de especial interesse turístico;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos;

XI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito nacional, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

Parágrafo único. O Plano Nacional de Resíduos Sólidos será elaborado mediante processo de mobilização e participação social, incluindo a realização de audiências e consultas públicas.

Seção III

Dos Planos Estaduais de Resíduos Sólidos

Art. 16. A elaboração de plano estadual de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para os Estados terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à gestão de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. (Vigência)

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no **caput** os Estados que instituírem microrregiões, consoante o § 3º do art. 25 da Constituição Federal, para integrar a organização, o planejamento e a execução das ações a cargo de Municípios limítrofes na gestão dos resíduos sólidos.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, as microrregiões instituídas conforme previsto no § 1º abrangem atividades de coleta seletiva, recuperação e

reciclagem, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos, a gestão de resíduos de construção civil, de serviços de transporte, de serviços de saúde, agrossilvopastoris ou outros resíduos, de acordo com as peculiaridades microrregionais.

Art. 17. O plano estadual de resíduos sólidos será elaborado para vigência por prazo indeterminado, abrangendo todo o território do Estado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos e revisões a cada 4 (quatro) anos, e tendo como conteúdo mínimo:

I - diagnóstico, incluída a identificação dos principais fluxos de resíduos no Estado e seus impactos socioeconômicos e ambientais;

II - proposição de cenários;

III - metas de redução, reutilização, reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de resíduos e rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

IV - metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos;

V - metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

VI - programas, projetos e ações para o atendimento das metas previstas;

VII - normas e condicionantes técnicas para o acesso a recursos do Estado, para a obtenção de seu aval ou para o acesso de recursos administrados, direta ou indiretamente, por entidade estadual, quando destinados às ações e programas de interesse dos resíduos sólidos;

VIII - medidas para incentivar e viabilizar a gestão consorciada ou compartilhada dos resíduos sólidos;

IX - diretrizes para o planejamento e demais atividades de gestão de resíduos sólidos de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões;

X - normas e diretrizes para a disposição final de rejeitos e, quando couber, de resíduos, respeitadas as disposições estabelecidas em âmbito nacional;

XI - previsão, em conformidade com os demais instrumentos de planejamento territorial, especialmente o zoneamento ecológico-econômico e o zoneamento costeiro, de:

a) zonas favoráveis para a localização de unidades de tratamento de resíduos sólidos ou de disposição final de rejeitos;

b) áreas degradadas em razão de disposição inadequada de resíduos sólidos ou rejeitos a serem objeto de recuperação ambiental;

XII - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito estadual, de sua implementação e operacionalização, assegurado o controle social.

§ 1º Além do plano estadual de resíduos sólidos, os Estados poderão elaborar planos microrregionais de resíduos sólidos, bem como planos específicos direcionados às regiões metropolitanas ou às aglomerações urbanas.

§ 2º A elaboração e a implementação pelos Estados de planos microrregionais de resíduos sólidos, ou de planos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, em consonância com o previsto no § 1º, dar-se-ão obrigatoriamente com a participação dos Municípios envolvidos e não excluem nem substituem qualquer das prerrogativas a cargo dos Municípios previstas por esta Lei.

§ 3º Respeitada a responsabilidade dos geradores nos termos desta Lei, o plano microrregional de resíduos sólidos deve atender ao previsto para o plano estadual e estabelecer soluções integradas para a coleta seletiva, a recuperação e a reciclagem, o tratamento e a destinação final dos resíduos sólidos urbanos e, consideradas as peculiaridades microrregionais, outros tipos de resíduos.

Seção IV

Dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Art. 18. A elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, nos termos previstos por esta Lei, é condição para o Distrito Federal e os Municípios terem acesso a recursos da União, ou por ela controlados, destinados a empreendimentos e serviços relacionados à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos, ou para serem beneficiados por incentivos ou financiamentos de entidades federais de crédito ou fomento para tal finalidade. (Vigência)

§ 1º Serão priorizados no acesso aos recursos da União referidos no **caput** os Municípios que:

I - optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos referidos no § 1º do art. 16;

II - implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

§ 2º Serão estabelecidas em regulamento normas complementares sobre o acesso aos recursos da União na forma deste artigo.

Art. 19. O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - diagnóstico da situação dos resíduos sólidos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas de destinação e disposição final adotadas;

II - identificação de áreas favoráveis para disposição final ambientalmente adequada de rejeitos, observado o plano diretor de que trata o § 1º do art. 182 da Constituição Federal e o zoneamento ambiental, se houver;

III - identificação das possibilidades de implantação de soluções consorciadas ou compartilhadas com outros Municípios, considerando, nos critérios de economia de escala, a proximidade dos locais estabelecidos e as formas de prevenção dos riscos ambientais;

IV - identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos a plano de gerenciamento específico nos termos do art. 20 ou a sistema de logística reversa na forma do art. 33, observadas as disposições desta Lei e de seu regulamento, bem como as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;

V - procedimentos operacionais e especificações mínimas a serem adotados nos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, incluída a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos e observada a Lei nº 11.445, de 2007;

VI - indicadores de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

VII - regras para o transporte e outras etapas do gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS e demais disposições pertinentes da legislação federal e estadual;

VIII - definição das responsabilidades quanto à sua implementação e operacionalização, incluídas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos a que se refere o art. 20 a cargo do poder público;

IX - programas e ações de capacitação técnica voltados para sua implementação e operacionalização;

X - programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos;

XI - programas e ações para a participação dos grupos interessados, em especial das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, se houver;

XII - mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos;

XIII - sistema de cálculo dos custos da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, bem como a forma de cobrança desses serviços, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

XIV - metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras, com vistas a reduzir a quantidade de rejeitos encaminhados para disposição final ambientalmente adequada;

XV - descrição das formas e dos limites da participação do poder público local na coleta seletiva e na logística reversa, respeitado o disposto no art. 33, e de outras ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XVI - meios a serem utilizados para o controle e a fiscalização, no âmbito local, da implementação e operacionalização dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos de que trata o art. 20 e dos sistemas de logística reversa previstos no art. 33;

XVII - ações preventivas e corretivas a serem praticadas, incluindo programa de monitoramento;

XVIII - identificação dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos, incluindo áreas contaminadas, e respectivas medidas saneadoras;

XIX - periodicidade de sua revisão, observado prioritariamente o período de vigência do plano plurianual municipal.

§ 1º O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos pode estar inserido no plano de saneamento básico previsto no art. 19 da Lei nº 11.445, de 2007, respeitado o conteúdo mínimo previsto nos incisos do **caput** e observado o disposto no § 2º, todos deste artigo.

§ 2º Para Municípios com menos de 20.000 (vinte mil) habitantes, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos terá conteúdo simplificado, na forma do regulamento.

§ 3º O disposto no § 2º não se aplica a Municípios:

I - integrantes de áreas de especial interesse turístico;

II - inseridos na área de influência de empreendimentos ou atividades com significativo impacto ambiental de âmbito regional ou nacional;

III - cujo território abranja, total ou parcialmente, Unidades de Conservação.

§ 4º A existência de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não exime o Município ou o Distrito Federal do licenciamento ambiental de aterros sanitários e de outras infraestruturas e instalações operacionais integrantes do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos pelo órgão competente do Sisnama.

§ 5º Na definição de responsabilidades na forma do inciso VIII do **caput** deste artigo, é vedado atribuir ao serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a realização de etapas do gerenciamento dos resíduos a que se refere o art. 20 em desacordo com a respectiva licença ambiental ou com normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS.

§ 6º Além do disposto nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos contemplará ações específicas a serem desenvolvidas no âmbito dos órgãos da administração pública, com vistas à utilização racional dos recursos ambientais, ao combate a todas as formas de desperdício e à minimização da geração de resíduos sólidos.

§ 7º O conteúdo do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos será disponibilizado para o Sinir, na forma do regulamento.

§ 8º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não pode ser utilizada para impedir a instalação ou a operação de empreendimentos ou atividades devidamente licenciados pelos órgãos competentes.

§ 9º Nos termos do regulamento, o Município que optar por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, assegurado que o plano intermunicipal preencha os requisitos estabelecidos nos incisos I a XIX do **caput** deste artigo, pode ser dispensado da elaboração de plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Seção V

Do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Art. 20. Estão sujeitos à elaboração de plano de gerenciamento de resíduos sólidos:

I - os geradores de resíduos sólidos previstos nas alíneas “e”, “f”, “g” e “k” do inciso I do art. 13;

II - os estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços que:

a) gerem resíduos perigosos;

b) gerem resíduos que, mesmo caracterizados como não perigosos, por sua natureza, composição ou volume, não sejam equiparados aos resíduos domiciliares pelo poder público municipal;

III - as empresas de construção civil, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama;

IV - os responsáveis pelos terminais e outras instalações referidas na alínea “j” do inciso I do art. 13 e, nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e, se couber, do SNVS, as empresas de transporte;

Parágrafo único. Observado o disposto no Capítulo IV deste Título, serão estabelecidas por regulamento exigências específicas relativas ao plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

Art. 21. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

I - descrição do empreendimento ou atividade;

II - diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;

III - observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;

b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;

IV - identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;

V - ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;

VI - metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;

VII - se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;

VIII - medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;

IX - periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos sólidos atenderá ao disposto no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos do respectivo Município, sem prejuízo das normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa.

§ 2º A inexistência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos não obsta a elaboração, a implementação ou a operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos sólidos.

§ 3º Serão estabelecidos em regulamento:

I - normas sobre a exigibilidade e o conteúdo do plano de gerenciamento de resíduos sólidos relativo à atuação de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis;

II - critérios e procedimentos simplificados para apresentação dos planos de gerenciamento de resíduos sólidos para microempresas e empresas de pequeno porte, assim consideradas as definidas nos incisos I e II do art. 3º da Lei Complementar nº 123, de 14 de dezembro de 2006, desde que as atividades por elas desenvolvidas não gerem resíduos perigosos.

Art. 22. Para a elaboração, implementação, operacionalização e monitoramento de todas as etapas do plano de gerenciamento de resíduos sólidos, nelas incluído o controle da disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, será designado responsável técnico devidamente habilitado.

Art. 23. Os responsáveis por plano de gerenciamento de resíduos sólidos manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente, ao órgão licenciador do Sisnama e a outras autoridades, informações completas sobre a implementação e a operacionalização do plano sob sua responsabilidade.

§ 1º Para a consecução do disposto no **caput**, sem prejuízo de outras exigências cabíveis por parte das autoridades, será implementado sistema declaratório com periodicidade, no mínimo, anual, na forma do regulamento.

§ 2º As informações referidas no **caput** serão repassadas pelos órgãos públicos ao Sinir, na forma do regulamento.

Art. 24. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos é parte integrante do processo de licenciamento ambiental do empreendimento ou atividade pelo órgão competente do Sisnama.

§ 1º Nos empreendimentos e atividades não sujeitos a licenciamento ambiental, a aprovação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos cabe à autoridade municipal competente.

§ 2º No processo de licenciamento ambiental referido no § 1º a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama, será assegurada oitiva do órgão municipal competente, em especial quanto à disposição final ambientalmente adequada de rejeitos.

CAPÍTULO III

DAS RESPONSABILIDADES DOS GERADORES E DO PODER PÚBLICO

Seção I

Disposições Gerais

Art. 25. O poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta Lei e em seu regulamento.

Art. 26. O titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços, observados o respectivo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a Lei nº 11.445, de 2007, e as disposições desta Lei e seu regulamento.

Art. 27. As pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 são responsáveis pela implementação e operacionalização integral do plano de gerenciamento de resíduos sólidos aprovado pelo órgão competente na forma do art. 24.

§ 1º A contratação de serviços de coleta, armazenamento, transporte, transbordo, tratamento ou destinação final de resíduos sólidos, ou de disposição final de rejeitos, não isenta as pessoas físicas ou jurídicas referidas no art. 20 da responsabilidade por danos que vierem a ser provocados pelo gerenciamento inadequado dos respectivos resíduos ou rejeitos.

§ 2º Nos casos abrangidos pelo art. 20, as etapas sob responsabilidade do gerador que forem realizadas pelo poder público serão devidamente remuneradas pelas pessoas físicas ou jurídicas responsáveis, observado o disposto no § 5º do art. 19.

Art. 28. O gerador de resíduos sólidos domiciliares tem cessada sua responsabilidade pelos resíduos com a disponibilização adequada para a coleta ou, nos casos abrangidos pelo art. 33, com a devolução.

Art. 29. Cabe ao poder público atuar, subsidiariamente, com vistas a minimizar ou cessar o dano, logo que tome conhecimento de evento lesivo ao meio ambiente ou à saúde pública relacionado ao gerenciamento de resíduos sólidos.

Parágrafo único. Os responsáveis pelo dano ressarcirão integralmente o poder público pelos gastos decorrentes das ações empreendidas na forma do **caput**.

Seção II

Da Responsabilidade Compartilhada

Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção.

Parágrafo único. A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos tem por objetivo:

I - compatibilizar interesses entre os agentes econômicos e sociais e os processos de gestão empresarial e mercadológica com os de gestão ambiental, desenvolvendo estratégias sustentáveis;

II - promover o aproveitamento de resíduos sólidos, direcionando-os para a sua cadeia produtiva ou para outras cadeias produtivas;

III - reduzir a geração de resíduos sólidos, o desperdício de materiais, a poluição e os danos ambientais;

IV - incentivar a utilização de insumos de menor agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade;

V - estimular o desenvolvimento de mercado, a produção e o consumo de produtos derivados de materiais reciclados e recicláveis;

VI - propiciar que as atividades produtivas alcancem eficiência e sustentabilidade;

VII - incentivar as boas práticas de responsabilidade socioambiental.

Art. 31. Sem prejuízo das obrigações estabelecidas no plano de gerenciamento de resíduos sólidos e com vistas a fortalecer a responsabilidade compartilhada e seus objetivos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade que abrange:

I - investimento no desenvolvimento, na fabricação e na colocação no mercado de produtos:

a) que sejam aptos, após o uso pelo consumidor, à reutilização, à reciclagem ou a outra forma de destinação ambientalmente adequada;

b) cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;

II - divulgação de informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;

III - recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa na forma do art. 33;

IV - compromisso de, quando firmados acordos ou termos de compromisso com o Município, participar das ações previstas no plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, no caso de produtos ainda não incluídos no sistema de logística reversa.

Art. 32. As embalagens devem ser fabricadas com materiais que propiciem a reutilização ou a reciclagem.

§ 1º Cabe aos respectivos responsáveis assegurar que as embalagens sejam:

I - restritas em volume e peso às dimensões requeridas à proteção do conteúdo e à comercialização do produto;

II - projetadas de forma a serem reutilizadas de maneira tecnicamente viável e compatível com as exigências aplicáveis ao produto que contêm;

III - recicladas, se a reutilização não for possível.

§ 2º O regulamento disporá sobre os casos em que, por razões de ordem técnica ou econômica, não seja viável a aplicação do disposto no **caput**.

§ 3º É responsável pelo atendimento do disposto neste artigo todo aquele que:

I - manufatura embalagens ou fornece materiais para a fabricação de embalagens;

II - coloca em circulação embalagens, materiais para a fabricação de embalagens ou produtos embalados, em qualquer fase da cadeia de comércio.

Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no **caput** serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 2º A definição dos produtos e embalagens a que se refere o § 1º considerará a viabilidade técnica e econômica da logística reversa, bem como o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.

§ 3º Sem prejuízo de exigências específicas fixadas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS, ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, cabe aos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos produtos a que se referem os incisos II, III, V e VI ou dos produtos e embalagens a que se referem os incisos I e IV do **caput** e o § 1º tomar todas as medidas necessárias para assegurar a

implementação e operacionalização do sistema de logística reversa sob seu encargo, consoante o estabelecido neste artigo, podendo, entre outras medidas:

I - implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;

II - disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis;

III - atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, nos casos de que trata o § 1º.

§ 4º Os consumidores deverão efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens a que se referem os incisos I a VI do **caput**, e de outros produtos ou embalagens objeto de logística reversa, na forma do § 1º.

§ 5º Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos na forma dos §§ 3º e 4º.

§ 6º Os fabricantes e os importadores darão destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do Sisnama e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

§ 7º Se o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens a que se refere este artigo, as ações do poder público serão devidamente remuneradas, na forma previamente acordada entre as partes.

§ 8º Com exceção dos consumidores, todos os participantes dos sistemas de logística reversa manterão atualizadas e disponíveis ao órgão municipal competente e a outras autoridades informações completas sobre a realização das ações sob sua responsabilidade.

Art. 34. Os acordos setoriais ou termos de compromisso referidos no inciso IV do **caput** do art. 31 e no § 1º do art. 33 podem ter abrangência nacional, regional, estadual ou municipal.

§ 1º Os acordos setoriais e termos de compromisso firmados em âmbito nacional têm prevalência sobre os firmados em âmbito regional ou estadual, e estes sobre os firmados em âmbito municipal.

§ 2º Na aplicação de regras concorrentes consoante o § 1º, os acordos firmados com menor abrangência geográfica podem ampliar, mas não abrandar, as medidas de proteção ambiental constantes nos acordos setoriais e termos de compromisso firmados com maior abrangência geográfica.

Art. 35. Sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e na aplicação do art. 33, os consumidores são obrigados a:

I - acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resíduos sólidos gerados;

II - disponibilizar adequadamente os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis para coleta ou devolução.

Parágrafo único. O poder público municipal pode instituir incentivos econômicos aos consumidores que participam do sistema de coleta seletiva referido no **caput**, na forma de lei municipal.

Art. 36. No âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

I - adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

II - estabelecer sistema de coleta seletiva;

III - articular com os agentes econômicos e sociais medidas para viabilizar o retorno ao ciclo produtivo dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;

IV - realizar as atividades definidas por acordo setorial ou termo de compromisso na forma do § 7º do art. 33, mediante a devida remuneração pelo setor empresarial;

V - implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido;

VI - dar disposição final ambientalmente adequada aos resíduos e rejeitos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

§ 1º Para o cumprimento do disposto nos incisos I a IV do **caput**, o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos priorizará a organização e o funcionamento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda, bem como sua contratação.

§ 2º A contratação prevista no § 1º é dispensável de licitação, nos termos do inciso XXVII do art. 24 da Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993.

CAPÍTULO IV

DOS RESÍDUOS PERIGOSOS

Art. 37. A instalação e o funcionamento de empreendimento ou atividade que gere ou opere com resíduos perigosos somente podem ser autorizados ou licenciados pelas autoridades competentes se o responsável comprovar, no mínimo, capacidade técnica e econômica, além de condições para prover os cuidados necessários ao gerenciamento desses resíduos.

Art. 38. As pessoas jurídicas que operam com resíduos perigosos, em qualquer fase do seu gerenciamento, são obrigadas a se cadastrar no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos.

§ 1º O cadastro previsto no **caput** será coordenado pelo órgão federal competente do Sisnama e implantado de forma conjunta pelas autoridades federais, estaduais e municipais.

§ 2º Para o cadastramento, as pessoas jurídicas referidas no **caput** necessitam contar com responsável técnico pelo gerenciamento dos resíduos perigosos, de seu próprio quadro de funcionários ou contratado, devidamente habilitado, cujos dados serão mantidos atualizados no cadastro.

§ 3º O cadastro a que se refere o **caput** é parte integrante do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais e do Sistema de Informações previsto no art. 12.

Art. 39. As pessoas jurídicas referidas no art. 38 são obrigadas a elaborar plano de gerenciamento de resíduos perigosos e submetê-lo ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, observado o conteúdo mínimo estabelecido no art. 21 e demais exigências previstas em regulamento ou em normas técnicas.

§ 1º O plano de gerenciamento de resíduos perigosos a que se refere o **caput** poderá estar inserido no plano de gerenciamento de resíduos a que se refere o art. 20.

§ 2º Cabe às pessoas jurídicas referidas no art. 38:

I - manter registro atualizado e facilmente acessível de todos os procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano previsto no **caput**;

II - informar anualmente ao órgão competente do Sisnama e, se couber, do SNVS, sobre a quantidade, a natureza e a destinação temporária ou final dos resíduos sob sua responsabilidade;

III - adotar medidas destinadas a reduzir o volume e a periculosidade dos resíduos sob sua responsabilidade, bem como a aperfeiçoar seu gerenciamento;

IV - informar imediatamente aos órgãos competentes sobre a ocorrência de acidentes ou outros sinistros relacionados aos resíduos perigosos.

§ 3º Sempre que solicitado pelos órgãos competentes do Sisnama e do SNVS, será assegurado acesso para inspeção das instalações e dos procedimentos relacionados à implementação e à operacionalização do plano de gerenciamento de resíduos perigosos.

§ 4º No caso de controle a cargo de órgão federal ou estadual do Sisnama e do SNVS, as informações sobre o conteúdo, a implementação e a operacionalização do plano previsto no **caput** serão repassadas ao poder público municipal, na forma do regulamento.

Art. 40. No licenciamento ambiental de empreendimentos ou atividades que operem com resíduos perigosos, o órgão licenciador do Sisnama pode exigir a contratação de seguro de responsabilidade civil por danos causados ao meio ambiente ou à saúde pública, observadas as regras sobre cobertura e os limites máximos de contratação fixados em regulamento.

Parágrafo único. O disposto no **caput** considerará o porte da empresa, conforme regulamento.

Art. 41. Sem prejuízo das iniciativas de outras esferas governamentais, o Governo Federal deve estruturar e manter instrumentos e atividades voltados para promover a descontaminação de áreas órfãs.

Parágrafo único. Se, após descontaminação de sítio órfão realizada com recursos do Governo Federal ou de outro ente da Federação, forem identificados os responsáveis pela contaminação, estes ressarcirão integralmente o valor empregado ao poder público.

CAPÍTULO V

DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS

Art. 42. O poder público poderá instituir medidas indutoras e linhas de financiamento para atender, prioritariamente, às iniciativas de:

I - prevenção e redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo;

II - desenvolvimento de produtos com menores impactos à saúde humana e à qualidade ambiental em seu ciclo de vida;

III - implantação de infraestrutura física e aquisição de equipamentos para cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

IV - desenvolvimento de projetos de gestão dos resíduos sólidos de caráter intermunicipal ou, nos termos do inciso I do **caput** do art. 11, regional;

V - estruturação de sistemas de coleta seletiva e de logística reversa;

VI - descontaminação de áreas contaminadas, incluindo as áreas órfãs;

VII - desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos resíduos sólidos;

VIII - desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos.

Art. 43. No fomento ou na concessão de incentivos creditícios destinados a atender diretrizes desta Lei, as instituições oficiais de crédito podem estabelecer critérios diferenciados de acesso dos beneficiários aos créditos do Sistema Financeiro Nacional para investimentos produtivos.

Art. 44. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, no âmbito de suas competências, poderão instituir normas com o objetivo de conceder incentivos fiscais, financeiros ou creditícios, respeitadas as limitações da Lei Complementar nº 101, de 4 de maio de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), a:

I - indústrias e entidades dedicadas à reutilização, ao tratamento e à reciclagem de resíduos sólidos produzidos no território nacional;

II - projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, prioritariamente em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda;

III - empresas dedicadas à limpeza urbana e a atividades a ela relacionadas.

Art. 45. Os consórcios públicos constituídos, nos termos da Lei nº 11.107, de 2005, com o objetivo de viabilizar a descentralização e a prestação de serviços públicos que envolvam resíduos sólidos, têm prioridade na obtenção dos incentivos instituídos pelo Governo Federal.

Art. 46. O atendimento ao disposto neste Capítulo será efetivado em consonância com a Lei Complementar nº 101, de 2000 (Lei de Responsabilidade Fiscal), bem como com as diretrizes e objetivos do respectivo plano plurianual, as metas e as prioridades fixadas pelas leis de diretrizes orçamentárias e no limite das disponibilidades propiciadas pelas leis orçamentárias anuais.

CAPÍTULO VI

DAS PROIBIÇÕES

Art. 47. São proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

I - lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;

II - lançamento **in natura** a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;

III - queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;

IV - outras formas vedadas pelo poder público.

§ 1º Quando decretada emergência sanitária, a queima de resíduos a céu aberto pode ser realizada, desde que autorizada e acompanhada pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e, quando couber, do Suasa.

§ 2º Assegurada a devida impermeabilização, as bacias de decantação de resíduos ou rejeitos industriais ou de mineração, devidamente licenciadas pelo órgão competente do Sisnama, não são consideradas corpos hídricos para efeitos do disposto no inciso I do **caput**.

Art. 48. São proibidas, nas áreas de disposição final de resíduos ou rejeitos, as seguintes atividades:

I - utilização dos rejeitos dispostos como alimentação;

II - catação, observado o disposto no inciso V do art. 17;

III - criação de animais domésticos;

IV - fixação de habitações temporárias ou permanentes;

V - outras atividades vedadas pelo poder público.

Art. 49. É proibida a importação de resíduos sólidos perigosos e rejeitos, bem como de resíduos sólidos cujas características causem dano ao meio ambiente, à saúde pública e animal e à sanidade vegetal, ainda que para tratamento, reforma, reúso, reutilização ou recuperação.

TÍTULO IV

DISPOSIÇÕES TRANSITÓRIAS E FINAIS

Art. 50. A inexistência do regulamento previsto no § 3º do art. 21 não obsta a atuação, nos termos desta Lei, das cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

Art. 51. Sem prejuízo da obrigação de, independentemente da existência de culpa, reparar os danos causados, a ação ou omissão das pessoas físicas ou jurídicas que importe inobservância aos preceitos desta Lei ou de seu regulamento sujeita os infratores às sanções previstas em lei, em especial às fixadas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que “dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”, e em seu regulamento.

Art. 52. A observância do disposto no **caput** do art. 23 e no § 2º do art. 39 desta Lei é considerada obrigação de relevante interesse ambiental para efeitos do art. 68 da Lei nº 9.605, de 1998, sem prejuízo da aplicação de outras sanções cabíveis nas esferas penal e administrativa.

Art. 53. O § 1º do art. 56 da Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, passa a vigorar com a seguinte redação:

“Art. 56.

§ 1º Nas mesmas penas incorre quem:

I - abandona os produtos ou substâncias referidos no **caput** ou os utiliza em desacordo com as normas ambientais ou de segurança;

II - manipula, acondiciona, armazena, coleta, transporta, reutiliza, recicla ou dá destinação final a resíduos perigosos de forma diversa da estabelecida em lei ou regulamento.

.....” (NR)

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada em até 4 (quatro) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 55. O disposto nos arts. 16 e 18 entra em vigor 2 (dois) anos após a data de publicação desta Lei.

Art. 56. A logística reversa relativa aos produtos de que tratam os incisos V e VI do **caput** do art. 33 será implementada progressivamente segundo cronograma estabelecido em regulamento.

Art. 57. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Fonte: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm