

**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**WILTON SHIGUEAKI OHARA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA PLÁSTICA**

Guaratinguetá  
2011

**WILTON SHIGUEAKI OHARA**

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA PLÁSTICA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Nazem Nascimento

**Guaratinguetá**

**2011**

O365e Ohara, Wilton Shigueaki  
Estudo das Propriedades Mecânicas da Madeira Plástica / Wilton Shigueaki Ohara – Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
54 f : il.  
Bibliografia: f. 54

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.  
Orientador: Prof. Dr. Nazem Nascimento

1. Resíduos sólidos 2. Plásticos 3. Madeira 4. Lixo I. Título

CDU 628.544

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA PLÁSTICA**

**WILTON SHIGUEAKI OHARA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. NAZEM NASCIMENTO  
Orientador UNESP-FEG

  
Prof. Dr. MAURO HUGO MATHIAS  
UNESP-FEG

  
Eng. WALTER LUIZ MEDEIROS TUPINAMBÁ  
UNESP-FEG

Dezembro de 2011

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao meu orientador Dr. Nazem Nascimento por confiar e acreditar em mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Dr. Nazem Nascimento, que me incentivou e motivou sendo o grande responsável para a conclusão desse trabalho.

OHARA, W.S. **Estudo das Propriedades Mecânicas da Madeira Plástica**. 2011. 54f Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## RESUMO

Este trabalho tem em seu arcabouço analisar as propriedades mecânicas da composição de resíduos plásticos, denominada “madeira plástica”, visando estabelecer parâmetros técnicos para aplicação deste material em substituição à madeira natural. A madeira plástica é um produto que resulta, basicamente, da combinação de diversos plásticos, previamente selecionados, lavados, secos e isentos de partículas metálicas, os quais são aglomerados, extrudados ou introduzidos em um molde. À critério do fabricante esses perfis podem ter diferentes formatos e cores. No decorrer desta monografia poderão ser observados os usos dos diversos tipos de plásticos, suas propriedades mecânicas e o processo de fabricação da madeira-plástica. Também serão apresentadas características e aplicações da madeira natural, a fim de se melhor comparar seus usos em diversas aplicações.

**Palavras-chave:** reciclagem, plástico, madeira-plástica, madeira, resíduos sólidos, lixo.

**OHARA, W.S.** Study of Plastic-Wood's Mechanical Properties. 2011. 54f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

This work has in its outline the analysis of the mechanical properties of the composition of plastic residues, denominated "plastic wood", aiming at establishing technical parameters for application of this material in substitution to the natural wood. Plastic-Wood is basically, a combination of several kind of plastic, previously selected, washed, dried and without metallic particles, which are agglomerated, extruded or introduced into a mold. The manufacturer can choose different formats and colors. During this monograph it can be observed the use of several kind of plastic, their mechanical properties and the plastic-wood production process. Also are presented features and applications of natural wood, in order to better compare their uses in several applications.

**Keywords:** recycling, plastic, wood-plastic, wood, solid residues, garbage.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Relação monômero-polímero.....	14
Figura 2	- Cadeia linear.....	15
Figura 3	- Cadeia ramificada.....	15
Figura 4	- Cadeia reticulada.....	16
Figura 5	- Perfis extrudados.....	24
Figura 6	- Extrusora.....	24
Figura 7	- Equipamento atuando igualmente à injetora.....	25
Figura 8	- Parafuso atuando com embolo.....	26
Figura 9	- Recuo do parafuso e solidificação do produto.....	26
Figura 10	- Abertura do molde e ejeção da peça.....	26
Figura 11	- Fluxograma da reciclagem.....	29
Figura 12	- Mercado brasileiro de plásticos.....	33
Figura 13	- Fluxograma do sistema de produção da madeira-plástica.....	44
Figura 14	- Banco feio a partir da madeira-plástica.....	48
Figura 15	- Janela desenvolvida pela empresa Cogumelo.....	48
Figura 16	- Persiana desenvolvida pela empresa Cogumelo.....	48
Figura 17	- Escada desenvolvida pela empresa Cogumelo.....	48
Figura 18	- Ponte desenvolvida pela empresa Cogumelo.....	48
Figura 19	- Deck de piscina.....	49
Figura 20	- Dormentes.....	49
Figura 21	- Pallets.....	50
Figura 22	- Estacas.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela	1	-	Propriedades Mecânicas do Policog.....	46
Tabela	2	-	Valores de resistência da madeira-plástica e de algumas madeiras.....	46
Tabela	3	-	Comparativo entre a madeira-plástica, ferro-fundido e outras madeiras naturais.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPLAST	- Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABIQUIM	- Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABREMPAST	- Associação Brasileira de Recicladores de Material Plástico
ASTM	- American Society for Testing and Materials
BB	- Blockboard
CEMPRE	- Compromisso Empresarial para Reciclagem
DCE	- Dicloroetano
ETE	- Estação de Tratamento de Efluentes
FAO	- Food and Agriculture Organization of the United Nations
FB	- Fiberboard
FK	- Flakeboard
GLP	- Gás Liquefeito de Petróleo
GFRA	- Global Forest Resources Assessment
HDPE	Polietileno
IBEGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LDPE	- Polietileno
LVL	- Laminated Veneer Lumber
MDF	- Medium Density Fiberboard
MVC	- Monocloreto de Vinila
OSB	- Oriented Strandboard
OSL	- Oriented Strand Lumber
PAN	- Poliacrilonitrila
PB	- Particleboard
PC	- Policarbonato
PE	- Polietileno
PEAD	- Polietileno de alta densidade
PEBD	- Polietileno de baixa densidade
PEBDL	- Polietileno de baixa densidade Linear

PEMD	- Polietileno de média densidade
PET	- Polietileno tereftalato
PMMA	- Polimetacrilado de metila
PP	- Polipropileno
PSL	- Parallel Strand Lumber
PTFE	- Politetrafluoretileno
PU	- Poliuretano
PVA	- Poliacetado de vinila
PVC	- Policloreto de vinila
PS	- Poliestireno
PEV	- Posto de entrega voluntária
RSU	- Resíduo Sólido Urbano
PW	- Plywood
UV	- Ultravioleta
WB	- Waferboard

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. O PLÁSTICO.....	14
2.1. Classificação.....	14
2.2. Fontes de Matéria Prima.....	16
2.3. Características Gerais.....	18
2.4. Tipos Principais.....	20
2.5. Processamento.....	23
2.6. Reciclagem.....	27
2.6.1. Reciclagem Mecânica.....	30
2.7. Utilizações.....	32
3. A MADEIRA.....	36
3.1. Classificação.....	37
3.2. Características Gerais.....	37
3.3. Tipos Principais.....	38
3.4. Processamento.....	39
3.5. Utilizações.....	40
4. A MADEIRA PLÁSTICA.....	43
4.1. Fabricação da Madeira Plástica.....	43
4.2. Propriedades.....	45
4.3. Utilizações.....	47
5. CONCLUSÃO.....	51
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

## 1. INTRODUÇÃO

As primeiras cidades brasileiras com características metropolitanas nasceram em 1940, graças à intensificação do comércio e à crescente expansão do setor secundário.

As alterações da distribuição demográfica e os anseios de vida do homem urbano (emprego, saúde, educação, renda e cultura) obrigaram o sistema socioeconômico a ampliar suas forças produtivas, acelerando, dessa forma, o processo de urbanização e industrialização. Numa dinâmica interativa, esse processo transformou e transforma cada vez mais a matéria-prima em produtos industrializados, gerando rapidamente resíduos e cargas poluidoras.

O lixo urbano dá origem a uma massa complexa e cada vez mais heterogênea, cuja coleta e destinação final adequada vêm se constituindo numa problemática para técnicos e administradores públicos. Estima-se que a população mundial seja de 6,4 bilhões de habitantes, os quais geram 30 milhões de toneladas de lixo anualmente.

Este imenso volume de lixo acarreta enormes custos e transtornos à administração pública, que não dispõe de um espaço para a disposição e tratamento deste material. Esse quadro, associado à ineficiência da gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, torna-se um agravante para muitas cidades paulistas. Estas depositam seus resíduos em lixões e vazadouros a céu aberto que são verdadeiros centros de transmissão de doenças, pela presença de mamíferos roedores, insetos, aves além do próprio manuseio do lixo pelos catadores.

Esta realidade proporciona imensos prejuízos para o país, o aumento da extração dos recursos naturais (matéria prima), a propagação de doenças decorrentes do contato com estes materiais e o impacto ambiental. As perdas geradas na economia brasileira por não gerenciar e tratar seus resíduos são assustadoras, Segundo Calderoni (2003), o Brasil perde anualmente cerca de R\$ 4,6 bilhões por não aproveitar a totalidade do potencial de reciclagem do lixo domiciliar.

Ao mesmo tempo em que esta situação vai se agravando, o número de catadores cresce no país, hoje sobrevivem da catação e comercialização dos materiais recicláveis cerca de 500 mil catadores em todo o Brasil (CEMPRE, 2005). Esta atividade é realizada, invariavelmente nos grandes centros urbanos, por catadores e, também por um grande número de pessoas desempregadas que vê no manejo e comercialização destes materiais, a única fonte de geração de renda e sobrevivência.

Ressaltando que, existem diferentes formas de dispor resíduos no solo onde podemos definir alguns deles, como chamamos de:

- **Lixão:** é uma forma inadequada de dispor resíduos no solo, pois se caracterizam simplesmente pela descarga de lixo sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.
- **Aterro Controlado:** esta técnica consiste basicamente na compactação dos resíduos no solo, na forma de camadas que são periodicamente recobertas com terra ou material inerte. Esta forma de disposição produz poluição, porém localizada, pois a área é pré-determinada; geralmente não dispõe de impermeabilização de base e sistemas de tratamento do percolato (chorume) ou biogás (gás metano) gerado.
- **Aterro Sanitário:** é um processo adequado de dispor os resíduos sólidos no solo, pois utiliza princípios de engenharia e normas operacionais específicas permitindo o confinamento seguro dos resíduos sólidos em termo de poluição ambiental, menor área possível, menor volume permissível, mediante confinamento em camadas cobertas com material inerte, geralmente solo (terra) na conclusão de cada jornada de trabalho, ou em intervalos menores, se necessário; minimizando os impactos ambientais evitando riscos a saúde pública e a segurança.

Embora em geral represente menos de 10% em peso do total de resíduos sólidos urbanos, os plásticos, dada sua densidade relativamente baixa e os formatos volumosos de seus artefatos, como por exemplo, as garrafas descartáveis, se tornam mais importantes na proporção em volume, o fator crítico para aterros e lixões, podendo representar mais de 25% do total descartado (Costa, 1995; CEMPRE, 1995; Agnelli, 1996).

A presença de plásticos nos aterros sanitários e lixões impede a decomposição adequada dos resíduos orgânicos, que iria contribuir para a redução paulatina do volume destes depósitos; constitui uma barreira ao livre escoamento de fluidos e gases (CEMPRE, 1995) Aproximadamente 35 % de todos os resíduos urbanos de plástico são constituídos por poliolefinas (PEAD, PEBD e PP), em grande parte sacos e filmes de polietileno, que produzem certamente o efeito mencionado (Mano, 1994).

A reciclagem desse material, que é uma das saídas mais adequadas, esbarra na oneração via impostos, no alto custo da coleta seletiva que acaba recolhendo material com muitas

impurezas, e na dificuldade de encontrar mercado para a maior parte do que poderia ser processado (ABREMPLAST, 1995; Vilhena e Hemais, 1995).

Atualmente existem várias opções para solucionar este problema, entre as quais se encontram a queima para produção de energia, decomposição química para gerar combustíveis, substituição do carvão na produção de aço e a reciclagem, que visa basicamente gerar uma nova forma para o material que seria descartado, compatível do problema ambiental do resíduo plástico como do problema da madeira, cuja escassez acaba levando ao desmatamento indesejável de florestas nativas.

No decorrer desta monografia será comentada a obtenção de madeira-plástica a partir da reciclagem de resíduos plásticos que é um exemplo de reciclagem mecânica que contribuir uma nova alternativa de solucionar o problema de resíduo plástico gerado por uma determinada comunidade, além de comparar suas propriedades com a madeira natural, visando sua substituição em determinadas aplicações.



## 2. O PLÁSTICO

O plástico é uma molécula sintética chamada de polímero (do grego: poli - muitas, mero - partes). Os polímeros são moléculas grandes, geralmente de origem orgânica, constituídas pela união de várias moléculas de baixo peso molecular, os chamados monômeros, através de reações químicas (Figura 1). Podemos compará-lo a uma corrente, cujos elos são os monômeros, enquanto a corrente em si é o polímero propriamente dito. Portanto, os polímeros podem ser definidos quimicamente como moléculas relativamente grandes, de pesos moleculares da ordem de 1.000 a 1.000.000, em cuja estrutura se encontra unidades químicas simples e repetidas (meros).

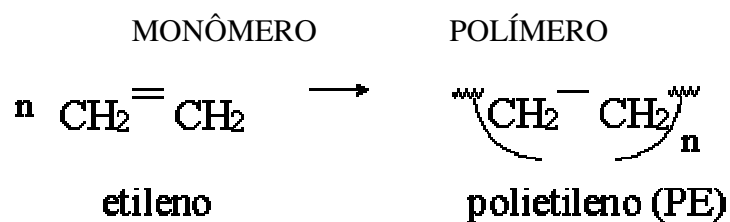


Figura 1 - Relação monômero-polímero

Na Figura 1 o etileno é o monômero que, após reagir com várias outras moléculas idênticas, forma o polímero polietileno, ou, simplesmente, PE. A reação química para obtenção do polímero é denominada polimerização. Na estrutura da molécula de PE, a unidade -CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- se repete indefinidamente e depende do número de moléculas de etileno (n) que reagiram entre si para formar o polímero. O índice n (ou DP) do polímero é conhecido como grau de polimerização e representa o número de meros presentes na cadeia polimérica.

A característica dos polímeros em ter um peso molecular alto influi significativamente nas propriedades químicas e físicas dessas moléculas. Assim, quanto maior for o grau de polimerização, maior será o peso molecular do polímero. Polímeros com peso molecular muito elevado são chamados de altos polímeros, enquanto os de baixo peso molecular são conhecidos por oligômeros (do grego: poucas).

### 2.1. CLASSIFICAÇÃO

Devido ao grande número de materiais poliméricos existentes faz-se necessária uma classificação para facilitar o reconhecimento e o estudo de tais materiais. Os polímeros podem ser classificados de acordo com sua composição da estrutura química, comportamento perante o calor e propriedades mecânicas.

#### Estrutura química:

- Número de meros existentes na molécula polimérica;
  1. **Homopolímero:** material formado por um único tipo de mero. Ex.: polietileno, poliestireno, poliácridonitrila.

2. **Copolímero:** polímero formado pela união de dois ou mais tipos de meros diferentes. Ex.: SAN, NBR, SBR.

- Estrutura do mero formador da cadeia
  1. **Poliolefinas:** polipropileno, polibutadieno, poliestireno.
  2. **Poliésteres:** poli (tereftalato de etileno), policarbonato.
  3. **Poliéteres:** poli (óxido de etileno), poli (óxido de fenileno).
  4. **Poliâmidas:** nylon, poliamida.
  5. **Celulósicos:** nitrato de celulose, acetato de celulose.
  6. **Acrílicos:** poli (metacrilato de metila), poliacrilonitrila.
  7. **Vinílicos:** poli (acetato de vinila), poli (álcool vinílico).
  8. **Poliuretano**
  9. **Resinas Fenólicas:** resina fenol - formol, resina uréia – formol.

- Organização da cadeia polimérica

As moléculas poliméricas se arranjam de três formas distintas, as quais influem diretamente nas propriedades físicas do material. São elas:

1. **Lineares:** A cadeia do polímero não possui ramificações.

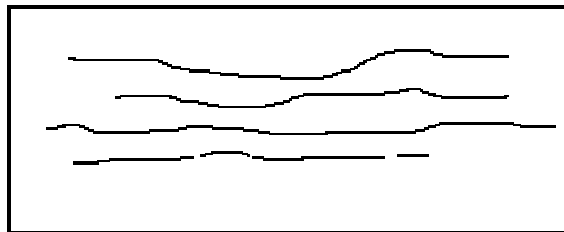


Figura 2 - Cadeia linear

2. **Ramificadas:** O polímero se apresenta ramificado, com pequenas cadeias laterais.

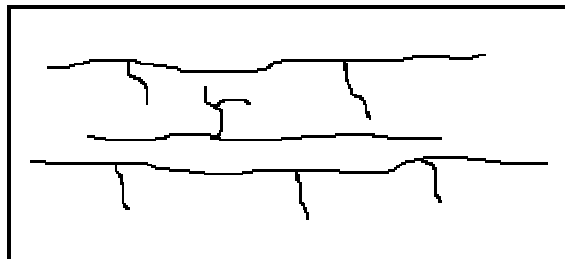


Figura 3 - Cadeia ramificada

3. **Reticuladas:** O polímero possui uma interligação tridimensional, onde as cadeias estão unidas por ligações cruzadas.

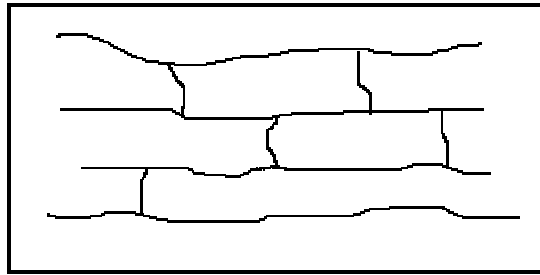


Figura 4 - Cadeia reticulada

### Comportamento perante o calor:

1. **Termofixos ou termorrígidos:** São materiais que formam ligações cruzadas ao serem aquecidos, tornando-se infusíveis e insolúveis.
2. **Termoplásticos:** São os polímeros que se fundem ao serem aquecidos e que se solidificam ao serem resfriados.

### Comportamento mecânico:

1. **Plásticos (do grego: adequado à moldagem):** Tipo de material estável em condições normais de uso, mas que já esteve no estado fluido em algum estágio de sua fabricação, sendo assim passível de transformação por aquecimento, pressão ou ambos.
2. **Elastômeros:** Materiais que sofrem grande deformação quando estão submetidos a uma determinada força, mas voltam ao seu estado natural quando tal força não atua mais sobre ele.
3. **Fibras:** Polímeros em que a razão entre o seu comprimento e a sua dimensão lateral é muito grande. Geralmente formada por moléculas lineares orientadas longitudinalmente.

## 2.2. FONTES DE MATÉRIA PRIMA

Os principais fornecedores de matérias primas para a produção de polímeros podem ser divididos em três grandes grupos:

### Produtos Naturais:

Este grupo, o primeiro a fornecer ao homem matérias-primas, encontra na natureza macromoléculas que com algumas modificações se prestam à produção de polímeros comerciais.

A celulose, um carboidrato que está presente em quase todos os vegetais, apresenta uma estrutura química constituída por unidades de glicose ligadas por átomos de oxigênio formando

uma longa cadeia. Os três grupos hidroxilas (OH) formam fortes ligações secundárias entre as cadeias, impedindo a fusão da celulose. Para se obter capacidade de fluxo estes grupos devem ser eliminados ou reduzidos através de ataque por diversos reagentes produzindo diferentes derivados da celulose. A reação da celulose com o ácido nítrico retira as hidroxilas substituindo-as por grupos  $-O-NO_2$  formando o nitrato de celulose. Da mesma forma obtêm-se acetato de celulose e acetato butirato de celulose. O celulóide é um composto de nitrato de celulose plastificado com cânfora.

A borracha natural é um produto encontrado no látex da seringueira (*Havea Brasiliensis*) como emulsão de borracha. Sua estrutura química é o de policisopreno. Outros produtos naturais de menor importância também podem produzir polímeros, como por exemplo, o óleo de mamona (na produção de nylon 11) e óleo de soja (nylon 9).

### **Hulha:**

A hulha ou carvão mineral quando submetida a uma destilação seca pode produzir: gases de hulha, amônia, alcatrão de hulha e coque (resíduo), nesta ordem de saída. Do gás de hulha é possível separar etileno (para a produção de polietileno) e metano (que, por oxidação, produz formaldeído, matéria-prima básica para a formação das resinas fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e melamina-formaldeído). A amônia ( $NH_3$ ) é utilizada para a produção de uréia ( $NH_2-CO-NH_2$ ) e aminas como agentes de cura para resinas epóxi. O alcatrão da hulha é uma mistura complexa que por destilação produz benzeno (para a produção de fenol, isocianatos e estireno). Do coque obtêm-se acetileno (via reação com CaO e a seguir com a água) que por hidrogenação produz etileno ou por reação com ácido clorídrico produz cloreto de vinila (para a produção do policloreto de vinila, PVC).

### **Petróleo:**

De todos os produtos naturais o petróleo é a fonte mais importante. Através da destilação fracionada do óleo cru, várias substâncias podem ser obtidas (GLP, nafta, gasolina, querosene, óleo diesel, graxas parafínicas, óleos lubrificantes e por fim piche) sendo que a fração de interesse para polímeros é a nafta. Este, após um craking térmico apropriado (pirólise a altas temperaturas e catálise), gera várias frações gasosas contendo moléculas saturadas e insaturadas. As moléculas insaturadas (etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno, etc.) são separadas e aproveitadas para a síntese de polímeros.

### **Obtenção das resinas:**

Após a destilação do petróleo, que é a principal matéria-prima para a produção do plástico, a nafta é entregue às indústrias petroquímicas de primeira geração que fazem o processamento deste para a obtenção de petroquímicos básicos, como eteno, propeno, xilenos, toluenos etc. Estes produtos são destinados às petroquímicas de segunda geração, onde tais materiais serão polimerizados e transformados em resinas básicas para a indústria de transformação de plásticos, que confeccionará os produtos finais para o consumo.

### **2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS**

Apesar dos materiais plásticos se apresentarem com as mais diversas características, podemos relacionar algumas propriedades comuns à maioria dos principais tipos de plásticos.

#### **Leveza:**

Os plásticos em geral são mais leves quando comparados aos materiais metálicos ou cerâmicos. Como exemplo podemos citar o PE, que é três vezes mais leve que o alumínio e oito vezes mais leve que o aço. Tal característica motiva o seu uso na indústria de transportes, embalagens, equipamentos esportivos, entre outras aplicações onde a relação peso/resistência é de suma importância.

#### **Alta flexibilidade:**

Variável ao longo de uma faixa bastante ampla, conforme o tipo de polímero e os aditivos usados na sua formulação;

#### **Alta resistência ao impacto:**

Tal propriedade, associada à transparência apresentada por alguns plásticos, permite sua substituição ao vidro em várias aplicações tradicionais, tais como lentes de óculos, faróis de automóveis e janelas de trens de subúrbio, por exemplo, onde são constantemente quebradas por vândalos.

Note-se, contudo, que a resistência à abrasão e a solventes não é tão boa quanto a do vidro. Lentes de acrílico riscam facilmente e são facilmente danificadas se entrarem em contato com solventes como, por exemplo, a acetona.

#### **Baixas temperaturas de processamento:**

A conformação de peças plásticas requer, em geral, aquecimento entre a temperatura ambiente e 250° C. Alguns plásticos especiais, no entanto, podem requerer aquecimento de até 400° C. Isso acarreta um menor consumo de energia para sua conformação, fazendo também com que seus equipamentos sejam mais simples e mais baratos do que os utilizados para a conformação de metais e cerâmicas.

#### **Possibilidade de ajuste fino das propriedades:**

A aditivação de cargas inorgânicas minerais inertes, como, por exemplo, o CaCO<sub>3</sub>, permite reduzir o custo de peças sem afetar suas propriedades. Como exemplo prático, podemos citar pisos de vinil e cadeiras de jardim (PP), que podem conter até 60% de cargas.

O uso de fibras (vidro, carbono, boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caulim, wolastonita) aumentam a resistência mecânica, neste caso, podemos citar o uso de negro de fumo em pneus (borracha) e filmes para agricultura (PE), fato que aumenta sua resistência mecânica e sua resistência ao ataque por ozônio e raios UV.

Aditivos conhecidos como plastificantes podem alterar completamente as características de plásticos como o PVC e borrachas, tornando-os mais flexíveis e tenazes.

A fabricação de espumas é feita através da adição de agentes expansores, que se gaseificam no momento da transformação do polímero, quando ele ainda se encontra no estado fundido.

### **Baixa condutividade elétrica:**

Polímeros são altamente indicados para aplicações onde se requeira isolamento elétrico. Isso se explica pelo fato dos polímeros não conterem elétrons livres, responsáveis pela condução de eletricidade, como no caso dos metais.

Entretanto, a adição de cargas especiais condutoras (limalha de ferro, negro de fumo) pode tornar polímeros fracamente condutores, evitando assim o acúmulo de eletricidade estática, que é perigoso em certas aplicações.

Já existem, porém, alguns polímeros especiais, ainda em fase experimental e sem aplicações industriais, que são bons condutores. O Prêmio Nobel de Química do ano 2000 foi concedido a cientistas que sintetizaram polímeros com alta condutividade elétrica.

### **Baixa Condutividade Térmica:**

A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais. Logo, são altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, particularmente na forma de espumas. Assim como no caso da condutividade elétrica, sua também baixa condutividade térmica se explica pela ausência de elétrons livres.

### **Boa resistência à corrosão:**

As ligações químicas presentes nos plásticos (covalentes/Van der Waals) lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos quando comparados aos metais (ligação metálica).

Isso, contudo, não quer dizer que os plásticos sejam completamente invulneráveis ao problema. De maneira geral, os polímeros são atacados por solventes orgânicos que apresentam estrutura similar a eles. Ou seja, similares diluem similares.

Como exemplo, podemos citar o caso de um CD, que não pode ser limpo com terebentina, já que acabaria danificando a sua superfície.

### **Porosidade:**

O espaço entre as macromoléculas do polímero é relativamente grande. Isso confere baixa densidade ao polímero, o que é uma vantagem em certos aspectos.

Esse largo espaçamento entre as moléculas faz com que a difusão de gases através dos plásticos seja alta. Em outras palavras, podemos dizer que esses materiais apresentam alta permeabilidade a gases, variando conforme o tipo de plástico.

A principal consequência deste fato é a limitação da utilização dos plásticos como material de embalagem, exemplificada pelo prazo de validade mais curto de bebidas acondicionadas em garrafas de PET.

Essa permeabilidade, contudo, pode ser explorada de maneira positiva, como no caso de membranas poliméricas para remoção de sal da água do mar.

### **Reciclabilidade:**

Alguns polímeros, como termorrígidos e borrachas, não podem ser reciclados de forma direta, ou seja, não há como refundi-los ou depolimerizá-los.

A reciclagem de polímeros termoplásticos, apesar de tecnicamente possível, acaba se apresentando economicamente inviável devido ao seu baixo preço e baixa densidade. Somente plásticos com grande demanda de consumo (por exemplo, o PE e o PET) apresentam bom potencial econômico para reciclagem.

Outro problema é o fato do plástico reciclado ser encarado como material de segunda classe, diferentemente do que ocorre com aço ou mesmo o alumínio.

Nos casos em que a reciclagem do polímero não for possível, sempre é possível queimá-lo, transformando-o em energia, em incineradores ou alto-fornos. Esta última saída é mais favorável, pois o carbono do polímero poderia ainda ser aproveitado na redução do minério. Contudo, plásticos que contêm halogêneos (PVC e PTFE, por exemplo) geram gases tóxicos durante a queima, sendo uma solução possível a dehalogenação deste material antes da queima.

## **2.4. TIPOS PRINCIPAIS**

Apresentaremos a seguir os principais tipos de plásticos produzidos e comercializados atualmente.

### **Poliétileno (PE)**

Desenvolvido comercialmente em 1940, o poliétileno é o plástico mais vendido no mundo atualmente. Isso ocorre principalmente pela grande versatilidade desse material, que pode ser quase transparente ou translúcido, rígido ou flexível, natural ou pigmentado. É facilmente processado, não tóxico, não higroscópico (não reage com a água), etc. Outro fator fundamental para o seu elevado consumo é o seu preço bastante reduzido.

Existem basicamente quatro tipos de poliétileno com representatividade comercial, o Poliétileno de alta densidade (PEAD), o poliétileno de baixa densidade (PEBD), o poliétileno de média densidade (PEMD) e o poliétileno de baixa densidade linear (PEBDL).

O poliétileno possui uma das mais simples estruturas de todos os polímeros e pode ser reproduzido através de vários processos que lhe conferem características próprias de densidade, peso molecular e distribuição de peso molecular. É obtido pela polimerização do monômero gasoso etileno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) em reator sob determinadas condições de temperatura e pressão. No processo de alta pressão obtêm-se o PEBD e alguns tipos de PEMD, caracterizados por um alto grau de ramificações longas e curtas ao longo da cadeia principal. O processo de baixa pressão produz o PEAD e outros de PEMD com ramificações de menor número e comprimento. O PEBDL também é polimerizado em baixa pressão.

1. **PEBD:** Como um material flexível, de boa dureza, elevada resistência química, boas propriedades elétricas, facilmente processável, atóxico e inerte, o PEBD encontra um bom campo de atuação pelo processo de sopro.

2. **PEAD:** Possui elevadas características de rigidez, fluência, abrasão, impacto, fendilhamento sob tensão ambiental e resistência química.
3. **PEMD:** O de média densidade possui propriedades intermediárias entre o PEAD e o PEBD, atuando, portanto numa boa faixa de mercado situada nas fronteiras do de alta densidade em aplicações bastante específicas. Geralmente, utiliza-se mistura de PEAD – PEBD nas mais variadas concentrações.
4. **PEBDL:** Quando comparado ao PEBD, tem resistência ao stress cracking, maior brilho, maior rigidez e menor permeabilidade a gases para uma mesma densidade. Estes fatores permitem aos fabricantes da resina o desenvolvimento onde a resistência ao stress é crítica e onde a baixa permeabilidade a gases é necessária. É mais barato do que o PEAD e, em processo de polimerização, mais econômico do que o PEBD convencional. Tudo isto tem proporcionado uma grande penetração no mercado e ótimas perspectivas para o futuro

### **Policloreto de vinila (PVC)**

O PVC não é um material como os outros. É o único material plástico que não é 100% originário do petróleo. O PVC contém 57% de cloro (derivado do cloreto de sódio) e 43% de petróleo. A partir do sal, pelo processo de eletrólise, obtêm-se cloro, soda cáustica e hidrogênio. A eletrólise é a reação química resultante da passagem de uma corrente elétrica por água salgada.

O petróleo, que representa apenas 43% do PVC formado, passa por um caminho mais longo. O primeiro passo é uma destilação do óleo cru para a obtenção da nafta leve. Esta passa então por um processo de craqueamento catalítico (quebra de moléculas grandes em moléculas menores com a ação de catalisadores para a aceleração do processo), gerando assim, o etileno. Tanto o cloro quanto o etileno estão na fase gasosa produzindo o DCE (dicloroetano). A partir do DCE obtém-se o MVC (mono cloreto de vinila, unidade básica do polímero que é formado pela repetição da estrutura monomérica). As moléculas de MVC são submetidas ao processo de polimerização, ou seja, elas vão se ligando e formando uma molécula muito maior, conhecida como PVC (policloreto de vinila), que é um pó muito fino, de cor branca e totalmente inerte. A polimerização é realizada a partir do monômero cloreto de vinila que por sua vez é obtido através de um processo de duas etapas: o etileno reage com HCL gerando o 1,2 – dicloroetano. Este se piroliza a cloreto de vinila e HCL, sendo este último reciclado.

A polimerização em suspensão é o método mais comum de se produzir o PVC, sendo utilizado para moldagem, extrusão e calandragem. Devido à grande instabilidade ao calor e à luz da ligação C – Cl torna-se variavelmente necessária à utilização de estabilizadores térmicos e plastificantes lubrificantes dentre outros para o processamento e utilização do material.

Propriedades básicas: excelente resistência ao stress cracking, inércia térmica, resistência à corrosão e à água, rigidez, transparência, isolamento elétrico e térmico, além de ser sólido e resistente a choques e impermeável a gases e líquidos. Versátil e ambientalmente correto é reciclável e reciclado. Suas propriedades podem ser melhoradas através de uma ampla gama de formulações, porém o preço pode também aumentar.

O seu processamento é delicado devido a sérios problemas de degradação do material.



O PVC possui inúmeras características vantajosas para sua utilização. Ele é leve ( $1,4\text{g/cm}^3$ ), o que facilita seu manuseio, e a aplicação é resistente à maioria dos reagentes químicos e à ação de fungos, bactérias, insetos e roedores.

O PVC é reciclável pode ser utilizado em uma diversidade de produtos com aceitação de até 15% de mistura com outros plásticos.

Além disso, apresenta uma versatilidade de design a custos menores de produção, com máquinas mais simples e de menor custo, moldes econômicos, corpo e alça transparente, facilidade de diversificação de cor e facilidade de impressão.

A reciclabilidade do PVC não é uma novidade. Ela acontece desde o começo da sua produção. No entanto, só tomou impulso de forma mais organizada com os movimentos ecológicos dos países desenvolvidos.

No Brasil representam em média 3%. Os resíduos de PVC representam em média 0,3% do peso total do lixo domiciliar. Isso ocorre porque o PVC é mais utilizado em produtos de longa duração, como tubos e conexões, fios e cabos para a construção civil.

### **Polipropileno (PP)**

A polimerização do propeno, um subproduto gasoso do petróleo, realiza-se com um catalisador de coordenação de forma essencialmente semelhante ao PEAD. O etileno, o propeno e outras oleofinas podem ser polimerizados no mesmo equipamento com apenas poucas modificações, o que permite uma grande flexibilidade de operações.

As condições de operação e os catalisadores são cuidadosamente selecionados a fim de produzir o polipropileno isotático. Também é comercializado em quantidades mínimas na forma atática. O PP isotático, com densidade em torno de  $0,905\text{ g/cm}^3$  e ponto de fusão de  $165^\circ\text{C}$  é essencialmente linear, sendo sua estrutura de 50 a 60% cristalina.

O PP apresenta boa estabilidade térmica, rigidez, resistência química, resistência ao impacto (exceto em baixas temperaturas), estabilidade dimensional, transparência e translucidez.

O PP apresenta facilidade para a incorporação de cargas tais como; talco, fibra de vidro, carbonato de cálcio, borracha, etc., que alteram as propriedades da resina e conseqüentemente as suas aplicações.

### **Poliamida ou Nylon**

Os nylons (nome genérico das poliamidas sintéticas) são representados por um sistema de numeração que indica o número de átomos de carbono das cadeias de monômero.

Os polímeros de aminoácidos são designados por um único número, o nylon 6, para o poli-ácido – w – amino capróico (policaprolactana). Os nylons de diaminas e ácidos dibásicos são designados por dois números: o nylon 6.6 para o polímero de hexametileno diamina e o ácido adípico e o 6.10 para o polímero hexametileno diamina e ácido sebásico.

As poliamidas de interesse comercial são: 6, 6.6, 6.9, 6.10, 6.11, 11 e 12.

O material utilizado pelo processo de sopro é a poliamida 6 que possui elevada resistência mecânica, resistência ao impacto e rigidez, boa transparência, excelente barreira ao oxigênio, ausência de toxidade e grande resistência química. Em contrapartida, apresenta um custo bastante alto, processamento difícil e, comparado a uma poliolefina, alta hidrosopicidade.

No mercado interno não há nenhuma participação significativa do nylon no processo de sopro. Existe, no entanto, uma boa perspectiva de aplicação quando utilizado em blendas com

PEAD, como por exemplo, o selar. Pela propriedade atóxica e barreira, o nylon tem sido bastante utilizado no exterior como camada de barreira em frascos co-extrusados por sopro.

### **Polietileno Tereftalato (PET)**

É um polímero de reação química de policondensação produzido pela reação do dimetil tereftalato com o etileno glicol.

Existem também as resinas reforçadas, que são conhecidas como plásticos de engenharia com cargas minerais ou de vidro que podem ser injetados ou extrudados. Necessitam de secagem antes do processamento.

Os copoliésteres têm cadeia mais irregular com menor tendência à cristalização e também precisam de secagem antes do processamento.

Existe o PET-A, preparado a partir de ciclo hexano-dimetanol, ácido tereftálico e outros ácidos dibásicos, que é amorfo e utilizado em filmes e chapas para embalagem de alimentos e outros produtos. Há também o PETG que é um PET glicol – modificado com as seguintes características: dureza, rigidez, boa resistência química e que pode ser processado por sopro, injeção e extrusão.

Os frascos podem conter xampu, detergente, óleos minerais e produtos alimentícios. Deve também ser mencionada a transparência, a resistência ao impacto e a ausência de toxicidade do PETG.

O PET para frascos possui maior peso molecular e viscosidade intrínseca do que os outros PET (co-poliésteres e reforçados). São polímeros obtidos por polimerização de materiais de peso molecular intermediário. No processamento, o material é orientado de forma a aumentar a rigidez, transparência, propriedades de barreira a gases e resistência ao fendilhamento sob pressão de CO<sub>2</sub>. Necessitam de secagem para o processamento. São moldados por estiramento – sopro, devendo-se mencionar também a sua ampla utilização em co-extrusão-sopro.

### **Poliestireno (PS)**

Geralmente é classificado como poliestireno cristal ou alto-impacto. Produzido pela polimerização do monômero de estireno a elevadas temperaturas é um polímero amorfo de baixa resistência ao impacto. Com a incorporação de elastômeros, essa resistência aumenta bastante. Material tradicionalmente injetável e extrudável para perfis e chapas para termoformagem, pode ser moldado por sopro convencional e também por injeção-sopro.

## **2.5. PROCESSAMENTO**

Após a fabricação nas indústrias petroquímicas, as resinas são adquiridas por unidades de processamento, onde podem sofrer diversos processos até chegarem à forma final, pronta para o consumo, seja na forma de embalagens, fibras ou mesmo produtos acabados. Os principais processos de conformação a serem discutidos neste trabalho são a extrusão e a injeção, que perfazem os dois principais meios de processamento.

### **Extrusão**

O processo de extrusão consiste em comprimir continuamente o material contra um ou vários orifícios, de forma que o produto possua uma forma alongada. É utilizado para a produção de fios, tubos, barras, filmes, entre outros.

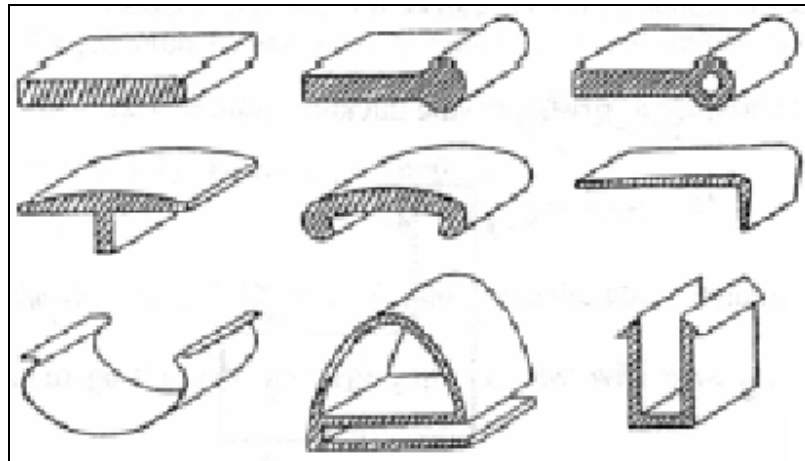


Figura 5 - Perfis Extrudados

A máquina consiste de um funil alimentador, onde a resina escoa por gravidade até a entrada do equipamento; posteriormente os grânulos entram em contato com o início da rosca sem fim, que é a responsável pela compressão contínua do material. A rosca se encontra dentro de um cilindro aquecido que é responsável pelo término da fusão do material. À medida que o material caminha, devido ao movimento da rosca, ele vai amolecendo e sendo comprimido contra a matriz, que nada mais é do que a peça na qual se encontram os perfis por onde o material, já derretido, tem que passar. O fluxo contínuo de material é a característica deste processo. Trata-se de um processo rápido e relativamente barato, se comparado aos outros processos.

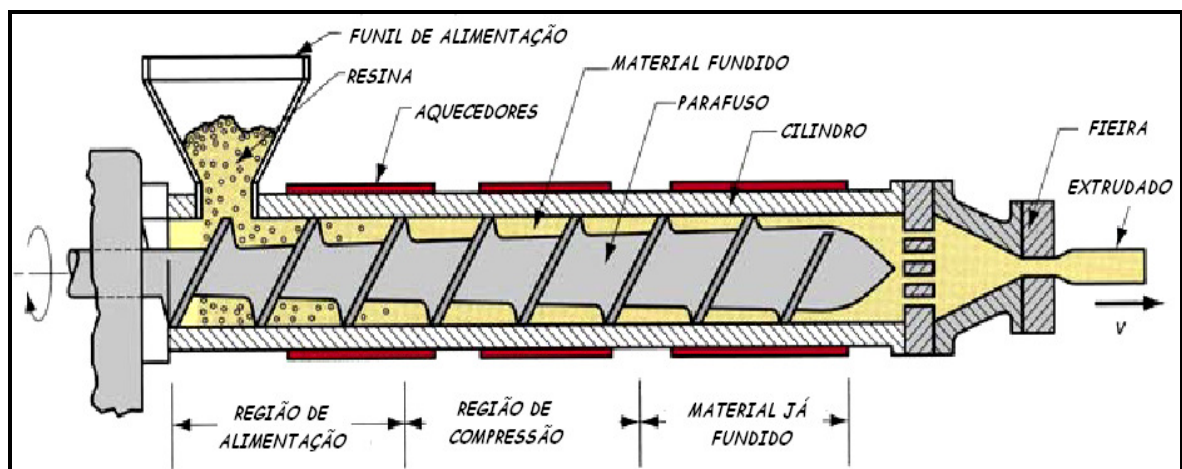


Figura 6 - Extrusora

Podemos observar que, à medida que o material vai sendo fundido, a folga existente entre a rosca e o cilindro vai diminuindo, ocorrendo a compressão do mesmo. Após a saída da extrusora, o material precisa ser resfriado, o que na maioria das vezes se dá por fluxo de ar ou água.

### Injeção

Trata-se de um processo que, num primeiro estágio é semelhante à extrusão (figura 5.3), com equipamentos semelhantes à extrusora. A grande diferença está na execução do processo. Ao contrário do que ocorre na extrusão, não há um fluxo contínuo de material. A rosca, após derreter o material começa a funcionar como um êmbolo que vai empurrando o material contra canais que levam o fluxo de plástico fundido até o molde (figura 5.4).

Posteriormente, o fluxo de material para o molde é cessado com o recuo do cilindro e o fecho dos canais que levam ao molde (figura 5.5). É neste momento que começa o resfriamento do produto. Após estar totalmente resfriado, ele é ejetado para fora do molde (figura 5.6) e está pronta a peça.

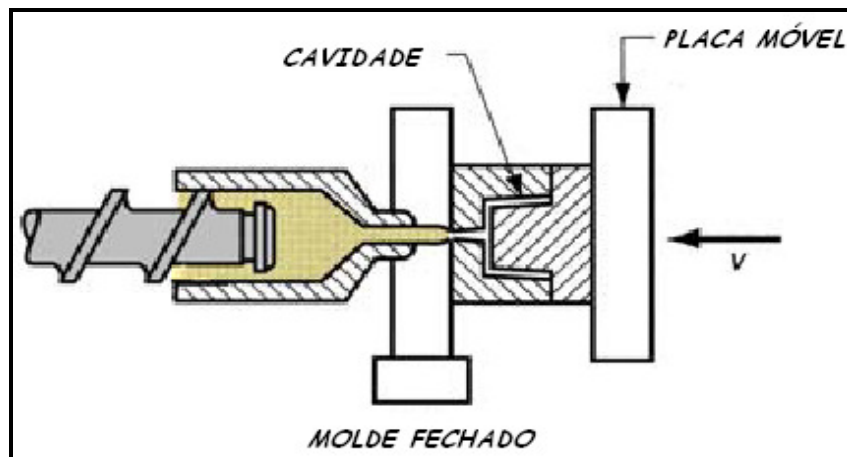


Figura 7 - Equipamento atuando igualmente à injetora.

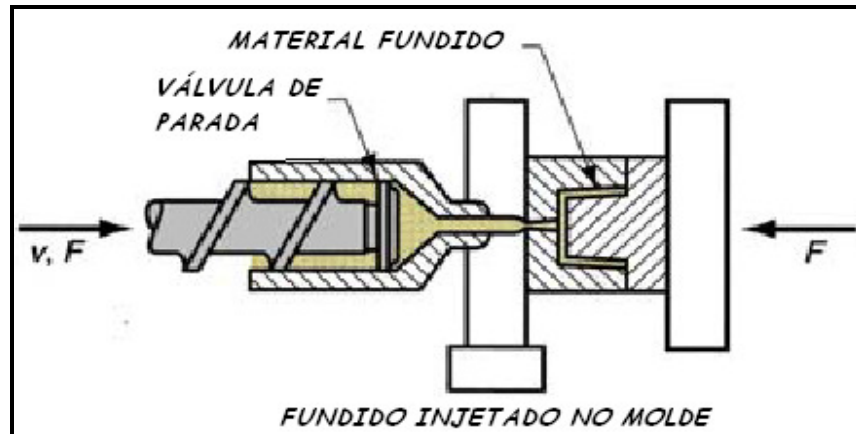


Figura 8 - Parafuso atuando com embolo.

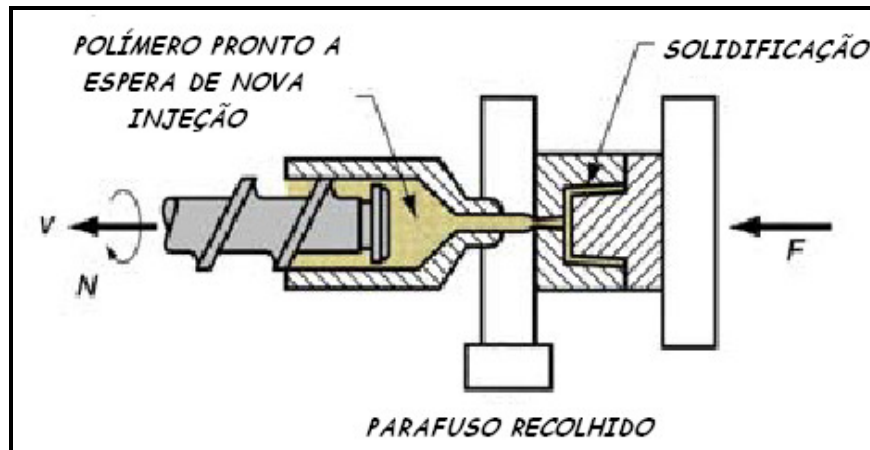


Figura 9 - Recuo do parafuso e solidificação do produto

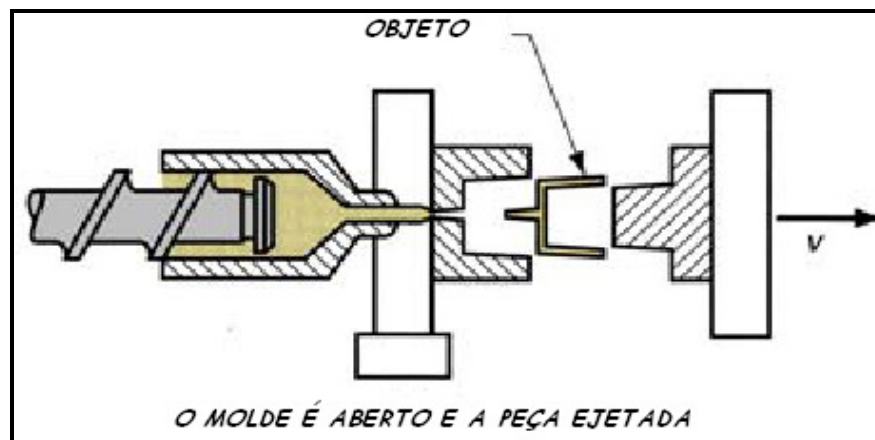


Figura 10 - Abertura do molde e ejeção da peça

Este processo ocorre em um intervalo de tempo curto, o que possibilita a execução de um grande número de peças. Todo o processo dura cerca de 35 segundos, sendo 1 segundo para o fecho do molde, 4 segundos para a injeção, 10 para a compactação, 18 para o resfriamento e os 2 segundos restantes para a abertura e ejeção.

O molde é resfriado para que ocorra solidificação do material. Esta é uma parte crítica do processo, uma vez que se o resfriamento não for conduzido de forma correta, acarreta o descarte do produto. É nessa etapa que pode ocorrer o fenômeno conhecido como rechupe, que surge quando as extremidades do material se resfriam e o interior ainda está pastoso. Uma vez que com o resfriamento temos uma diminuição do volume do material, ocorre uma contração na superfície da peça, impossibilitando o seu uso.

Outro problema que pode ocorrer é o aparecimento das linhas de solda, que ocorre quando dois ou mais fluxos de preenchimento se encontram e não conseguem se unir. Ocorre quando temos a injeção de peças vazadas ou furadas. O material plástico ao contorná-lo perde calor para o molde e as fronteiras do fluxo de material tornam-se mais frias, o que vai dificultar a união dos fluxos.

Por último, outro efeito corriqueiro na injeção é a diminuição do volume da peça após ser ejetada do molde. Este fenômeno ocorre, em maior ou menor grau, com todos os artefatos produzidos por injeção e deve ser considerado no projeto do molde.

## 2.6. RECICLAGEM

A reciclagem de resíduos urbanos é uma cadeia produtiva com alto grau de complexidade, envolvendo os catadores, donos de ferro-velho, associações, esferas públicas, indústrias de transformação, dentre tantos outros agentes. O processo de coleta dos resíduos é parte fundamental do processo de reciclagem, além de fonte de matéria-prima para as indústrias de transformação dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Podemos afirmar que a reciclagem de materiais plásticos é um ponto fundamental no reaproveitamento dos RSU, visto que aproximadamente 23% em peso dos resíduos urbanos são compostos por descartes de material plástico. Por outro lado, se analisarmos o volume representativo dos descartes, veremos que este número aumenta consideravelmente, devido à baixa densidade dos plásticos e a sua larga utilização em embalagens.

Segundo a última pesquisa feita pelo IBGE em 2000 e relatada em 2002, 21,2% dos resíduos eram despejadas a céu aberto, 0,1% em rios ou córregos, 37% em aterros controlados (aterros cobertos periodicamente). Deste total, 58,3% dos RSU, não possuem uma destinação ambientalmente correta. Do restante, 36,2% vão para aterros sanitários (local adequadamente preparado para receber RSU), 2,9% destinam-se a centros de compostagem, 1% para centros de triagem e 0,4% para unidades de incineração. O restante do material é levado a lugares não listados acima.

O acúmulo de materiais plástico nos aterros, sejam eles próprios ou não para a deposição do lixo, dificulta a decomposição dos outros materiais, já que se transformam numa barreira natural para a passagem dos gases e líquidos formados pela decomposição dos demais resíduos. Mais um ponto importante para a reciclagem dos resíduos plásticos é o seu enorme tempo para a decomposição, chegando a levar mais de 1.000 anos para se decompor.

## **Tipos de reciclagem**

A Sociedade Americana de Ensaio de Matérias (ASTM) normalizou a reciclagem de acordo com o tipo de resíduo e a sua finalidade em relação à reciclagem. São eles:

1. **Reciclagem primária:** este tipo de reciclagem trata do reaproveitamento de resíduos industriais no processamento das resinas plásticas. Por serem subprodutos do processamento, são isentos de contaminantes, gerando um novo produto com o mesmo teor de pureza do objeto fabricado com a resina virgem.
2. **Reciclagem secundária:** neste caso, as matérias-primas da reciclagem são materiais de descarte após o consumo. Na maioria das vezes se encontram com grande quantidade de contaminantes, o que leva a um processo mais complexo, envolvendo uma ou mais lavagens. Contudo, o ponto diferencial em relação à Reciclagem Primária, é que seus produtos finais não possuem as mesmas características do que os fabricados com resina virgem.
3. **Reciclagem terciária:** em tal processo, obtém-se a degradação do polímero em materiais primários, que possam passar novamente por processos de polimerização. Este tipo de reciclagem não está difundido no Brasil devido ao alto custo das plantas industriais necessárias para o processo.
4. **Reciclagem quaternária:** neste processo, incinera-se o material com o objetivo de aproveitar o calor gerado para a produção de energia. Seu emprego é muito restrito, sendo usado na Europa e em mais larga escala no Japão.

Tal divisão não é muito apropriada, sendo mais sensato dividir os tipos de reciclagem pelos seus processos e não pela finalidade. Assim, temos uma divisão mais equilibrada de acordo:

1. **Reciclagem mecânica:** quando o plástico é selecionado, moído, lavado, aglutinado (somente para filmes) e conformados. Com isso, obtemos os grânulos que podem dar origem a diversos utilitários de plástico, contudo a qualidade dos mesmos dependerá do correto processamento dos resíduos. Podemos afirmar, que envolvemos tanto a reciclagem primária quanto a secundária neste tópico.
2. **Reciclagem química:** nesta classificação, o objetivo é a degradação do polímero para que ele volte a ser matéria-prima para a produção de resinas plásticas. Os produtos resultantes têm a mesma qualidade dos produtos feitos a partir de resinas virgens. Equivalente à reciclagem terciária.
3. **Reciclagem Energética:** neste processo, o plástico é incinerado, resultando em liberação de energia térmica. Trata-se da reciclagem quaternária.

Acompanhe o fluxograma a seguir onde descrevemos os possíveis caminhos que os resíduos podem seguir levando-se em conta os três tipos de reciclagem.

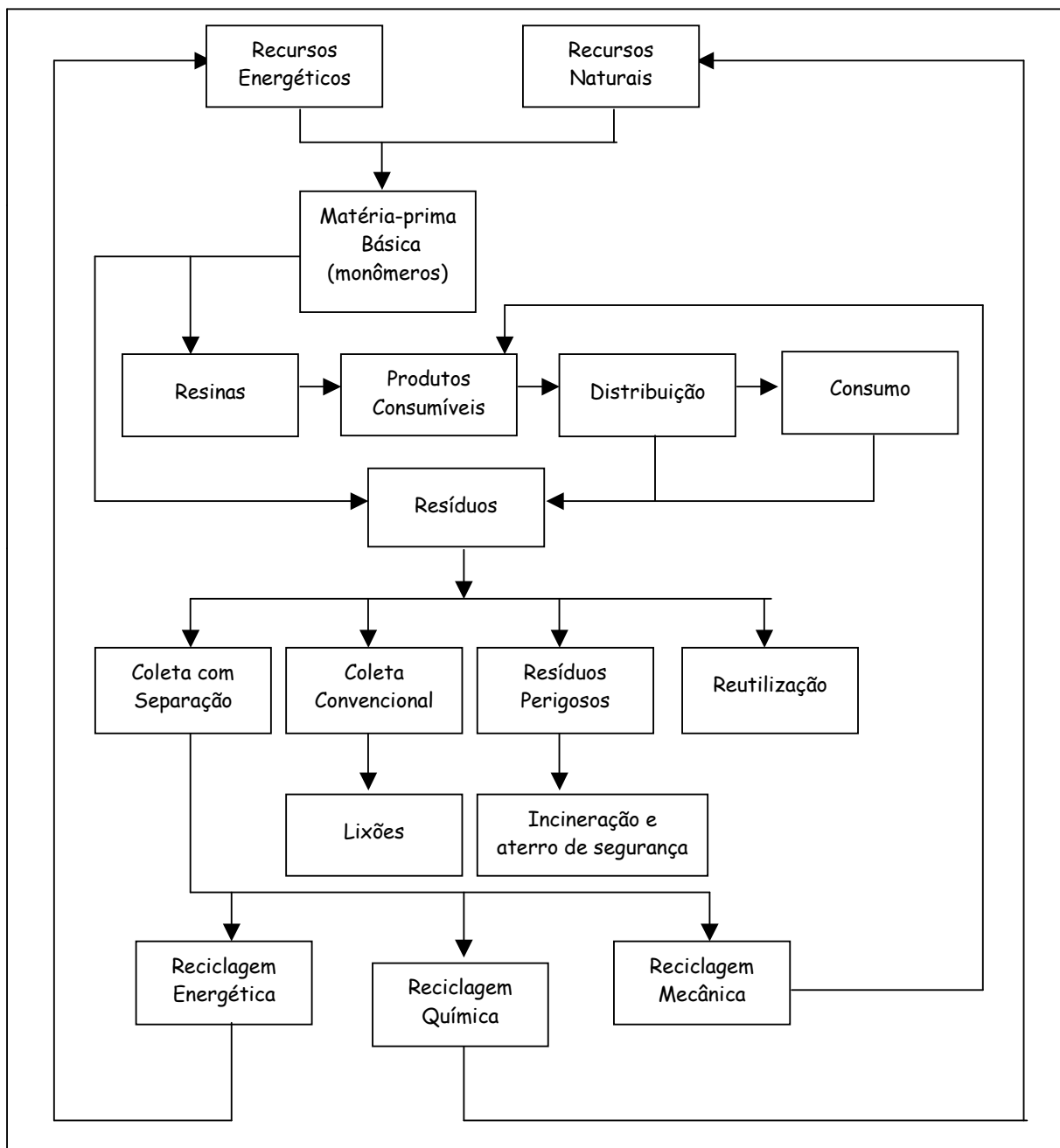


Figura 11 - Fluxograma da reciclagem (adaptado resíduos plásticos e reciclagem aspectos gerais e tecnologia 2004)

No Brasil, a reciclagem mecânica, tanto a primária quanto a secundária, é praticamente a única praticada. Por isso, será mais bem detalhada a seguir.



### **2.6.1. RECICLAGEM MECÂNICA**

Este processo de reciclagem se confunde com a história da indústria de processamento de plásticos, uma vez que todos os equipamentos necessários para a sua realização são praticamente os mesmos utilizados na indústria plástica. E foi na referida indústria que se começou a reciclagem, com o reaproveitamento das sobras dos processos e peças defeituosas que geram produtos de mesma qualidade, pois não há contaminantes nestas.

Ao relacionarmos a reciclagem mecânica com a reciclagem de resíduos sólidos urbanos, temos que levar em conta alguns fatores que são fundamentais. Primeiro, a grande maioria dos plásticos reciclados no Brasil são rígidos, uma vez que os filmes se encontram com um alto grau de contaminação, tornando assim a sua limpeza muito complexa e onerosa. Com isso, temos um efluente resultante da lavagem com um poder de poluição muito grande, sendo assim necessário o seu tratamento. Outro ponto fundamental que será abordado mais adiante é a questão da separação por tipo de plástico, prática esta que depende muito da perícia do separador.

Agora descreveremos as etapas de separação, moagem, lavagem, enxágüe, secagem e transformação.

#### **Separação**

Esta, sem dúvida alguma, é a fase mais crítica do processo de reciclagem. Para que se obtenha um produto reciclado com boas características técnicas faz-se necessário que haja somente um tipo de plástico no produto reciclado. A separação pode ocorrer de diversas maneiras. Em países desenvolvidos, onde há planos de coleta seletiva, a separação é facilitada.

Separam-se primeiramente plásticos rígidos dos filmes. Os rígidos são separados por cor e, algumas vezes, por tipo de produto embalado. A separação por cores visa um reciclado mais homogêneo e, a por tipos de embalados, a facilitação do processo de lavagem. Na separação ainda são retirados todos os tipos de contaminantes tais como rótulos, lacres, grampos, tampas e todo tipo de material que não seja útil à reciclagem. Os processos de separação podem ser manuais, por diferença entre densidades, eletromagnético (no caso dos metais ferrosos), etc.

Na reciclagem mecânica, a utilização de plásticos diferentes leva a um produto com qualidades mecânicas inferiores àqueles fabricados com resina virgem.

#### **Moagem**

Para o prosseguimento do processo, o material plástico tem que ser reduzido, para que se evitem dobras e assim, que se acumule sujeira nestes pontos mesmo após a lavagem.

Na moagem, utiliza-se moinho de facas. Este equipamento pode ser descrito como o conjunto de facas fixas e móveis. As facas fixas estão presas à estrutura da máquina enquanto as facas móveis estão unidas ao eixo desta.

O tamanho médio dos flocos (flakes) é obtido ajustando as folgas existentes entre as facas fixas e móveis. Abaixo das facas há uma espécie de “peneira” onde os flocos do tamanho desejado passam e estão prontos para seguir o processo, enquanto os flocos maiores continuam dentro do moedor até atingirem o tamanho ideal.

Os sistemas de separação por diferença de densidade são empregados posteriormente à moagem, no processo de lavagem.

## **Lavagem**

Esta etapa serve para retirar as impurezas que os materiais plásticos carregam juntos de si, como gordura, areia, outros plásticos, papéis e rótulos. Para o processo de lavagem utiliza-se água ou soluções aquosas.

Alguns dos contaminantes são solúveis em água o que facilita sua remoção, contudo, a grande maioria não é solúvel. Para removê-los é necessária a utilização de alguma solução solvente. Utilizam-se detergentes ou então, para reduzir custos, soluções de soda cáustica. Tal solução pode danificar os equipamentos utilizados na lavagem.

Para o processo de lavagem, é necessário um grande tanque onde o material previamente triturado é despejado. Caso o material seja menos denso que a água, sua locomoção no tanque é feita com batedores e um conjunto de lâminas rotativas que empurram o material até o final do percurso.

Já para materiais mais densos que a água, como o PET, é utilizado um parafuso chamado rosca sem fim, que ao girar transporta o material. Este equipamento fica submerso, juntamente com os flocos.

Para um melhor rendimento do processo, emprega-se o uso de água aquecida, o que facilita a remoção dos resíduos, porém, aumenta o custo do processo.

Se quisermos fazer a separação de algum material por diferença de densidade, pode-se empregar água ou então soluções como água-sal ou água-álcool. Contudo, a determinação da densidade de cada tipo de floco é essencial para determinarmos o tipo de solução a ser usada.

Não se pode deixar de salientar que a lavagem dos resíduos plásticos gera um efluente com alto poder contaminante, por isso, a unidade de reciclagem tem que contar com uma Estação de Tratamentos de Efluentes (ETE).

## **Enxágüe**

Esta fase do processamento dos plásticos pós-consumo só é aplicada quando há a necessidade de utilização de agentes de limpeza, tais como detergente e soda cáustica, em sua lavagem.

Podem ocorrer três tipos de problemas caso os produtos químicos utilizados na lavagem sejam carregados juntamente com os flocos:

- Aderidos aos flocos e submetidos a altas temperaturas, podem desencadear reações químicas superficiais, degradando o material;
- Funcionarem como lubrificantes no processamento, acarretando modificações na produtividade;
- Contaminação dos produtos finais.

O enxágüe pode ser feito em um novo tanque após a lavagem ou através de jatos de água orientados contra os flocos.

## **Secagem**

Aqui, o material que foi previamente selecionado, moído, lavado e enxaguado é submetido a métodos de secagem para a total eliminação da água contida nos flocos. Para o processo de secagem são utilizados secadores com circulação de ar quente e seco, estufas naturais e artificiais e ainda centrífugas.

O caso mais crítico é o do PET, que não pode conter umidade alguma, pois este sofre de degradação hidrolítica (em presença de água), levando à produção de produtos sem a mesma qualidade dos produtos feitos com resina virgem. Para a secagem do PET utilizam-se sopradores a temperaturas entre 100° C e 150° C, enquanto os demais plásticos necessitam apenas de centrifugação e posterior secagem em estufas naturais, com temperaturas entre 40° C e 45° C.

Esta etapa é altamente onerosa, visto que consome uma grande quantidade de energia. Daí o cuidado com o transporte dos flocos já secos até o funil de alimentação da extrusora para que não haja contaminação com o ar ambiente. Para esta tarefa, utilizam-se sugadores que jogam diretamente os flocos no funil, evitando o contato com a atmosfera.

### **Aglutinação**

Este procedimento é necessário quando se trabalha com plásticos na forma de filme ou produtos com espessura muito fina, como copos descartáveis. O equipamento utilizado aqui é o aglutinador, que consiste em recipiente com pás giratórias no fundo (similar a um liquidificador).

Ao serem despejados, os flocos de filmes são forçados a atritar tanto entre si, quanto com as pás e as laterais do equipamento. Este atrito é responsável pelo aquecimento do material, fazendo com que pedaços se juntem, aumentando assim a densidade dos flocos. À medida que a temperatura dos flocos vai aumentando, inicia-se o surgimento de uma pasta e nessa hora o operador despeja certa quantidade de água para provocar um rápido resfriamento e encolhimento dos flocos, conseguindo assim o resultado desejado. Finalmente é aberta a parte inferior do equipamento para que os flocos sigam para o processamento, agora em uma granulação mais adequada.

A aglutinação se faz necessária, uma vez que os flocos oriundos da moagem de filmes e plásticos muito finos apresentam problemas na entrada da extrusora devido a sua baixa densidade, ocasionando o entupimento do equipamento. Nesta etapa, quando necessário, é feito o acréscimo de aditivos e cargas.

Em alguns casos, faz-se a aglutinação pelo simples aquecimento do material antes de ser encaminhado à extrusora, o que pode elevar a produtividade do processo em até 30%.

### **Transformação**

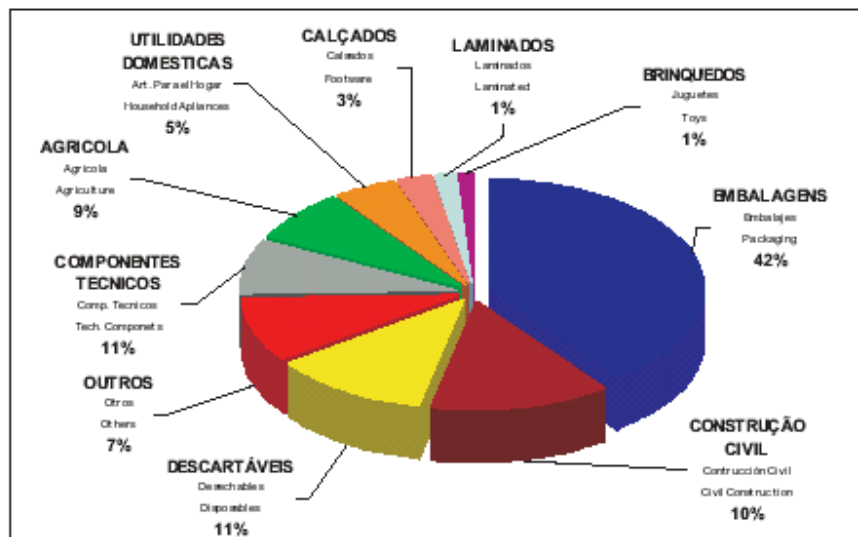
Praticamente todos os processos que são utilizados para a transformação dos produtos plásticos, com pequenas modificações, são aplicáveis à indústria de reciclagem.

## **2.7. UTILIZAÇÕES**

Devido a sua ampla versatilidade, os plásticos a cada dia vêm sendo mais utilizados pela sociedade moderna. Através da combinação de resinas, aditivos e cargas, é possível se obter uma ampla gama de formas, cores e transparências, assim como diferentes níveis de resistência química e mecânica, o que, em muitos casos, acaba por baratear os custos de seu processamento. Conseqüentemente, em muitos casos onde anteriormente se utilizavam outros materiais como metais, vidros, madeiras e fibras naturais, por exemplo, suas aplicações vêm sendo cada vez mais substituídas por plásticos. Apesar de geralmente serem conhecidos como materiais baratos e inferiores, atualmente existem aplicações importantes e diversas pesquisas para o melhoramento

de suas qualidades, tornando-o um material altamente recomendado para diversas situações, desde que se respeitem suas propriedades.

Segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico), o maior mercado brasileiro de plásticos, durante o ano de 2005, foi o segmento de embalagens, este respondendo por quase metade do mercado nacional de produtos transformados de plásticos, representando 32,2% do total de embalagens produzidas no Brasil segundo a ABRE (Associação Brasileira de Embalagens). O setor também se destaca pelo número de empregos formais gerados, num total de 90.424 em 2005, mais de metade dos empregos gerados pela indústria brasileira de embalagens.



Fonte: Estimativa ABIPLAST  
Source: ABIPLAST

Figura 12 - Mercado Brasileiro de Plásticos

Outro setor que vale a pena ser destacado é o da construção civil, que vem gradativamente aumentando o consumo de plásticos, tendo este conquistado destaque junto a materiais tradicionalmente utilizados. O principal e mais antigo exemplo da sua utilização é o cloreto de polivinila (PVC), que é o plástico de maior número de utilizações na construção civil. Seu maior uso é nas tubulações de água, esgoto e eletricidade, sendo também utilizado em peças como sifões, válvulas e junções além de coberturas, onde as telhas de plástico substituem as tradicionais telhas de vidro, visando a iluminação natural. Inúmeros outros exemplos podem ser relacionados como os acrílicos, de qualidade ótica e aparência comparável ao vidro, usados basicamente em aparelhos de iluminação e em decoração como paredes divisórias; as resinas epóxicas, usadas como adesivos, selantes, revestimentos e pavimentação; os silicones, também utilizados como adesivos e para vedação de juntas de pequenas dimensões; e o polietileno, utilizado como tubulação e em folhas, como proteção de materiais contra intempéries; entre outros.

Além dos já citados, muitos outros segmentos industriais apresentam crescentes índices de utilização de plásticos. A seguir cada tipo de plástico será relacionado com alguns produtos utilizados no nosso cotidiano.

**Polimetacrilato de metila (PMMA):** Utilizado em lanternas automotivas, tecidos especiais, letreiros e outros produtos em substituição ao vidro.

**Polietileno Tereftalato (PET):** Encontra aplicações principalmente em embalagens para bebidas gasosas, vinho, água, produtos alimentícios, medicinais e cosméticos, filmes fotográficos, revestimentos e fibras.

**Policloreto de vinila (PVC):** Possui diversas aplicações, sendo utilizado nas camadas centrais de tubos de esgoto, em reforço para calçados, juntas de dilatação para concreto, perfis, cones de sinalização, esquadrias, embalagens de água mineral, produtos alimentícios, bolsas de soro e sangue, material hospitalar, lonas e filmes para agricultura.

**Poliamoda (Nylon):** Usado em tecidos, revestimentos, linhas de pesca e fibras.

**Politetrafluoretileno (PTFE):** Possui aplicações em revestimentos antiaderentes, torneiras, válvulas e gaxetas.

**Poliacetato de vinila (PVA):** Usados em aditivos para concreto (Vedacit), tintas de parede e colas tipo látex.

**Poliacrilonitrila (PAN):** Suas principais aplicações são tecidos substitutos da lã e fibras em geral.

**Poliftalato maleato de etileno estirenizado (Polylite):** Fibras utilizadas em banheira e piscinas, capotas de proteção, reforços para telhas, casco de navios e cadeiras de praia.

**Poliestireno (PS):** Utilizado em frascos para produtos farmacêuticos e alimentícios, peças de produtos eletro-eletrônicos, produtos descartáveis, embalagens alimentícias, eletrodomésticos, etc.

**Poliuretano (PU):** Suas aplicações são solados de sapatos, espuma de estofados e colchões, espuma rígida para embalagens, couro sintético e revestimentos em geral.

**Policarbonato (PC):** Utilizados em óculos de segurança, placas resistentes ao impacto, janelas de segurança e tubos de centrífuga.

**Polipropileno (PP):** Aplicado em componentes automobilísticos (reservatório de óleo de freio, porta luvas, visor, dutos de ar, pára-choques, etc.), armação de cadeiras, reservatório de ferro a vapor, brinquedos, recipientes industriais, embalagem de produtos diversos (farmacêuticos, antibióticos, cosméticos, pesticidas, herbicidas, veterinários, detergentes e bebidas), utensílios de hospital e laboratório, válvulas, etc.

**Polioximetileno (Delrin):** Usado principalmente na fabricação de peças para uso mecânico e elétrico.

**Polietileno de alta densidade (PEAD):** Encontra aplicações em frascos e recipientes para detergente; materiais de limpeza; água, leite, sucos, xaropes, ceras, produtos farmacêuticos, tanques de combustíveis para veículos, máquinas pequenas e motos, peças automotivas, brinquedos, baldes e bombonas para diversos produtos químicos diversos, etc.

**Polietileno de baixa densidade (PEBD):** Suas principais aplicações são frascos espremíveis, brinquedos, utilidades domésticas, ampolas de soro, embalagens para produtos medicinais, etc.

**Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL):** Suas aplicações representativas são em tambores de até 200 litros, além de frascos de cosméticos e medicamentos.

**Polissiloxanos (Silicones):** Usado como adesivo, implantes e superfícies expostas a altas temperaturas.

**Acetato de celulose:** Aplicado principalmente na produção de filmes fotográficos, embalagens, brinquedos e fibras.

**Resinas epóxicas:** Encontra sua principal aplicação em tintas anticorrosivas, calafetadores, adesivos e pisos.

**Resinas de uréia formaldeído:** Utilizado em vernizes para madeira, peças industriais elétricas e em adesivos em compensado.

**Resinas de fenol formaldeído:** Utilizado principalmente em preparação de amostras para micrografia, laminados para móveis, peças para uso elétrico e revestimentos.

**SBR:** Sua maior aplicação se dá na produção de pneus automotivos e correias transportadoras.

### 3. A MADEIRA

Madeira é um material sólido, orgânico, higroscópico e ortotrópico (cresce de forma diferente nas dimensões espaciais) obtido normalmente do tronco ou galhos de plantas lenhosas, especialmente das árvores, mas também dos arbustos. Do ponto de vista comercial, a madeira somente é encontrada em árvores com altura superior a 6 metros.

A madeira é um produto do tecido xilemático formado pelas plantas com uma função de condução de seiva e sustentação sendo, por isso, utilizada frequentemente como um material estrutural efetivo e eficiente pela humanidade.

Ela é constituída de fibras de celulose, unidas por lignina. O xilema é um tecido estruturalmente complexo composto por um conjunto de células com forma e função diferenciadas e é o principal tecido condutor de água nas plantas vasculares. Possui ainda as propriedades de ser condutor de sais minerais, armazenar substâncias e sustentar o vegetal. É importante ressaltar que o xilema é encontrado em várias regiões dos vegetais, não só no caule, como raiz e ramos. Nem todas as espécies que produzem tecido xilemático são reconhecidas comercialmente como produtoras de madeira. O xilema é um tecido característico das plantas superiores, incluindo nesta categoria vários tipos de plantas: arbustos, cipós e árvores. A presença de xilema na espécie não significa, entretanto, que a mesma está apta ao uso industrial, no que se refere a desdobro de toras. Para tanto, requer-se à espécie que possua volume necessário que justifique sua exploração. Portanto, toda madeira é proveniente de tecido xilemático, mas, sob a ótica comercial, nem todo tecido xilemático produz madeira. Os principais tipos de células encontradas no xilema são:

**Fibras:** Células existentes no lenho das angiospermas, alongadas, imperfuradas, com pontochões simples ou areoladas nas paredes. Muitas das propriedades físicas e mecânicas do caule dependem da morfologia destas células.

**Elementos de vaso:** Os vasos são estruturas formadas por uma junção de células perfuradas, chamadas de elementos de vaso, que se comunica entre si, formando longos dutos que conduzem a seiva no sentido axial. Os vasos são característicos de espécies pertencentes às angiospermas, havendo algumas exceções. Representam uma grande evolução biológica dos vegetais no sentido de transporte de seiva.

**Raios:** Os raios são células parenquimáticas que se prolongam no sentido da casca para a medula. Possuem a função de alimentar o tecido neste sentido e costumam acumular muitas substâncias nutritivas, além de inclusões. É chamado também de parênquima radial.

**Traqueídeos:** Constituem-se de células alongadas, delgadas, de contorno geralmente angular e com funções mistas de condução e sustentação, características das gymnospermas, apesar de estarem presentes também em várias angiospermas.

**Parênquima axial:** Células que possuem como função principal acumular substâncias nutritivas, o parênquima confere baixa resistência a esforços mecânicos, pois possui baixo nível de lignina em sua constituição. É um tecido facilmente atacado por organismos xilófagos.

Algumas outras estruturas especiais são características de determinadas espécies, gêneros ou famílias, como os canais resiníferos, canais secretores axiais, fibrotraqueídeos e outras.

Do ponto de vista químico, a madeira é um tecido composto por vários polímeros orgânicos. Como já descrito anteriormente, polímeros são moléculas feitas de muitas subunidades repetidas, os monômeros. A parede celular do xilema tem como estrutura básica a celulose - molécula linear de açúcar ou um polissacarídeo composto por monômeros de glucose. Estes polímeros de celulose compõem cerca de 40 a 45% do peso seco da maioria das madeiras. Além da celulose também está presente na madeira a hemicelulose, formada por muitas combinações de pentoses de açúcar (xylose e arabinose). Difere em alguns aspectos da celulose (principalmente em conformação, grau de polimerização e peso molecular), mas são de alguma forma similar. O terceiro maior constituinte da madeira é a **lignina**, molécula polifenólica tridimensional, pertencente ao grupo dos fenilpropanos, de estrutura complexa e alto peso molecular. Confere à madeira a resistência característica a esforços mecânicos. Muitas outras substâncias químicas estão ainda presentes nas madeiras, como os extrativos (resinas, taninos, óleos, gomas, compostos aromáticos e sais de ácidos orgânicos).

### 3.1. CLASSIFICAÇÃO

As madeiras podem ser classificadas em duas categorias principais, segundo seus grupos vegetais: Gimnospermas e Angiospermas. As Gimnospermas, mais especificamente as coníferas, são conhecidas por resinosas, não porosas ou, mais comumente, macias. O termo “não porosa” se refere ao fato dessas madeiras não apresentarem vasos ou “poros”. Já as Angiospermas, especificamente as dicotiledônias, são denominadas folhosas, porosas ou duras. Essa última denominação é, por vezes, muito desvantajosa, já que algumas madeiras duras, como a balsa, na verdade são muito mais moles do que a maioria das chamadas madeiras macias, e por outro lado, algumas madeiras macias, como o teixo, são muito mais duras do que a maioria das madeiras duras.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

Assim como no caso dos plásticos, as madeiras podem apresentar diferenças de características igualmente significativas, dependendo de inúmeros fatores, como por exemplo, a espécie a ser analisada, o teor de umidade contido pela mesma e até as condições climáticas de seu crescimento. A seguir serão apresentadas algumas características gerais da maioria das espécies de madeira:

**Massa específica:** É a razão entre a quantidade de massa por unidade de volume. Algumas espécies são naturalmente mais pesadas que outras mesmo apresentando dimensões iguais. Geralmente, espécies mais pesadas, apresentam características mais duradouras. Os índices de massa específica variam de espécie para espécie e dependem de uma série de fatores estruturais bem como dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes no lenho. O pau de balsa (*Ochroma lagopus*, Bombacaceae) é a madeira brasileira mais leve (seu peso específico é de  $0,13 \text{ g/cm}^3$ ). À medida que o peso específico aumenta, elevam-se proporcionalmente a resistência mecânica e a durabilidade e, em sentido contrário, diminuem a permeabilidade a soluções preservantes e a trabalhabilidade.



**Umidade:** Relaciona-se ao teor de água que a madeira apresenta. Quando recém cortado, o tronco de uma árvore encontra-se saturado de água. Muitos fatores irão influenciar o teor de umidade, entre eles a anatomia do xilema. Da umidade irão depender diretamente as propriedades de resistência, poder calorífico, capacidade de receber adesivos e secagem, entre outras. A água na madeira pode estar presente preenchendo os espaços vazios dentro das células ou entre elas (água livre ou água de capilaridade), pode estar aderida à parede das células (água de adesão) ou pode estar compondo a estrutura química do próprio tecido (água de constituição). Esta última somente pode ser eliminada através da combustão do material.

**Retratibilidade:** É o fenômeno de variação nas dimensões e no volume em função da perda ou ganho de umidade que provoca contração em uma peça de madeira. Está relacionada às e aos defeitos de secagem. A contração pode ocorrer e ser avaliada em três aspectos:

- **Contração tangencial:** Variação das dimensões da madeira no sentido perpendicular aos raios;
- **Contração radial:** Variação das dimensões da madeira no sentido dos raios;
- **Contração volumétrica:** Variação das dimensões da madeira considerando-se como parâmetro o seu volume total.

**Condutividade térmica:** Devido à organização estrutural do tecido, que retém pequenos volumes de ar em seu interior, a madeira impede a transmissão de ondas de calor ou frio. Assim a madeira torna-se um mal condutor térmico, isolando calor ou frio.

**Condutividade sonora:** A propagação de ondas sonoras é reduzida ao entrar em choque com superfícies de madeira. O procedimento de empregar madeira como revestimento de paredes enfraquece a reverberação sonora e melhora a distribuição das ondas pelo ambiente, tornando-a um produto adequado para o condicionamento acústico.

**Resistência ao fogo:** Apesar da madeira ser considerada um material inflamável, quando apresenta dimensões superiores a 25 mm (topo) é mais lentamente consumida pelo fogo que outros materiais. Isto ocorre, pois quando o fogo atinge a madeira, destrói rapidamente a superfície, formando uma fina camada de carvão que retarda a propagação de oxigênio e, conseqüentemente, das chamas em direção ao interior da peça, fazendo com que o incêndio perca velocidade. Peças com 50 mm de espessura podem ser consideradas sempre mais seguras que estruturas metálicas. Abaixo de 20 mm, as peças de madeira tornam-se elementos de alimentação do incêndio e, portanto, devem ser evitadas em construções.

### 3.3. TIPOS PRINCIPAIS

Os dados de mercado internacional de produtos florestais sugerem que as espécies florestais (chamadas por alguns de essências florestais) mais utilizadas no mundo são **coníferas ou espécies de folhosas** de clima temperado. Não existem bons dados globais de comércio de espécies madeireiras. Entretanto, uma idéia geral pode ser extraída de relatórios como o **GFRA (Global Forest Resources Assessment)**, da FAO. Em sua última edição, em 2005, o relatório traz algumas das espécies florestais mais reportadas pelos 88 países participantes da pesquisa, que, provavelmente, são também as espécies mais comercializadas no mundo. Entre as cinco principais espécies enfatizadas nesse relatório, todas abundantes em países de clima temperado,

três são coníferas. São espécies dos gêneros botânicos *Pinus*, *Quercus* (chamado no Brasil de carvalho), *Picea*, *Abies* e *Betula*.

No Brasil, a maior parte do mercado florestal é composta hoje por espécies exóticas de rápido crescimento, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, matérias-primas para as indústrias de papel e celulose.

### 3.4. PROCESSAMENTO

Dentre os vários processos a que as madeiras podem ser submetidas, podemos citar como principais as operações de abate, descascamento, desdobro, laminação, produção de partículas e o seu beneficiamento. Tais operações serão mais detalhadas a seguir.

**Abate:** Compreende o seccionamento da árvore em sua porção inferior através de ferramentas, manuais ou automáticas, seguido do desganhamento da tora e seu corte em dimensões de comprimento padrão, regulados de forma a viabilizar seu transporte e facilitar seu manuseio e sua movimentação. Como ferramentas manuais podem ser utilizadas machados ou serrotes, onde para toras de grande diâmetro são utilizados serrotes do tipo traçador; já as ferramentas automáticas utilizam em sua grande maioria sistemas com correntes dentadas para o corte.

**Descascamento:** A operação de descascamento se faz opcional, uma vez que somente aplica-se a casos onde o processo de destino da porção de madeira torna imprescindível a remoção da casca, onde podemos citar alguns métodos do processo de preservação, na fabricação de papel e celulose, na fabricação de chapas de fibras ou de madeira aglomerada, entre outros.

Para o caso de destinar-se a madeira para serrarias, alguns benefícios seriam acarretados, como o aumento da vida útil das ferramentas de corte; a aceleração do processo de secagem; para o caso de descascamento na floresta, evitaria o transporte da casca até a serraria, onde se transformaria em resíduo; entre outros.

**Desdobro:** Consta do processo de corte longitudinal das toras, com ou sem casca, empregado na produção de peças na forma de pranchas, tábuas, vigas, vigotas, caibros, sarrafos ou ripas. Normalmente se utiliza nesse processo serras de fita, já que esta apresenta vantagens claras na produtividade, no baixo desperdício da madeira e na possibilidade de trabalhar com toras de grandes diâmetros.

**Laminação:** Operação de torneamento de toras descascadas ou fatiamento de peças previamente seccionadas com retirada das costaneiras e em secção retangular, ambas com finalidade de gerar lâminas para emprego na produção de chapas ou revestimento destas. Usualmente, as operações de laminação distinguem-se pelo equipamento empregado, ou seja, em torno laminador ou plaina fatiadeira.

**Produção de partículas:** Trata-se da sujeição de peças de madeira na forma roliça ou beneficiada a equipamentos que proporcionam a desintegração das mesmas, gerando partículas homogêneas denominadas de cavacos. Esses equipamentos recebem o nome de picadores. Apresenta uma série de vantagens às serrarias, tais como a diminuição do manejo com peças de madeira serrada; a diminuição da mão-de-obra com armazenamento e transporte; menor espaço necessário para armazenamento e favorecimento da utilização de equipamentos de

movimentação, tais como transportadores de correia e roscas sem fim; entre outros. Por outro lado, aumenta o volume a ser transportado por veículos, barcas ou outros meios, aumentando conseqüentemente os custos com transporte, dado a sua menor densidade.

**Beneficiamento:** Compreende uma série de operações de usinagem, as quais podem ser classificadas e agrupadas em função do equipamento ou ferramental a ser utilizado. Referem-se basicamente aos trabalhos de serramento, fresamento ou aplainamento, torneamento, furação e lixamento.

### 3.5. UTILIZAÇÕES

Atualmente, o consumo de madeira está voltado para espécies de florestamento de crescimento vegetativo elevado (Eucaliptus e Pinus). Essas espécies podem ser abundantes, mas para o uso de madeira sólida tendem a apresentar grandes variações em suas propriedades, além de possuírem valores mais baixos de resistência mecânica. Por esses e outros motivos, a indústria de transformação vêm substituindo a madeira sólida por materiais à base de madeira em muitas situações. A característica de apresentar uma estrutura mais homogênea e livre de defeitos, com maiores propriedades físico-mecânicas e de resistência à bio-deterioração, além da maior estabilidade dimensional, garante um sólido mercado consumidor. Outro fator positivo é o aproveitamento significativo das toras de madeira, uma vez que a obtenção de madeira serrada resulta em perdas consideráveis. Nesse aspecto, a constituição desses produtos permite inclusive o aproveitamento, em alguns casos, de resíduos de madeira como matéria-prima, tais como: pó de serra, refugos de usinagem, lascas, costaneiras, maravalhas, etc. Trata-se então de produtos ecologicamente corretos.

Apesar de apresentarem algumas semelhanças entre si, esses materiais, também denominados “engineered wood products”, ou produtos de madeira elaborada, apresentam aplicações distintas na maioria das vezes, conforme demonstrado a seguir:

**Chapa de madeira compensada “Plywood” (PW):** Compostas por laminas de madeira coladas ortogonalmente entre si, com a direção das fibras alternadas. Esse procedimento, conhecido por laminação cruzada, confere à chapa maior rigidez, resistência mecânica e estabilidade dimensional.

As laminas podem ser provenientes das coníferas ou das dicotiledôneas, o que caracteriza o compensado de madeira macia ou de madeira dura (softwood plywood e hardwood plywood, respectivamente). O primeiro é usado com painel estrutural em geral, enquanto o segundo é mais utilizado como painel decorativo e como lâmina de revestimento de chapas de madeira aglomerada. Tais produtos são muito difundidos na área de habitação.

**Chapa de madeira sarrafeada “Blockboard” (BB):** São chapas cujo miolo é composto de pequenos sarrafos, de largura entre sete e trinta milímetros, colados e unidos lateralmente. As faces podem ser de chapas duras de fibras (hardboard) ou de laminas de madeira, sendo dispostas transversalmente em relação às fibras, o que promove boa estabilidade dimensional tal com o chapa de madeira compensada. Apesar de atualmente ser substituída por outros produtos, é ainda aplicado como painel estrutural, além de ser utilizado em divisórias, na confecção de móveis e extensivamente em formas para concreto.

**Chapa de fibra “Fiberboard” (FB):** Existem vários tipos de classificação das chapas de fibras, baseadas no tipo de matéria-prima e método de produção da fibra, método de formação da chapa, densidade do produto e tipo e destino de aplicação. No entanto, a densidade é o fator classificador mais considerado internacionalmente. Por esse motivo, as chapas de fibra são definidas como painéis de densidades amplamente variadas (entre 200 a 1450 kg/m<sup>3</sup>), feitos com fibras de madeira entrelaçadas e unidas por ligações primárias a partir da ativação de suas propriedades inerentes à adesão, com a possível incorporação de aditivos ou ligantes para o aumento de propriedades como coesão, impermeabilidade e resistência ao fogo.

Existem dois tipos de chapas de fibras, sendo a densidade seu principal diferencial: as chapas isolantes (Insulating Board – IB) e as chapas duras (Hardboard – HB). As chapas isolantes, chamadas de não comprimidas, possuem baixa densidade e são utilizadas em divisórias e isolamento acústico. As chapas duras são comprimidas e mais densas, e são aplicadas em revestimentos estruturais, de construção, portas, gabinetes e móveis, onde se necessita de espessuras delgadas combinadas com resistência mecânica. Os painéis isolantes são normalmente feitos por processos úmidos, e as chapas duras tanto por processos úmidos quanto secos. Neste último caso, as chapas resultantes podem apresentar propriedades deficientes sob condições úmidas.

**Chapa de fibra de média densidade “Medium density fiberboard” (MDF):** Trata-se de um termo genérico para denominar chapas ligno-celulósicas combinadas com uma resina sintética ou outro sistema adesivo adequado, unidas entre si através de pressão e calor. A introdução de determinados aditivos durante o processo de fabricação pode melhorar algumas propriedades como a estabilidade dimensional, a resistência ao fogo e à água. É um produto homogêneo, uniforme, estável, denso e de superfície plana e lisa, que promove uma boa trabalhabilidade e bom desempenho em usinagens complexas, com acabamento de qualidade. Essas características o tornam ideal para receber revestimentos com acabamentos diversos como pintura, papel, laminas de madeira ou PVC e até mesmo moldagem a quente. Sua solidez e uniformidade garantem bons resultados no uso de técnicas convencionais (encaixar, entalhar, pintar, colar, laquear, cortar, parafusar, perfurar e moldurar). Sua estabilidade dimensional contribui para um maior controle de tolerâncias e precisão no processamento do produto, além de suas características de resistência mecânica permitirem o emprego de peças de dimensões reduzidas.

**Chapa de madeira aglomerada ou de partículas “Particleboard” (PB):** O aglomerado é uma chapa de partículas discretas de vários tamanhos, unidas por ligantes ou resinas sintéticas por pressão ou calor. Assim como o MDF, certas propriedades podem ser melhoradas através da introdução de aditivos durante o processo de fabricação.

Existem dois tipos de aglomerados, o prensado e o extrudado. Seu maior mercado consumidor se dá através da indústria moveleira, embora uma quantidade considerável da produção de aglomerado também seja destinada a aplicações estruturais, tais como pisos residenciais, vigamento de telhados, divisórias, degraus de escadas e como soalhos para casas. Chapas extrudadas são também utilizadas na confecção de casas pré-fabricadas.

**Chapa de flocos orientados e não orientados “Oriented Strandboard” (OSB) e “Waferboard” (WB):** São dois produtos desenvolvidos a partir do conceito de chapa de flocos “flakeboard” (FK). As partículas de madeira utilizadas na fabricação desses produtos possuem dimensões maiores do que as utilizadas na fabricação de madeira aglomerada, assumindo a forma de flocos. O termo “strand” se refere a flocos cujo comprimento médio é maior do que a

largura, enquanto “Wafer” se refere a um floco de maior largura. Como as partículas utilizadas são maiores, existe uma exigência maior quanto à qualidade da madeira a ser utilizada, as quais devem possuir estruturas finas e fibras retilíneas, garantindo maior integridade das partículas. As madeiras de baixa e média densidade são mais utilizadas nesse caso.

As chapas de flocos orientados são compostas de 3 a 5 camadas alternadas, com direcionamento das partículas defasados 90°, como nas madeiras compensadas. Essa prática aumenta a estabilidade da chapa e eleva a resistência à flexão no sentido de orientação das partículas. As principais utilizações do OSB são as fabricas de moveis e construtoras de pequenas edificações (telhados, forros e pisos simples), geralmente onde elevada resistência à flexão é solicitada. Essa propriedade não está presente nas chapas de flocos não orientados, pois suas partículas são dispostas aleatoriamente. Em função disso, existe uma tendência à interrupção da fabricação de WB em função das vantagens do OSB.

**Peças micro laminadas “Laminated veneer lumber” (LVL):** Produto estrutural feito de lâminas dispostas numa direção única das fibras e coladas entre si formando painéis de espessuras maiores do que as encontradas nas chapas de madeira compensada, para transformação em tábuas. As lâminas são submetidas a ensaios não destrutivos individuais, classificando-as para garantir uma resistência mecânica consistente no produto final. A sua principal utilização é em aplicações estruturais, mas também pode ser utilizada em serrarias e indústrias de móveis. Esse produto também é muito utilizado em flanges de vigas de perfil I, aplicadas na construção estrutural de pisos de madeira. A falta de dados de resistência mecânica torna problemática a aceitação desse produto nas aplicações estruturais onde tradicionalmente utiliza-se madeira maciça.

**Peças de ripas paralelas “Parallel strand lumber” (PSL):** Produto composto de ripas finas orientadas de resíduos de laminas (principalmente de coníferas) ou de laminas desenroladas e seccionadas propriamente para este fim. Por ser um produto essencialmente estrutural, encontra boa aceitação na construção civil.

**Peças de flocos orientados “Oriented strand lumber” (OSL):** É uma variação muito próxima da madeira de ripas paralelas. A diferença se encontra nas partículas utilizadas, pois não são ripas de laminas, mas sim flocos mais compridos, ou maravalhas, com cerca de 300 mm de comprimento. Também é utilizado por construtoras na edificação de casas.

## 4. A MADEIRA-PLÁSTICA

Madeira-plástica não é um termo científico, mas uma denominação de interesse comercial que, conforme se observa no mercado, se refere ao produto cuja composição principal é plástico reciclado adicionado de outros materiais, tais como serragem de madeira, carbonato de cálcio, caulim, pigmentos e plastificante, além de algum teor se conveniente de polietileno de baixa densidade, e conforme novas tecnologias, poliestireno, conforme as propriedades finais de resistência à flexão, compressão, rigidez ou flexibilidade que sejam desejadas. Se destina a usos tradicionais da madeira em diversos fins (objetos externos, expostos às intempéries, ou internos, sob umidade alta) ou mesmo do ferro fundido em aplicações urbanas e sanitárias, como tampas de instalações subterrâneas, "bocas de lobo" de esgotos pluviais., podendo ter ou não uma separação dos tipos de plásticos previamente e recebendo ou não limpeza no processamento; pode ser fabricados tanto em moldagem por prensagem, injeção ou extrusão (Borowski, 1999).

### 4.1. FABRICAÇÃO DA MADEIRA PLÁSTICA

Para produzir madeira-plástica é necessária uma estruturação tecnológica capaz de oferecer um produto final com qualidade e livre de impurezas, além de padronizado conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Mas para o caso em questão, não se precisa de um produto 100% livre de impurezas, pois o produto final a ser produzido não será empregado para acondicionamento de produtos alimentícios, a fim de evitar contaminações provenientes de tintas e outros produtos.

O processo de produção está diretamente ligado à reciclagem mecânica de plásticos, que é conformado em artefatos que visam à substituição da madeira. Normalmente, divide-se nas seguintes fases de processos:

**Moinho:** tem a função de moer o resíduo plástico a ser processado;

**Lavador:** tem a função de retirar as impurezas do material, utilizando água;

**Estação de tratamento:** tem a função de tratar as águas residuais do processo;

**Esteira magnética:** tem a função de separar metais magnéticos (de natureza ferrosa) dos resíduos plásticos.

**Aglutinador:** é um equipamento constituído de facas que trabalham em alta rotação. Possibilita a complementação da secagem do material além de aglomerar o material leve, reduzindo seu volume. A aglutinação e secagem ocorrem pelo atrito das facas no material e por atrito entre os materiais;

**Misturador:** tem a função de misturar os grãos e ou flocos de resíduos plásticos, homogeneizando-os;

**Extrusora:** tem a função de conformar o material plástico. O material plástico sai em forma de "espaguete";

**Lavador de gases:** tem a função lavar os gases residuais do processo purificando-os;

**Moldagem:** tem a função de modelar, conforme o molde, o produto que se deseja, geralmente em formas de placas, perfis ou bloquetes.

Os resíduos empregados podem ser previamente selecionados ou não, mas para a madeira-plástica produzida ser de boa qualidade seu processamento exige a análise de compatibilidade entre os diversos tipos principalmente no que diz respeito às temperaturas de fusão, que são diferentes para cada tipo de plástico.

A escolha da temperatura única utilizada pode ser tarefa complexa mesmo em misturas de composição bem controlada, a situação pode se agravar em casos de misturas de reciclados pós-consumo, a qual poderá haver contaminação por outros produtos, mesmo que o resíduo for lavado e seco antecipadamente (Borowski, 1999; Pacheco e Mano, 1996).

A presença de impurezas nas misturas e a degradação do material podem ocorrer de diversas maneiras como por exposição a ataque químico, principalmente com a oxidação, ou ainda, pelas seguidas extrusões sofridas. Sua degradação térmica tende a diminuir a resistência à tração, modificar a viscosidade do fundido, alterar a cor e afetar a flamabilidade, entre outros efeitos como o aumento ou diminuição do peso molecular e a formação de ligações insaturadas por ação química ou térmica e desenvolvimento de estruturas cíclicas devido às reações de cadeias laterais (Borowski, 1999; Alcantâra, Carvalho e Ramos, 1995).

O sistema de reciclagem de plástico descrito nesta monografia baseou-se em pesquisas literárias e na dissertação de mestrado do Eng. Hans Cristian Borowski.

Como sugestão de processo a madeira-plástica poderá ser produzida através das seguintes etapas visualizadas na Figura 23, na qual foi baseada por processo já produtíveis no Brasil e Alemanha, com algumas modificações.



Figura 13 - Fluxograma do sistema de produção da madeira-plástica.

No processo sugerido, os resíduos plásticos a serem processados serão separados previamente separados por tipos de resinas então, são picotados, lavados, os fragmentos que saem, passarão por um processo de lavagem através de uma esteira, têm os metais magnéticos, particularmente os de natureza ferrosa, retirados por um eletroímã vão direto a um aglutinador, que aquece o material por atrito e o transforma em flocos; que passam pelo o misturador e pela extrusora que possuem sistemas de degasagem, na qual reduzirá a incidência de microbolhas formada nas placas por gases de elementos voláteis e ar capturado com os grãos.

Os resíduos plásticos pré-selecionados são armazenados separadamente por suas características físicas, químicas e mecânicas. Esses plásticos poderão ser acondicionados, já

moídos, em tambores; pesados para determinar a qualidade final e composição do produto pré-estabelecidas por pesquisas a serem desenvolvidas na produção em escala real conforme cada tipo de produto a ser fabricado.

No sistema de lavagem, como os resíduos já estariam moídos a mistura se tornará homogênea. A etapa final do processamento, na extrusão, que envolve o sistema de desgaseificação, os grânulos não precisaram estar totalmente desumidificados, pois o processo além de eliminar os aldeídos e outros resíduos, elimina também umidade.

Do misturador o material se dirige a uma máquina de processamento, onde é fundido e homogeneizado, com o material recebendo seu formato final em um conjunto de moldes alongados dispostos em um mecanismo giratório semelhante a um revólver, que movimentam-os em torno de um eixo; cada molde é imerso em água assim que é preenchido com material fundido; todo o conjunto permanece em um compartimento fechado, o que evita a emissão de gases para o ambiente externo, em particular gases ácidos clorídrico, que costumam emanar quando há alguma parcela de PVC que era normalmente originado de garrafas de água mineral) na mistura; com a imersão o material sofre resfriamento, se enrijece e contrai o suficiente para ser ejetado com um dispositivo de ar comprimido (Borowski, 1999).

O produto obtido permanece em repouso até sua estabilização dimensional; pelo fato da peça usualmente possuir uma espessura relativamente elevada para plásticos (que tem alta variação dimensional em função da temperatura), a superfície externa endurece antes do interior; quando o material se contrai, o volume interno não pode ser totalmente preenchido, gerando cavidades além das ocasionadas pela presença de gases e vapores que entram no molde, mas com o sistema de desgaseificação junto ao processo de extrusão, isso dificilmente ocorre.

As peças produzidas possuem formato alongado, de comprimento fixo (cerca de três metros); a seção variável conforme o molde, podendo ser retangular, triangular, circular, etc., desde que a dimensão mínima corresponda a cerca de quatro centímetros, para que o molde seja convenientemente preenchido.

Paralelamente, o processo deverá ter uma estação de tratamento de efluentes líquidos, para o tratamento das águas residuárias na etapa de lavagem dos plásticos moídos e, um sistema de ventilação e tratamento de gases (lavador de gases, por exemplo) interligado a extrusora, para tratar os gases e vapores gerados no processo, no qual eliminaria todas as possibilidades de impactos ambientais.

## **4.2. PROPRIEDADES**

Apresenta vantagens em relação a determinadas propriedades da madeira (e inclusive de metais), independentemente nestas inclusive o cargueamento, que lhe confere outras propriedades específicas.

- Resistente à corrosão, podendo ser exposta a sol, chuva, poeira, manter contato com o solo.
- É imune à pragas, como cupins, insetos e roedores; não mofa, não cria fungos e não absorve umidade.
- Não forma farpas, não racha, nem empena pelo secamento ou envelhecimento.
- Não necessita ser pintada, é pigmentada com diversos tipos de pigmentos e materiais corantes em diversas cores e texturas adequadas a diversas aplicações.
- Visualmente, pode ser idêntica a madeira convencional
- Substitui madeiras raras (Maçaranduba) em determinadas aplicações.



Quanto à praticidade de seu uso e aplicações, temos:

- Livre de manutenção e pintura
- Aplicação com ferramentas da madeira
- Maior agarre a pregos e parafusos, não apresentando, por exemplo, as rachaduras quando nela penetram pregos ou parafusos, pois não possui uma orientação de "fibras" como da madeira.
- Limpeza feita com água e sabão.

A tabela a seguir apresenta algumas das especificações técnicas do Policog, madeira-plástica de fabricação da empresa Cogumelo:

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas do Policog

<b>Propriedades Mecânicas a 21°C</b>	<b>Método de Teste</b>	<b>Valor Médio</b>
<b>Densidade</b>	ASTM D6111	0,7-0,8g/cm <sup>3</sup>
<b>Módulo de Elasticidade e Resistência Máxima à Flexão</b>	ASTM D6109	8.015kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Tensão de Compressão Longitudinal</b>	ASTM D6108	122kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Arrancamento de Parafuso</b>	ASTM D6117	340kgf
<b>Absorção de Água, 11 semanas.</b>	ASTM D570	Menos de 0,09%
<b>Coefficiente de Expansão Térmica</b>	ASTM D6341	0,0099cm/por grau

Já quanto à resistência à tração e compressão, a tabela abaixo apresenta comparativo dos resultados obtidos entre a madeira-plástica e algumas madeiras de importância comercial. Os valores apresentados são valores médios e os coeficientes de dispersão em geral foram menores que 10%, não ultrapassando 14,8% em nenhum destes resultados. Dada a grande anisotropia da madeira, são fornecidos valores tomados perpendicularmente às fibras e paralelamente a estas, para a resistência à tração.

Tabela 2 - Valores de resistência da madeira-plástica e de algumas madeiras.

<b>Material</b>	<b>Resistência à Tração [Mpa]</b>	<b>Resistência à Compressão [Mpa]</b>
Madeira-plástica (PS)	6,83	12,02
Madeira-plástica (PP)	7,96	13,65
Cedro <sup>a</sup>	3,0 (perpend.)/ 71,4 (paralela)	31,5
Eucalipto grandis <sup>a</sup>	2,6 (perpend.)/ 70,2 (paralela)	40,3
Peroba rosa <sup>b</sup>	8,1 (perpendicular) <sup>c</sup>	54,4 <sup>d</sup>
Pinho do Paraná <sup>a</sup>	1,6 (perpend.)/ 93,1 (paralela)	40,9
Pínus elliotti <sup>a</sup>	2,5 (perpend.)/ 66,0 (paralela)	40,4
Sucupira <sup>a</sup>	3,4 (perpend.)/ 123,4 (paralela)	95,2

Madeiras com 12% de umidade; a- Fonte: referência 8; b- Fonte: referência 12; c- Madeira verde; d- Madeira com 15% de umidade.

Em outro estudo foram obtidos os valores apresentados abaixo, comparados também, ao aço 1020, à Madeira Jatobá e ao Cedro Amargo. A ligeira discrepância entre os valores pode ser explicada devido aos diferentes processos de fabricação e inúmeros aditivos que conferem diferentes propriedades à madeira plástica.

Tabela 3 - Comparativo entre a madeira-plástica, ferro-fundido e outras madeiras naturais

Propriedades Mecânicas	Ferro Fundido ASTM A-48	Madeira Plástica	Jatobá	Cedro Amargo
Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]	7200	1061	1074	504
Resistência à Tração (paralela às fibras) [MPa]	170,00	10,82	157,5	58,1
Resistência à Tração (normal às fibras) [MPa]	170,00	10,82	3,2	3,0
Resistência à compressão (paralela às fibras) [MPa]	650,00	19,87	93,3	39,0
Módulo de Elasticidade (longitudinal em Tração) [GPa]	70,00	1,29	23,61	9,84

### 4.3. UTILIZAÇÕES

A madeira plástica pode substituir a madeira natural em diversas aplicações. Ela vem sendo utilizada na fabricação de móveis, principalmente bancos de jardim e cadeiras. Deve ser usada em parques e praças por não apodrecer com o tempo, nem sofrer ação de umidade e pragas. Parecendo sempre novo, mantém a paisagem bonita.

Outra forma que vem sendo muito utilizada é na produção *decks*. Um *deck* de madeira requer vedação, pintura e lixamento, além da substituição periódica de tábuas danificadas. Um *deck* de madeira plástica não pede toda essa preparação, não solta farpas, não racha, não precisa de substituição e acima de tudo provem de material reciclado, sendo ecologicamente correto. Testes indicam que a madeira plástica quando molhada é menos escorregadia que a madeira tradicional. De modo similar aos *decks*, há pontes de madeira plástica, já instaladas no Parque Nacional de Itatiaia.

Na presença de certos aditivos, consegue-se madeira plástica muito resistente a cargas pesadas. Por isso uma de suas aplicações é na produção de tampas de bueiro, que normalmente são feitas de ferro fundido, um material que por ter preço no mercado vem sendo freqüentemente roubado. Na maioria das vezes, as tampas furtadas não são repostas, prejudicando a segurança da população local.

Várias ferrovias no Brasil têm utilizado dormentes de madeira plástica no lugar de dormentes de madeira natural danificados. Esses dormentes de madeira plástica tem a vantagem de não racharem, não trincarem, permitirem com que sejam feitas reentrâncias aumentando aderência, não conduzem eletricidade, absorverem vibrações preservando o material e a geometria da via, além de ser mais leve e de ser impermeável a água e a efeitos de pragas como toda madeira plástica.

A madeira plástica é um material que traz mais vantagens do que desvantagens. Visto que pode substituir a madeira natural de forma análoga e às vezes até mesmo melhor, ao aumentar sua produtividade, irá aumentar suas aplicações.

Segue abaixo alguns exemplos de utilizações citadas anteriormente, tradicionalmente em substituição à madeira natural.



Figura 14 - Banco feito a partir de madeira-plástica.



Figura 15 e 16 - Janela e Persiana desenvolvida pela empresa Cogumelo.



Figuras 17 e 18 - Escada e Ponte desenvolvidas pela empresa Cogumelo.



Figura 19 - Deck de piscina.



Figura 20 - Dormentes

Os dormentes substituem com vantagens os tradicionais dormentes de madeira. Apresenta design diferenciado, vida útil de 50 anos ou mais e proporcionam maior segurança e conforto à ferrovia.

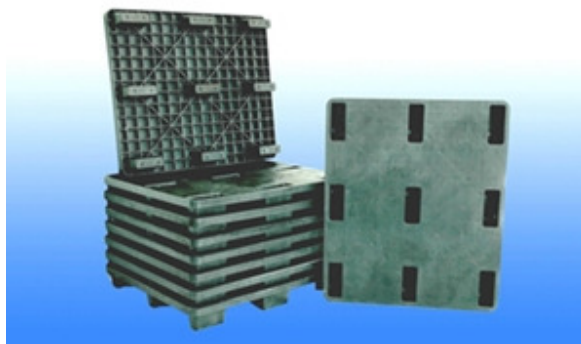


Figura 21 - Pallets

Os Pallets, fabricados pelo processo de intrusão, apresentam alta resistência mecânica, maior durabilidade e menor peso. Ideais para as aplicações que exigem resistência às intempéries, imunidade a cupins e insetos e facilidade de higienização.

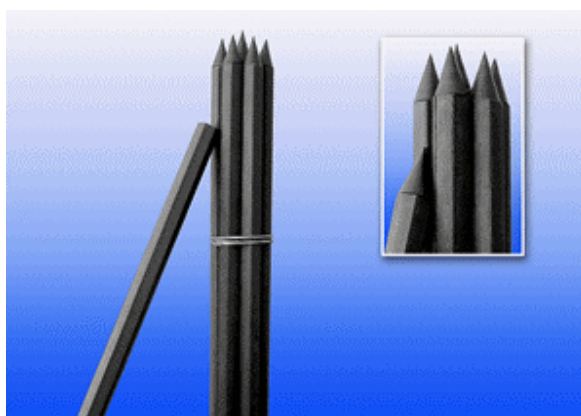


Figura 22 - Estacas

As Estacas para tutoramento de plantios e jardinagem foram desenvolvidas por solicitação destes mercados cuja necessidade era a de estacas para substituir as tradicionais de madeira e bambu, que apresentassem alta durabilidade, hidrofobicidade e imunidade às bactérias e fungos.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com o estudo das propriedades apresentadas ao longo desse estudo podemos chegar a algumas conclusões com relação aos aspectos estruturais:

- Observa-se que os valores de resistência da madeira-plástica são comparáveis aos das madeiras naturais quando se referem à direção perpendicular às fibras, mas são marcadamente inferiores à resistência paralela às fibras. Usos estruturais, como vigamento de telhados e esteios normalmente empregam madeiras com características melhores de resistência, evitando madeiras como o Pínus; como a madeira-plástica não acompanha os valores de resistência do próprio Pínus em situações desse tipo, em que as cargas na direção longitudinal das peças costumam ser significativas (as fibras da madeira normalmente são paralelas ao comprimento das peças), não se recomenda o uso desse material em empregos estruturais. Existem indicações de uso da madeira-plástica em pisos, emprego que provavelmente não terá empecilho sob o aspecto da resistência mecânica, pois as tensões envolvidas correspondem à direção normal às fibras, embora se trate de resistência à compressão, um caso não relacionado na tabela acima; uma dificuldade se encontra na propriedade de flamabilidade do material, não tratado visando tal uso, o que também afetará os empregos em que fica exposto nas edificações, bem como o uso em mourões onde ocorrerem queimadas.
- A característica de fluência, combinada com a grande capacidade de amortecimento mecânico, típicos dos plásticos, recomenda cautela em usos com carregamentos de longa duração e em condições de carregamento cíclico, principalmente em altas frequências, quando pode haver aquecimento e colapso do material.
- Os melhores empregos parecem ocorrer nas condições em que a resistência à degradação biológica e ao ataque químico afetam negativamente as madeiras; podem-se relacionar neste caso os usos em que o material fica enterrado no solo, exposto à chuva e sol ou sujeito ao ataque de insetos, como brocas e cupins.
- Havendo condições competitivas de preço, usos típicos de artefatos de cimento, como guias de calçada, redutores de velocidade e apoios para sinalização do tipo “olho-de-gato” em rodovias podem ser implementados.

Levando-se em consideração os diversos aspectos de toda a cadeia produtiva da madeira-plástica, podemos destacar outros pontos, positivos e negativos de sua utilização:

### Pontos positivos

A madeira plástica apresenta todas as vantagens que o plástico em si tem:

- Não racha,
- Não dá cupim nem mofo,
- Não sofre ação de pragas, insetos nem roedores,
- É resistente a umidade, maresia e ao apodrecimento, podendo ser utilizada em todos os ambientes hostis à madeira tradicional, e não requer nenhum tipo de tratamento especial.
- Apresenta maior agarre a pregos e parafusos,
- Não solta farpa e pode ser trabalhada com as mesmas ferramentas da madeira.
- A madeira plástica pode ser pintada, mas tem a opção de ser pigmentada durante o processo de fabricação, dispensando pintura.

- Não precisa ser envernizada.

Se analisado outros aspectos envolvidos no processo de produção da madeira-plástica, também podemos concluir que:

- A madeira plástica está revalorizando o plástico jogado fora, revertendo em economia nas obtenções de petróleo, do monômero e do polímero. Atualmente, a economia de energia é um fator muito importante, pois se vive um déficit de energia global.
- Além do mais, utiliza-se lixo plástico coletado seletivamente, diminuindo a quantidade de plástico das vias públicas, reduzindo a possibilidade de entupimento de bueiros, de enchentes e de deslizamento de terras. Também diminui o volume de lixo sólido em aterros. Hoje em dia a falta de espaço para a construção desses empreendimentos é um dos maiores problemas das grandes cidades.
- A reciclagem gera empregos diretos e indiretos, com conseqüente melhoria das condições sócio-econômicas da população beneficiada. Pode-se ter o deslocamento dos catadores de lixo, que trabalham em condições sub-humanas, para usinas de reciclagem, trabalhando de forma mais digna.
- A madeira plástica vem sendo utilizada em trabalhos sociais, como ocorre, por exemplo, na Fazenda da Esperança, em Guaratinguetá, interior de São Paulo. Essa fazenda acolhe dependentes de drogas, álcool e outros tipos de vício. Através do trabalho, os jovens conquistam sua vida de volta e a confiança da família e da sociedade. Ao trabalhar com a madeira plástica, eles também aprendem a importância de cuidar do meio ambiente. Outros centros de reabilitação deveriam seguir esse modelo.
- A vantagem mais importante da madeira plástica é a preservação ambiental. Pelo fato de provir de material reciclado, ela é reciclável, portanto não apresenta desperdício. Todo material que sobra quando se está construindo um objeto volta para o reprocessamento, virando novamente madeira plástica.
- Além de reduzir o acúmulo de lixo plástico, evita o desmatamento. A derrubada das matas e florestas no Brasil começou desde a vinda dos portugueses em 1500, quando a Mata Atlântica foi severamente explorada para a extração do pau-brasil. Mais tarde, a Floresta Amazônica começou a sofrer as conseqüências da exploração ilegal. Atualmente, o problema do desmatamento persiste por diferentes motivos: extração da madeira, expansão agrícola e o crescimento das cidades são os principais. As matas e as florestas são de extrema importância para o equilíbrio ecológico do planeta, especialmente para o bom funcionamento climático. Nesse âmbito, a madeira plástica é uma boa alternativa para substituir a madeira, reduzindo sua exploração.

### **Pontos negativos**

- Apesar de ao se reciclar o plástico se economizar energia e matéria-prima proveniente do petróleo, que é uma fonte não renovável, a coleta seletiva requer investimento. O custo médio dessa coleta representa aproximadamente dez vezes o preço da coleta convencional. Um dos motivos para isso acontecer é porque o caminhão seletivo não pode compactar o lixo da mesma forma, pois tem que ter compartimentos separados para cada tipo de material. Portanto cabe menos lixo. Entretanto o governo deve ter em mente que a coleta seletiva e a reciclagem são um investimento em qualidade de vida, em responsabilidade ambiental e na

sustentabilidade futura. Deve-se trabalhar inicialmente com versões simplificadas de coleta seletiva e adotar uma abordagem do problema de forma gradual. A separação domiciliar, a catação e a compra de lixo em comunidades carentes ajudam na criação de uma cultura de reciclagem. Por isso é essencial que o governo faça campanhas em escolas, bairros e locais de trabalho mostrando a importância de se separar o lixo.

- Outro ponto desfavorável é o preço da madeira plástica no mercado: equivale ao da madeira nobre. Isso acontece porque a produção ainda é pequena, por falta de conhecimento das pessoas sobre o material e, principalmente, por falta de lixo plástico para reciclar. Aumentar a coleta seletiva é crucial. Incentivos fiscais podem ser obtidos por projetos de lei, como a redução do imposto de renda das empresas dedicadas à reciclagem, reduzindo o preço dos produtos reciclados, estimulando sua aquisição por parte dos consumidores.
- A reciclagem dos resíduos plásticos gera, na maioria das vezes, impactos positivos, contudo também ocasiona problemas que devem ser minimizados, como gastos de água e de energia, bem como geração de resíduos durante a lavagem. Em relação aos gastos de água, sugere-se um tratamento local da água utilizada na lavagem dos plásticos com filtros de areia. Uma solução barata para as pequenas empresas. Essa água poderá ser reutilizada. Quanto ao consumo de energia, os equipamentos podem ser dimensionados para gastar o mínimo possível, o que ocorre na maioria das empresas. É a chamada reengenharia dos equipamentos. Ou então se pode utilizar fontes de energia mais limpas, como a solar e a eólica. Já os resíduos sólidos, provenientes da lavagem, podem ser transformados em adubo. Este processo é simples e barato.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOROWSKI, H. C. **Madeira Plástica: Estudo de propriedades e aplicações**. Dissertação à título de Mestre em engenharia mecânica, Guaratinguetá, 107p., 1999.

CALLISTER, Jr., W.D. **Materials science and engineering: An introduction**. New York: John Wiley & Sons, 1997. 852p.

**Dormentes Wisewood são aprovados em ensaios realizados pela Vale** Disponível em: <<http://www.wisewood.com.br/Noticia.asp?DestaqueAtivo=63>>. Acesso em 15 nov. 2009

MOLINA, J. C. Carreira M. R. Carlito, C. J. **Análise do Comportamento Mecânico de Perfis Retangulares de Madeira Plástica (Wood Plastic Composite)**. 57p. Disponível em: <<http://www.fipai.org.br/Minerva%2006%2801%29%2006.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2009

NASCIMENTO, N., BOROWSKI, H. C., AMARAL, G. R. **Plásticos**, Report DME 02/98. 1998.

NASCIMENTO, N., BOROWSKI, H. C. **Reciclagem de plásticos**, Report DME 01/98. 1998.

**Polímeros: Materiais do nosso dia a dia**. Disponível em: <[mklplasticos.blogspot.com/2010/11/polimeros.html](http://mklplasticos.blogspot.com/2010/11/polimeros.html)>. Acesso em: 15 nov. 2009.

SATO, S. **Engenheiro cria chapas de madeira plástica**. Disponível em: <<http://www.estado.estadao.com.br/edição/pano/00/03/03/ger788.html>>. Acesso em 08 out. 2009.

SILVA, M. **Projeto lixo seletivo – Plástico Filme**. Disponível em: <[http://www.marcelosilva.com.br/projeto\\_lixo-07.htm](http://www.marcelosilva.com.br/projeto_lixo-07.htm)>. Acesso em 15 nov. 2009.

**Tecnologia Produz madeira plástica**. Disponível em: <<http://www.plastico.com.br/revista/pm315/extrusoras4.htm>>. Acesso em: 08 out. 2009.

TEIXEIRA, D. E. **Criada madeira plástica em laboratório do MMA/IBAMA**, Informativo do MMA, 2000, Disponível em: <<http://www.mma.com.br>>. Acesso em: 08 fev. 2003.

ZAHER, S. C. **Estudo das Propriedades da Madeira Plástica**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Guaratinguetá, 2006.