

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS-MG**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**THIAGO DE PAULA NEVES DE SOUSA**

N. CLASS.	M 628.442
CUTTER	5725v
ANO/EDIÇÃO	2012

**A UTILIZAÇÃO DO POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) RECICLADO NO  
PROCESSO INDUSTRIAL DE INJEÇÃO**

Varginha  
2012

**FEPESMIG**

**Grupo Educacional UNIS**

**THIAGO DE PAULA NEVES DE SOUSA**

**A UTILIZAÇÃO DO POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) RECICLADO NO  
PROCESSO INDUSTRIAL DE INJEÇÃO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes.

**Varginha  
2012**

**THIAGO DE PAULA NEVES DE SOUSA**

**A UTILIZAÇÃO DO POLI (TEREFTALATO DE ETILENO) RECICLADO NO  
PROCESSO INDUSTRIAL DE INJEÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Avaliado em:        /        /

---

Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes

---

Prof. Ms. Roberto Brandão Serrano

---

Prof. Esp. Erick Vitor da Silva

OBS.:

Dedico este trabalho a minha família, por serem os responsáveis diretos por meu êxito em mais esta etapa de minha vida e a todos os amigos que me apoiaram para o cumprimento deste desafio que esta sendo conquistado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e a todos que me ajudaram a elaborar este trabalho, principalmente a minha família, aos amigos, companheiros de sala, de trabalho e aos professores pelos conhecimentos transmitidos.

“Com organização e tempo, acha-se o segredo  
de fazer tudo e bem feito”.

Pitágoras

## RESUMO

Este trabalho aborda um estudo sobre o reaproveitamento do poli (tereftalato de etileno)-PET gerado durante o processo de injeção e do acúmulo do lixo urbano. Devido ao fato de que os polímeros quando incinerados provocam danos ambientais, o processo de reciclagem cresce uma taxa de 10% anual. Com estes processos de reciclagem pode-se obter redução de custos, sustentabilidade ambiental, portanto uma melhor qualidade de vida. Com isso pretende-se demonstrar e apresentar as propriedades do PET reciclado, mostrando assim sua viabilidade e vantagens de reutilização, pois no Brasil e no mundo o uso do mesmo cresce cada vez mais, fazendo com que este substitua latas, vidros e outras embalagens em geral. Para melhor entendimento serão realizados ensaios de tração, dureza e microscopia óptica de material virgem e reciclado, com um comparativo entre ambos.

**Palavras-chave:** Reaproveitamento. Sustentabilidade. Redução de custos.

## **ABSTRACT**

*This paper discusses a study on the reuse of poly (ethylene terephthalate)-PET generated during the injection process and the accumulation of urban waste. Due to the fact that the polymers when incinerated cause environmental damage, the recycling process grows a 10% annual rate. With these recycling processes can achieve cost reduction, environmental sustainability, a better quality of life. With this we intend to demonstrate and display the properties of the recycled PET, thereby demonstrating their feasibility and advantages of reuse, because in Brazil and in the world using the same grows increasingly, causing this replace cans, glass and other packaging. For better understanding will be tensile, hardness and optical microscopy of Virgin and recycled material, with a comparison between both.*

**Keywords:** *Reuse. Sustainability. Cost reduction.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Arranjo molecular Termoplásticos x Termofixos.....	16
Figura 02 - Destilação do petróleo .....	18
Figura 03 - Estrutura química do PET.....	21
Figura 04 - PET amorfo e semicristalino .....	21
Figura 05 - PET reciclado no setor doméstico .....	22
Figura 06 - Material escolar de PET reciclado.....	22
Figura 07 - Porta pacotes (tampa do porta-malas).....	23
Figura 08 - Celular com revestimento feito de PET reciclado .....	23
Figura 09 - Simbologia para identificação de embalagens poliméricas.....	24
Figura 10 - Sustentabilidade ambiental .....	26
Figura 11 - Rabicho de PET .....	27
Figura 12 - Borra de injeção.....	27
Figura 13 - Máquina de moer garrafas PET .....	28
Figura 14 - Moinho granulador rotativo com facas fixas.....	28
Figura 15 - Estufa .....	29
Figura 16 - PET moído.....	30
Figura 17 - Amostras de PET .....	31
Figura 18 - Corpo de prova segundo ISSO 527 .....	32
Figura 19 - Corpos de prova.....	32
Figura 20 - Máquina para ensaio de tração, Instron modelo 5569.....	33
Figura 21 - Microscópio da marca Olympus BX-60M .....	33
Figura 22 - Superfície da amostra de PET virgem .....	37
Figura 23 - Superfície da amostra de PET reciclado.....	37
Figura 24 - EcoArk.....	41
Figura 25 - Garrafas PET interligadas, formando parede.....	41
Figura 26 - Estrutura de montagem.....	41
Figura 27 - Pavilhão EcoArk em Taipei, Taiwan.....	42
Figura 28 - Parte externa do EcoArk.....	42
Figura 29 - Parte interna do EcoArk.....	42
Figura 30 - Pavilhão EcoArk.....	43
Figura 31 - Lateral do pavilhão EcoArk.....	43

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 POLÍMEROS</b> .....	12
2.1 A História do polímero.....	12
2.2 O Conceito de polímero.....	14
2.3 Polimerização.....	15
2.4 Características dos polímeros.....	15
2.4.1 Estrutura molecular .....	15
2.5 Termoplástico .....	16
2.5.1 Tipos de termoplástico .....	16
2.6 Termorrígido.....	17
2.6.1 Tipos de termorrígidos .....	17
2.7 Elastômeros .....	17
2.7.1 Tipos de elastômeros .....	17
2.8 Obtenção do plástico .....	18
2.9 Processo de fabricação dos plásticos.....	19
2.9.1 Preparação das matérias-primas e dos monômeros .....	19
2.9.2 Realização das reações de polimerização.....	19
2.9.3 Processamento dos polímeros em resinas de polímeros finais.....	19
2.9.4 Fabricação dos produtos de acabamento .....	19
2.10 PET (politereftalado de etileno) .....	20
<b>3 APLICAÇÕES DO PET</b> .....	22
3.1 Aplicações do PET reciclado .....	22
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	24
4.1 Reciclagem.....	24
4.1.2 Metodologia da reciclagem .....	25
4.1.2.1 Reciclagem primária.....	25
4.1.2.2 Reciclagem secundária .....	25
4.1.2.3 Reciclagem mecânica .....	25
4.1.3 Fatores econômicos, sociais e ambientais .....	25
4.2 Proposta de reaproveitamento .....	26
4.3 Lavagem .....	28
4.4 Secagem do material.....	29
4.5 Preparação do material.....	29
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	31
5.1 Materiais utilizados nos ensaios .....	31
5.2 Ensaio de dureza – ASTM 2240 .....	31
5.3 Teste de tração .....	31
5.4 Microscopia óptica.....	33
<b>6 RESULTADOS</b> .....	34
6.1 Resultado dos ensaios de dureza .....	34
6.2 Resultado dos testes de tração .....	35
6.3 Resultado dos testes de microscopia óptica.....	36

7 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS .....	39
ANEXOS .....	40

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a utilização das embalagens de Poli (tereftalato de etilino)-PET vem crescendo e substituindo latas, vidros, multilaminados, outros plásticos, etc. Por isso este trabalho tem o objetivo de fazer um estudo do reaproveitamento dos resíduos gerados na injeção de polímeros PET e do lixo urbano (garrafas PET) para a viabilidade econômica e ambiental. E de acordo com a Agenda 21 temos que preservar os recursos naturais e minerais para que possamos ter um desenvolvimento sustentável. Mesmo existindo uma vasta variedade de termoplásticos apenas o PE (polietileno), o PP (polipropileno), o PS (poliestireno), o PVC (policloreto de vinila ou cloreto de polivilina) e o PET (polietilene tereftalato) representam cerca de 90% do consumo nacional. Contudo na Rio + 20 apresentou-se que o PET apresenta um dos maiores índices de crescimento em consumo no país, fazendo assim grandes acumulos em aterros sanitários e lixões.

Os polímeros vem sendo cada vez mais utilizados, sendo que, em geral, sua incineração causa danos ao meio ambiente (Huang, 1995; Amass et al., 1998). Os plásticos mais utilizados no mundo são o PVC, o polietileno e o PET (Anon, 1997). Com a reciclagem dos plásticos se torna viável do ponto de vista econômico e da preservação do meio ambiente (Anon, 1997; sítio San Diego Plastics). Como a redução de custos em uma empresa representa que podemos elevar muito o mercado competitivo, novos processos devem ser desenvolvidos, pois, além do fator econômico também estaremos diminuindo a utilização de recursos naturais criando um caminho para a sustentabilidade ambiental.

## 2 POLÍMEROS

Os polímeros são macromoléculas obtidas através de reações químicas de polimerização. Estes possuem uma elevada massa molecular que é formada a partir dos monômeros. Quando uma macromolécula sofre polimerização são criadas unidades estruturais repetidas.

Para evitar o descarte dos polímeros, é aconselhável recicla-lo em aplicações de longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, construção civil, plasticultura, indústria automobilística e eletroeletrônica, etc.

### 2.1 A História do polímero

Desde o início dos tempos, o polímero é utilizado. Data-se desde os tempos pré-históricos, com cerca de mais ou menos 150 mil anos atrás o uso do algodão. O algodão tem sua formação através do polímero que mais aparece na natureza, ou seja, a celulose.

Em 1832, o químico alemão J. Berzelius pretendia criar um novo termo para a diferenciação das moléculas orgânicas de mesmo elemento químico, porém criou um novo termo que é o polímero.

Em 1839, o cientista Charles Goodyear através de experiências realizadas com o enxofre descobriu um processo em que o mesmo se reagia com a borracha durante um processo de aquecimento e de resfriamento contínuo. Já o início da indústria de polímeros ocorreu após o domínio ao processo de vulcanização da borracha natural. Após alguns anos, por volta de 1844 Goodyear patenteou o processo de vulcanização e com essa descoberta se procedeu um enorme impacto, fazendo que se aumenta-se o consumo de 25 toneladas em 1830 para 6000 toneladas em 1860. Alguns anos depois, em 1866, P. E. M. Berthelot utilizou o termo polímero dentro do mesmo contexto de Berzelius.

Em 1870, os irmãos Hyatt descobriram o processo de plastificação do nitrato de celulose e foram obtidas várias aplicações deste produto, como por exemplo bolas de bilhar, escova de dentes, etc. Até o momento esse processo de industrialização só modificava os polímeros naturais e a partir de 1907 que se sintetizou o primeiro material polimérico totalmente sintético através de um processo de síntese da baquelite pelo Lord Baekeland.

Em 1912, com a fabricação dos pneus e câmaras de ar, o consumo cresceu ainda mais e somente em 1922 que o termo polímeros começou a ser utilizado como nos dias atuais por

Hermann Staudinger. Staudinger foi quem introduziu o conceito e o termo macromolécula, tanto para polímeros naturais como também sintéticos.

Em 1935, Carothers anunciou o desenvolvimento da síntese do Nylon 6,6 e poucos anos mais tarde, em 1937, comete suicídio, e, mesmo com a perda a DuPont da procedência as pesquisas e em 1938 anuncia no New York Times o desenvolvimento de fibras têxteis de Nylon 6,6, como a fibra de seda sintética.

Em 1946, J.R. Whinfield anunciou o PET e que também poderia ser utilizado como uma fibra têxtil. Já em 1947, O. Bayer desenvolveu a síntese do poliuretano elastomérico.

Nas décadas de 20 e 30 houve o estabelecimento dos conceitos básicos dos polímeros, enquanto nas décadas de 40, 50 e 60 houve o desenvolvimento tecnológico da síntese de novos polímeros. Desde então, a evolução dos polímeros tomou o rumo das pesquisas de matérias poliméricas executadas por companhias voltadas para as novas tecnologias de transformação.

Tabela 1: Início da comercialização de alguns polímeros sintéticos

Ano	Sigla	Polímero	Fabricante
1927	PVC	Poli cloreto de vinila)	B.P. Goodrich
1930	OS	Poliestireno	I.G. Farben/Dow
1936	PMMA	Poli (metacrilato de metila)	Rohm and Haas
1936	PA 6.6	Nylon 6.6	DuPont
1939	LDPE	Polietileno de Baixa Densidade	ICI
1946	PTEE	Poli (tetra fluor etileno)	Rohm and Haas
1948	ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno	Bayer/DuPont
1954	PU	Poliuretanos	Hoechst
1954	HDPE	Polietilino de Alta Densidade	ICI
1954	PET	Poli (tereftalato de etileno)	Allied
1956	PA 6	Poliamida ou Nylon 6	Phillips Petrol.
1957	PP	Polipropileno	GE/Bayer
1958	PC	Policarbonato	DuPont
1958	POM	Poliacetal ou Acetal	DuPont-Canada
1959	LLDPE	Polietileno Linear de Baixa Dens.	DuPont
1960	ARAMID	Poli (amida aromática)	DuPont
1963	PI	Políimidas	GE
1965	PPO	Poli (eter fenileno) ou Noryl	Shell
1969	SBS	Borracha Termoplástica	Celanese
1972	PBT	Poli (tereftalato de butileno)	Phillips Petrol.

Fonte: Utracki, LA

Tabela 2: Primeira ocorrência e primeira produção de alguns polímeros comerciais

Polímero	1ª ocorrência	1ª produção industrial
PVC	1915	1933
PS	1900	1936/7
PEBD (LDPE)	1933	1939
NYLON	1930	1940
PEAD (HDPE)	1953	1955
PP	1954	1959
PC	1953	1958

Fonte: Canevarolo, 2002

## 2.2 O Conceito de polímero

Segundo Canevarolo, (2002, p. 21), a palavra polímero teve sua origem proveniente do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). O polímero é uma molécula que tem em sua composição dezenas de milhares de unidades de repetição chamadas de meros, com ligações covalentes. A produção de um polímero está basicamente na matéria-prima que é o monômero.

Os materiais poliméricos se distinguem dos outros materiais sólidos (metais e cerâmicas) quanto seus termos de propriedades, suas ligações químicas e estrutura molecular, processamento e ao seu comportamento e conformação mecânica. São formados por macromoléculas (moléculas de elevada massa molecular que apresenta unidades de repetição) que por sua vez são formadas pela repetição de moléculas pequenas e simples ligações químicas, que são chamadas de monômeros (meros).

Os polímeros podem ser classificados de diversas formas, dentre elas:

- a) sua ocorrência: podem ser naturais e sintéticos;
- b) sua estrutura: podem ser lineares ou tridimensionais;
- c) natureza de sua cadeia: podem ser de cadeia homogênea ou de cadeia heterogênea;
- d) seu comportamento mecânico: podem ser classificados em elastômeros, plásticos e fibras;
- e) à disposição espacial dos seus monômeros: temos polímeros táticos e polímeros atáticos;
- f) à sua morfologia: podem ser amorfos e semi-cristalinos;
- g) tipo de reação que lhe deu origem: esta por sua vez é a classificação mais importante.

O peso de uma molécula polimérica depende do processo químico ao qual foi obtido. Em relação aos meros, estes são derivados da matéria prima que deu origem ao mesmo.

## 2.3 Polimerização

Segundo, Russel (1981), É uma reação sofrida por monômeros ao se combinarem entre si formando um composto de molecular longo e sem a formação se outros produtos de peso molecular curto.

Os polímeros podem ser agrupados por meio de duas reações:

- a) Poliadição: forma-se por sucessivas adições de unidades moleculares que se encontram repetidas;
- b) Policondensação: forma-se através da eliminação de pequenas moléculas.

Este processo denominado polimerização é obtido através de calor ou de reagentes e pode ou não ser reversível.

## 2.4 Características dos polímeros

As características mecânicas dos polímeros são as mais importantes e os estes estão divididos em termoplásticos, termorrígidos (termofixos) e elastômeros (borrachas).

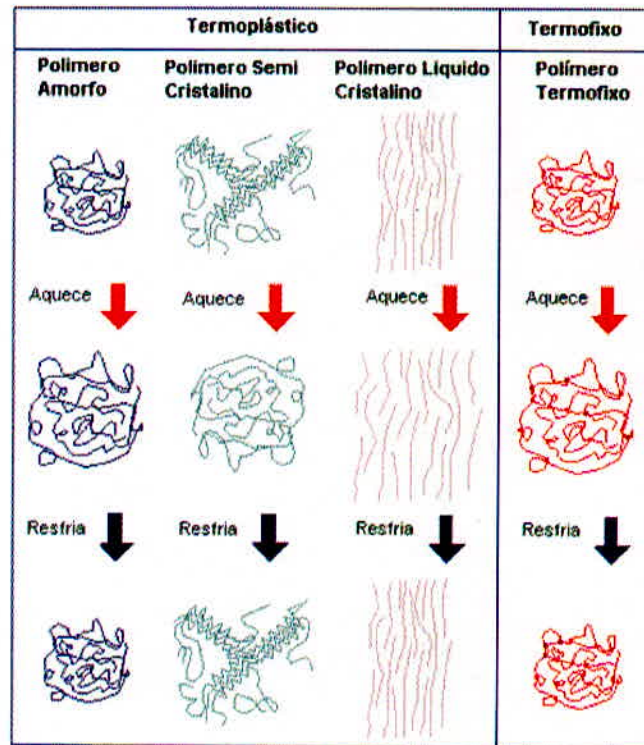
### 2.4.1 Estrutura molecular

- a) Polímeros Lineares: são formados por monômeros bifuncionais (é quando os meros estão unidos ponta a ponta em cadeias únicas) com cadeias flexíveis e as moléculas adjacentes são unidas por força secundária. Quando aumenta sua temperatura, aumenta também sua plasticidade.
- b) Polímeros Ramificados: são formados por cadeias lineares ligadas perpendicularmente ao corpo do monômero, ou seja, estão ligadas às cadeias principais sendo considerada parte das mesmas. As ramificações aumentam o entrelaçamento de cadeias.
- c) Polímeros com Ligações Cruzadas: são ligações covalentes entre as cadeias lineares adjacentes que estão ligadas umas às outras. Estas ligações são cruzadas e têm alta densidade, não são reversíveis e são obtidas durante a síntese do polímero a altas temperaturas.
- d) Polímeros em Rede: é quando o mero forma redes tridimensionais através de três ligações covalentes ativas. São assim, também chamados de polímeros em rede, quando os mesmos possuem várias ligações cruzadas junto a propriedades mecânicas e térmicas distintas.
- e) Homopolímeros: é a formação através da repetição um monômero apenas.



f) Copolímeros: é a formação através de várias unidades repetidas dentro da cadeia que pode ser constituído de dois ou mais tipos de monômeros diferentes.

Figura 1: Arranjo molecular Termoplásticos x Termofixos



Fonte: Canevarolo, 2002

## 2.5 Termoplástico

Segundo, Marinho (2005), quando os polímeros sofrem ação de temperatura e pressão começam amolecer, assim pode assumir a forma do molde e podendo ser refeito o mesmo processo novamente, tornando-o reciclável. Os termoplásticos são dúcteis, podem ser amolecidos facilmente, são a maioria dos polímeros lineares e também são a maior quantidade de polímeros encontrados no mercado.

### 2.5.1 Tipos de termoplásticos

- PC (policarbonato);
- PU (poliuretano);
- PVC (policloreto de vinila ou cloreto de polivinila);
- PS (poliestireno);

- e) PP (polipropileno);
- f) PET (polietileno tereftalato);
- g) Plexiglas (vidro plástico);
- h) PEAD - (polietileno de alta densidade);
- i) PEBD - (polietileno de baixa densidade);
- j) ABS (acrilonitrila butadieno-estireno);
- k) EVA (etileno Vinil Acetato);
- l) PA (poliamida).

## **2.6 Termorrígidos**

Segundo Marinho (2005) quando os polímeros sofrem ação de temperatura e pressão começam amolecer, assim pode assumir a forma do molde, e, por serem mais rígidos, frágeis e fortes que os termoplásticos, uma vez modificado o termorrígido não mais retorna ao seu estado natural, fazendo com que não se possa mais ser reutilizado, portanto torna-se insolúvel e infusível.

### **2.6.1 Tipos de termorrígidos**

- a) Baquelite;
- b) Poliéster.

## **2.7 Elastômeros**

É uma categoria que fica entre os termoplásticos e os termorrígidos. Os elastômeros possuem uma alta elasticidade, sem serem fusíveis e não tem a rigidez de um termofixo, portanto não possui fusão, tornando-o assim complicado de ser reciclado.

### **2.7.1 Tipos de elastômeros**

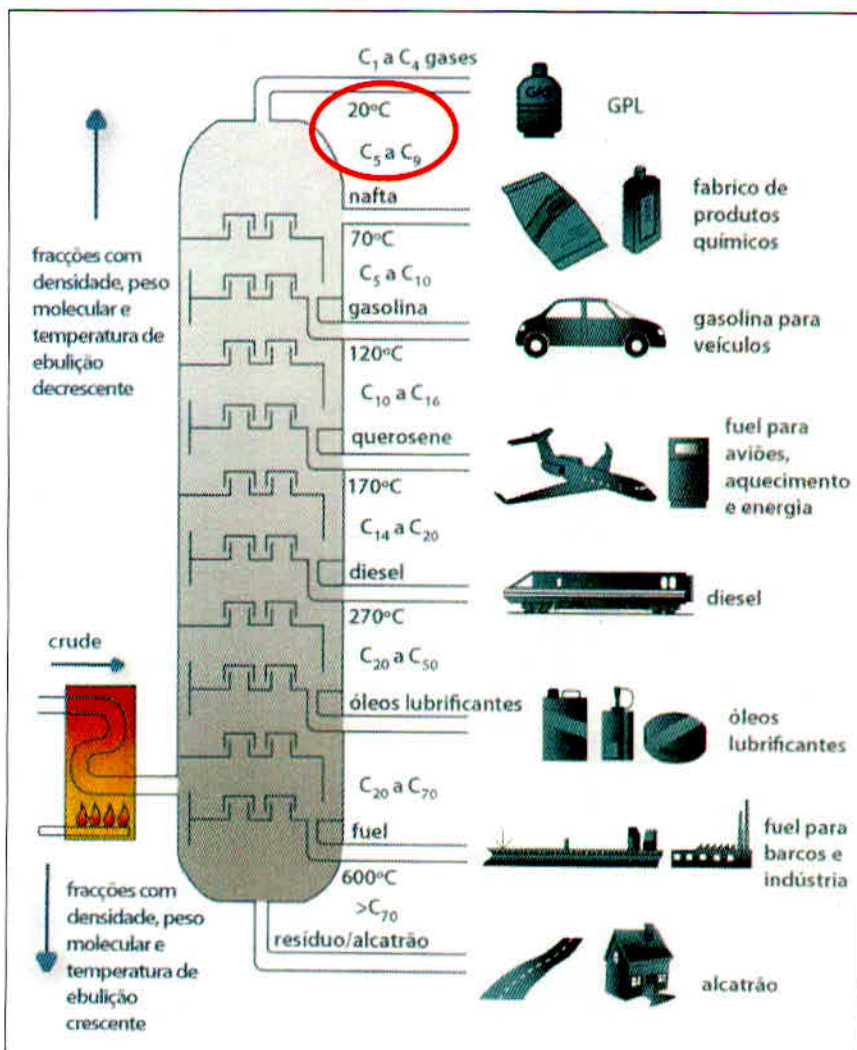
- a) Poliisopreno (borracha semelhante à natural);
- b) Buna S (butadiene);
- c) Buna N (perbunan);
- d) Neopreno (policloropreno).

## 2.8 Obtenção do plástico

A principal substância para obtenção do plástico é o petróleo. Pelo fato de que o petróleo é constituído por uma mistura de compostos orgânicos, este passa por um processo de destilação fracionada do óleo cru, que é feito em refinarias e com isso obtemos o gás, a nafta, a gasolina, o querosene, o óleo diesel, as graxas parafínicas, os óleos lubrificantes e o piche.

Para obtenção do plástico, este passa pela fração da nafta da qual são obtidos os monômeros e assim é que submetido a um processo de craqueamento térmico, e, com isso gera várias substâncias que são denominados petroquímicos básicos. Após este processo pronto é feita uma nova transformação na qual são gerados os petroquímicos finos, que são a base para o produto final ( produto de consumo).

Figura 2: Destilação do petróleo



Fonte: Canevarolo, 2002

## 2.9 Processo de fabricação dos plásticos

O processo para a fabricação dos plásticos deve passar por algumas etapas: preparação das matérias-primas e dos monômeros; realização das reações de polimerização; processamento dos polímeros em resinas de polímeros finais; fabricação dos produtos com acabamento.

### 2.9.1 Preparação das matérias-primas e dos monômeros

Este processo tem seu início com a obtenção das matérias-primas que formam os monômeros. O petróleo bruto é um exemplo, pois, este possui hidrocarbonetos (formam monômeros) que deles se obtém o etileno e propileno. Através do craqueamento se obtém os monômeros de hidrocarboneto e outros monômeros de carbono que são utilizados na fabricação de plásticos.

### 2.9.2 Realização das reações de polimerização

Este processo tem por objetivo a realização das reações de polimerização dos monômeros em grandes usinas de polimerização. Com as reações são produzidas e coletadas as resinas de polímero.

### 2.9.3 Processamento dos polímeros em resinas de polímeros finais

Neste processo pode ter a inclusão de plastificantes, tintas e substâncias químicas que são resistentes ao fogo. Geralmente as resinas contidas nesse processo podem estar no formato granular ou no formato de bolhas.

### 2.9.4 Fabricação dos produtos com acabamento

Este processo tem a finalidade de processar as resinas de polímero em produtos plásticos finais. Neste processo as resinas poliméricas são geralmente, aquecidas, moldadas e resfriadas.

Dependendo do produto a ser fabricado, pode haver alguns processos envolvidos:

- a) Moldagem por rotação: é um processo do qual os grânulos de resina são aquecidos e resfriados num molde que pode ser girado em três dimensões. Com essa rotação a uma distribuição uniforme do plástico dentro do molde. Este processo é utilizado para fabricação de objetos plásticos grandes e ocos.
- b) Moldagem por extrusão: a extrusora possui em seu interior uma rosca sem fim (parafuso de arquimedes) que transporta o material plástico. Este material é aquecido, plastificado e comprimido, sendo empurrado através de uma matriz. A partir desta matriz sai um perfil parcialmente amolecido que é resfriado em um recipiente com água. Depois de resfriado, o mesmo é picotado e recebe o nome de pellet.
- c) Moldagem por sopro: este processo consiste na expansão de material plástico aquecido em uma pré-forma com auxílio de ar comprimido e é utilizado na confecção de peças ocas como fracos, garrafas, etc. Quando o material entra em contato com o molde este se molda, resfria e endurece, permitindo assim posteriormente a estes processos a abertura e retirada do produto moldado. Durante o processo uma linha contínua em relevo é formada.
- i) Moldagem por injeção: este processo consiste na introdução do material plástico amolecido em um molde fechado, com auxílio de ar comprimido e pressão fornecida por um êmbolo.

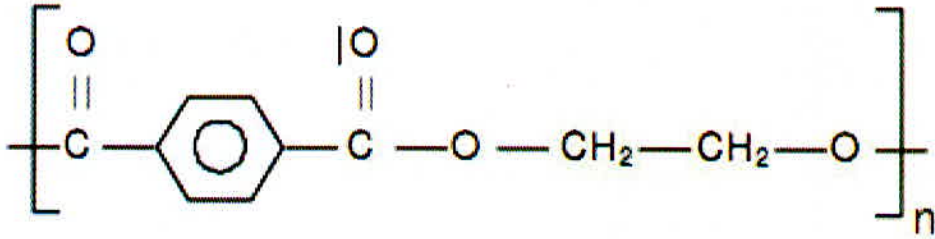
## **2.10 PET (politereftalato de etileno)**

O PET é um polímero termoplástico, polar, linear, com grupos aromáticos e de éster carboxílico, atóxico e pouco reativo, que foi desenvolvido por dois químicos britânicos Whinfield e Dickson em 1941. Por ter estas características isto o torna resistente a ácidos fracos, álcalis fracos, óleos, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, cetonas, álcoois, glicóis e éteres.

Quando o PET é aquecido ele amolece e por ser retroprocessado várias vezes tanto pelo mesmo processo quanto por outros. Porém, tem limitada resistência às intempéries e com isso este se degrada devido exposição contínua a altas temperaturas, à radiação ultravioleta, à ação do oxigênio, à umidade e aos poluentes atmosféricos.

A partir da década de 50 foi comercializado na forma de fibras, anos mais tarde como Terilene™ e somente no início da década de 70 começou a ser utilizado pela indústria de embalagens. As embalagens para bebidas utiliza principalmente a forma de fibras para tecelagem.

Figura 3: Estrutura química do PET



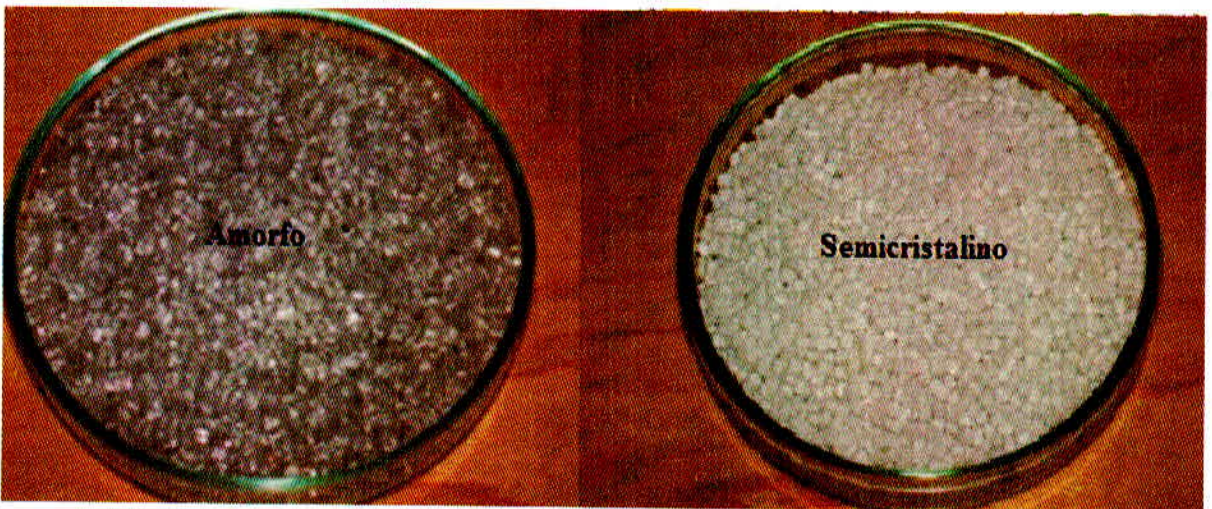
Fonte: Mano e Mendes, 1999

A coleta seletiva de garrafa PET teve seu início no Estados Unidos e no Canadá na década de 80. Com a melhoria da qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos, lâminas e garrafas para produtos não alimentícios. E somente na década de 90 foi autorizado a utilização deste material reciclado em embalagens de alimentos.

O PET pode apresentar-se em condições de diferentes massas molares e cristalinidade. Quando um polímero de PET está em estado amorfo, este tem uma maior cristalinidade e com a elevação do grau de cristalinidade diminui.

Os polímeros quando estão em estado sólido se forem aquecidos a uma temperatura acima de sua transição vítrea, podem cristalizar.

Figura 4: PET amorfo e semicristalino



Fonte: o autor

### 3 APLICAÇÕES DO PET

O PET pode ser utilizado de diversas maneiras diferentes conforme o produto final que deseja obter. Diversos setores da economia utilizam este material polimérico, tanto virgem quanto reciclado.

#### 3.1 Aplicações do PET reciclado

No setor doméstico: Roupas, cabides, edredons, travesseiros, mantas, carpete, bicho de pelúcia, embalagens de produtos de limpeza, embalagens de alimentos, manta do vaso de jardim, corda de varal, vassouras, etc.

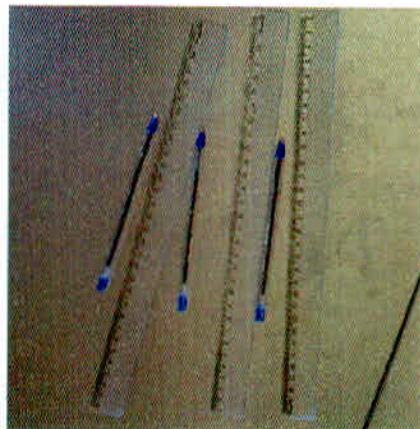
Figura 5: PET reciclado no setor doméstico



Fonte: o autor

No setor administrativo e no setor educacional: Compasso, régua, caneta, porta lápis e caneta, relógio, lapiseira, etc.

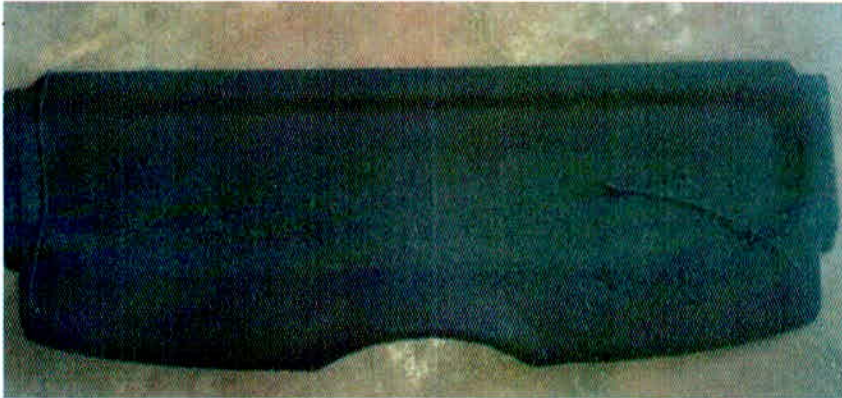
Figura 6: Material escolar de PET reciclado



Fonte: o autor

No setor automotivo: Carros nacionais têm seus revestimentos de carpete com 100% PET reciclado, porta-pacotes, forro de teto, pára-choques, partes da cabine, banco de ônibus, banco de trens, banco de metrô, etc.

Figura 7: Porta pacotes (tampa porta-malas)



Fonte: o autor

Na Sinalização Viária: Displays, indicadores, luminosos, sinalização horizontal, placas, etc.

Na Área Esportiva: Bolas, chuteiras, bancos dos estádios, etc.

Na Comunicação: Celular com o revestimento feito de PET reciclado.

Figura 8: Celular com revestimento feito de PET reciclado



Fonte: Motorola, 2012

Na Construção Civil: Caixa d'água, tubos, torneiras, conexões, piscina, telhas, mármore sintético (utilizado em bancadas e pias), tintas e vernizes (usam PET reciclado em sua fabricação).



## 4 METODOLOGIA

Com pesquisas e testes pode-se apontar e apresentar os principais processos para o reaproveitamento de PET no processo de injeção, pois, existe uma geração de resíduos, rabichos, rebarbas, peças defeituosas, acúmulo em no lixo urbano (garrafas PET) entre outros.

Pretende-se fazer uma primeira separação destes, para que não exista contaminação do mesmo e após esta será feita a reciclagem mecânica através do corte, moagem destes com um granulador de facas rotativas. Após, gerado grãos através do processo de moagem, estes vão para a lavagem e depois a estufagem para que se possa reutilizá-los no processo de injeção. Pronto essa etapa, serão feitos ensaios de tração, ensaios de dureza e de microscopia óptica, para saber se poderá ser utilizado separadamente ou em mistura com polímero virgem.

### 4.1 Reciclagem

A reciclagem é o processamento das sobras, das borras, das rebarbas, rabichos e das peças defeituosas dentro da linha de produção das próprias indústrias ou de lixo urbano (garrafas PET). Várias indústrias do setor de injeção de peças plásticas já adotam este procedimento visando com que se diminua de seus custos. Em outras empresas esse retroprocesso é feito para a venda deste material como polímero reciclado. Porém, deve-se tomar um muito cuidado com a sucessiva repetição desse reprocessamento, pois quando se utilizado várias vezes este pode acarretar degradação do material diminuindo sua qualidade. Por isso deve-se ter um rigoroso controle de qualidade junto a este processo.

Figura 9: Simbologia para identificação de embalagens poliméricas, NORMA NBR 13.230



Fonte: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

De acordo com os programas de educação que são desenvolvidos em escolas, comunidades e empresas estão proporcionando um apoio a implantação de projetos de coleta seletiva, mas também auxiliam na geração de empregos e na conservação do meio ambiente.

#### 4.1.2 Metodologia da reciclagem

Em todo processo de reciclagem para se obter êxito deve-se seguir métodos e parâmetros junto a uma grande qualidade. Existem algumas etapas de reciclagem de polímeros, das quais utilizaremos a primária e a secundária.

##### 4.1.2.1 Reciclagem primária

A reciclagem primária consiste no reaproveitamento de peças com defeito, em rabichos, aparas, rebarbas, borras, lixo urbano (garrafas PET).

##### 4.1.2.2 Reciclagem secundária

A reciclagem secundária consiste na transformação dos polímeros descartados em grânulos que podem ser utilizados novamente para se fabricar outros materiais.

##### 4.1.2.3 Reciclagem mecânica

Nos dois tipos de reciclagens o que diferencia uma da outra é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na secundária, pós-consumo e também são conhecidas como reciclagem mecânica.

A reciclagem mecânica é a conversão dos descartes e detritos plásticos pós-industriais ou pós-consumo em material granulado. Esse material obtido pode ser retroprocessado para obtenção de outros produtos.

#### 4.1.3 Fatores econômicos, sociais e ambientais

Por demorar séculos para se degradar e ocuparem grande parte dos aterros sanitários os polímeros causam um grande impacto ambiental. Estes interferem de forma negativa nos

processos de compostagem e de estabilização biológica. Por isso a reciclagem dos polímeros é uma das soluções mais viáveis para que se minimizem os impactos ao meio ambiente.

Dentre diversos fatores que influenciam na reciclagem dos polímeros, alguns que se destacam são:

- a) diminuição de lixo sólido urbano;
- b) economia de energia;
- c) preservação de fontes esgotáveis de matéria-prima;
- d) redução de custos com disposição final do resíduo;
- e) aumento da vida útil dos aterros sanitários;
- f) redução de gastos com a limpeza;
- g) saúde pública.

Figura 10: Sustentabilidade ambiental



Fonte: o autor

## 4.2 Proposta de reaproveitamento

Nos dias atuais boa parte do lixo urbano é garrafa PET e durante o processo de injeção deste mesmo termoplástico são gerados resíduos, rabichos, rebarbas, peças defeituosas. Com a utilização de moedores de pet ou de máquinas como um moinho granulador de facas rotativas, é feita a moagem destes, depois a lavagem e estufagem para que possam ser reutilizados na injeção.

Como no processo de injeção são gerados resíduos e peças não conforme, observe abaixo exemploss:

Canais de injeção: tem a finalidade de conduzir o material polimérico até a cavidade do molde e não faz parte do produto final.

Figura 11: Rabicho de PET



Fonte: o autor

Borra de injeção: quando é necessário fazer troca de matéria-prima de uma injetora, deve-se fazer a limpeza do cilindro e após esta limpeza deve-se também purgar pra eliminação completa da presença de material de limpeza, gerando assim a borra.

Figura 12: Borra de injeção



Fonte: o autor

A borra quando bem cuidada, ou seja, separada na hora em que é gerada e não sendo degradada, pode ser 100% reaproveitada.

A obtenção dos grânulos de PET (para borras e rabichos) se dá através de um granulador com facas fixas e rotativas, que possui um motor elétrico e é alimentado de forma manual. Já para os grânulos obtidos através de moagem de garrafa pet se utiliza maquina de moer garrafas de pet.

Figura 13: Máquina de moer garrafas PET



Fonte: o autor

Figura 14: Moinho granulador rotativo com facas fixas



Fonte: o autor

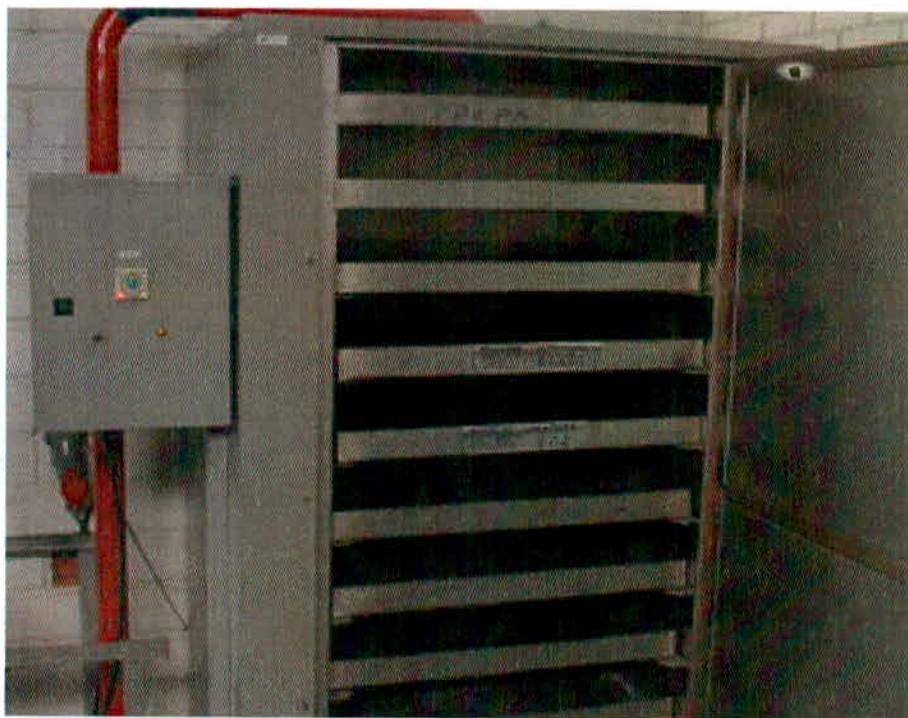
### 4.3 Lavagem

Após o processo de moagem este passa por tanques com agitadores contendo água e solução de detergente aquecido para que possa ser lavado. Para se obter uma boa lavagem este irá depender da quantidade de gordura, detritos aderidos ao plástico e essencialmente da substituição da água utilizada no processo. Essa água de lavagem deve receber um tratamento para a remoção de detergente e impurezas para que possa ser novamente reutilizada.

#### 4.4 Secagem do material

O PET é higroscópico e absorve umidade a uma taxa de 0,03%. Para isso deve ser seca por quatro horas a 110°C antes de utilizada e um novo processo de injeção. Com isso estufa deve ser de grande demanda para que o pet reciclado não ultrapasse mais do que 0,01% de água.

Figura 15: Estufa

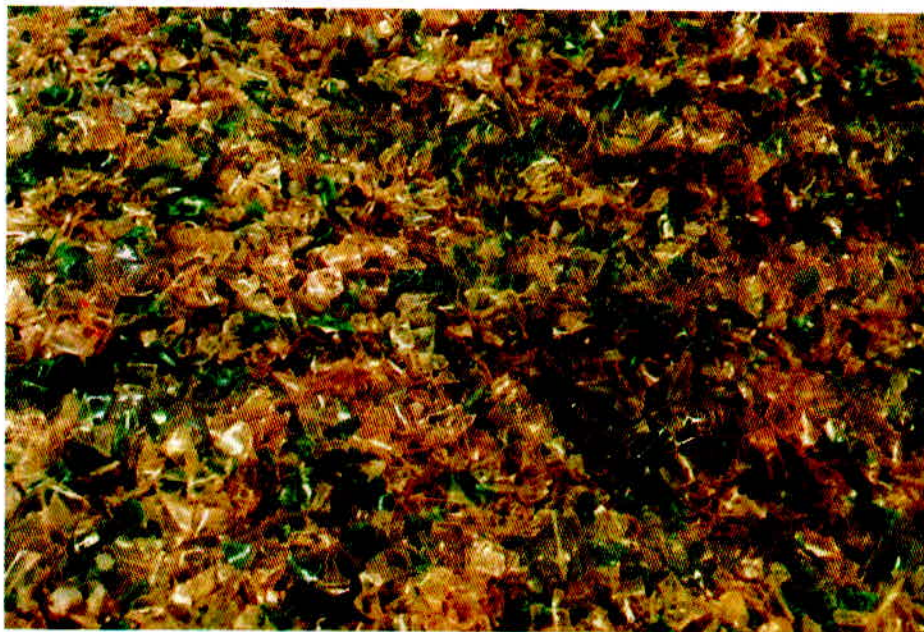


Fonte: o autor

#### 4.5 Preparação do material

É a etapa para a preparação da matéria-prima a ser injetada. Onde é realizado se necessário a mistura do material moído (rabicho, borra, garrafa pet) com o material virgem. Para fazer uma mistura é necessário ser feito testes para que os produtos injetados mantenham os padrões de qualidade exigidos. Os próprios fornecedores de matéria-prima já especificam a quantidade máxima de material moído que deve ser misturado ao virgem.

Figura 16: PET moído



Fonte: o autor

Logo após terem passado por todos esses processos, o material polimérico está pronto para um retroprocesso na injetora. Deve-se atentar para que este novo material atenda todas as especificações de qualidade.

## 5 ESTUDO DE CASO

Foram selecionados materiais virgens e reciclados para serem feitos os ensaios e análises.

### 5.1 Materiais utilizados nos ensaios

Para os Ensaio de Tração, Dureza, Microscopia Óptica foram utilizados amostras de filme reciclado (1) e filme virgem (2 e 3) de PET, extraído a partir de garrafas de refrigerante.

Figura 17: Amostras de PET



Fonte: o autor

### 5.2 Ensaio de dureza – ASTM2240

Dureza é uma propriedade do material sólido. Com o ensaio de dureza pode se avaliar a classificação conforme a profundidade de impressão provocada por uma carga aplicada. Foi utilizado um durômetro Shore D modelo HH-314, de acordo com a norma ASTM D 2240.

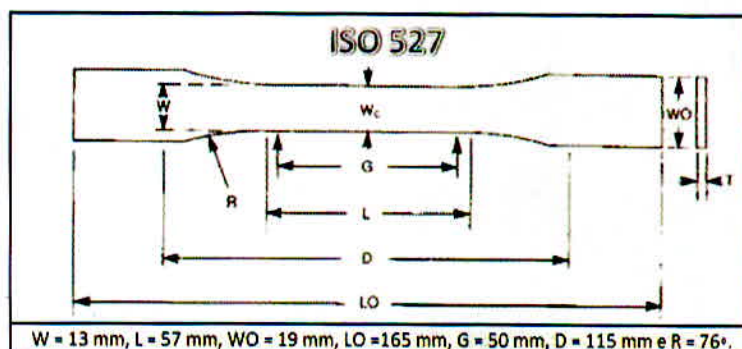
### 5.3 Teste de tração

Em um ensaio de tração, obtém-se o gráfico tensão-deformação, na qual é possível analisar o comportamento do material ao longo do ensaio. O objetivo do ensaio foi de puxá-los separadamente. Nesse experimento, os corpos de prova foram submetidos a uma velocidade de 10 mm/min a uma carga de 10KN.



O ensaio de tração consiste em submeter um material sob a forma de teste a um esforço que tende a alongá-lo até a sua ruptura. Geralmente, o ensaio é realizado em um corpo de prova com formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados ou, se necessário, reproduzidos. Este corpo é fixado a uma máquina de ensaios que aplica esforços crescentes em sua direção longitudinal, sendo medidas as deformações correspondentes. Os esforços ou cargas são medidas na própria máquina. (CHIAVERINI, V.,1986).

Figura 18: Corpo de prova segundo ISO 527



Fonte: ISSO 527-1:1993 – Plastics – Determination of tensile properties

Para ser feito um Ensaio de Tração deve-se ser fabricado um corpo de prova segundo norma ISO 527.

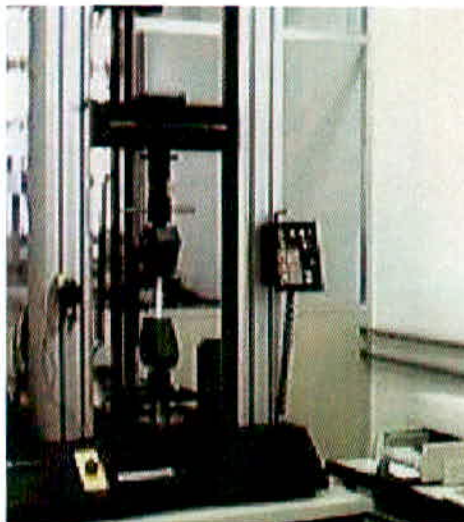
Figura 19: Corpos de prova



Fonte: o autor

O ensaio foi realizado através da curva força versus alongamento, pela máquina de Ensaio de Tração Universal da marca Instron, modelo 5569. Este ensaio obteve os parâmetros, ou seja, tensão máxima de ruptura, deformações de ruptura e extensibilidade do material.

Figura 20: Máquina para ensaio de tração, Instron modelo 5569



Fonte: o autor

#### 5.4 Microscopia óptica

Com o microscópio óptico a análise é simples e rápida. Este é um instrumento usado para ampliar estruturas pequenas e grandes que é impossível de ser visualizado a olho nu. Com a microscopia óptica pode-se observar incrustações, riscos e pontos de penetração. Foi utilizado o microscópio da marca Olympus BX-60M e realizado a observação no microscópio do material virgem e do reciclado, com 94 vezes de aumento, através da objetiva de 5X.

Figura 21: Microscópio da marca Olympus BX-60M



Fonte: o autor

## 6 RESULTADOS

De acordo com os resultados obtidos referentes aos Ensaio de Dureza, Ensaio de Tração e de Microscopia Óptica foram feitas médias dos valores obtidos.

### 6.1 Resultado dos ensaios de dureza

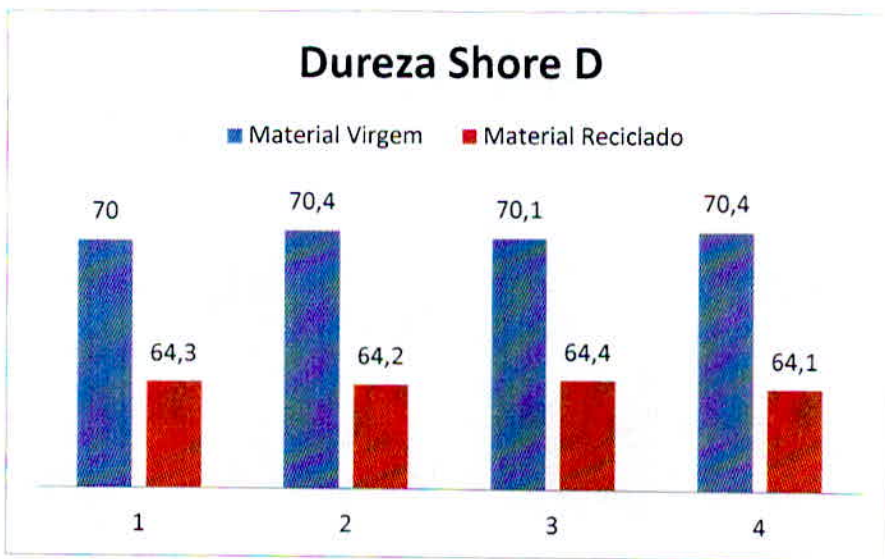
Foram realizadas testes em quatro amostra. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo. Após o Ensaio de Dureza Shore D é possível escrever os resultados estatísticos do mesmo.

Tabela 03: Resultado ensaio de dureza

Material Virgem				
Amostra	1	2	3	4
Dia (ensaio)	06/09/2012	06/09/2012	07/09/2012	07/09/2012
Dureza Shore D	70	70,4	70,1	70,4
Material Reciclado				
Amostra	1	2	3	4
Dia (ensaio)	06/09/2012	06/09/2012	07/09/2012	07/09/2012
Dureza Shore D	64,3	64,2	64,4	64,1

Fonte: o autor

Gráfico 1: Dureza Shore D



Fonte: o autor

Foi observado que os valores tem pouca discrepância em relação ao Ensaio de Dureza Shore D, ou seja, os valores ficaram muito próximos.

## 6.2 Resultado dos testes de tração

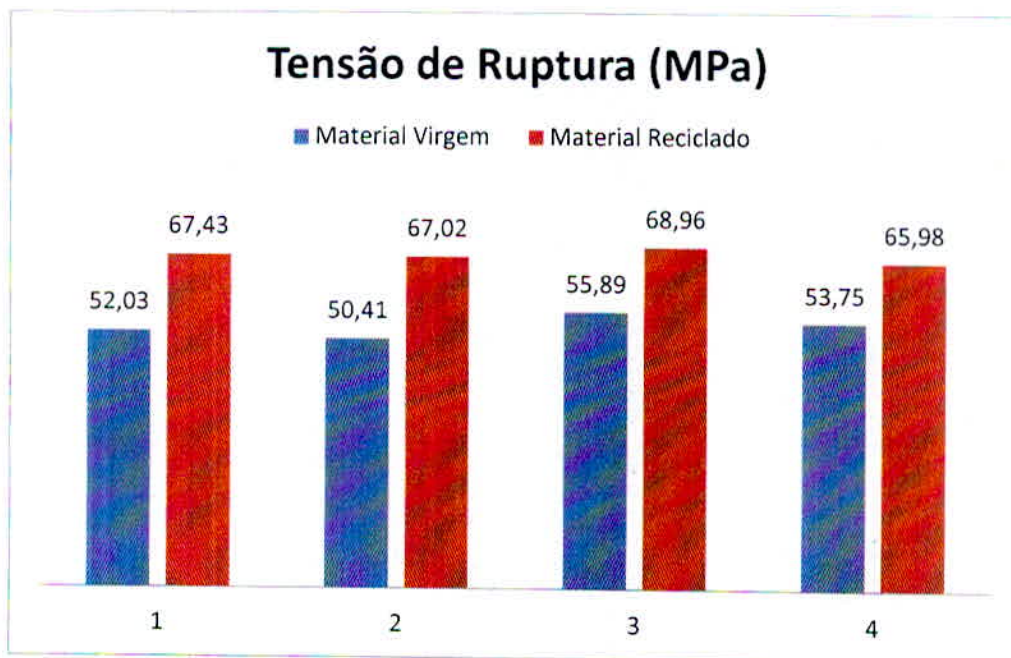
Foram realizadas testes em quatro amostra. Os resultados estão apresentados na tabela abaixo. Após o Ensaio de Tração é possível escrever os resultados estatísticos do mesmo.

Tabela 04: Resultado teste de tração

Material Virgem				
Amostra	1	2	3	4
Dia (ensaio)	06/09/2012	06/09/2012	07/09/2012	07/09/2012
Tensão de Ruptura (MPa)	52,03	50,41	55,89	53,75
Resistência de Ruptura	0,129	0,127	0,127	0,131
Material Reciclado				
Amostra	1	2	3	4
Dia (ensaio)	06/09/2012	06/09/2012	07/09/2012	07/09/2012
Tensão de Ruptura (MPa)	67,43	67,02	68,96	65,98
Resistência de Ruptura (MPa)	0,78	0,76	0,79	0,78

Fonte: o autor

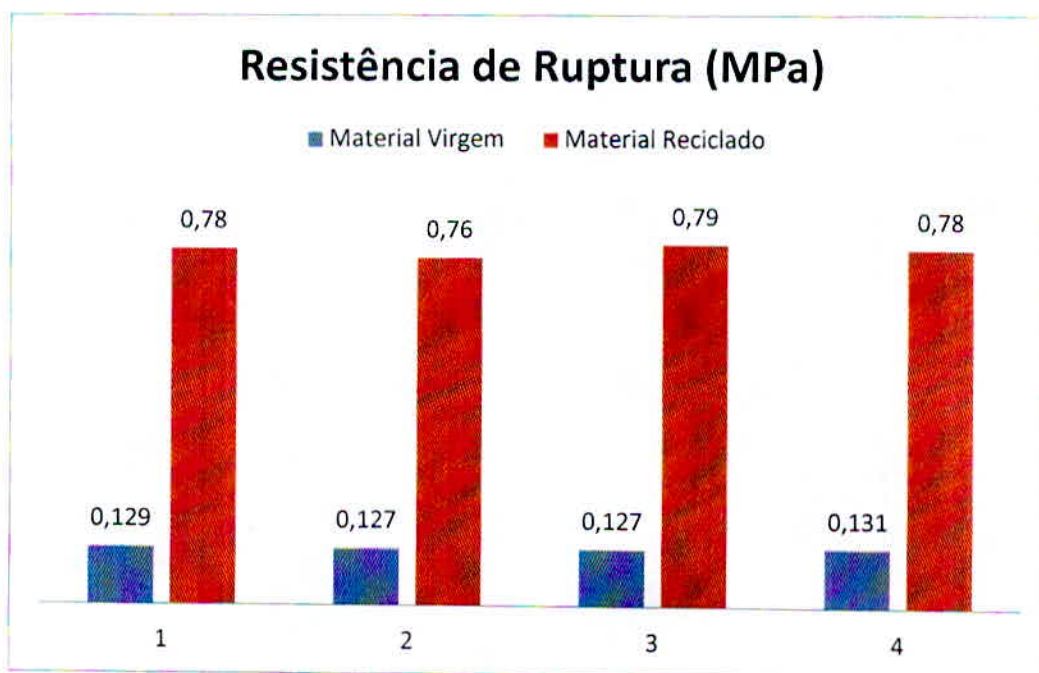
Gráfico 2: Tensão de ruptura



Fonte: o autor

Pode-se observar que a amostra virgem possui uma média menor, se comparado a amostra reciclada em relação a Tensão de Ruptura. Isto acontece devido a pigmentação sofrida desta amostra. Com uma adição excessiva de pigmentação na amostra virgem, prejudicou a sua performance causando assim uma diminuição em sua Tensão de Ruptura.

Gráfico 3: Resistência de ruptura



Fonte: o autor

A Resistência de Ruptura sofreu o mesmo caso da Tensão de Ruptura. Isto acontece devido a pigmentação sofrida desta amostra.

Esta pigmentação que foi adicionado as amostras a tornaram quebradiça quando estirada, com isso portanto diminui a sua flexibilidade e sua extensibilidade, mas não altera o seu objetivo na forma de produto final.

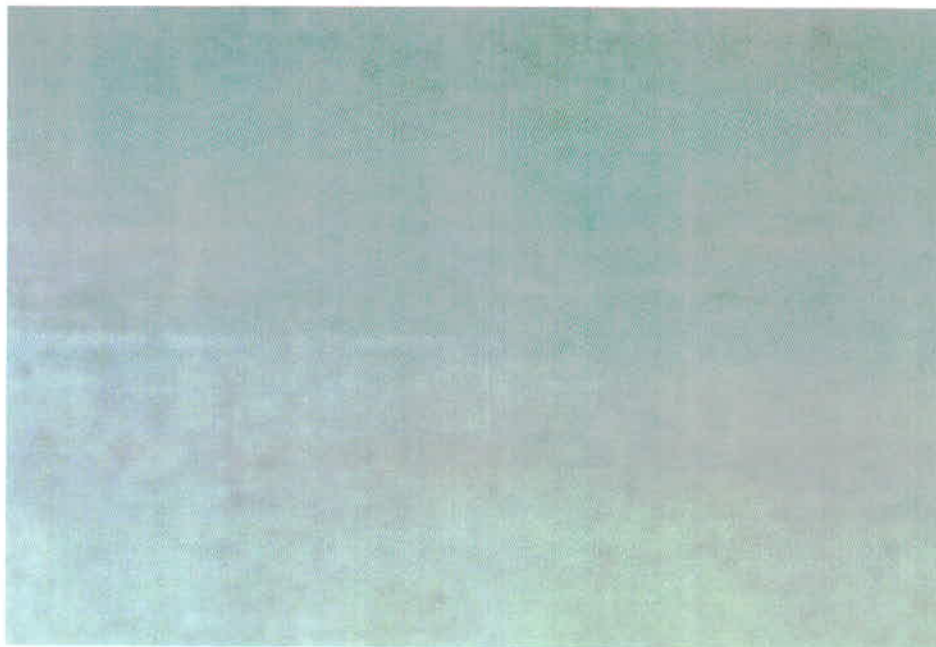
Quando adicionado uma pigmentação controla é certo que esta indicará maiores médias em relação aos seus valores de ruptura. Contudo mesmo tendo essa pigmentação controlada, os valores não seriam muito maiores do que o das amostras de material reciclado. Portanto, quando o PET passa por um retroprocesso há uma pequena perda dentro desta propriedade, mas não altera o seu produto final.

### 6.3 Resultado dos testes de microscopia óptica

Através de um Microscópio Óptico de Reflexão foram observadas as amostras de PET virgem e reciclada.

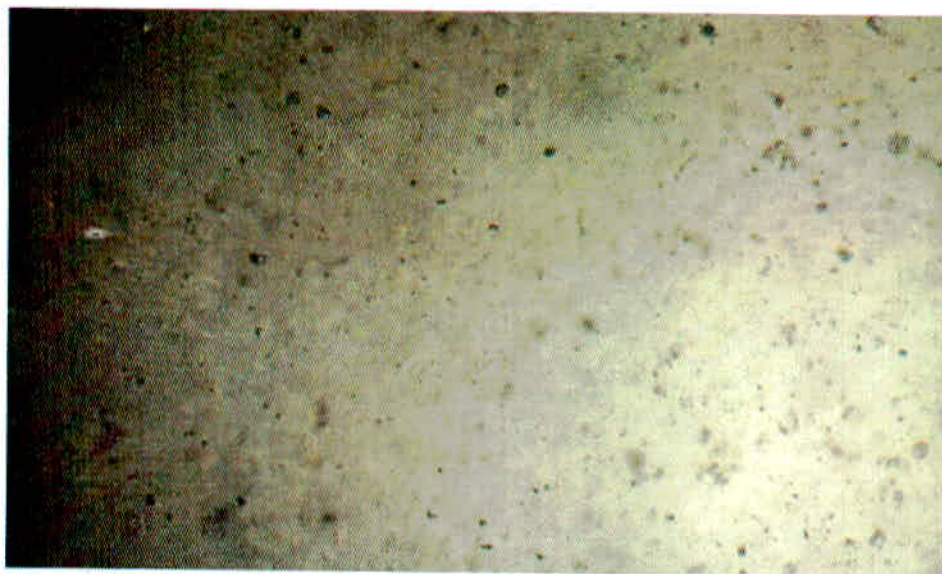
Devido a contaminantes por uma falta de qualidade na lavagem das embalagens de PET moídos, pode-se observar na figura 23 pontos pretos presentes na superfície da amostra. Já na figura 22 mostra uma amostra livre de contaminates.

Figura 22: Superfície da amostra de PET virgem



Fonte: o autor

Figura 23: Superfície da amostra de PET reciclado



Fonte: o autor

Também pode-se observar que na amostra de material reciclado apresenta um material mais grosseiro com riscos e desniveis na superfície.

Contudo, com maior qualidade nos processos para que não haja contaminantes é possível ser injetado um PET reciclado que se aproxima muito de um PET virgem.

## 7 CONCLUSÃO

Através dos valores obtidos nos ensaios pode-se concluir que o poli (tereftalato de etilino) ou PET com conhecido, não sofre grandes perdas em suas propriedades, pois, se comparado o material virgem ao reciclado verá que o reciclado conseguirá atender as especificações.

Apesar de que o material reciclado apresenta algumas impurezas é importante lembrar que o mesmo pode substituir o virgem em várias aplicações, mas, mesmo assim ainda é necessário outros testes. Esses testes são necessários, pois, com eles pode-se apontar fatores importantes sobre a sua estrutura e futuras aplicações. Contudo o objetivo principal deste estudo é mostrar que as sobras de injeção e o acúmulo de lixo urbano pode ser diminuído, contribuindo assim com a sustentabilidade ambiental. Mas vale lembrar que com a reciclagem do PET pode ser vantajoso também para o lado econômico. Sendo assim a reciclagem consciente valoriza e agrega um maior valor ao material e o deixa com menos contaminantes.

Mesmo tendo pouco embasamento teórico e poucas informações sobre este trabalho, venho por meio deste mostrar uma iniciativa a reciclagem, pois, a mesma pode proporcionar novos mercados aos polímeros reciclados e um maior conforto e bem estar da população brasileira. E com o Brasil sendo mais consciente, este poderá ser um exemplo ao mundo fazendo assim com que os outros países possam se espelhar nele e ter uma consciência ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ABIPET. Disponível em <http://www.abipet.org.br/index.html>. Acesso em: 07 de agosto de 2012.
- ALFREY, Turner e GURNEE, Edward F. **Polímeros orgânicos**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1971.
- BENTO, Daniela A. **Fundamentos de resistência dos materiais**. Florianópolis: Senai, 2003.
- BLASS, Arno. **Processamento de polímeros**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1988.
- CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciências dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica: estrutura e propriedades das ligas metálicas**. 4 ed. São Paulo: McGraw-Hill Ltda, 1986. v.1.
- EVANGELISTA, Viviane Filgueiras. **Modelagem e simulação do processo de polimerização em estado sólido do poli (tereftalato de etileno) e do nylon 66**. 2010. 244f. Dissertação (doutorado)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ISO 527-1:1993 - Plastics - Determination of tensile properties - Part 1: General principles.
- MANO, Eloisa Biasoto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a polímeros**. 2 ed. São Paulo: Blücher, 1999.
- MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber, 2004.
- MARINHO, Jean Richard D. **Macromoléculas e polímeros**. Barueri: Manole, 2005.
- MOTOROLA. Disponível em: <http://www.motorola.com/Consumers/Archive/US-EN/ARCHIVED-DO-NOT-USE-MOTO-W233-renew>. Acesso em: 21 setembro 2012
- NATGEO. Disponível em <http://natgeotv.com/pt/obras-incriveis-ecoark>. Acessado em 21 de agosto de 2012
- PEREIRA, Francisco Sávio Gomes. **Polímeros fundamentos científicos e tecnológicos**. Recife: Instituto Federal de Pernambuco, 2009.
- PLASTIVIDA. Disponível em <http://www.plastivida.org.br/2009/Default.aspx>. Acesso em 23 de setembro de 2012
- Russel, John B. **Química geral**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.
- SILVA, Talita C.; MIRANDA, Leila F. **Estudo comparativo das propriedades do poli (tereftalato de etileno) virgem e reciclado**. 2003. 24f. Dissertação (monografia)-Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2003.



## ANEXOS

### Anexo A - Rio+20 e o problema do lixo

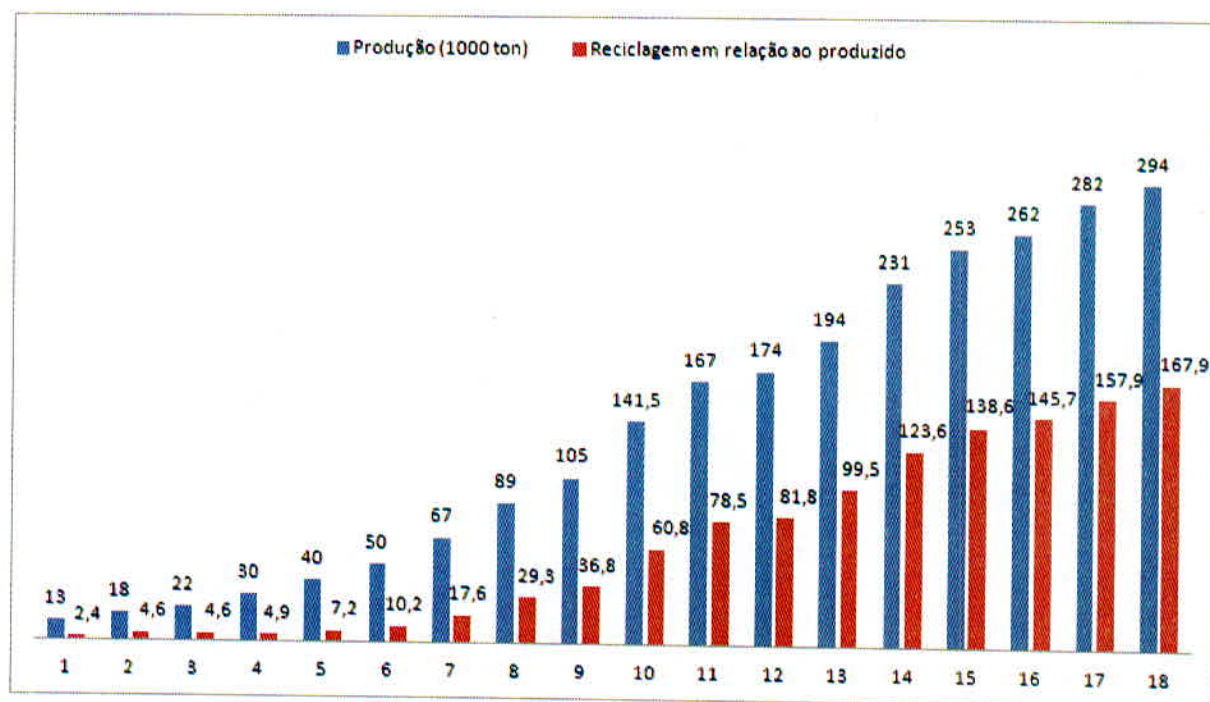
Ações urgentes precisam ser tomadas para resolver, ou pelo menos minimizar, o problema global do lixo. O desenvolvimento sustentável é um dos tópicos que vem sendo mais debatidos e comentados no Brasil. Porém os polímeros plásticos, estão sendo cada vez mais usados e o seu descarte sendo feito de maneira errônea. Pelo fato de que este tenha baixo custo, praticamente inerte, flexível, não quebra e é impermeável, a sua utilização vem se tornando indispensável.

O uso desses polímeros causa um problema ambiental quando descartado incorretamente, pois, a maioria dos polímeros não é biodegradável e leva cerca de 100 a 150 anos para desaparecer do meio ambiente. Por isso a cada dia que passa, o lixo aumenta e com isso aumenta mais ainda esse problema.

O maior problema que existe é o fato de que tem crianças, adolescentes e adultos que moram e trabalham nos lixões. Várias dessas crianças nasceram ali mesmo, vivem em extrema pobreza e estão sujeitas à doenças, abuso sexual, gravidez precoce e uso de drogas.

### Taxa de reciclagem de PET no Brasil

Gráfico 4: Taxa de reciclagem

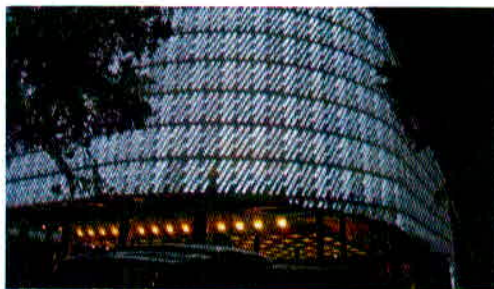


Fonte: Abipet

## Anexo B - EcoArk

Foi construído em Taipei, Taiwan um pavilhão com o nome de EcoARK, que é uma referência para o futuro dos prédios verdes.

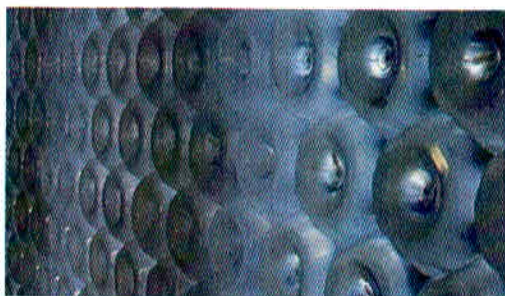
Figura 24: EcoArk



Fonte: NatGeo

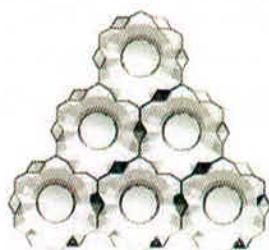
A partir do lema “Reduzir, Reutilizar e Reciclar”, o pavilhão apresenta uma estrutura que lembra uma colmeia e foi construído com polli-bricks (tijolos de garrafas plásticas recicladas). Este pavilhão possui nove pisos e utilizou mais de 1,5 milhões de garrafas PET.

Figura 25: Garrafas PET interligadas, formando parede



Fonte: NatGeo

Figura 26: Estrutura de montagem



Fonte: NatGeo

Com a metade do peso de um edifício convencional o EcoARK foi projetado para resistir às forças da natureza como tempestades, terremotos, fogo, etc.

Figura 27: Pavilhão do EcoArk em Taipei, Taiwan



Fonte: NatGeo

Ele também possui outras opções ecologicamente corretas como por exemplo, uma tela de coleta de água da chuva para usar como ar condicionado.

Figura 28: Parte externa do EcoArk



Fonte: NatGeo

A parte externa tem uma base para sustentação das garrafas e estas placas suportam até terremotos.

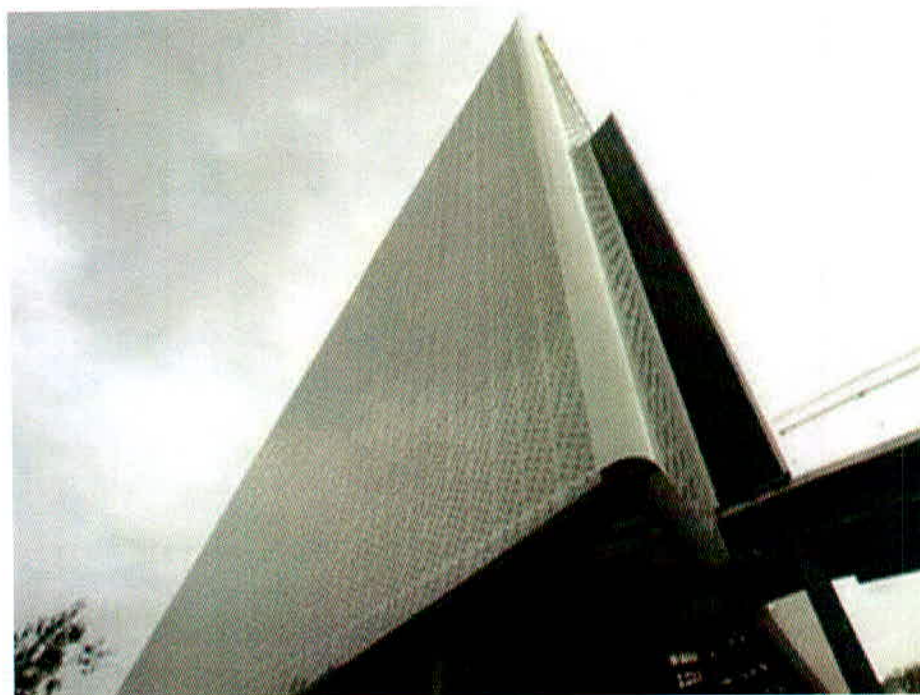
Figura 29: Parte interna do EcoArk



Fonte: NatGeo

O responsável pelo EcoArk (considerada um milagre ambiental), é a Far Eastern Group e está comprovado que é possível reaproveitar as garrafas pet.

Figura 30: Pavilhão EcoArk



Fonte: NatGeo

Figura 31: Lateral do pavilhão EcoArk



Fonte: NatGeo