

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Materiais



RECICLAGEM DE POLÍMEROS

J. A. M. AGNELLI

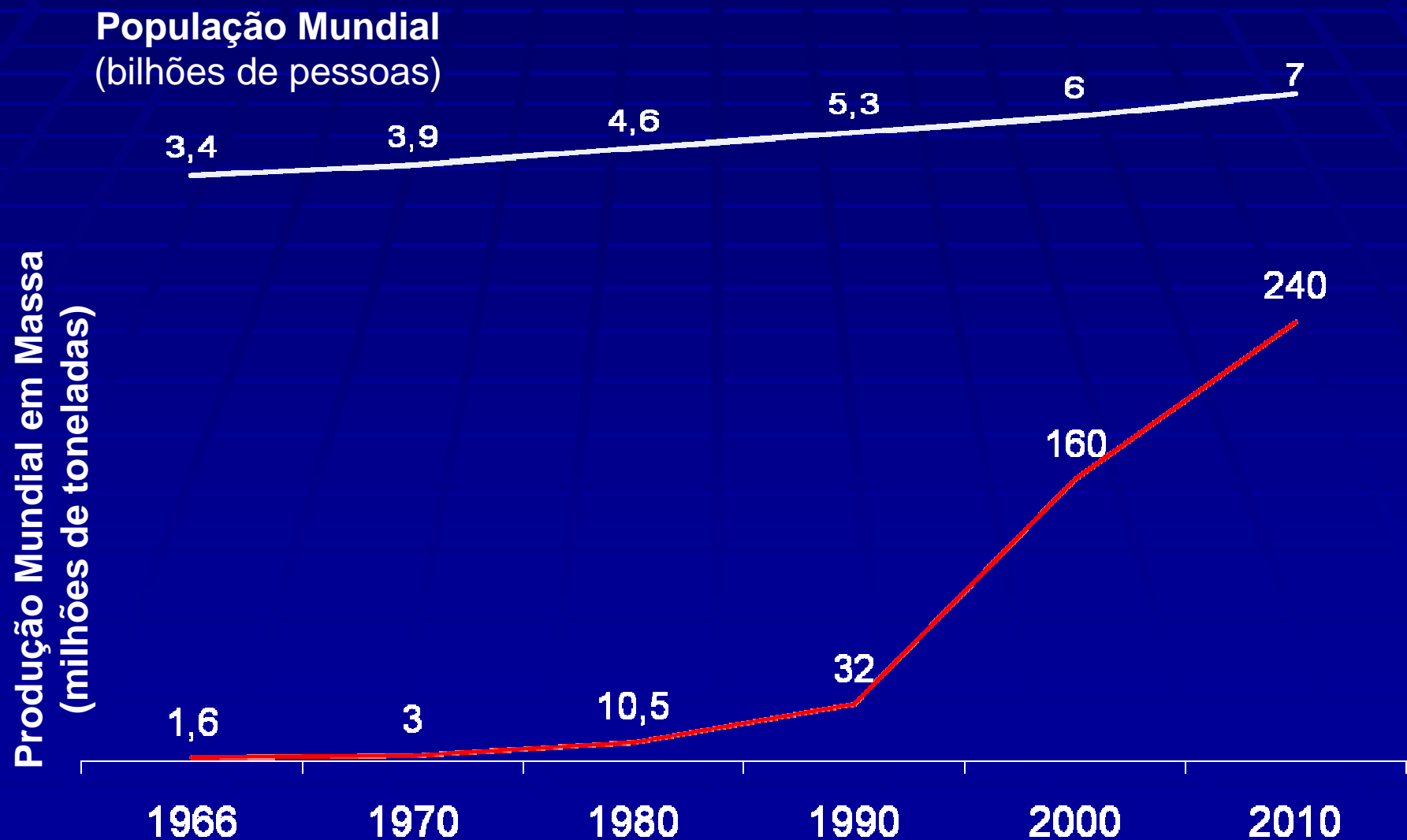
**I SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS DA
USP - SÃO CARLOS e NEPER
DEZEMBRO DE 2009**

O interesse atual na área de Polímeros pode ser explicado com base em **dois fatores**:

⇒ A possibilidade de melhorar e modificar amplamente as suas características e as suas propriedades.

⇒ O crescente emprego dos polímeros em aplicações convencionais, especiais e de engenharia.

CRESCIMENTO POPULACIONAL e CONSUMO DOS POLÍMEROS

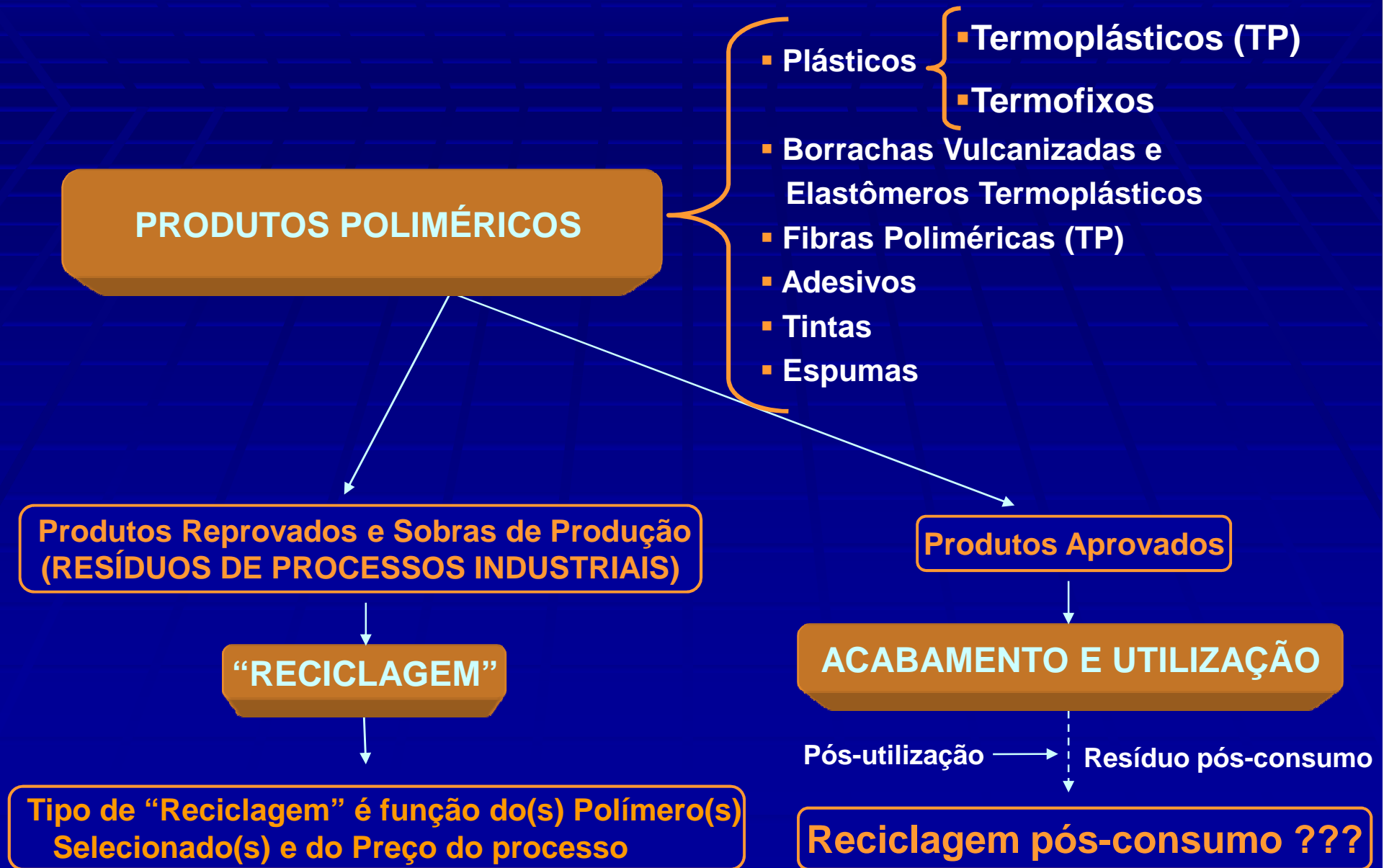


POLÍMEROS

Classe de Materiais que na forma final de utilização gera como produtos:

- *PLÁSTICOS*
 - Termoplásticos
 - Termofixos ou Termorrígidos
- *FIBRAS POLIMÉRICAS*
- *BORRACHAS* (ou ELASTÔMEROS)
- *ESPUMAS*
- *TINTAS*
- *ADESIVOS*

Possíveis etapas de Reaproveitamento de Produtos Poliméricos Convencionais



SITUAÇÕES MAIS FREQUENTES PARA A **SELEÇÃO** DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

Polímeros substituindo outras
classes de materiais

(com vantagens e **várias vezes** com
muitas desvantagens)

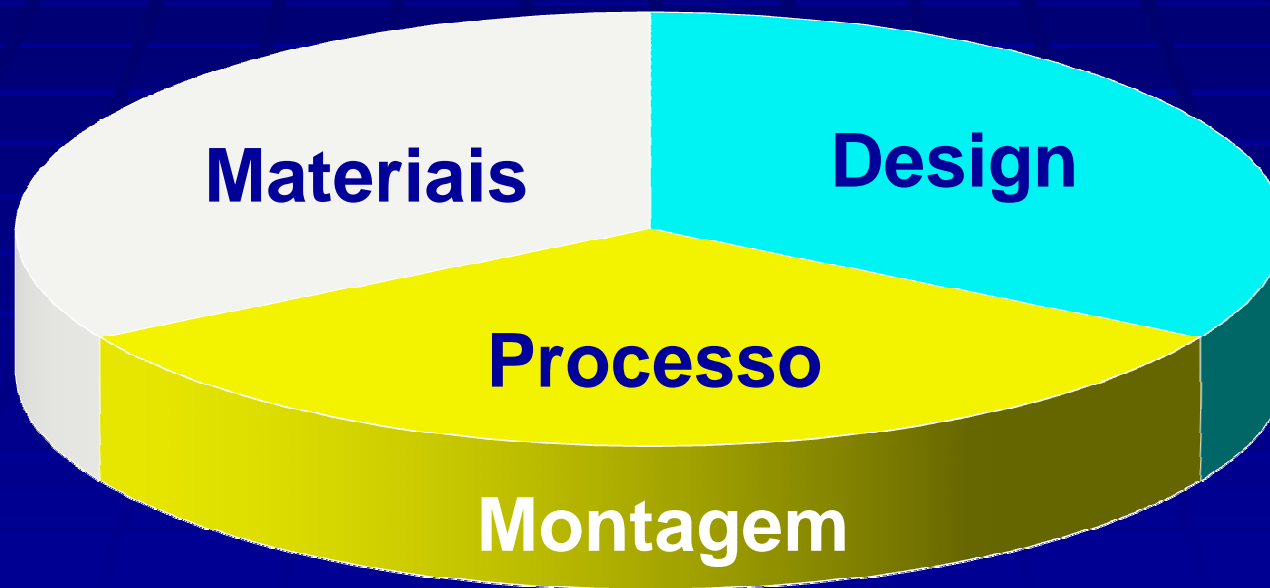
SITUAÇÕES MAIS FREQUENTES PARA A SELEÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

Polímeros competindo entre si

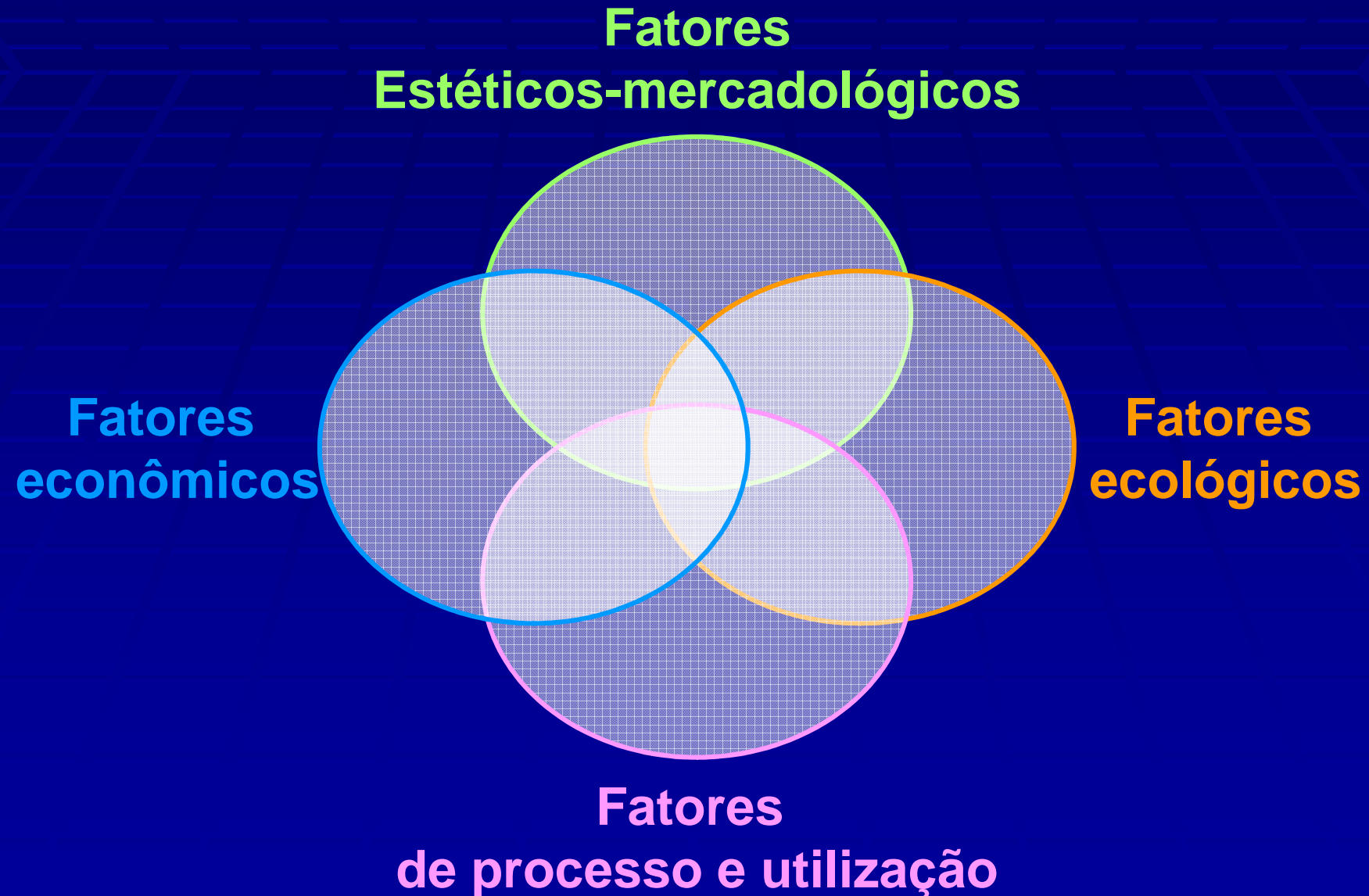
(polímero × polímero)

SELEÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

(critério de uma Empresa produtora de matéria-prima para as Indústrias Automobilísticas)



Seleção de Materiais Poliméricos (critério de uma Empresa de Eletrodomésticos)



Seleção de Materiais Poliméricos (critério de uma Empresa de Embalagens)



APLICAÇÕES



CURTO PRAZO

(OU CURTA DURAÇÃO)



LONGO PRAZO

(OU COM DURABILIDADE ELEVADA)

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

CURTO PRAZO (ou curta duração)

GRANDES GERADORAS DE RESÍDUOS

❑ EMBALAGENS

❑ ESPUMAS - DE PROTEÇÃO E DE ENCHIMENTO

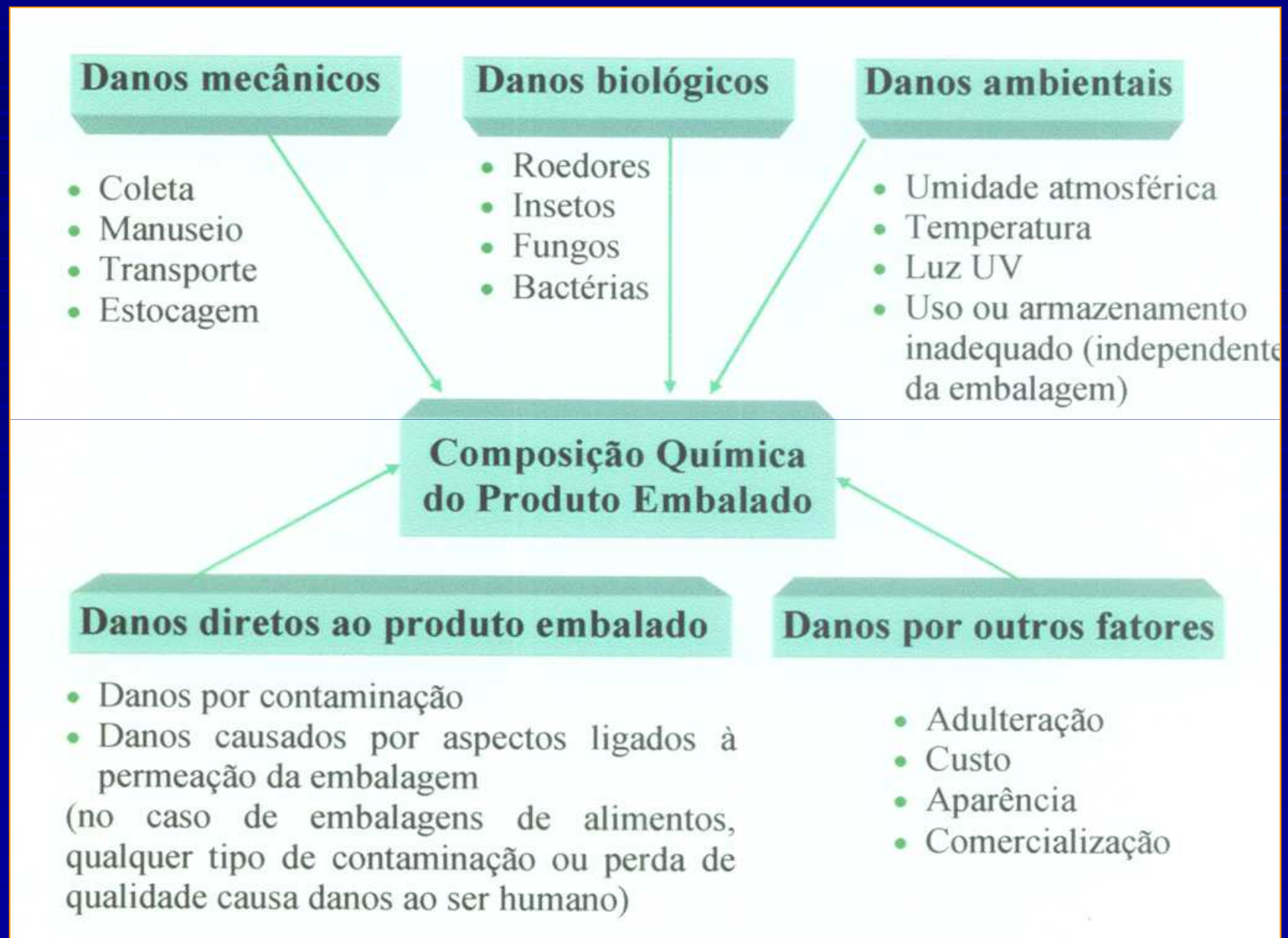
Para embalagens é bastante adequada a separação:

- ⇒ EMBALAGENS FLEXÍVEIS: filmes, bobinas, sacolas e sacos em geral.
- ⇒ EMBALAGENS RÍGIDAS: garrafas, garrafões, frascos, etc.
- ⇒ EMBALAGENS LAMINADAS COMPOSTAS: exemplo - embalagens cartonadas (“tipo longa vida”).

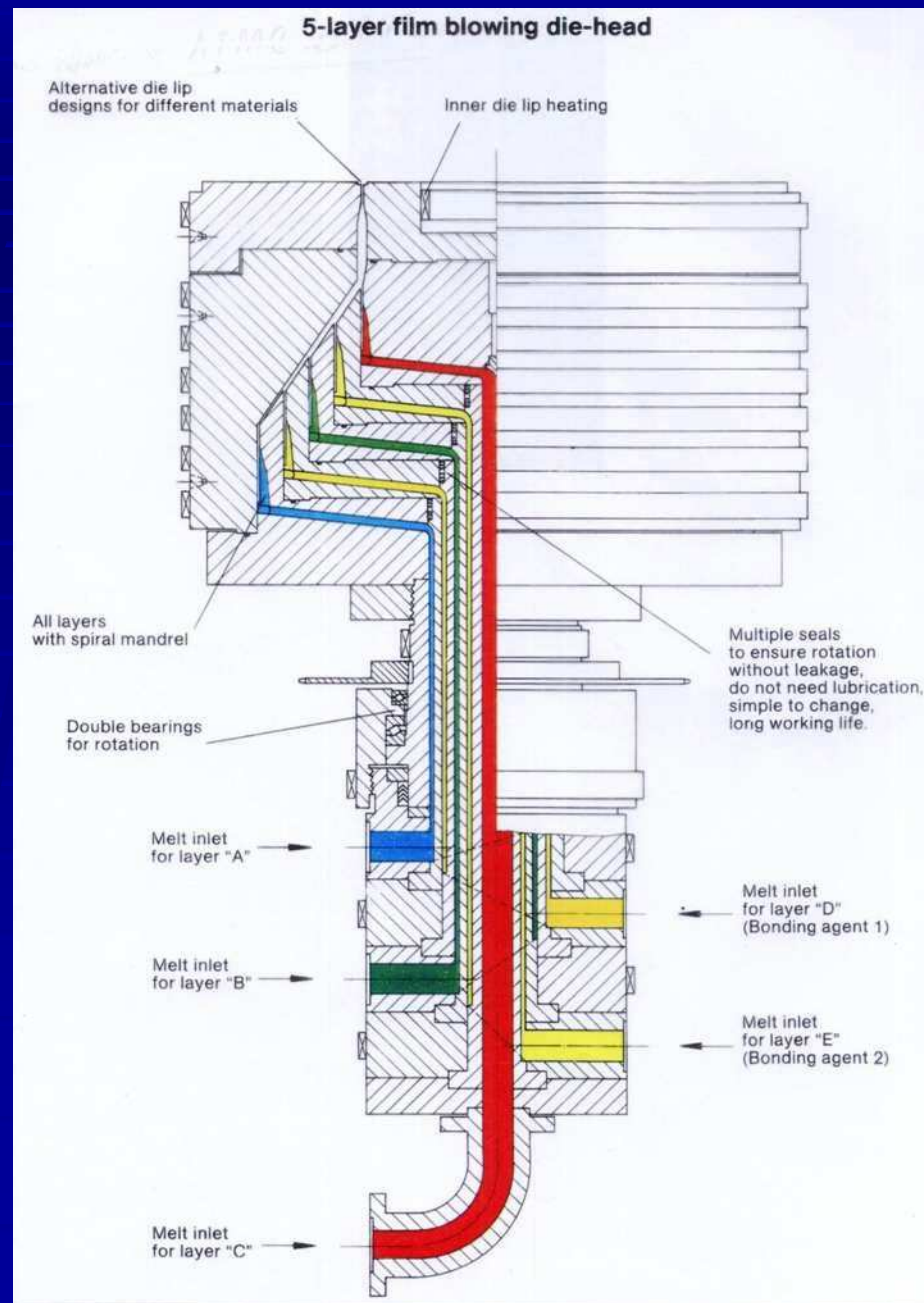
EMBALAGENS

- ❑ EMBALAGENS – muitas vezes as melhores embalagens do ponto de vista funcional são os piores resíduos pós-consumo para a reciclagem do(s) plástico(s) – principalmente na área de embalagens para alimentos.

SELEÇÃO DE UMA EMBALAGEM PARA ALIMENTOS



Cabeçote para a produção de filme tubular soprado com 5 camadas



MOLDAGEM POR COEXTRUSÃO – SOPRO

Frascos de três camadas



MOLDAGEM POR COEXTRUSÃO – SOPRO

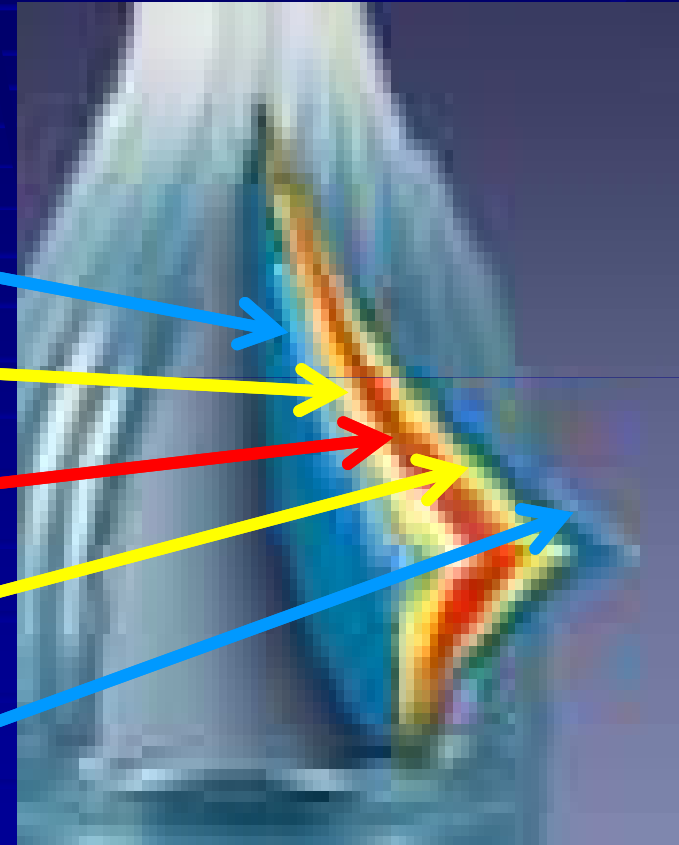
1.suporte

2.adesivo

3.barreira

4.adesivo

5.suporte



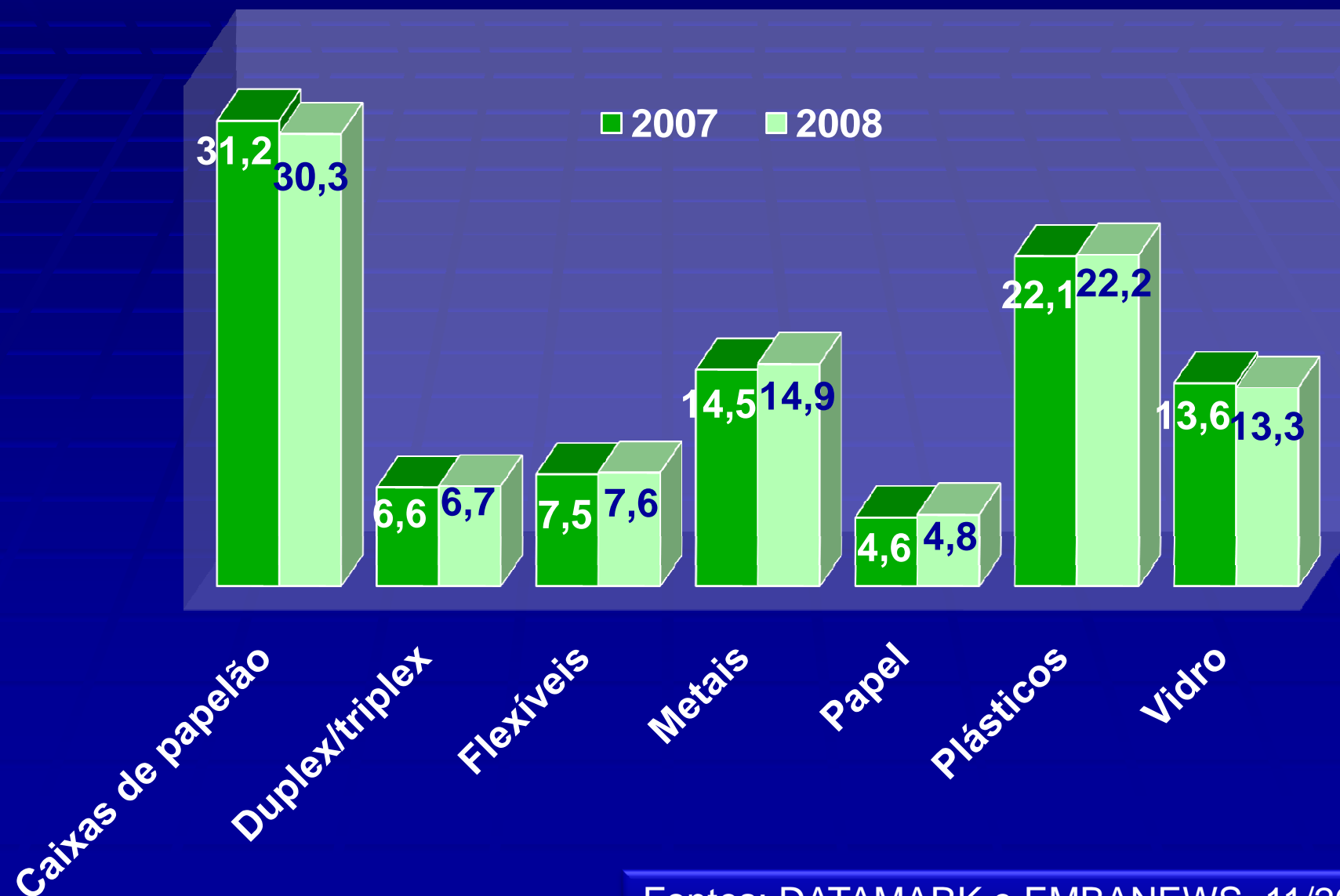
Garrafa Coextrusão – Sopro

(com polímero reciclado na camada intermediária)



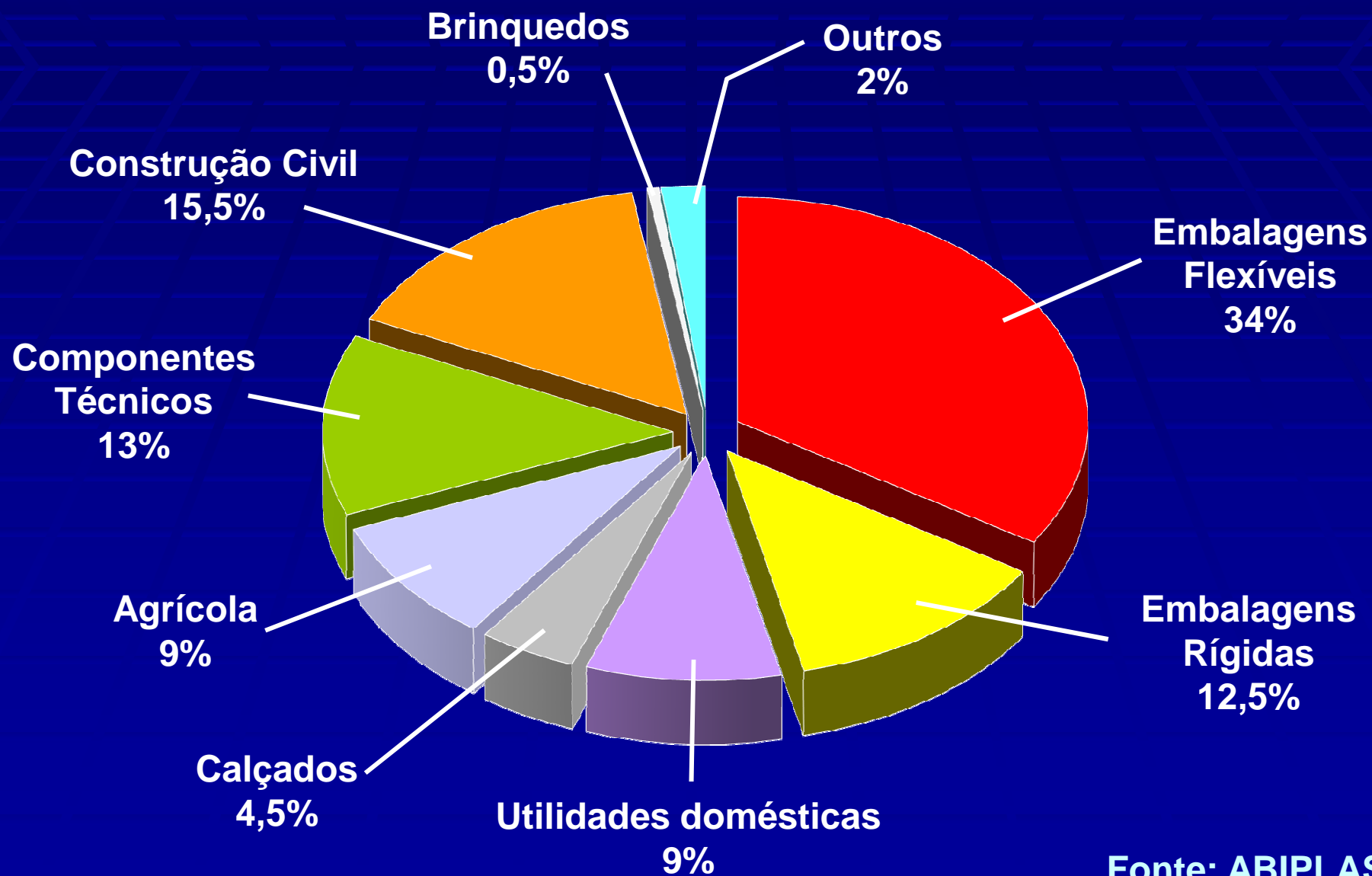
PARTICIPAÇÃO DOS MATERIAIS DE EMBALAGEM

- % em massa



Fontes: DATAMARK e EMBANEWS, 11/2009

Segmentação do Mercado dos Termoplásticos - 2008



Fonte: ABIPLAST

Mercado Brasileiro dos Plásticos

Resinas Termoplásticas

Consumo aparente de Resinas Termoplásticas 2004 - 2008 (em Toneladas)

	2004	2005	2006	2007	2008
Produção	4.410.411	4.514.822	4.986.066	5.307.250	4.850.000
Importação	635.917	716.286	744.263	820.255	937.000
Exportação	825.849	1.017.689	1.194.507	1.246.784	644.000
Consumo Aparente	4.220.479	4.213.419	4.535.822	4.880.721	5.143.000

SIGLAS

LDPE	Polietileno de baixa densidade (PEBD)
-------------	--

LLDPE	Polietileno linear de baixa densidade (PEBDL)
--------------	--

HDPE	Polietileno de alta densidade (PEAD)
-------------	---

PP	Polipropileno
-----------	----------------------

PS	Poliestireno
-----------	---------------------

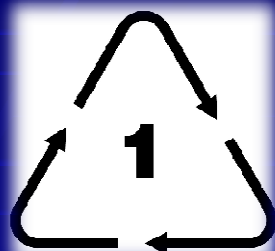
HIPS	Poliestireno de alto impacto (PSAI)
-------------	--

PVC	Poli(cloreto de vinila)
------------	--------------------------------

PET	Poli(tereftalato de etileno)
------------	-------------------------------------

Símbolos indicativos de reciclagem e de identificação de materiais plásticos

(ABNT NBR 13230)



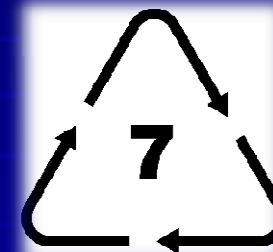
PET



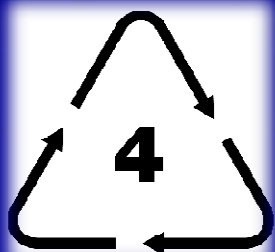
HDPE



PVC



OUTROS



LDPE e LLDPE



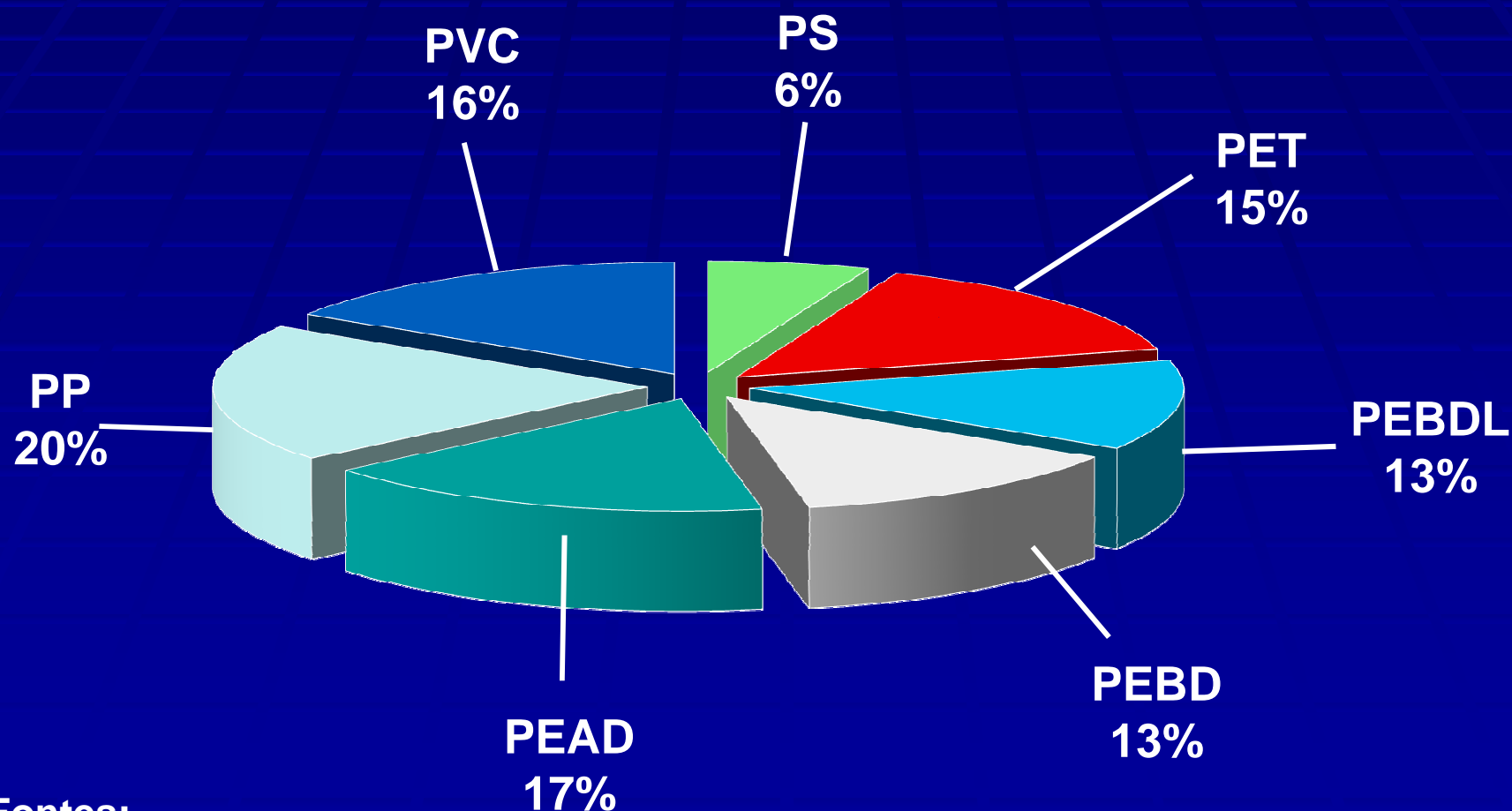
PP



PS e HIPS

DADOS RESTRITOS AOS TERMOPLÁSTICOS DE MAIOR UTILIZAÇÃO

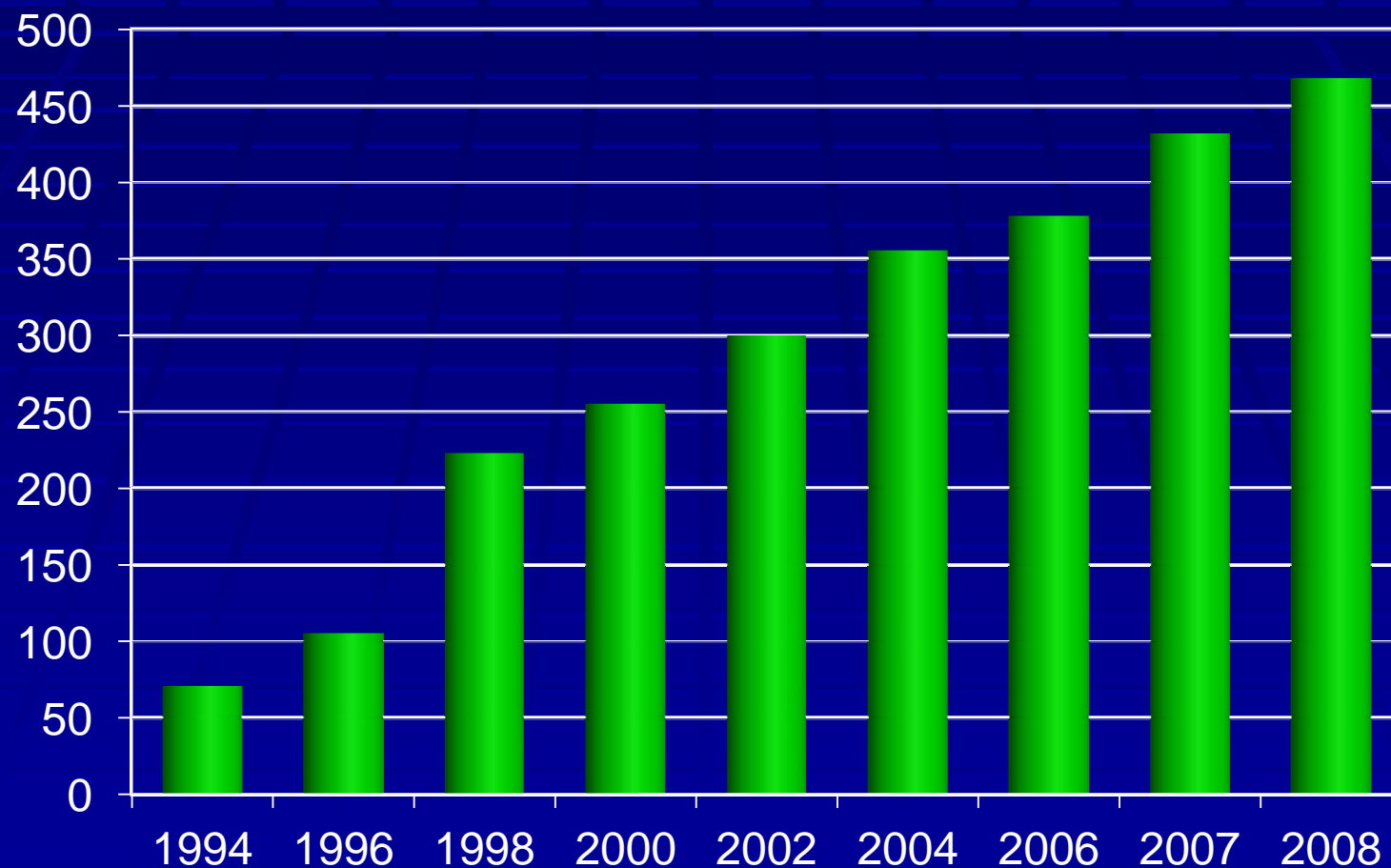
Consumo Aparente de Resinas Termoplásticas 2008 Segmentado por Resina



Fontes:
ABIQUIM e ABIPLAST

TENDÊNCIAS DE MERCADO DO PET – BRASIL

Mil toneladas



Fontes: DATAMARK e HUSKI

Sopradora de pré-formas para a fabricação de garrafas de PET biorientado: segundo estágio do processo de INJEÇÃO– ESTIRAMENTO – SOPRO (ISBM)

Produção de 40.000 a 60.000 garrafas de 600 mL/hora



GARRAFAS PET BRASIL

bilhões de unidades



RECICLAGEM

Para os **Polímeros**, a **Reciclagem** é dividida em **3 Processos** (que se relacionam com os **4 Tipos de Reciclagem** da classificação da ASTM D 5033):

- ❑ **Reciclagem Mecânica** (englobando a **Reciclagem Primária** e a **Reciclagem Secundária**)
- ❑ **Reciclagem Química** (ou **Reciclagem Terciária**)
- ❑ **Reciclagem Enérgica** (ou **Reciclagem Quaternária**)

RECICLAGEM MECÂNICA

- ❑ **Reciclagem primária** – resíduos provenientes das indústrias, sem contaminação; produto reciclado final com desempenho similar ao produto fabricado com o polímero virgem
- ❑ **Reciclagem secundária** – normalmente resíduos poliméricos pós-consumo presentes nos resíduos sólidos urbanos; produto reciclado final com desempenho inferior ao produto fabricado com o polímero virgem

Observação:

comentários sobre outras abordagens destes conceitos

RECICLAGEM MECÂNICA PARA RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Operações gerais normalmente envolvidas:

- Seleção por tipo de processamento / tipo de produto
- Moagem
- Lavagem e Secagem (se forem necessárias)
- Revalorização (Extrusão/Granulação e posterior Reprocessamento)
ou Reprocessamento direto, por exemplo por extrusão ou por injeção

RECICLAGEM MECÂNICA SECUNDÁRIA PARA RECUPERAR RESÍDUOS GERADOS DE PLÁSTICOS PÓS-CONSUMO

(muito mais frequente para plásticos rígidos)

Operações gerais normalmente envolvidas

(de forma simplificada pois a cadeia produtiva da reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo é bem mais complexa)

- Descarte Seletivo e Coleta com Separação
- Triagem criteriosa
- Moagem
- Lavagem e Secagem
- Reprocessamento direto ou Revalorização

OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE A RECICLAGEM MECÂNICA

1. Plásticos em forma de filmes e sacolas provenientes de resíduos urbanos geralmente se apresentam sujos e contaminados, dificultando extremamente a etapa de limpeza.

Caso seja viável esta recuperação há a necessidade da inclusão da operação de aglutinação.

Outro problema é o tratamento do efluente de lavagem.

2. Recuperado: material reciclado que passou por um reprocessamento

REVALORIZAÇÃO

- ❑ Extrusão/Granulação e posteriormente Reprocessamento (terminologia geral, incluindo o PET)
- ❑ Flocos (“flakes”) selecionados obtidos da garrafas PET moídas empregados como matéria-prima para a fabricação dos diversos produtos que o PET reciclado dá origem na etapa de transformação

RECICLAGEM

Reciclagem química ou terciária

Conversão de resíduos poliméricos em produtos químicos, por processos como a quimólise e a pirólise

RECICLAGEM

Reciclagem energética ou quaternária

Reciclagem com recuperação do conteúdo energético contido nos resíduos poliméricos via incineração controlada.

PET: Tabela de Produção X Reciclagem

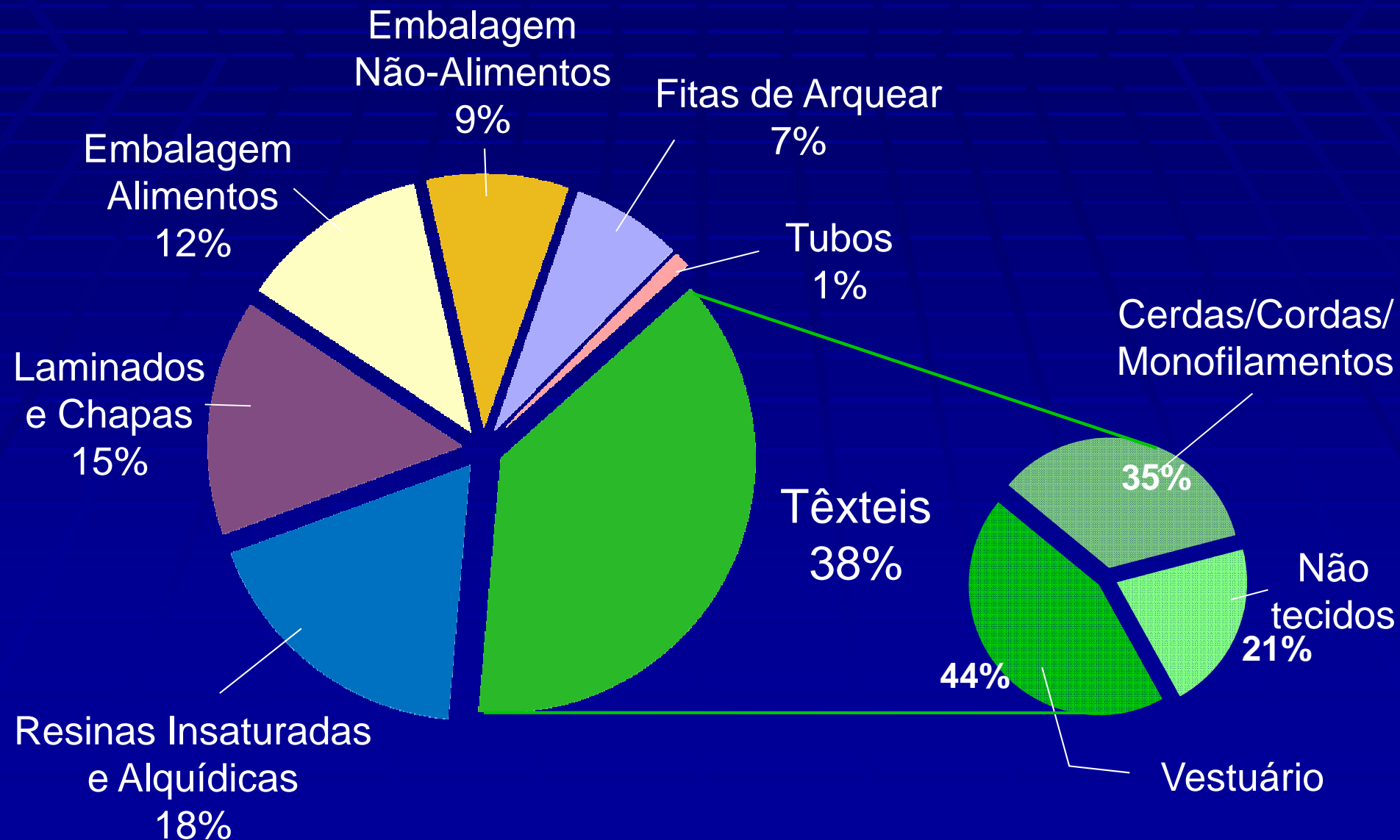
ANO	RECICLAGEM PÓS-CONSUMO
1994	13,0 ktons – 18,8%
1995	18,0 ktons – 25,4%
1996	22,0 ktons – 21,0%
1997	30,0 ktons – 16,2%
1998	40,0 ktons – 17,9%
1999	50,0 ktons – 20,4%
2000	67,0 ktons – 26,3%
2001	89,0 ktons – 32,9%
2002	105,0 ktons – 35,0%
2003	141,5 ktons – 43,0%
2004	167,0 ktons – 47,0%
2005	174,0 ktons – 47,0%
2006	194,0 ktons – 51,3%
2007	231,0 ktons – 53,5%
2008	253,0 ktons – 54,8%



(Acesso em
16/11/2009)

<http://www.abipet.org.br/reciclagem>

O Destino do PET Reciclado no Brasil 2008/2009



SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

- ✓ Racionalização do consumo e introdução de outras opções sem o emprego de polímeros (por mudanças de hábitos ou por critérios técnicos como ACV)



Plastivida

Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos

PROJETOS AMBIENTAIS: Sacolinhas Plásticas

Programa de Qualidade e Consumo Responsável de Sacolas Plásticas



O objetivo desse Programa é reduzir em 30% o desperdício da quantidade de sacolas plásticas distribuídas pelo varejo, através de sacolas plásticas mais resistentes certificadas pela Norma ABNT 14937.

Os parceiros nessa iniciativa são:

- ABIEF - Associação Brasileira da Indústria de Plásticos Flexíveis
- Abras - Associação Brasileira dos Supermercados
- INP - Instituto Nacional do Plástico

No Brasil a sacola plástica mais resistente deverá ter a espessura mínima de 27 μ m

SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

- ✓ Incrementos da **Reciclagem das embalagens flexíveis** (principalmente sacolas e filmes produzidos com os termoplásticos convencionais polietilenos e polipropileno) e da **Reciclagem das embalagens rígidas** (principalmente garrafas e frascos produzidos com o PET e com o polietileno de alta densidade)
- ✓ Uso de “polímero verde” (polímero sintetizado com etileno produzido por rota alcoolquímica - via etanol obtido a partir de fonte renovável (cana-de-açúcar))
- ✓ Emprego crescente de **Polímeros Biodegradáveis** (PLA, PHB, Ecoflex, Ecobras, Amidos modificados)

✓ Os **Polímeros Biodegradáveis**, em alguns casos e de forma ainda muito reduzida, são opções para a substituição parcial de polímeros convencionais empregados em embalagens flexíveis e rígidas

- Exemplo: PLA – poli(ácido láctico) em potes de margarina Cyclus

Margarina Cyclus – biodegradável e de fonte renovável

A Bunge introduziu no mercado brasileiro a **embalagem biodegradável**, proveniente de fonte renovável, que se degrada em até 180 dias em condições adequadas de umidade, calor, microorganismos e oxigênio. **Ganhador do Prêmio Embanews na categoria Sustentabilidade.**



O pote para a margarina Cyclus, da Bunge, transformado pela Poly-vac, é produzido com **resina PLA**, derivada do milho, fornecida pela Iraplast/Cereplast, aprovada segundo as normas ASTM D6400, EN 13432 e ABNT 15448, que atestam que sua biodegradação não afeta o crescimento de plantas, animais e micro-organismos no meio ambiente, contribuindo para a redução de resíduos sólidos.

(julho de 2009)

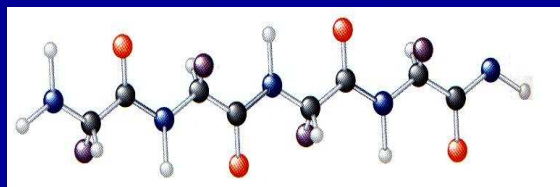
CICLO DOS POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS



Recurso natural



Transformação química



Plástico biodegradável



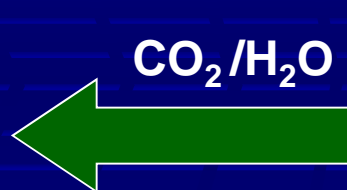
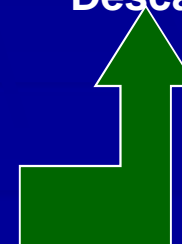
Produto



biodegradação



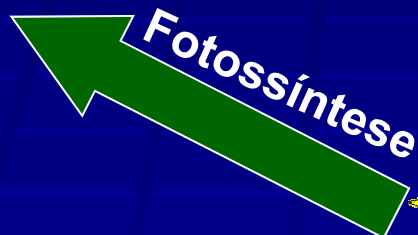
Descarte



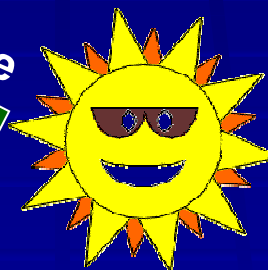
$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$



Adubo orgânico



Fotossíntese



SOLUÇÕES ALTERNATIVAS ???

- ✓ **Embalagens Oxibiodegradáveis** (terminologia dos fabricantes dos aditivos pró-degradantes) ou **Oxidegradáveis** (terminologia da Plastivida e de outras Entidades Brasileiras) - **tema extremamente polêmico, mas este emprego está crescendo rapidamente e de forma muito intensa**

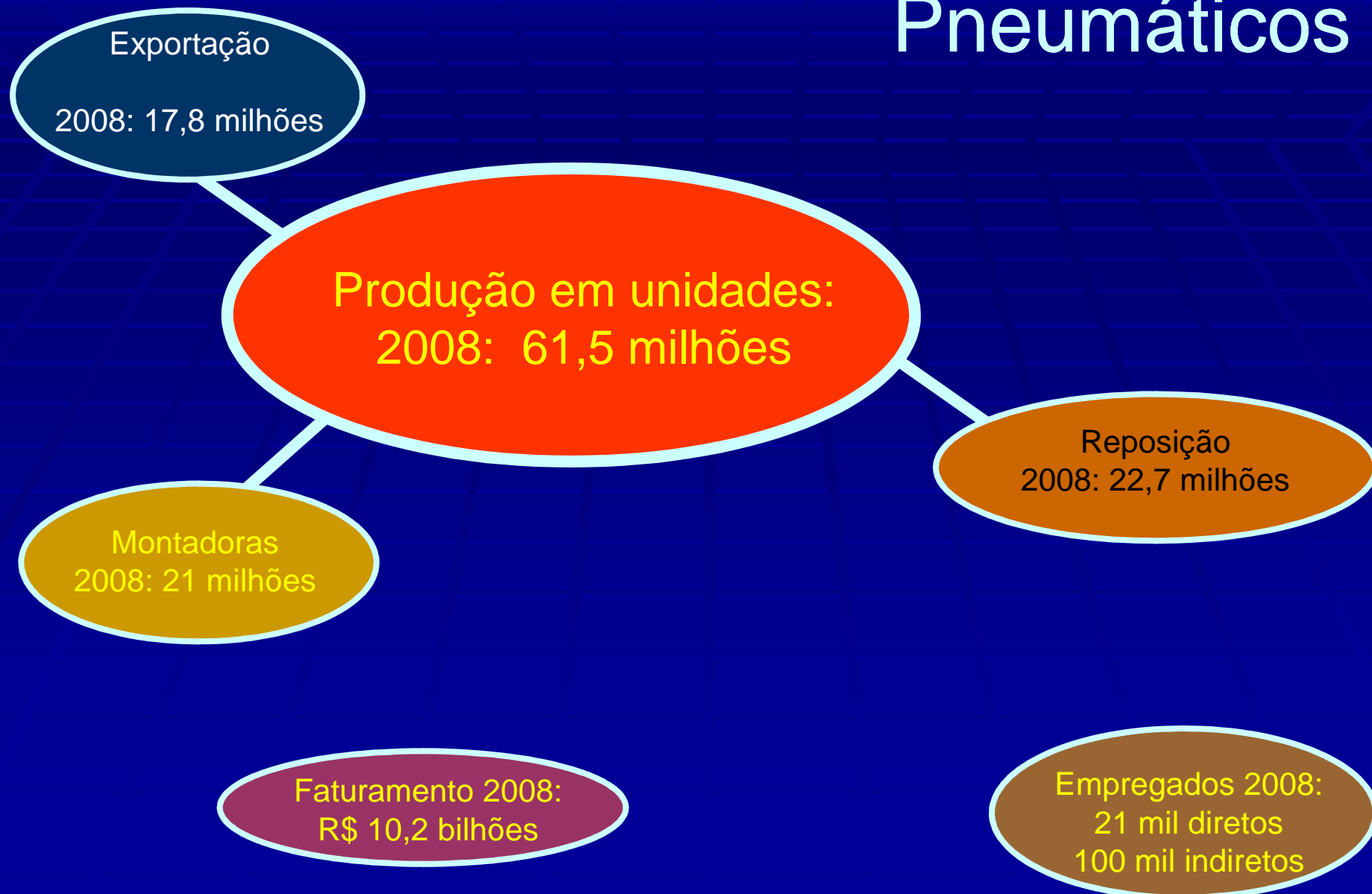
Plásticos Oxidegradáveis

Os plásticos oxidegradáveis ou fragmentáveis são aqueles que recebem um aditivo para acelerar seu processo de degradação. Contudo, não se biodegradam, porque não se decompõem em até seis meses. Não preenchem os requisitos das normas técnicas nacionais e internacionais para que ocorra a biodegradação. Portanto, não são biodegradáveis.

Os plásticos oxidegradáveis, quando começam a se degradar, dividem-se em milhares de pedacinhos. No fim do processo não vão desaparecer, e sim virar um pó que facilmente irá parar nos córregos, rios, represas, lagos e mares. Isso significa que nossa geração poderá beber involuntariamente plástico oxidegradável misturado à água! E mais: os fragmentos poderão ser ingeridos por animais silvestres, criações nas fazendas, pássaros e peixes, causando sérios danos econômicos e ambientais, com consequências imprevisíveis.

Recuperação de Pneus

Indústria Brasileira de Pneumáticos



RESOLUÇÃO 258 de 26/08/1999 DO CONAMA

CONAMA (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE)
Órgão do MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

DESTINAÇÃO FINAL PARA PNEUS OU
PNEUMÁTICOS INSERVÍVEIS, AFETANDO
FABRICANTES DE PNEUS NOVOS,
IMPORTADORAS DE PNEUS E
REFORMADORES EM GERAL

Complementada pela Resolução CONAMA 301/02

SITES SUGERIDOS

CEMPRE <http://www.cempre.org.br>

PLASTIVIDA <http://www.plastivida.org.br>

ABIPET <http://www.abipet.org.br>

ECOBALBO <http://www.ecobalbo.com.br>

INSTITUTO DO PVC <http://www.institutodopvc.org>