

eco-selecção:  
escolha de material

Prof. Cesar R. F. Azevedo

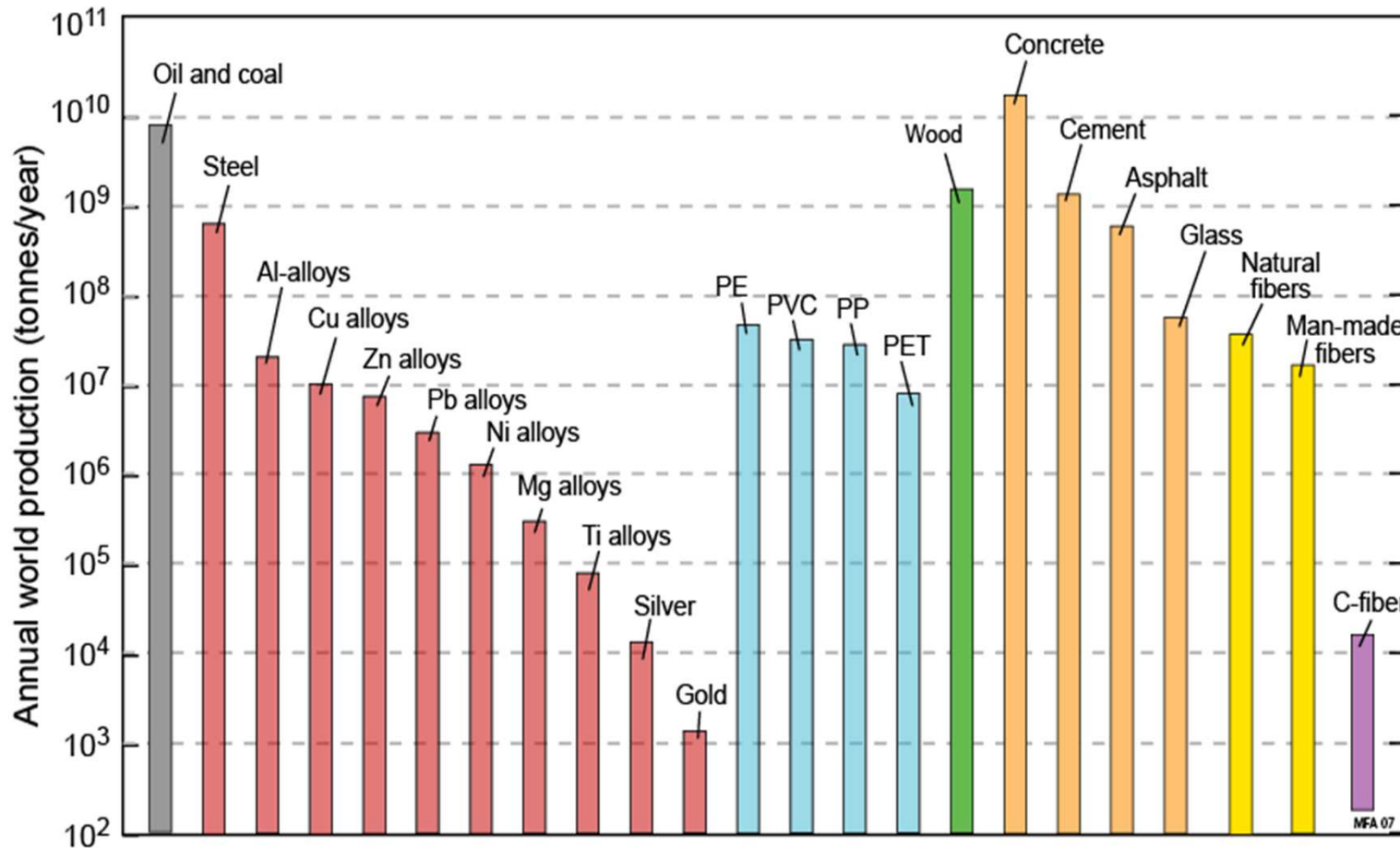
2014

# sumário

- Consumo de material, gasto energético e emissões de CO2 na produção de materiais e componentes.
- Análise de ciclo de vida: problemas e soluções
- Análise de produtos.
- Estratégia para projetos de produtos sustentáveis.

# Produção de materiais (toneladas por ano)

Alguns recursos são finitos



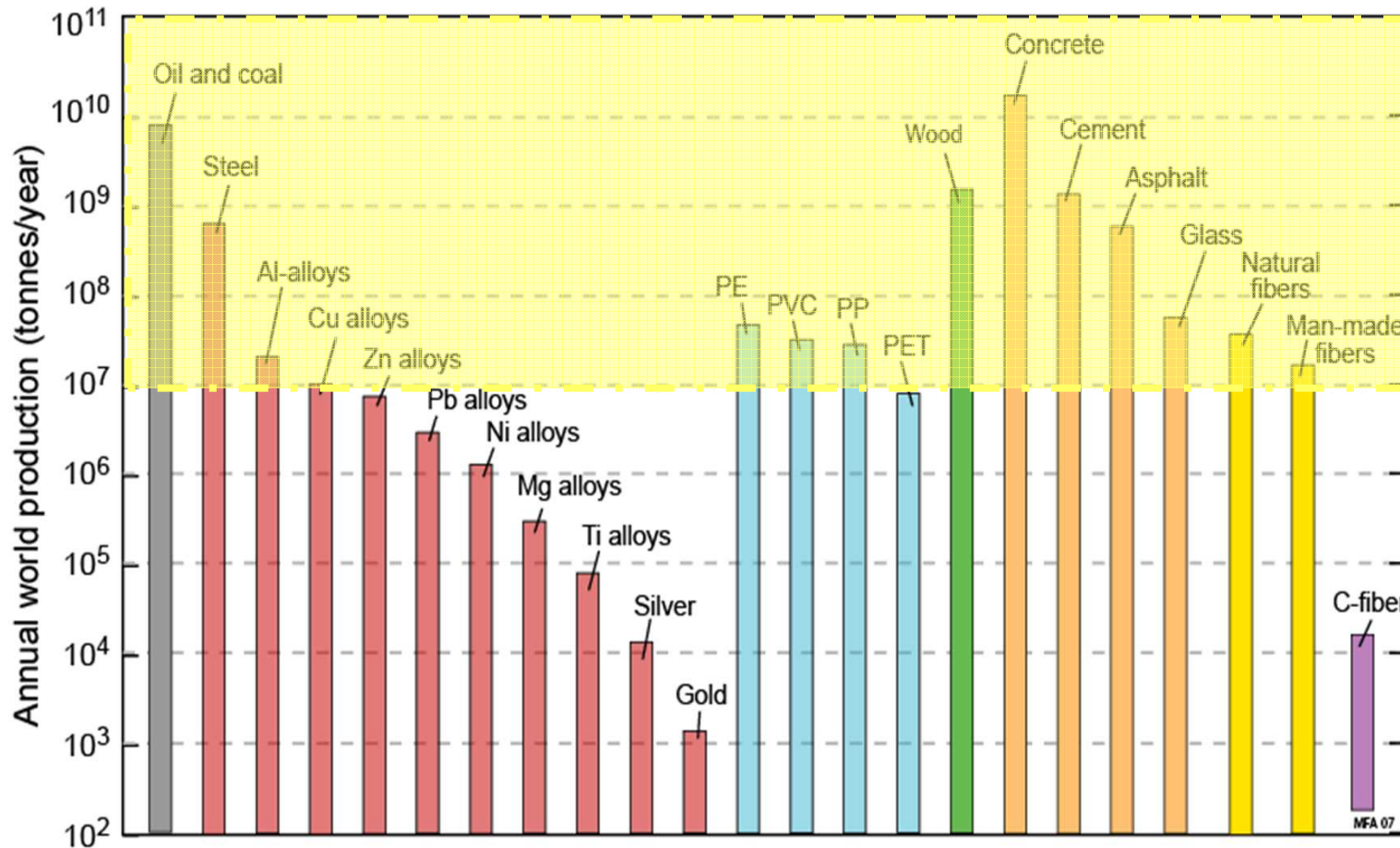
*Natural fibers: cotton, silk, wool, jute*

*Man-made fibers: polyester, nylon, acrylic, cellulose*

(1995)

# Produção de materiais (toneladas por ano)

Alguns recursos são finitos



**96% of all material usage**

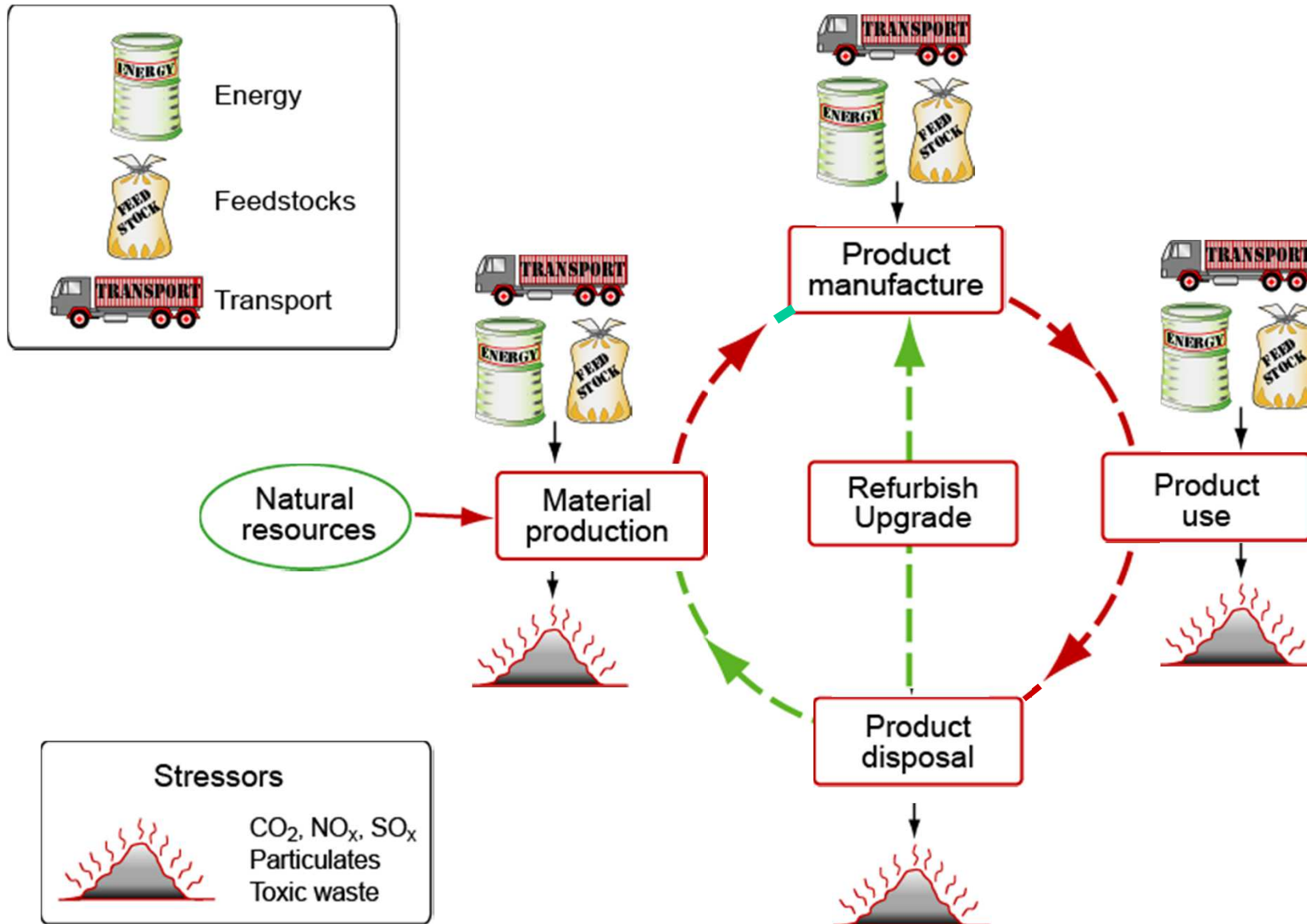
**20% of all global Energy**

*Natural fibers: cotton, silk, wool, jute*

*Man-made fibers: polyester, nylon, acrylic, cellulose*

(1995)

# Análise do ciclo de vida de um produto



# Análise do ciclo de vida (ACV)

## Resultados típicos de ACV

- Consumo do recurso
- Consumo de energia
- Consumo de água
- Emissão de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>
- Emissão de particulados
- Produção de resíduos tóxicos
- Acidificação, depleção em ozônio.

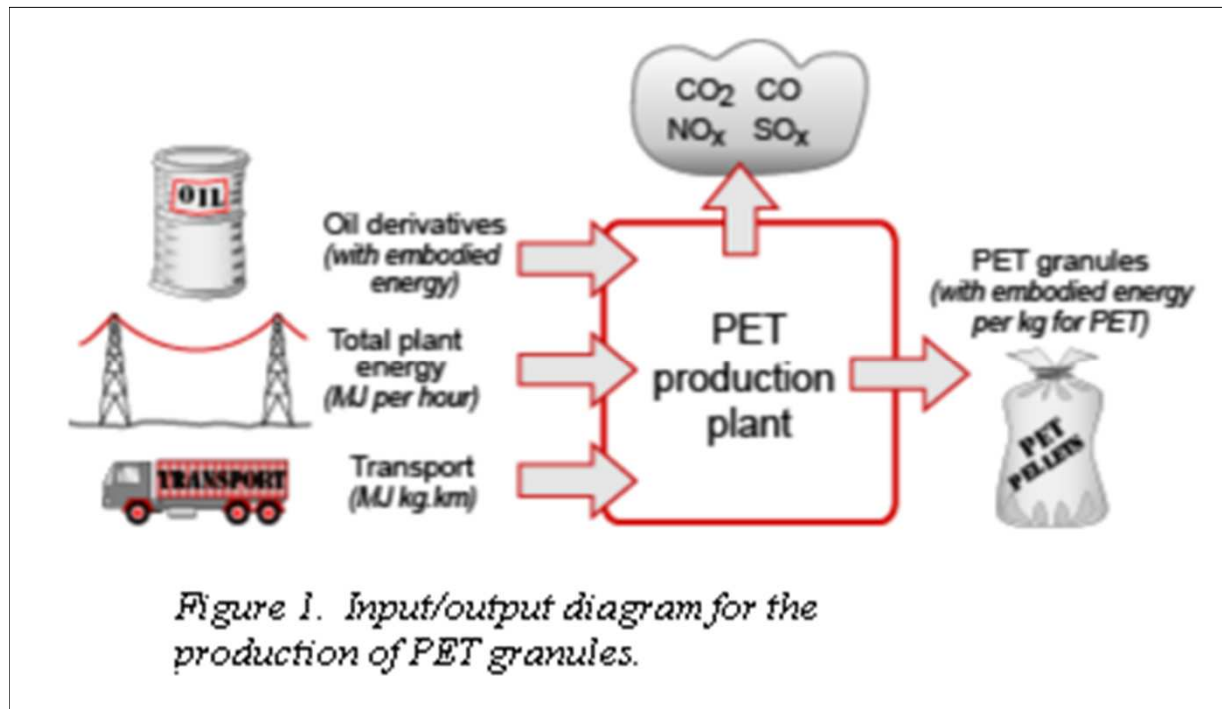
“Tensores” ambientais

Resumir em um único  
*Eco-indicador* ?

- ACV completo consome tempo e é caro; requer um grande nível de detalhamento.
- O que o projetista fará com os dados gerados pela ACV?
- Identificar etapas críticas da vida de um componente e propor guias para projeto ambientalmente correto (geladeira, ferro de passar, carro).

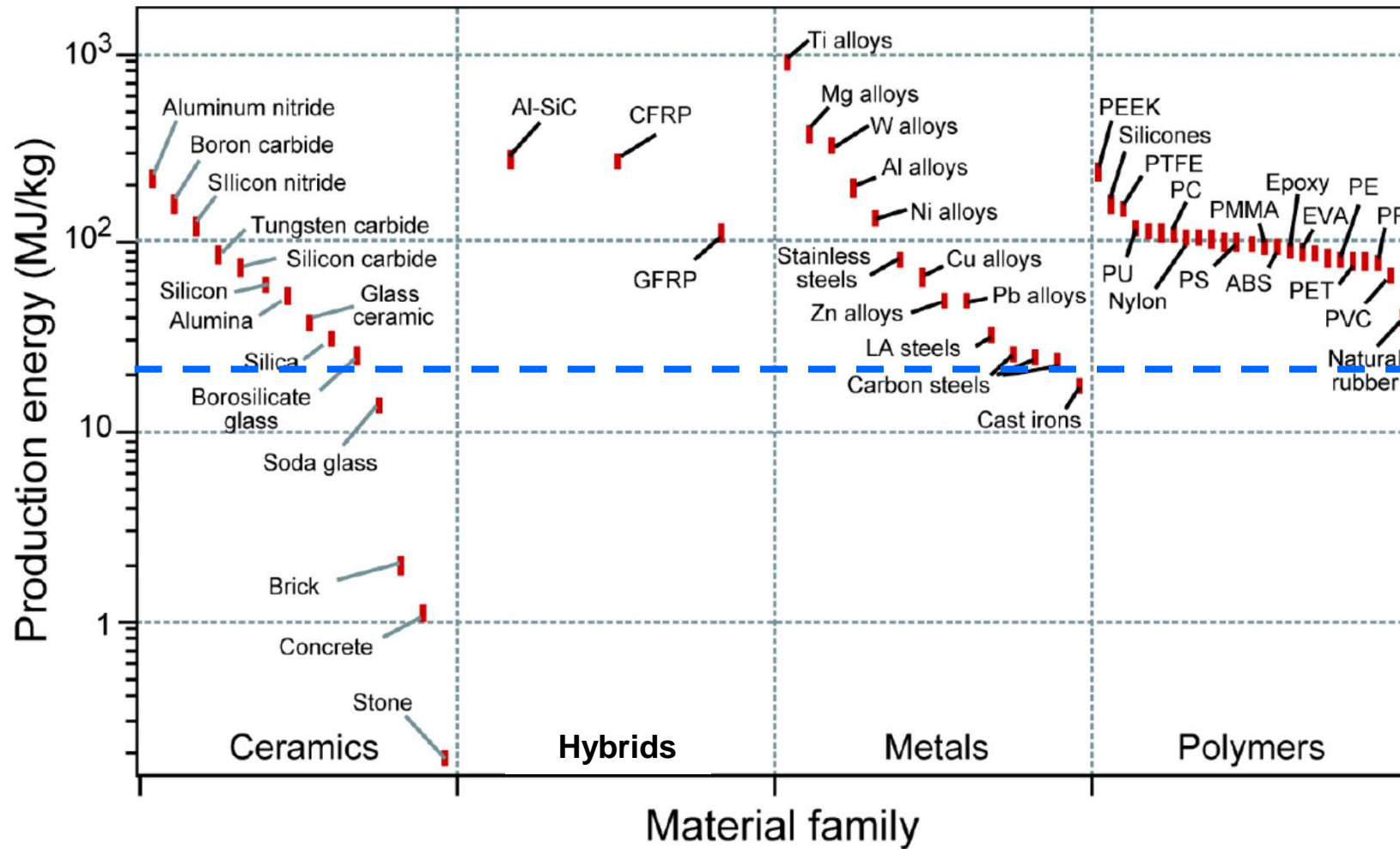
## Qual a energia incorporada no material?

**definição :** é a energia (excluir a dos biocombustíveis) que é usada para produzir uma unidade de peso de material (por exemplo, grânulos de PET) a partir do processamento e transporte de suas diversas matérias-primas.



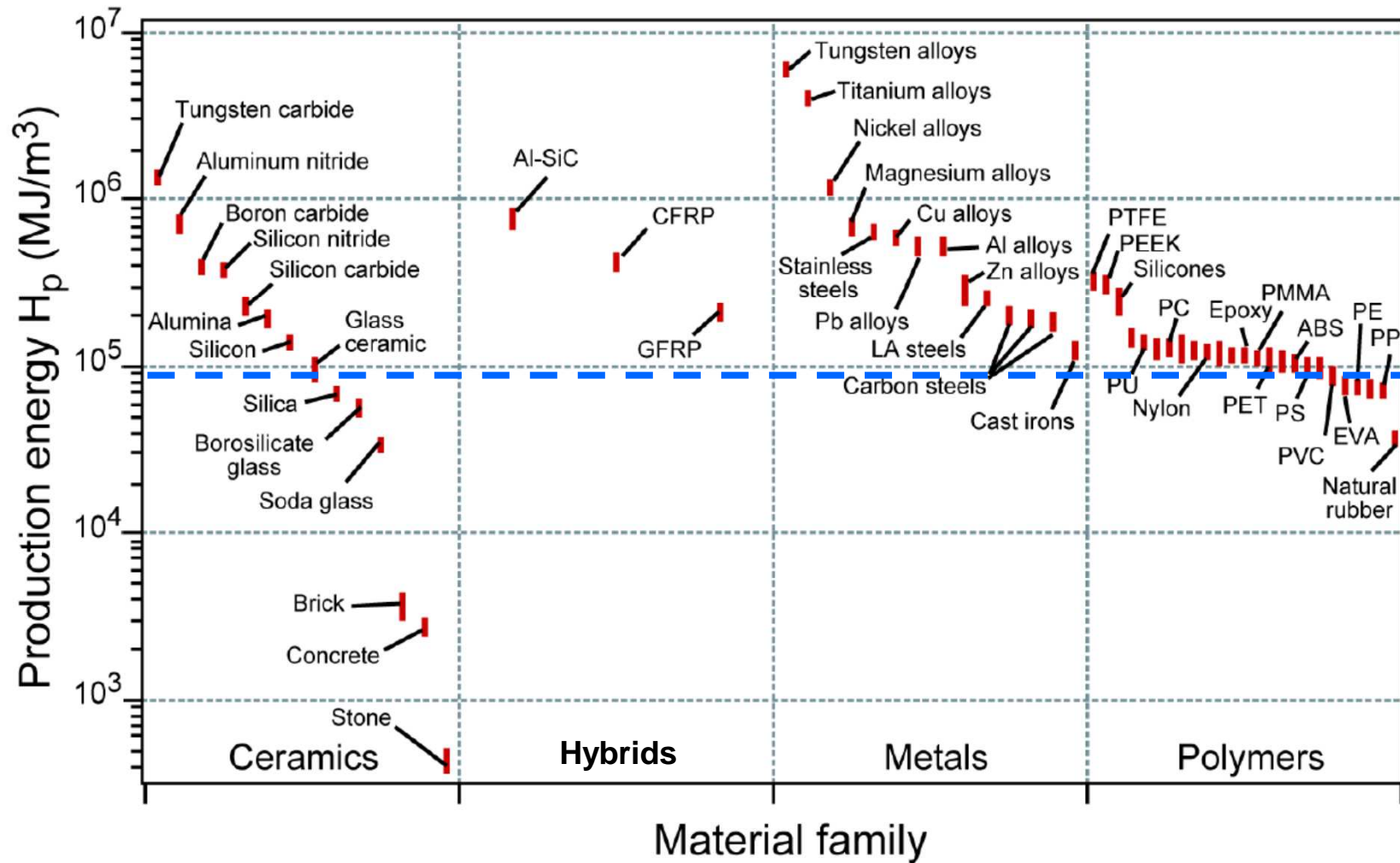
$$(H_e)_{PET} = \frac{\sum \text{Energy entering plant per year}}{\text{Mass of PET granules shipped per year}}$$

# Energia para a produção de materiais por kg





# Energia para a produção de materiais por m<sup>3</sup>



# Minimizar energia mantendo a resistência do material

## Viga resistente e ecológica em termos de gasto de energia

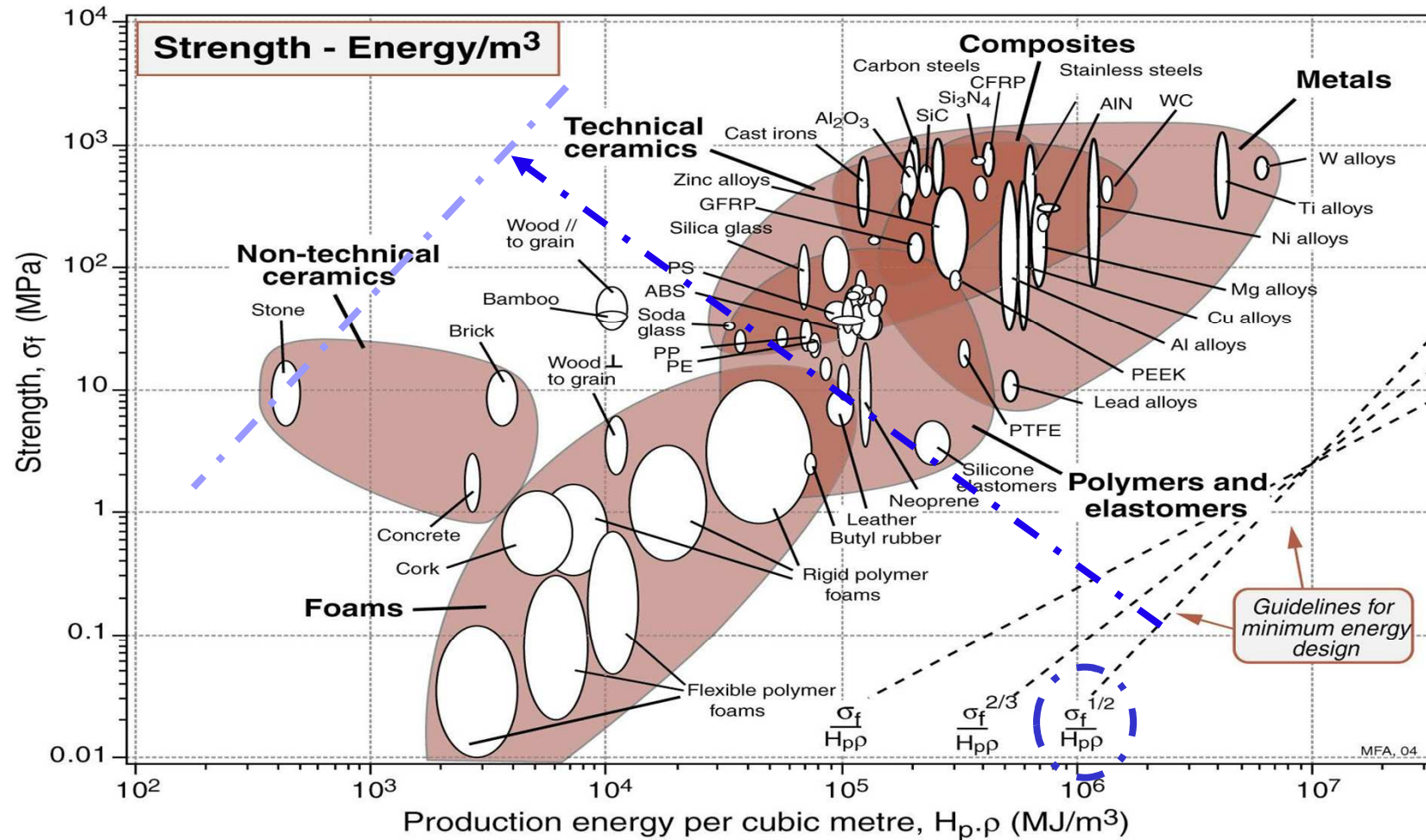
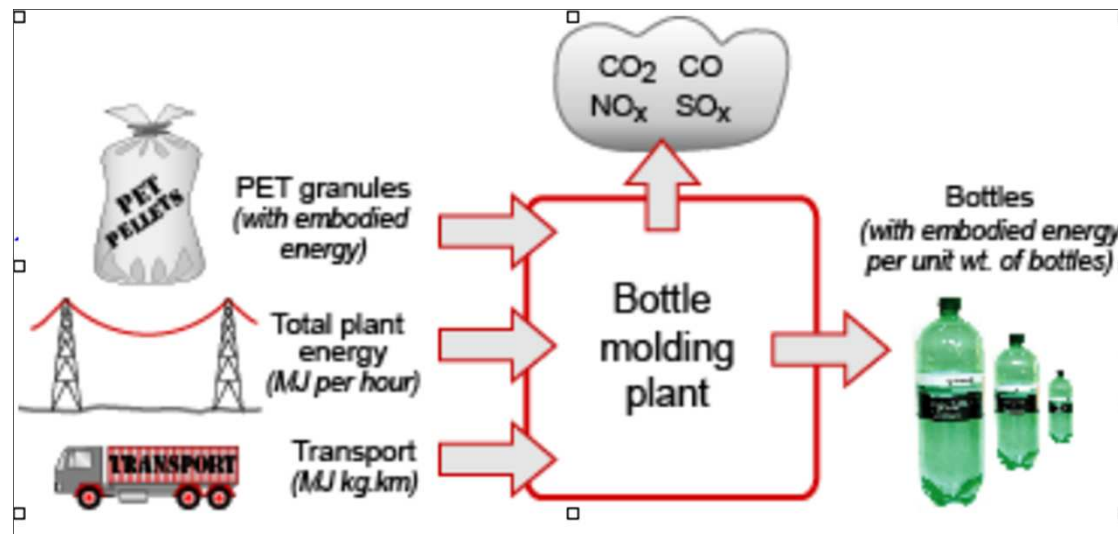


Figure 16.9 A selection chart for strength with minimum production energy. It is used in the same way as Figure 4.4.

## Qual a energia incorporada no processo?

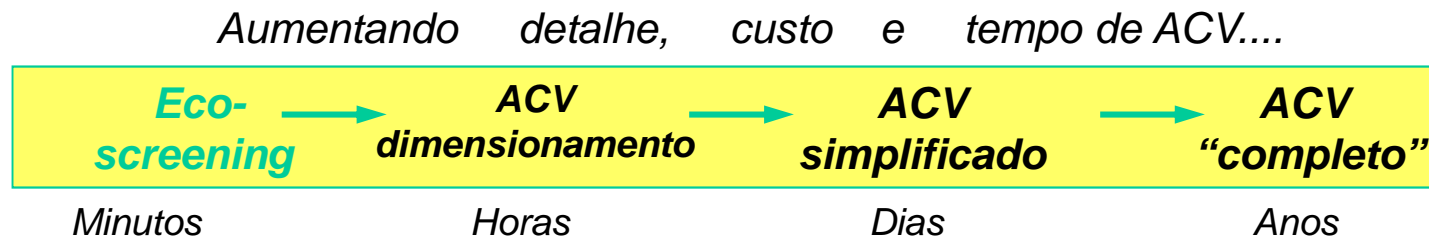
Grânulos de PET têm um valor definido de “energia incorporada”. Eles são transportados (gasto energético) para a fábrica, que consome energia nos seus equipamentos de processo para fabricar garrafas. A soma destas energias compõe o total de energia gasto pela fábrica para fabricar garrafas PET. O valor do gasto energético total dividido pelo peso de garrafas produzidas é a “energia incorporada” do produto.



$$(H_p)_{PET\text{ bottles}} = \frac{\sum \text{Energy entering plant per year}}{\text{Mass of PET bottles shipped per year}}$$

# Estratégias para guiar um projeto sustentável

- **Passo 1:** Procurar método rápido e preciso para guiar o processo de decisão – ferramenta de projeto



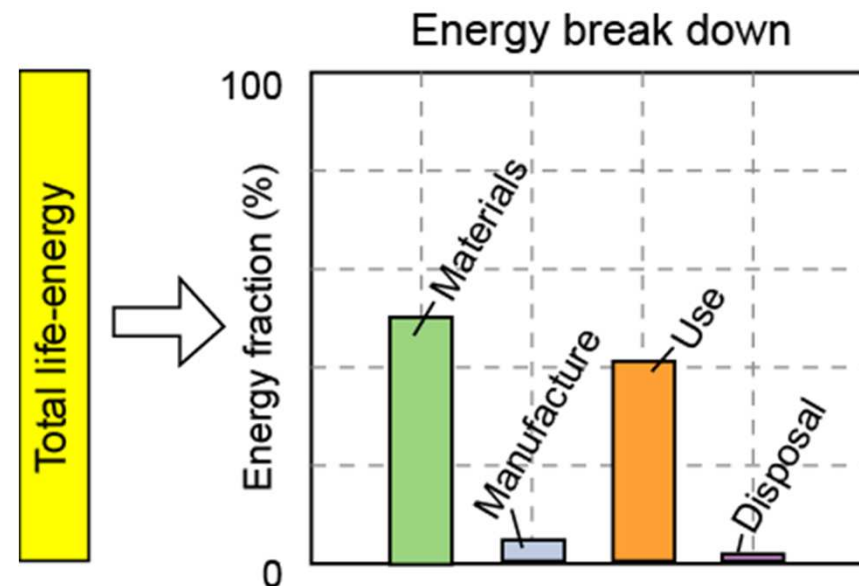
- **Passo 2:** Procurar medida única para tensores ambientais: energia ou CO<sub>2</sub>?

- **Passo 3:**

- Separar as fases de vida de um produto e identificar as fases críticas, exemplo em termos de energia dispendida.

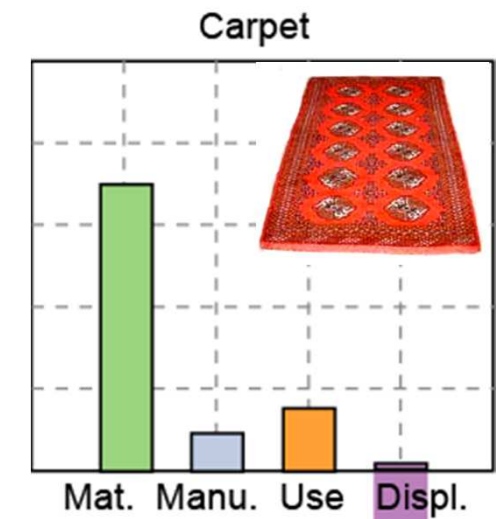
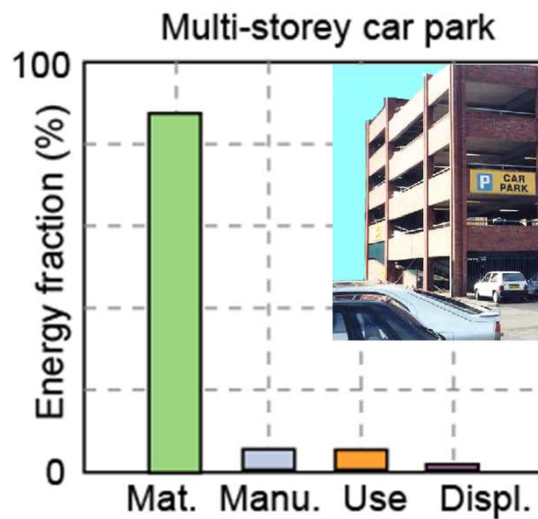
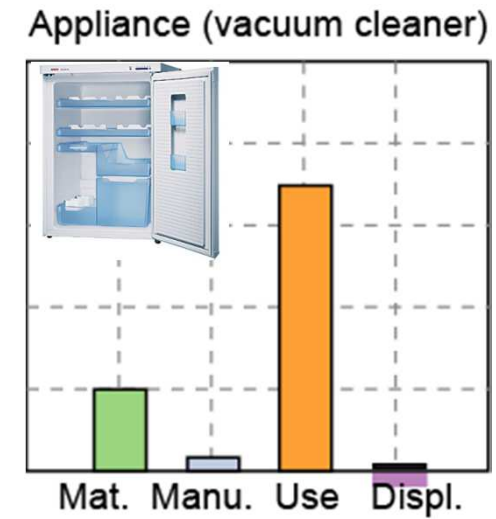
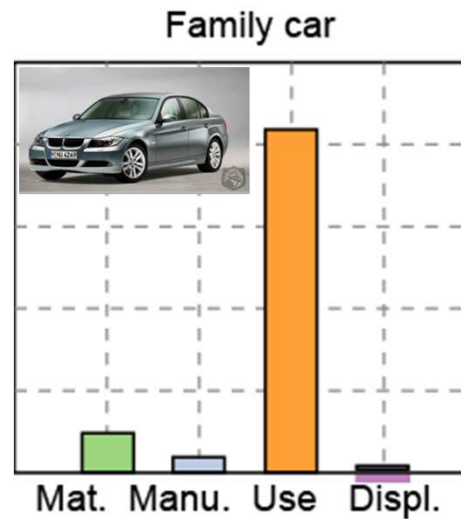
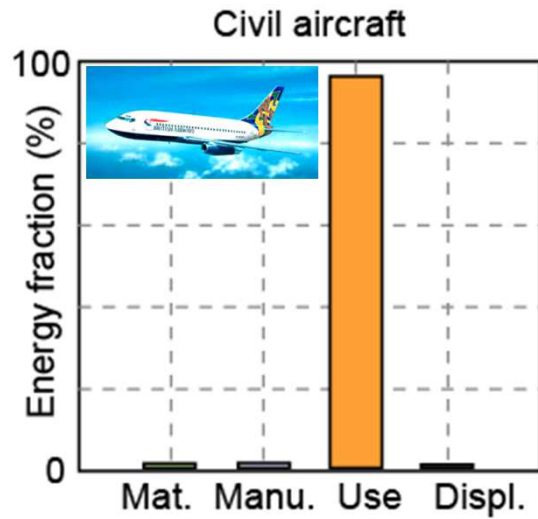
- *Como medir a energia gasta na fase uso? E no transporte?*

- *E depois que o produto é descartado?*



# Consumo de energia dos produtos

Qual é a fase crítica de gasto energético de cada um dos produtos?





# Estratégias para seleção de materiais sustentáveis (energia)



# Estratégias para guiar um projeto sustentável

- **Porque usar como tensor ambiental a energia ou CO<sub>2</sub>?**
  - **Kyoto Protocol (1997):** reduzir gases efeito estufa
  - **Praticidade:** CO<sub>2</sub> e energia são relacionados entre si e são bem entendidos pelo público em geral.

## *Carros: Energia em uso ou CO<sub>2</sub>*



**Parâmetros usados:**

**Combinado: 6 – 11 litros / 100km**

**Emissão de CO<sub>2</sub>: 158 – 276 g / km**

## *Aparelhos da linha branca: Energia*



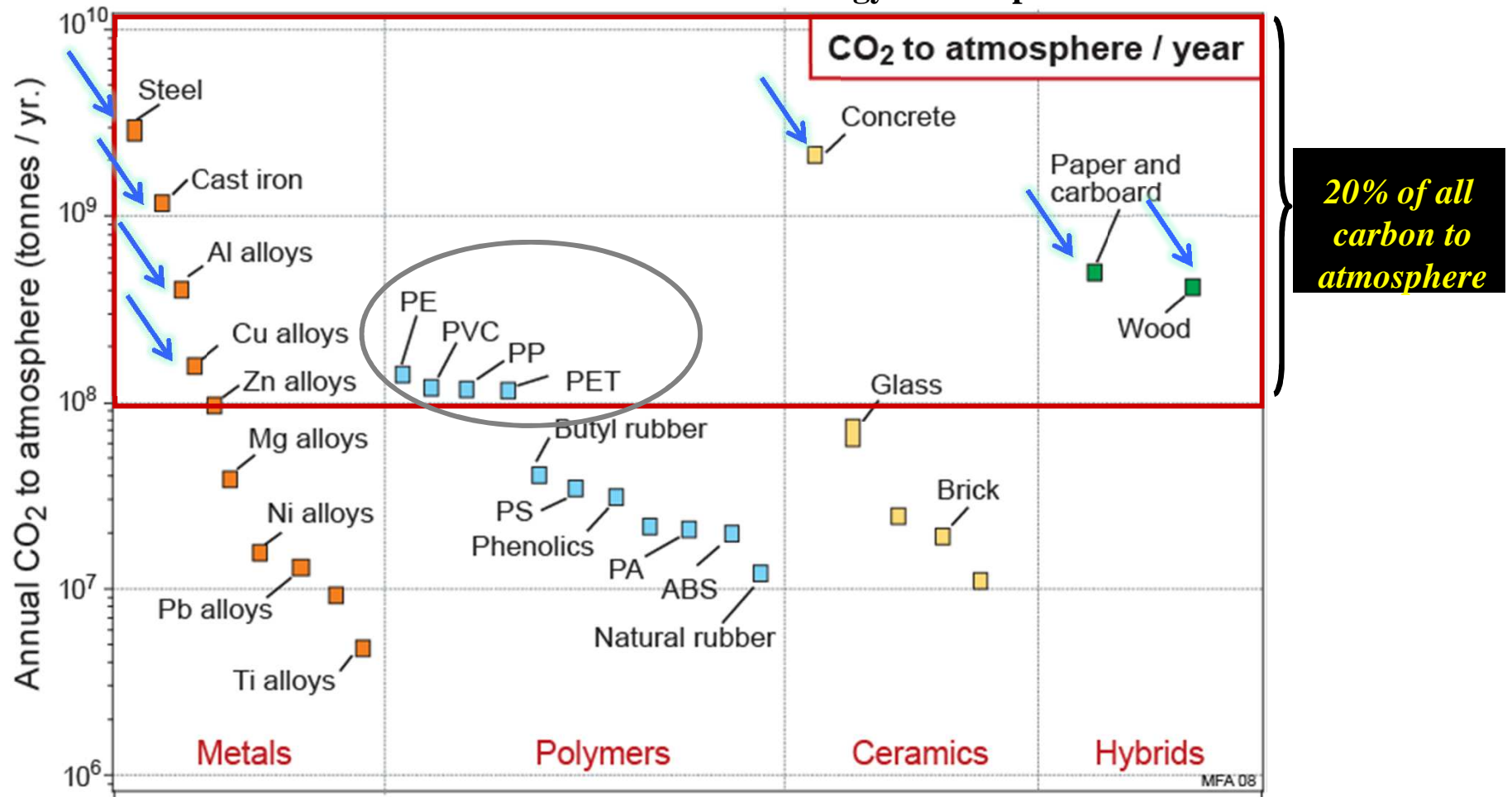
**Classificação de eficiência: A**

**Volume: 0.3 m<sup>3</sup>**

**Energia: 330 kW.h/ ano**

# Emissão de carbono

## Concern 2: Energy consumption and CO2 emission

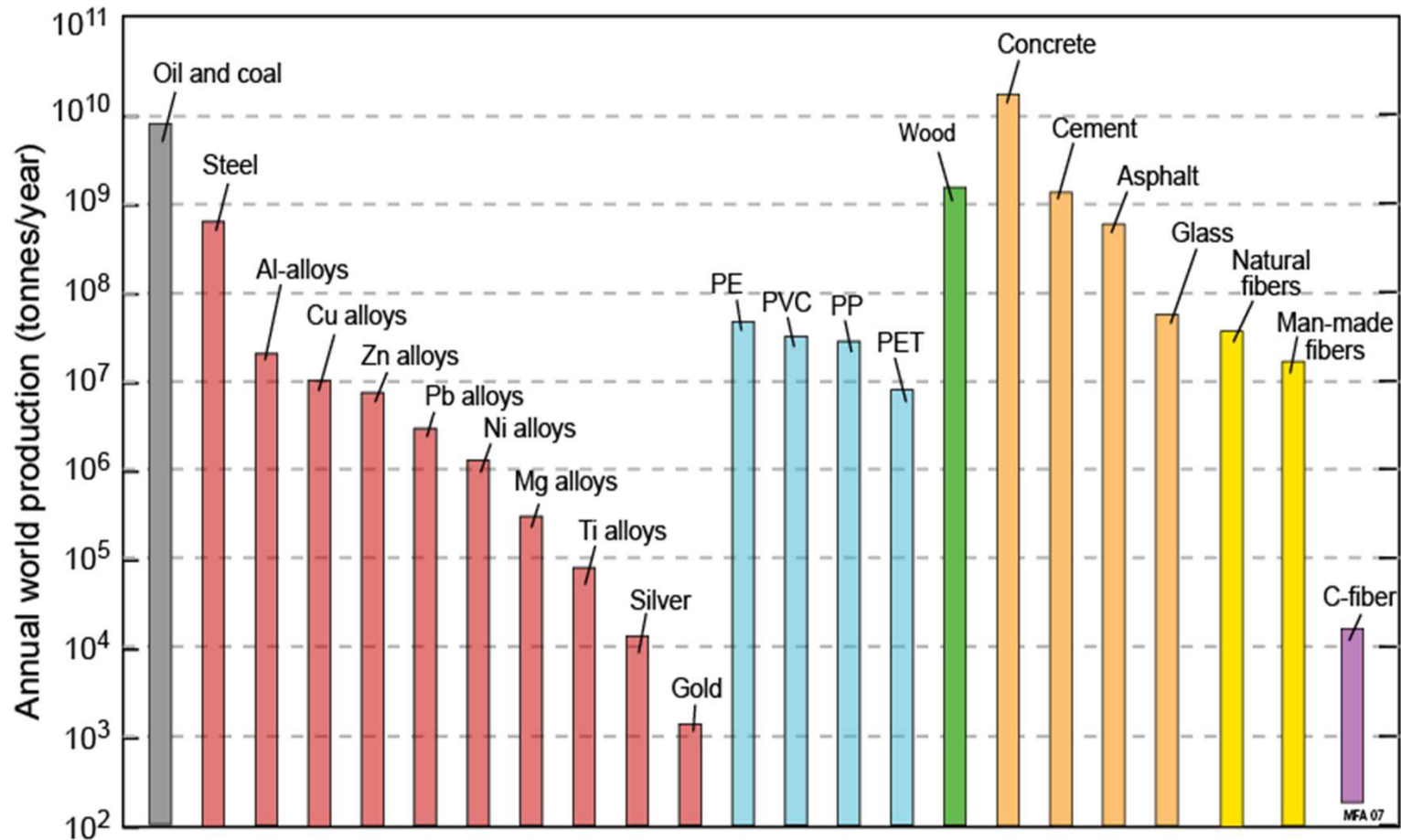


**Carbon release to atmosphere** caused by the **production of materials** is estimated by the embodied energy of the material (energetic matrix). If you want a big change in the contribution of material production to the CO<sub>2</sub> problem, we should focus on these materials.



# Produção de materiais (toneladas por ano)

Alguns recursos são finitos

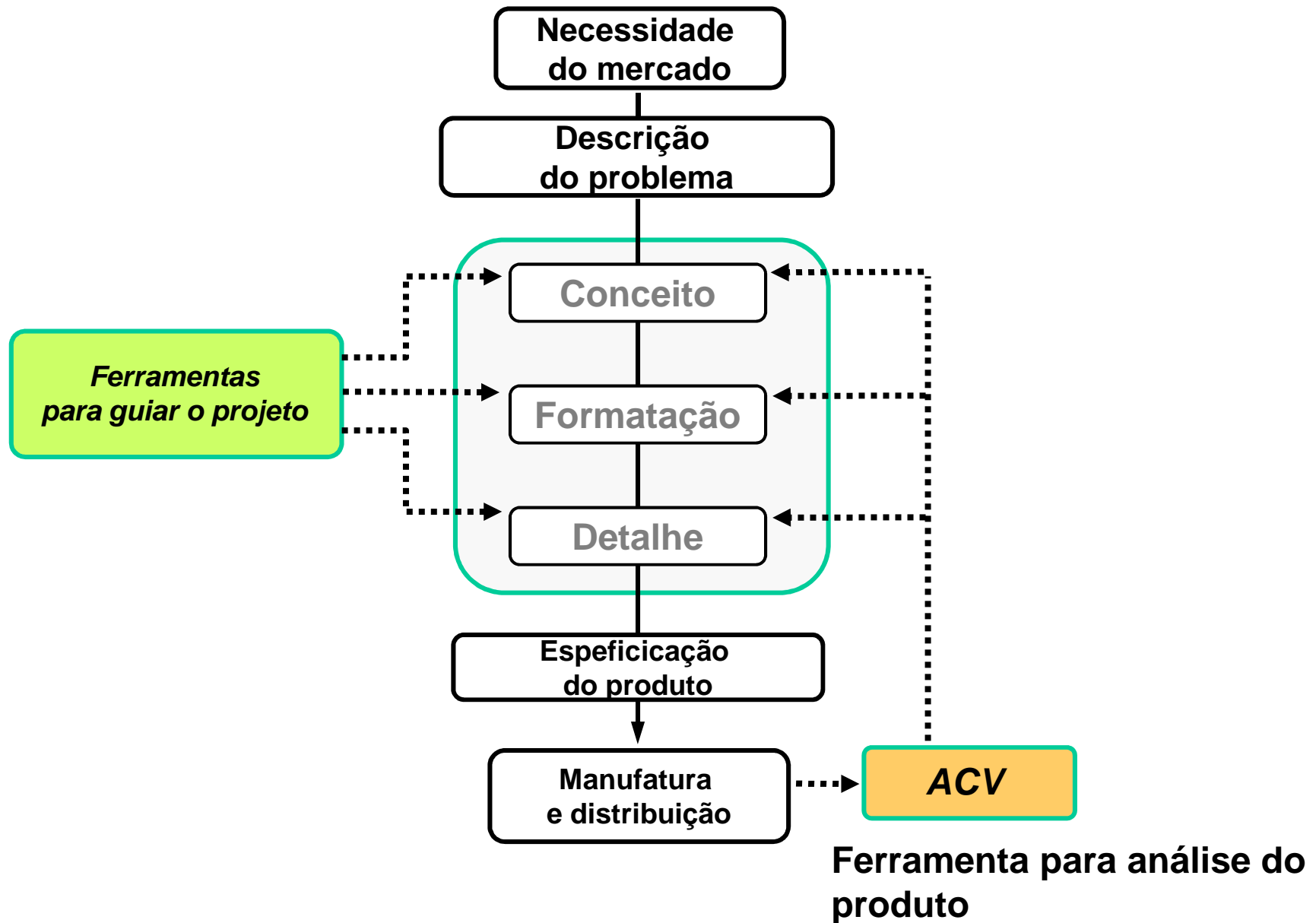


*Natural fibers: cotton, silk, wool, jute*

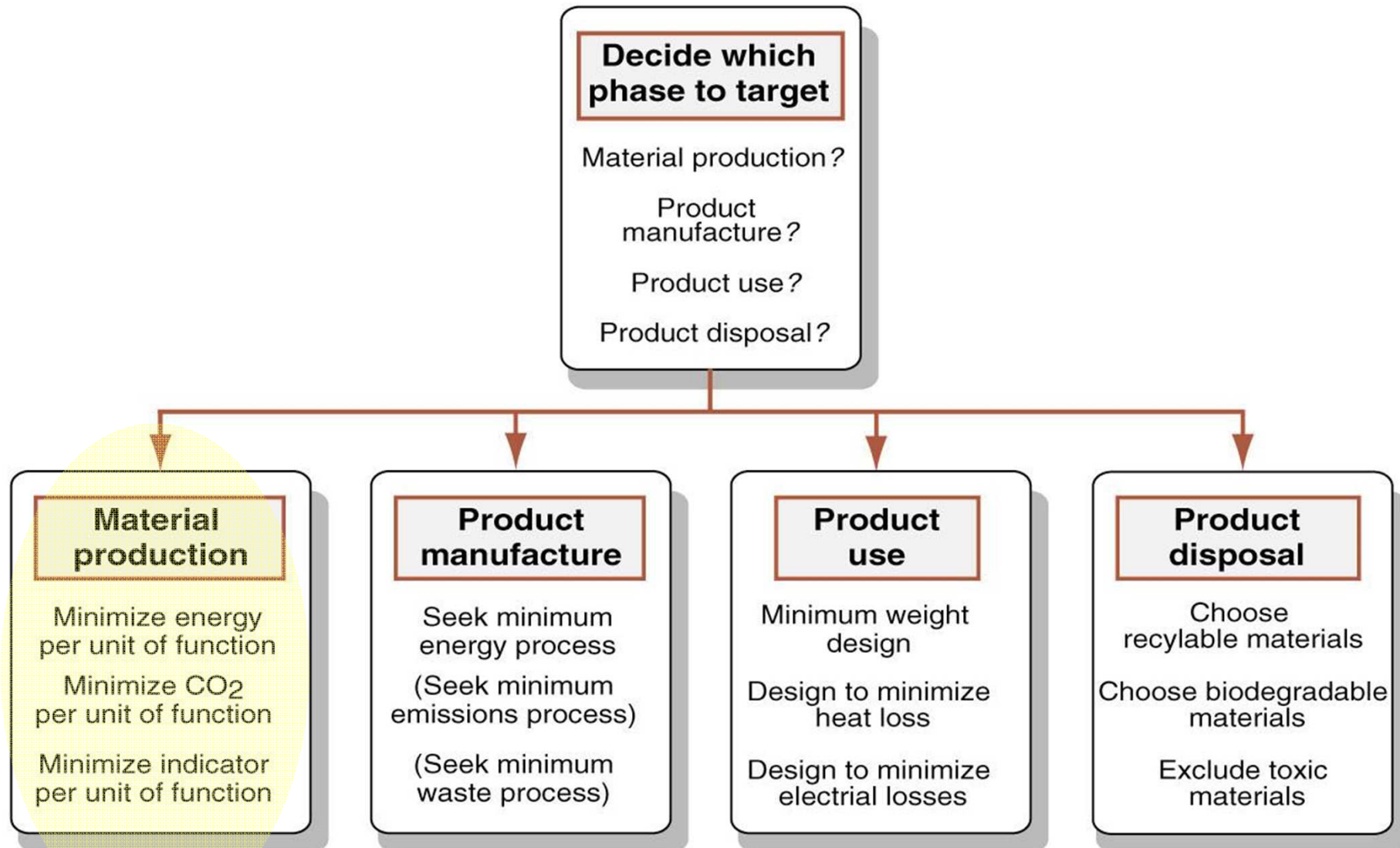
*Man-made fibers: polyester, nylon, acrylic, cellulose*

(1995)

# ACV e o projeto sustentável



# Estratégias para seleção de materiais sustentáveis (energia ou emissão de CO2 ou gasto de água)



# Estratégias para seleção de materiais sustentáveis

- Que ferramentas devo utilizar para um projeto sustentável?
- Exemplo: embalagens para líquidos

**Vidro**



**PE**



**PET**



**Alumínio**



**Aço**



- Objetivo:

Analisar o peso da energia consumida ou emissão de CO<sub>2</sub> de modo rápido e eficiente.

# Avaliação ambiental (Análise de Ciclo de Vida)



**Garrafa PET**

- **Separar as fases da vida**

**1. Produção do material:** a energia incorporada

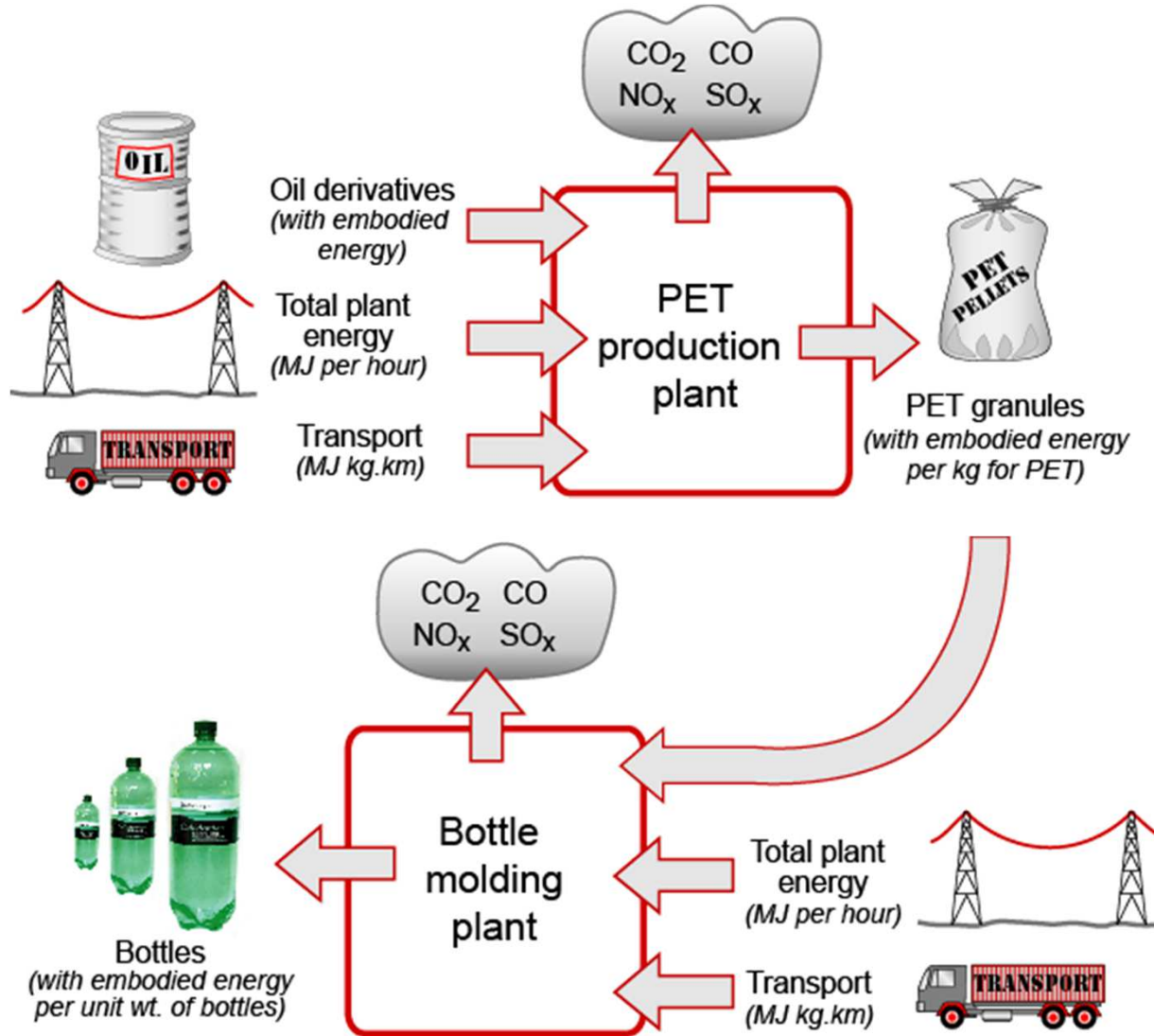
**2. Manufatura da garrafa:** a energia de processo

3. Transporte e uso

4. Descarte: **coleta, reciclagem, energia recuperada**

- Para a análise, são necessários dados **locais** e **genéricos**.

# Energia incorporada no material e no processo



## Dados genéricos

### Energia do material MJ/kg

- banco de dados de energia de materiais

### Energia de processo MJ/kg

- banco de dados de energia de processamento de materiais

### Transporte MJ/ton.km

- Frete mar. 0.11 – 0.15
- Barcaça (rio) 0.75 – 0.85
- Frete ferrov. 0.80 – 0.9
- Caminhão 0.9 – 1.5
- Frete aéreo 8.3 – 15

# Energia de transporte, uso e final da vida



1. Produção do material: a energia incorporada (lista de materiais e banco de dados)

2. Manufatura da garrafa: a energia de processo (lista de processos de fabricação e banco de dados)



3. Transporte: energia gasta no transporte de peças e produtos até descarte final.

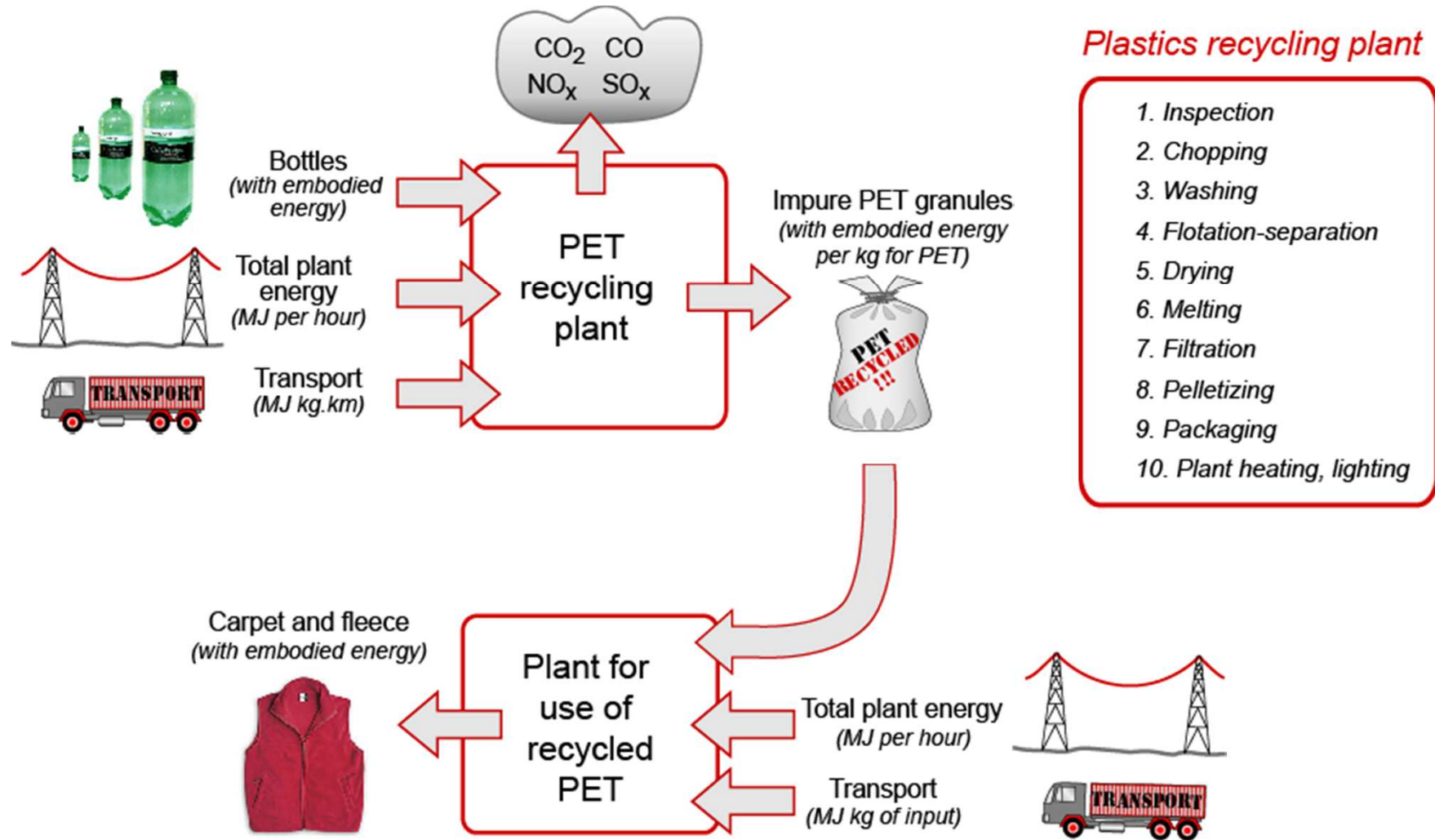
4. Uso: Energia gasta durante o uso da garrafa (**refrigeração**)

5. Descarte: **coleta, reciclagem, reuso?**  
**energia recuperada?**



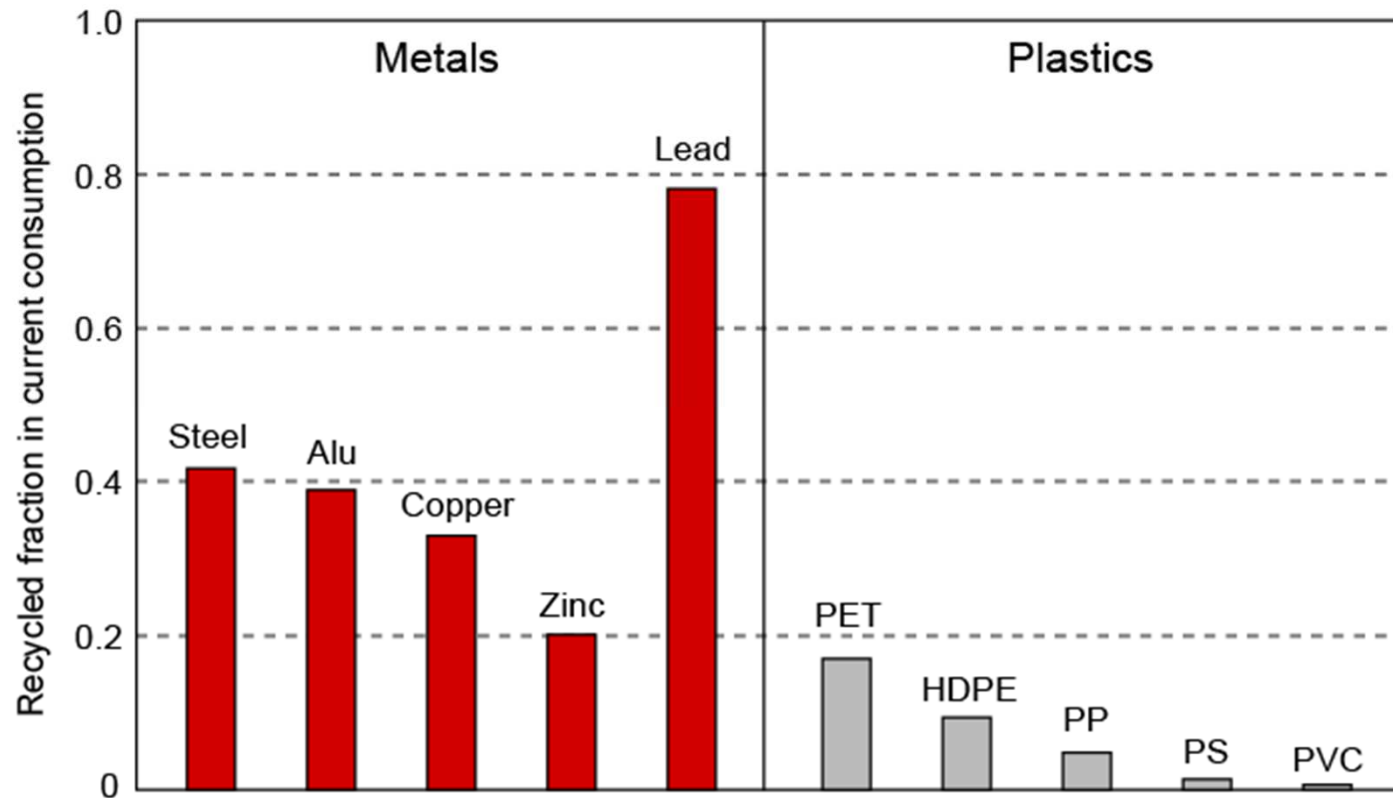


# Descarte e reciclagem (potencial de uso)





## Porção reciclada de algumas materiais (commodities)



Que setor se responsabiliza pela coleta seletiva no Brasil?  
Por que não profissionalizar o serviço?

# Análise de ciclo de vida – Cambridge engineering selector software

## User inputs

### User interface

- Bill of materials
- Manufacturing process
- Transport needs
- End of life choice

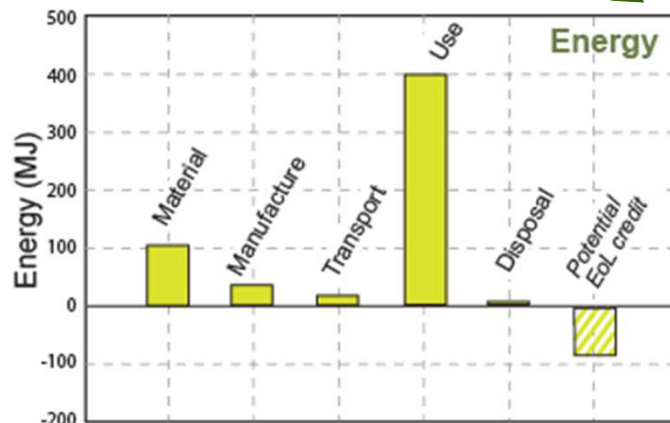


## Data from CES

### Eco database

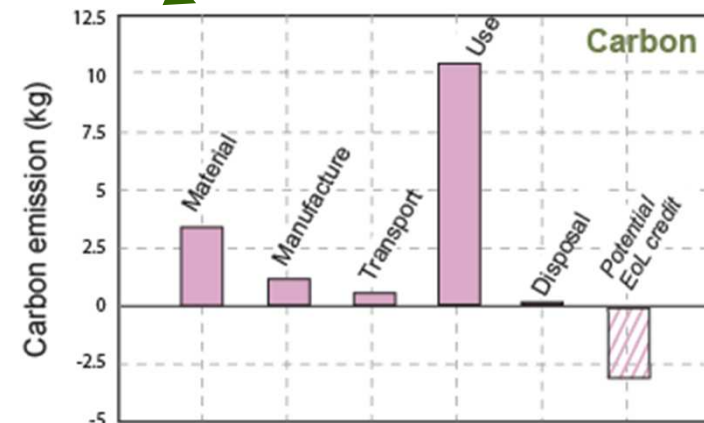
- Embodied energies
- Process energies
- CO2 footprints
- Unit transport energies
- Recycling / combustion

## Eco audit model



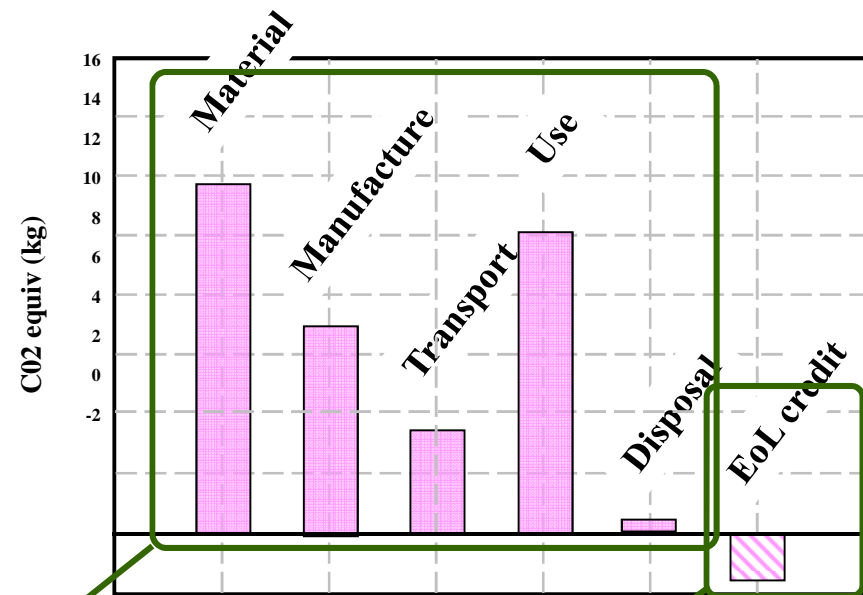
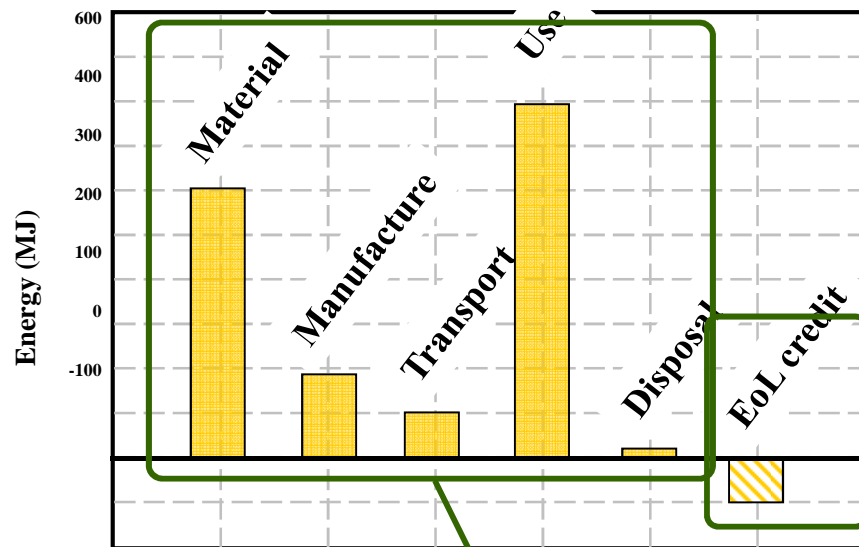
Analyse outputs  
(including tabular data)

Challenge critical phases



# Análise de ciclo de vida

- Distinguish life-phases of components in terms of energy consumption and equivalent CO2 emissions



**This is the life-energy and life-CO2**  
(as prescribed in ISO 14040 and PAS 2050)

**These are potential benefits**  
(could be recovered at End of Life)

# Exemplo da garrafa PET: ferramenta de avaliação

## Entradas do usuário

### Materiais

- PET body 38 g
- PP cap 5 g

### Manufatura

- PET body moulded 38 g
- PP cap moulded 5 g

### Uso

- Refrigeration 5 days
- Transport 200 km

### Descarte

- Recycling ? Yes
- Transport 15,000 km



## Recuperado do banco de dados

### Material energy MJ / kg

- Embodied energy, PET 85
- Energy to blow mould 11

### Transporte, MJ / ton.km

- Sea freight 0.11
- Truck 1.3

### Refrigeração, MJ / m<sup>3</sup>.day

- Refrigeration (4°C) 10.5
- Freezing (-5°C) 13.0

# Exemplo da garrafa PET: ferramenta de avaliação



- 1 litre PET bottle with PP cap
- Blow molded
- Filled in France, transported 550 km to UK
- Refrigerated for 2 days, then drunk
- 100 bottles

Number	Name	Material	Process	Mass (kg)	End of life
100	Bottles	PET	Molding	0.04	Recycle
100	Caps	Polyprop	Molding	0.001	Recycle
100	Water			1.0	

## Transport

Stage 1	14 tonne truck	550 km
---------	----------------	--------

## Use - refrigeration

Fossil to electric	0.12 kW	2 days	24 hrs/day
--------------------	---------	--------	------------

# Matriz energética dos países: afetam a emissão de CO2

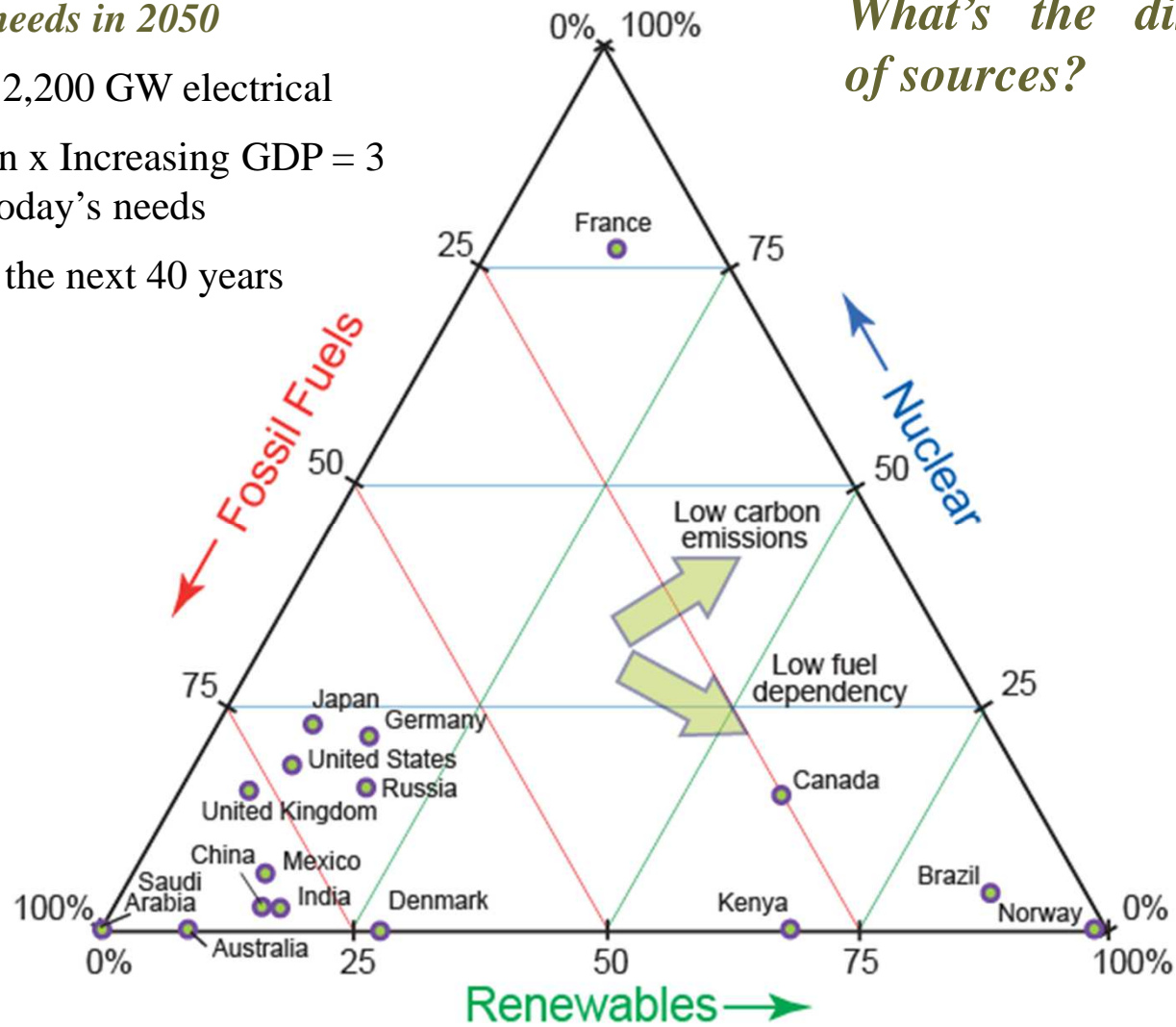
## *Power needs in 2050*

Global today: 2,200 GW electrical

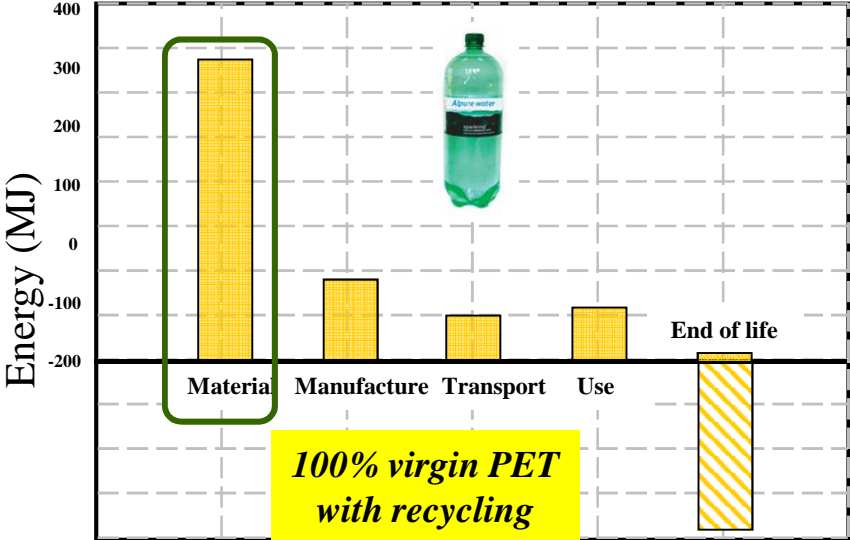
Rising population x Increasing GDP = 3  
times today's needs

All built in the next 40 years

*What's the distribution  
of sources?*

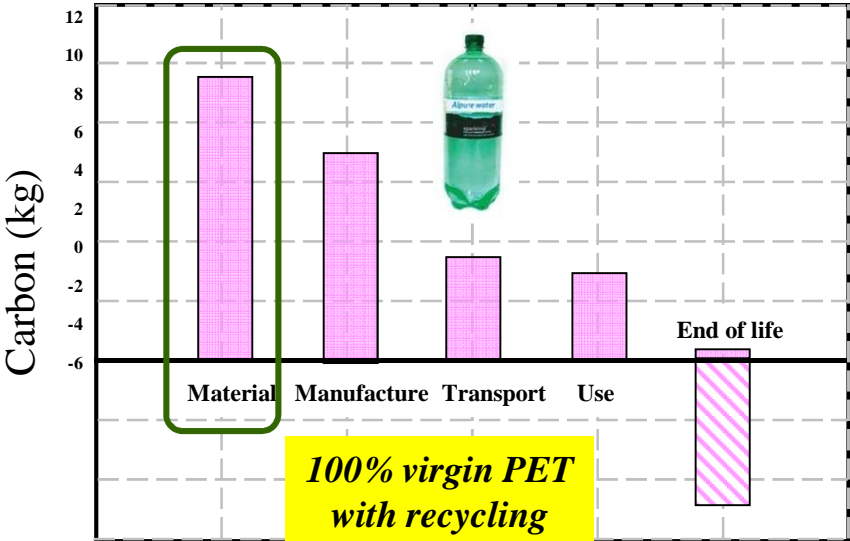


# Análise do ciclo de vida de uma centena de garrafas PET: energia ou emissão de CO<sub>2</sub>?



The audit reveals the most energy and carbon intensive steps...

“What if...” ?



PET

Glass ?

# Exemplo de mudança de materiais para garrafa



- 1 litre **glass bottle** with **aluminum cap**
- **Glass molded**
- Filled in France, transported 550 km to UK
- Refrigerated for 2 days, then drunk

P *Glass bottle* **Compare with...** Clear Open Save

Number	Name	Material	Process	Mass (kg)	End of life
100	Bottles	Soda glass	Glass mold	0.45 †	Recycle
100	Caps	Aluminum	Rolling	0.002	Landfill
100	Water			1.0	

## Transport

Stage 1 14 tonne truck 550 km

## Use - refrigeration

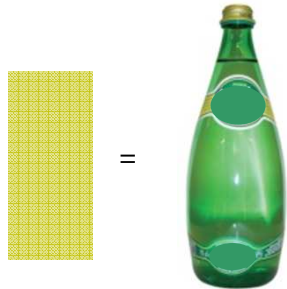
Fossil to electric 0.12 kW 2 days 24 hrs/day



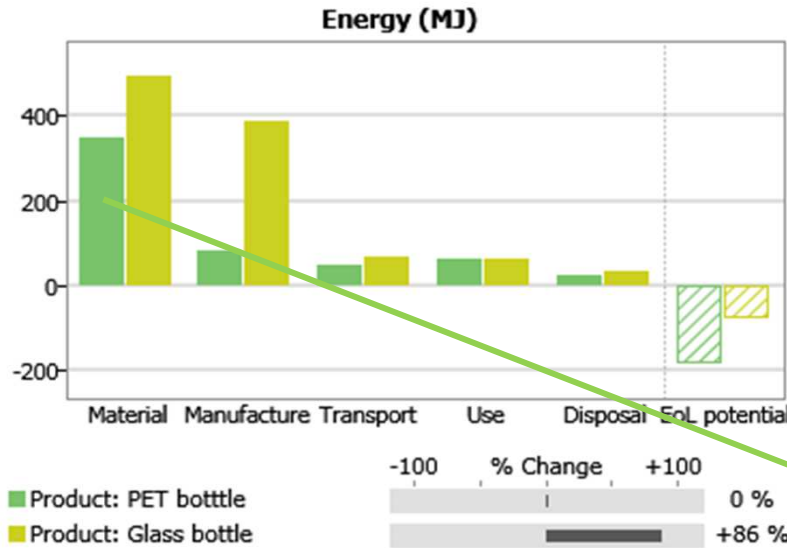
# Ações e comparação: PET x vidro



Virgin PET

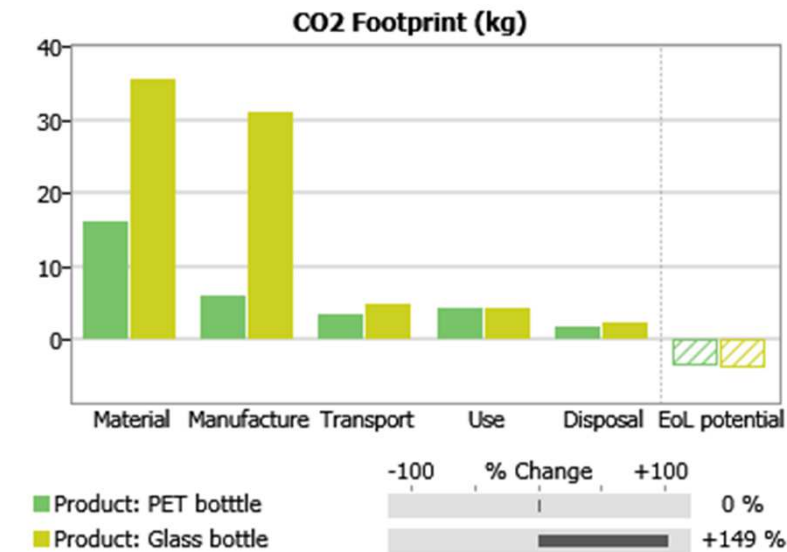


Glass



Comparação permite criar guias para melhor projeto.

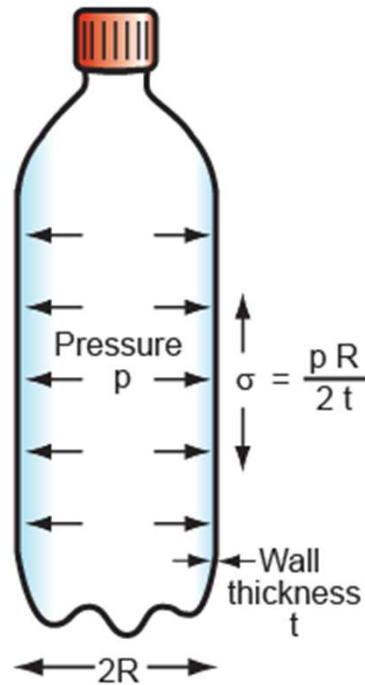
Como reduzir impacto energético?  
Como reduzir a emissão de CO2?



Use as large a 'recycled content' in the material as possible.  
Use PET?

Análise deve ser mais cuidadosa, pois garrafa de vidro poderá ser reciclada mais vezes do que a garrafa PET

# Modelando a garrafa: vaso de pressão



- Tensão circunferencial  $\sigma = \frac{pR}{t} < \sigma_y$

- Energia incorporada por unidade de área de parede

$$E = tH_m \rho = pR \frac{H_m \rho}{\sigma_y}$$

*Embodied energy / kg of material*

- Achar material com maior LE e menor energia

$$\frac{\sigma_y}{H_m \rho}$$

**Variável livre: t**

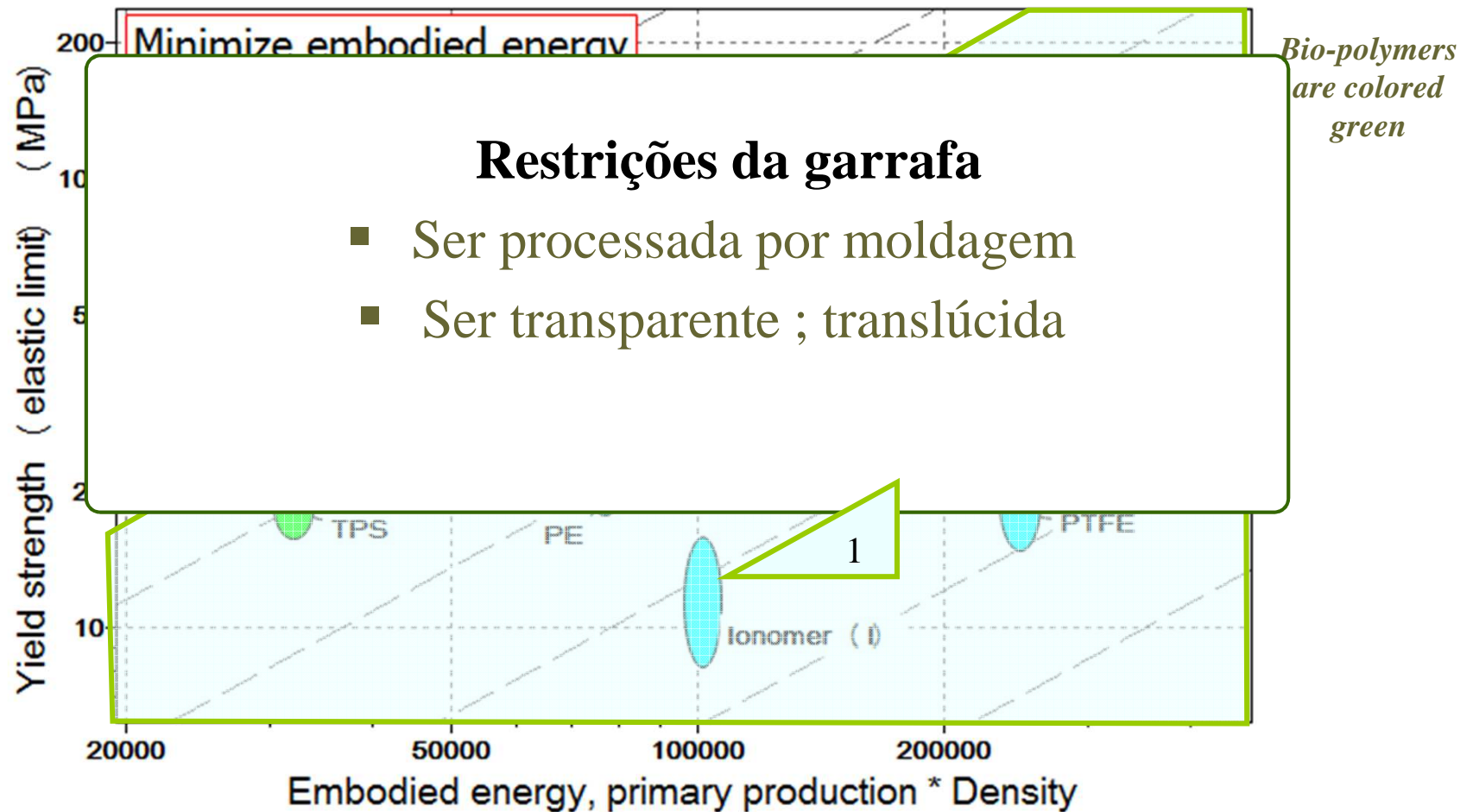
- Comparar com material com maior LE e menor custo

$$\frac{\sigma_y}{C_m \rho}$$

*Price / kg of material*

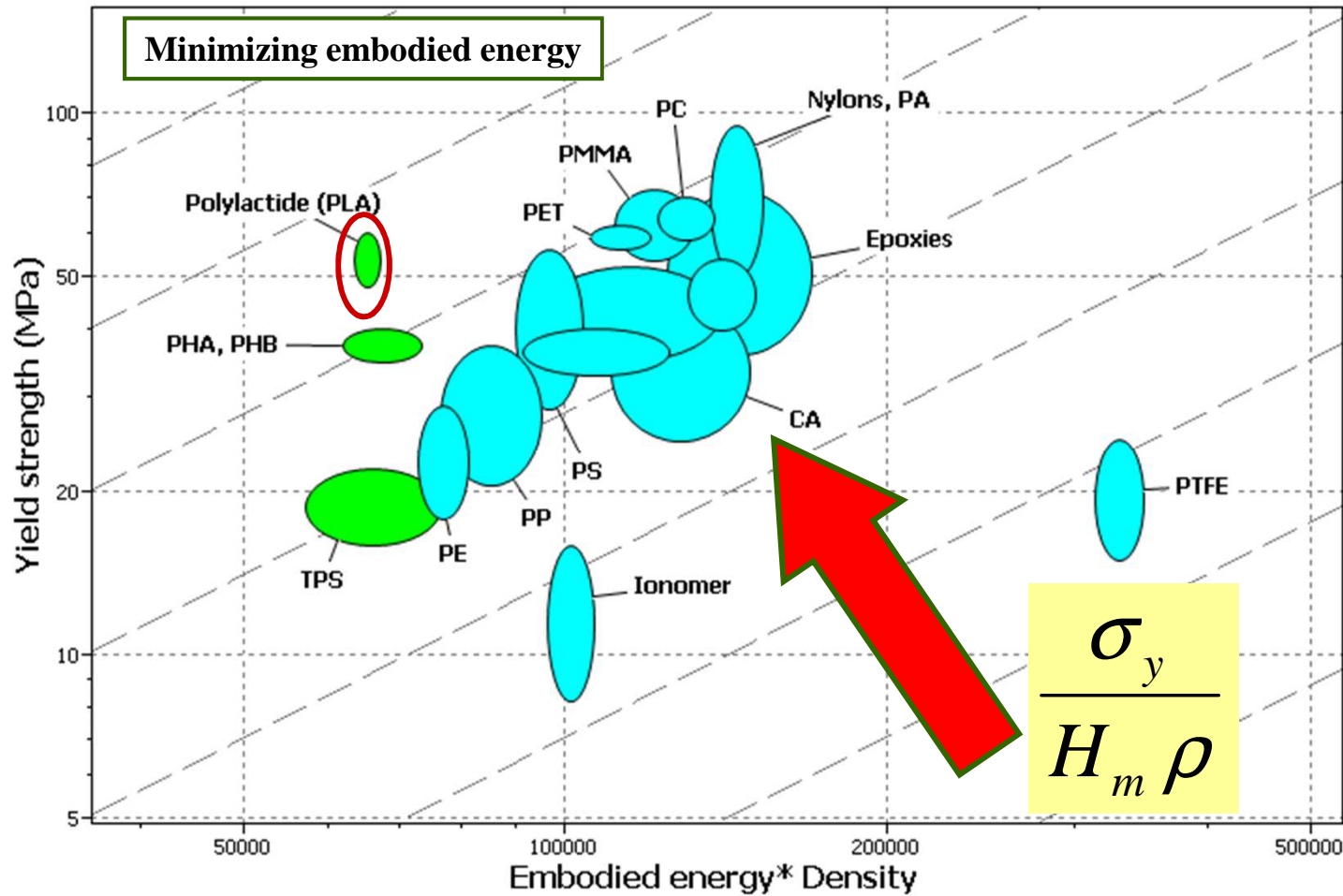
# Selection to minimize embodied energy

First apply constraints, then use index to optimize choice



PLA meets the constraints at lowest embodied energy

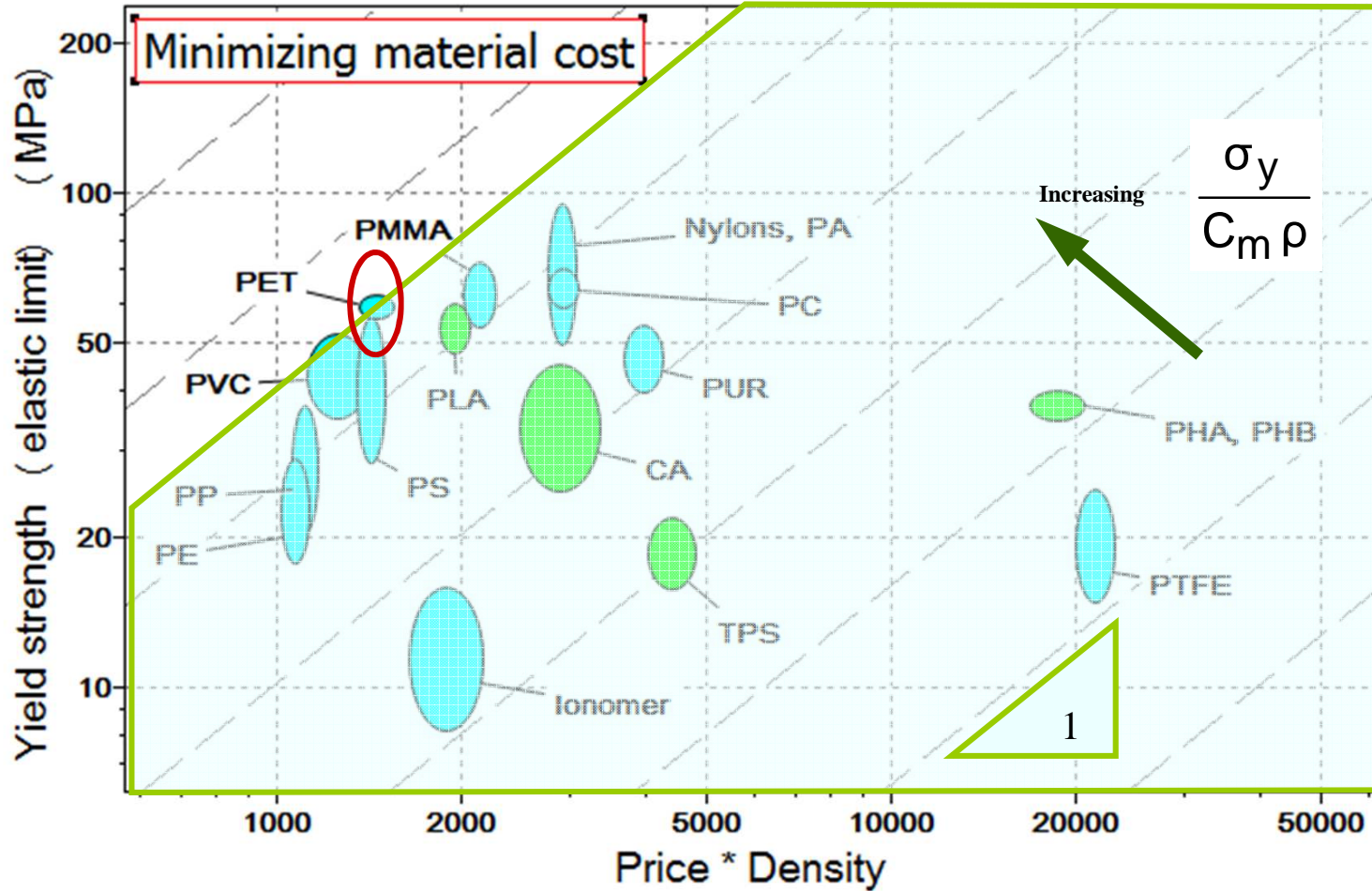
# Selection to minimize embodied energy



PLA meets the constraints at lowest embodied energy

# Selection to minimize cost

Can't ignore cost



*Bio-polymers are colored green*

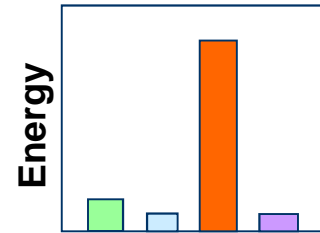
PET meets the constraints at lowest cost

# Aplicando estratégia para projeto sustentável

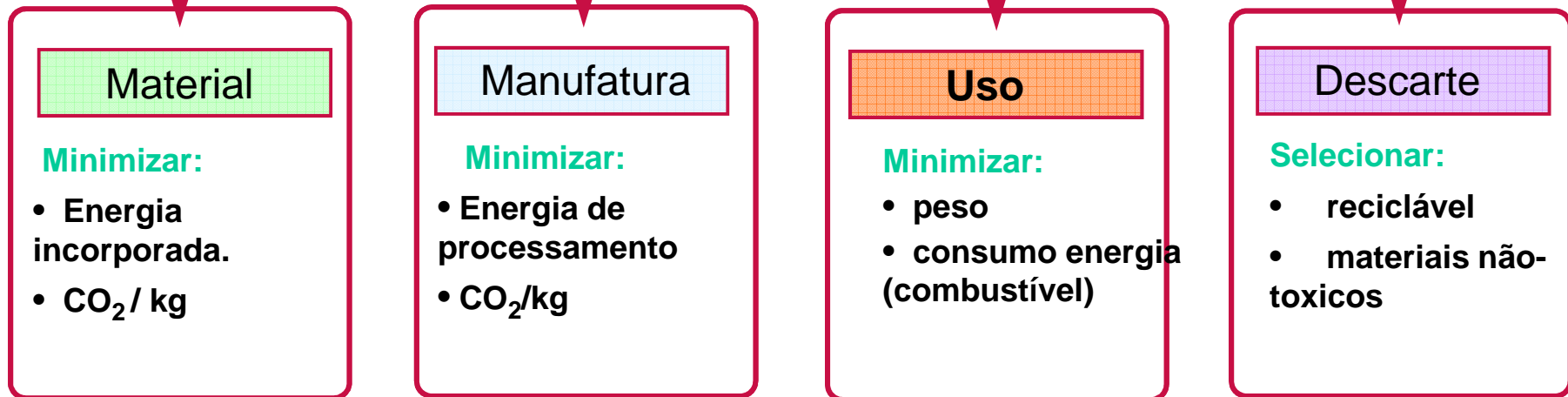
## 1. Análise

### Energia por fase de vida

*Produção*  
*Manufatura*  
*Uso*  
*Descarte*



## 2. Estratégia



## Referências

- Materials Selection in Mechanical Design, Fourth Edition [Paperback], Michael F. Ashby (Author)
- Cambridge Engineering Selector, software.  
<http://www.grantadesign.com/education/content.htm>