


Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Principais Processos para o Design de Produtos


**Prof. Dr. Fausto L. Mascia**

Bibliografia:  
Ashby, M., Johnson, K. Materiais e Design. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011  
Lefteri, C., Como se faz. São Paulo: Blucher, 2009.  
Lesko, J. Design industrial. Guia de materiais e fabricação. São Paulo: Blucher, 2012.

1




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Sumário

- Lembrete sobre propriedades dos materiais
- Diagramas de Michael Ashby
- Categorização de processos
  - ◆ Estágio de progressão
  - ◆ Forma obtida
  - ◆ Geometria
- Comentários

2




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




**Propriedades dos materiais:**

- Físicas
- Químicas
- Físico químicas

3



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



**Atributos dos materiais:**

**Físicos** – propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, óticas, estabilidade dimensional, densidade.

**Mecânicos** – elasticidade; tração; compressão; tenacidade; limite de fadiga; dureza; abrasão.

**Térmicos** – condutividade térmica; dilatação térmica; temperatura de fusão; temperatura máxima de uso.

**Elétricos** – resistividade; constante dielétrica; perda dielétrica;.

**Óticos** – índice de refração, transparência.

4

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

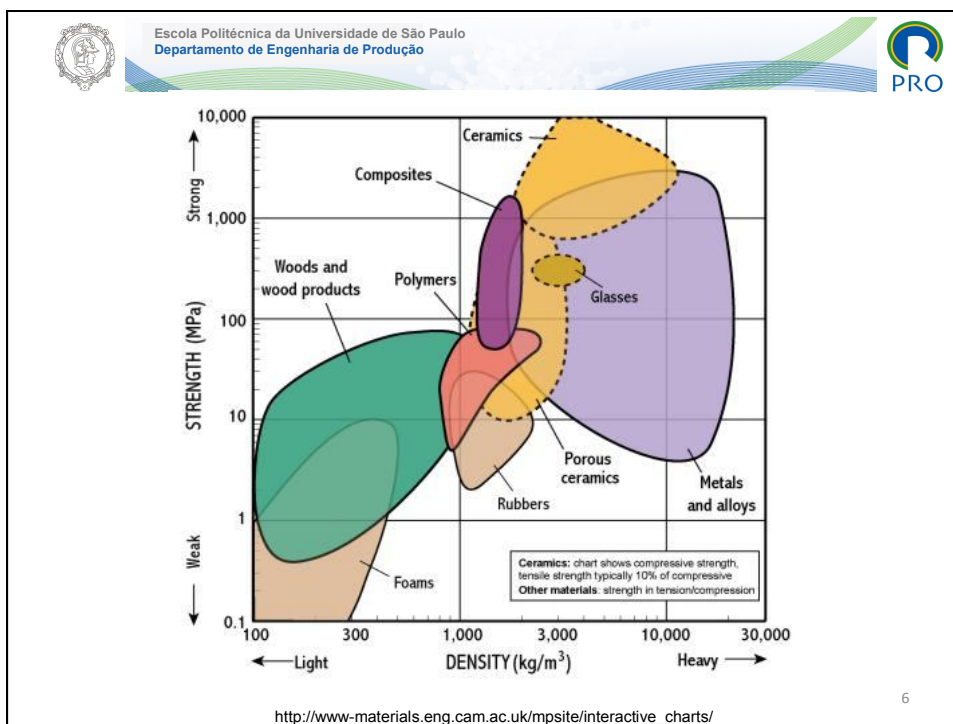
PRO

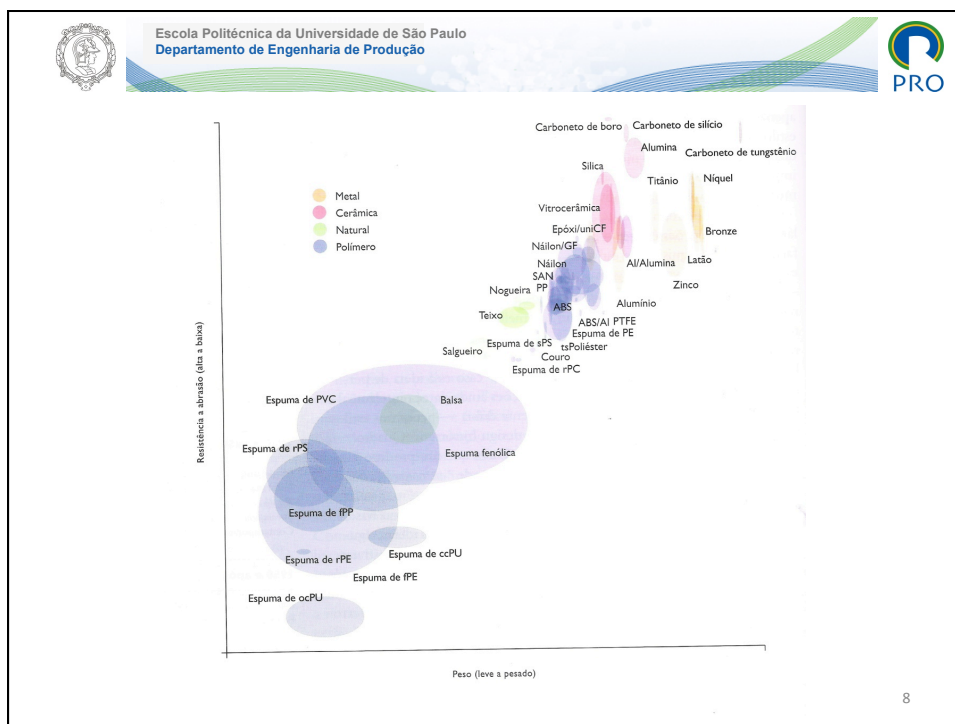
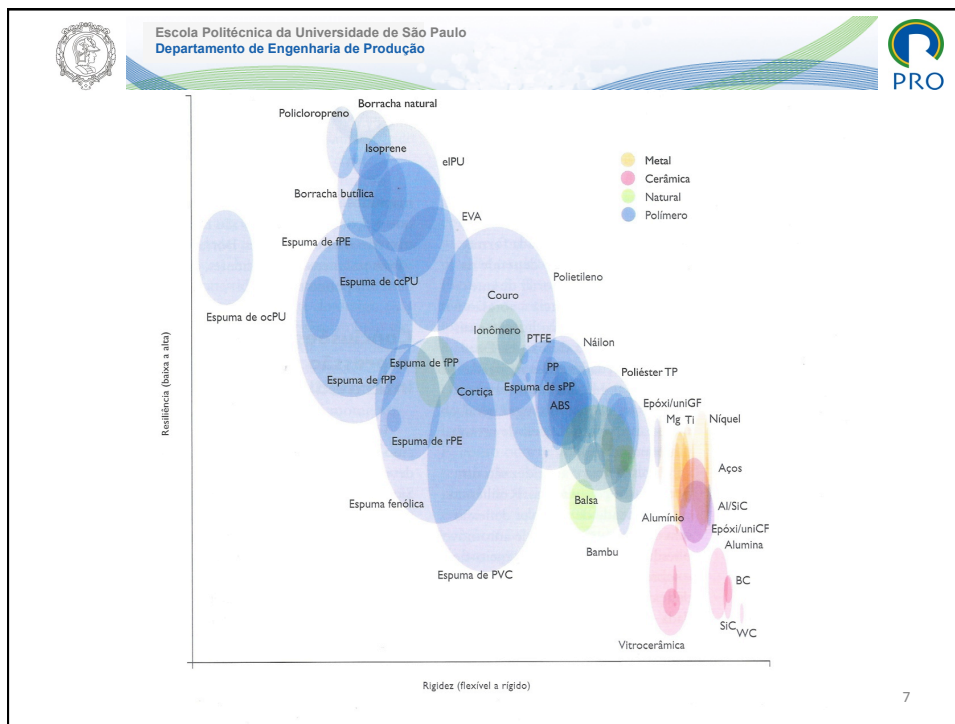
**Atributos dos materiais:**

**Químicos**  
Resistência: ácidos, bases, oxidação, inflamabilidade, solventes e reagentes, radiações ultravioletas, degradação térmica.

**Físico-Químicos**  
Permeabilidade a gases e vapores.

5





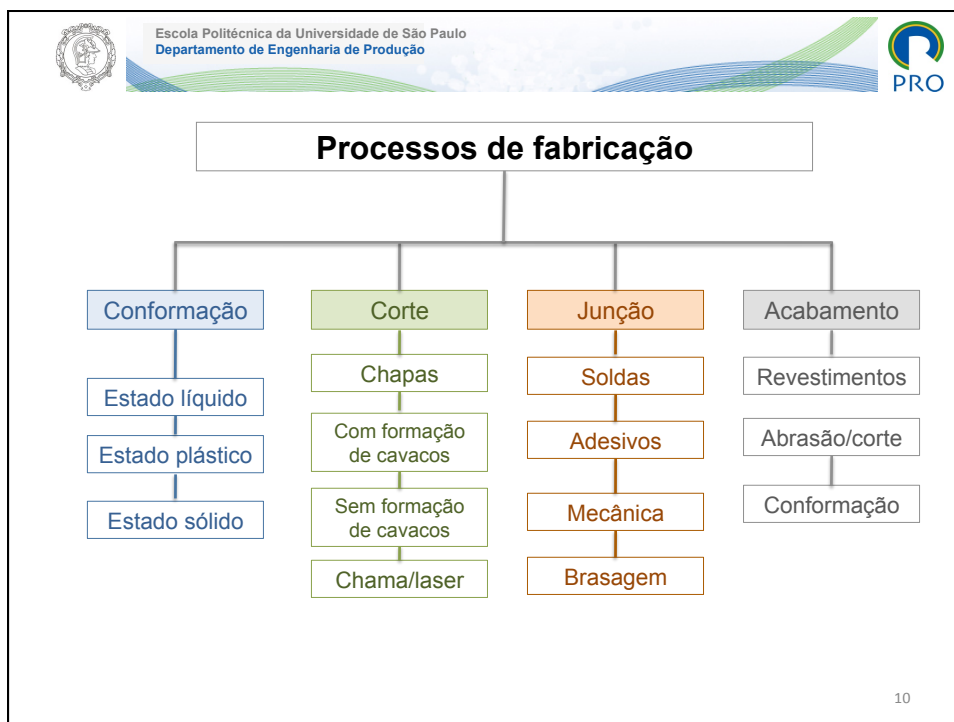
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

PRO

## Processos

- **Conformação / corte**
- **Junção (união)**
- **Acabamento / revestimento**

9



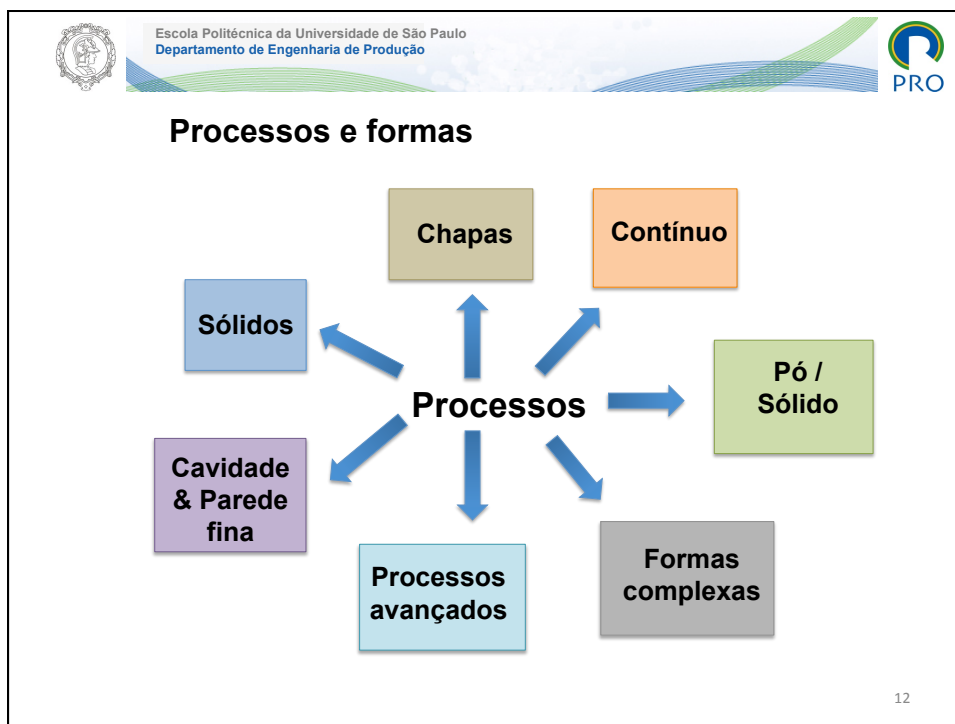
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção


PRO

### Processos de conformação


Estado Líquido	
Metais	Fundição
Cerâmicas/Vidros	Fundição, Laminação, Repuxo
Polímeros	Injeção, Extrusão, Rotomoldagem, Calandragem
Estado Plástico	
Metais	Forjamento, Extrusão, Calandragem
Cerâmicas/Vidros	Extrusão, Prensagem, Sopro
Polímeros	Vacuumforming
Estado Sólido	
Metais	Calandragem, Repuxo, Trefilação, Sinterização (pó).
Cerâmicas/Vidros	Compressão (pó)
Madeira	Prensagem
Polímeros	Compressão

11





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Sólidos – corte


Uso de ferramentas de corte para “esculpir” materiais:

Um dos mais antigos processos para fabricação de objetos.  
Empregam ferramentas para cortar, formar e remover material.  
Máquinas universais ou automáticas (CNC)

13



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Sólidos – corte


Principais processos:

- Usinagem máquinas universais/dedicadas
- Usinagem automática (CNC)
- Torneamento
- Escultura em cerâmica
- Usinagem por feixe de elétrons
- Usinagem a plasma

14



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Chapa


O Ponto de partida é um material pré preparado.

- Redução de custos de produção
- Menor custo de ferramental (matrizes)
- Ampla possibilidades de aplicações

15



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Chapa

Principais processos:


- Estampagem
- Corte (convencional, laser, chama de acetileno)
- Torneamento de repuxo
- Termoconformação
- Compensado encurvado
- Prensagem de compensado
- Vidro

16





Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Contínuo


Os componentes são feitos a partir de trechos contínuos de um material.

- Material inserido em uma matriz e produção de grandes extensões com um determinado perfil.
- Processos eficientes em termos de custo
- Sempre a mesma forma transversal

17



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Contínuo


Principais processos

- Calandragem
- Extrusão
- Filme soprado
- Estampagem rotativa
- Conformação por laminação (em rolos)
- Corte de folhas de madeira

18



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Cavidade & parede fina


Processos que dão formato a formas ocas e de paredes finas.

- Extensamente empregado – escala industrial
- Diversidade de materiais (plástico, vidro, papel, barbotina).

19



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Cavidade & parede fina


Principais processos

- Moldagem por sopro de plásticos; injeção por sopro
- Rotomoldagem
- Moldagem por imersão
- Vidro soprado (artesanal)
- Vidro soprado e moldagem por sopro
- Vidro prensado e moldagem por sopro
- Conformação hidrostática de metais

20



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Cavidade & parede fina


Principais processos

- Moldagem de papel
- Moldagem por contato
- Moldagem em autoclave
- Extrusão reversa por impacto

21




Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Pó - sólidos

Principais referências – metalurgia  
Também aplicado a cerâmicas e plásticos  
Forjamento – sólido em sólido

22



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Pó - sólidos


Principais processos

- Sinterização
- Moldagem por compressão
- Prensagem isostática a frio/quente
- Moldagem de espuma
- Forjamento

23



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Formas complexas


Processos em que geralmente a conformação ocorre em estado plástico.

- Grandes quantidades – menor custo unitário
- Investimento em ferramental

24



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




## Formas complexas


Principais processos

- Injeção assistida por água/assistida por gás
- Injeção com reação (resinas)
- Montagem com inserto
- Injeção de metais
- Fundição em alta pressão
- Fundição de precisão
- Prensagem de vidro
- Impressão 3D

25



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção



## Processos avançados

Tecnologias recentes associadas ao CAD  
Gradativamente adotadas no meio industrial

26

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

PRO

## Conformação - Formas geométricas

- Prismática
- Parede fina
- Assimétrica
- Sólida

27

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção

PRO

## Conformação – formas geométricas

Prismática	CIRCULAR	NÃO CIRCULAR
SÓLIDA	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>
OCA	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>	 <p><i>Lisa</i></p> <p><i>Em degrau</i></p>

28

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




### Conformação – formas geométricas

Parede fina	CURVA			PLANA
SIMÉTRICA EM RELAÇÃO AO EIXO	 <i>Rasa</i>	 <i>Funda</i>	 <i>Funda, com reentrância</i>	 <i>Com recortes</i>
ASSIMÉTRICA EM RELAÇÃO AO EIXO	 <i>Rasa</i>	 <i>Funda</i>	 <i>Funda, com reentrância</i>	 <i>Sem recortes</i>

29

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia de Produção




### Conformação – formas geométricas

	CARACTERÍSTICAS PARALELAS		CARACTERÍSTICAS TRANSVERSAIS	
SÓLIDA	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>
OCA	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>	 <i>Simples</i>	 <i>Complexa</i>

30