



# PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO UTILIZANDO METAIS E POLÍMEROS

VALDEMIR MARTINS LIRA

**Blucher**

Valdemir Martins Lira

PRINCÍPIOS DOS PROCESSOS  
DE FABRICAÇÃO UTILIZANDO  
METAIS E POLÍMEROS

*Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros*

© 2017 Valdemir Martins Lira

Editora Edgard Blücher Ltda.

Imagem da capa: iStockphoto

# Blucher

---

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar  
04531-934 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel.: 55 11 3078-5366  
**contato@blucher.com.br**  
**www.blucher.com.br**

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme  
5. ed. do *Vocabulário Ortográfico da Língua  
Portuguesa*, Academia Brasileira de Letras,  
março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por  
quaisquer meios sem autorização escrita da  
editora.

---

Todos os direitos reservados pela Editora Edgard  
Blücher Ltda.

## Ficha Catalográfica

---

Lira, Valdemir Martins

Princípios dos processos de fabricação  
utilizando metais e polímeros / Valdemir Martins  
Lira. — São Paulo : Blucher, 2017.

240 p. : il. color.

### Bibliografia

ISBN 978-85-212-1085-6

1. Processos de fabricação – Metais 2.  
Processos de fabricação – Polímeros 3. Automação  
4. Controle de produção 5. Engenharia de produção  
I. Título.

16-0692

CDD 664.001579

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia de produção - Processos de fabricação

# CONTEÚDO

<b>ESTRUTURA DO LIVRO .....</b>	<b>15</b>
---------------------------------	-----------

<b>PARTE I – HISTÓRICO DOS SISTEMAS DE FABRICAÇÃO.....</b>	<b>17</b>
--	-----------

<b>1 – INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE FABRICAÇÃO.....</b>	<b>19</b>
---	-----------

1.1 Breve histórico evolutivo da fabricação e da tecnologia.....	19
1.2 Século XX: o século da tecnologia .....	23

<b>2 – SISTEMA PRODUTIVO .....</b>	<b>25</b>
------------------------------------	-----------

2.1 Sistema de produção.....	26
2.2 A ocupação da mão de obra e os setores de produção .....	26
2.3 Tipos de indústrias.....	28
2.4 Tipos de produção.....	30

2.5 Automação da manufatura ..... 30  
2.6 Referências..... 33

**PARTE II – MEIOS DE TRANSFORMAÇÃO DOS  
PROCESSOS DE FABRICAÇÃO  
CONTÍNUO E DISCRETO..... 35**

**3 – TEMPERATURA EM METAIS COMO AGENTE  
DE TRANSFORMAÇÃO.....37**

3.1 Introdução..... 37  
3.2 Eletroerosão..... 39  
3.3 *Laser*..... 43  
3.4 Plasma ..... 46  
3.5 Fundição..... 48  
3.6 Lingotamento..... 57  
3.7 Sinterização ..... 59  
3.8 Exercícios resolvidos..... 61  
3.9 Exercícios propostos ..... 64  
3.10 Referências..... 65

**4 – RESISTÊNCIA MECÂNICA E TEMPERATURA COMO  
AGENTES DE TRANSFORMAÇÃO.....67**

4.1 Forjamento ..... 69  
4.2 Extrusão de metal..... 75  
4.3 Trefilação ..... 78  
4.4 Laminação..... 82  
4.5 Estampagem ..... 87  
4.6 Torneamento ..... 91  
4.7 Fresamento..... 99

4.8 Aplainamento .....	105
4.9 Furação .....	107
4.10 Serramento.....	111
4.11 Alargamento .....	113
4.12 Brochamento.....	117
4.13 Roscamento.....	120
4.14 Mandrilamento .....	122
4.15 Retificação .....	124
4.16 Brunimento .....	126
4.17 Superacabamento.....	131
4.18 Polimento.....	133
4.19 Lapidação .....	134
4.20 Jato d'água, jato abrasivo e fluxo abrasivo .....	136
4.21 Exercícios propostos .....	139
4.22 Referências.....	140

**5 – TEMPERATURA EM POLÍMEROS COMO AGENTE DE TRANSFORMAÇÃO.....141**

5.1 Extrusão.....	142
5.2 Injeção de termoplástico.....	154
5.3 Termoformagem .....	166
5.4 Rotomoldagem .....	170
5.5 Injeção de termofixo.....	178
5.6 Referências.....	181
5.7 Exercícios propostos .....	181

**6 – PROCESSO DE FABRICAÇÃO POR ADIÇÃO DE MATERIAL: TEMPERATURA EM POLÍMEROS E METAIS COMO AGENTE DE TRANSFORMAÇÃO.....187**

6.1 Estereolitografia..... 188

6.2 *Fused deposition modeling* (FDM) ..... 189

6.3 *Selective laser sintering* (SLS) ..... 191

6.4 Processo por adição - FDM e estereolitografia: exemplo prático..... 192

6.5 Soldagem..... 194

6.6 Exercícios resolvidos..... 205

6.7 Exercícios propostos ..... 208

6.8 Referências..... 210

**7 – EXERCÍCIOS ADICIONAIS .....211**

7.1 Resolvidos ..... 211

7.2 Propostos..... 216

**8 – RESPOSTAS DOS EXERCÍCIOS PROPOSTOS .....223**

**ÍNDICE REMISSIVO.....233**

**APÊNDICE .....237**

**REFERÊNCIAS.....240**

PARTE I

**HISTÓRICO DOS  
SISTEMAS DE  
FABRICAÇÃO**



# INTRODUÇÃO AOS SISTEMAS DE FABRICAÇÃO

**FABRICAR É TRANSFORMAR MATÉRIAS-PRIMAS  
EM PRODUTOS ACABADOS POR MEIO DE UMA  
VARIEDADE DE PROCESSOS**

## **1.1 BREVE HISTÓRICO EVOLUTIVO DA FABRICAÇÃO E DA TECNOLOGIA**

Desde os primórdios da história da humanidade, a sobrevivência e a subsistência do homem sempre estiveram calcadas no desenvolvimento de métodos, técnicas e utensílios/mecanismos para defesa ou para facilitar o trabalho, como os primeiros processos (feitos há mais de 6 mil anos) para fundir, forjar, furar e ralar (Tabela 1.1). A mecanização começou na Pré-História, por volta de 3500 a.C., com a invenção da roda e do arado na Mesopotâmia e os primeiros utensílios com uso de bronze na Tailândia (Ásia), cobre na Europa e fundição do bronze na África. Em 700 a.C., surgiu o uso de utensílios de ferro na Europa Ocidental. Em termos de máquinas,

em 1000 a.C., surgem os primeiros tornos, na época denominada Idade do Bronze; os metais predominantes eram cobre, zinco e estanho.

Com o avanço da ciência e da tecnologia na Europa em 1770, propicia-se o surgimento da automação nos meios de transporte, com a máquina a vapor de James Watt, em 1769. Em relação às máquinas fabris, Cartwright constrói a máquina de tear em 1772, e Eli Whitney, o descaroçador de algodão, nos Estados Unidos, em 1793. Ainda nessa época, surgem os primeiros relatos conhecidos sobre torneamento por Jacques Plumier (*L'art de tourneurs*) e a divisão do trabalho propagada por Adam Smith em 1700. Esse cenário culmina com a Revolução Industrial, que tem início na Inglaterra em 1780.

Desde os primórdios da Primeira Revolução Industrial, também denominada revolução do carvão e do ferro, ocorrida em 1780, e posteriormente da Segunda Revolução Industrial, do aço e da eletricidade, iniciada em 1860, os processos de fabricação vêm evoluindo e obtendo níveis cada vez maiores de produtividade. Desde então, métodos, técnicas, mecanismos e materiais foram criados para operacionalização e melhorias dos sistemas produtivos.

Naquela época, o foco era o processo de fabricação, pois, em um primeiro momento, a principal preocupação residia em serem descobertos meios de produzir em massa os bens que já então eram necessários.

O processo de fabricação alavancou o desenvolvimento da mecanização das máquinas. Em seguida, o foco passou a ser a otimização da organização de chão de fábrica, visando a rentabilização dos investimentos efetuados no equipamento. Nasce o taylorismo, que introduz as preocupações com a otimização do trabalho e, posteriormente, o fordismo, que introduz a noção de arranjo de máquinas na forma de linha de produção, além da visualização do aproveitamento do mercado consumidor de escala.

Tabela 1.1 Histórico dos descobrimentos dos materiais tradicionais e não tradicionais e os processos de fabricação e máquinas

		a.C. ← 0 → d.C		Processos de fabricação e máquinas	
Tradicionais	metais	Ouro	10.000	Fundir, forjar, furar, ralar, mecanização (arado), primeiros tornos	
		Cobre	5.000		
		Bronze	2.500		
		Ferro	0		
		Ferro fundido	1600		
	cerâmicas	Aço	1780	Automação nos meios de transporte, máquina a vapor	
		Aço-liga	1910		
		Superligas	1940		
		Pedra	Desde o surgimento da humanidade		
		Sílex	6.000		
Não tradicionais	polímeros	Cerâmica	5.000	Triturar, cortar	
		Cimento	1.000		
		Cimento Portland	1910		
	Não tradicionais	polímeros	Cermets	1940	Trituração, moagem e aquecimento
			Vidro	1.000	
			Madeira	Desde o surgimento da humanidade	
			Celuloide	1860	
Não tradicionais	polímeros	Parquesine	1862	Sinterização	
		Baquelite	1910		
		PVC/PMMA/PS	1930		
		LDPE/PU/ER	1940		
		HDPE/PP/PC	1950		
Não tradicionais	polímeros			Fundir	
				Serrar	
				Injeção, compactação e compressão	
				Injeção, extrusão, sopro, termoformagem, rotomoldagem	

### 1.1.1 Cenário das revoluções industriais

É importante salientar a importância do cenário da sociedade nas revoluções industriais, pois nota-se um elo inseparável desses acontecimentos com o processo evolutivo dos sistemas de produção, das descobertas de materiais e da invenção de máquinas e equipamentos.

A seguir, descreve-se sucintamente os principais acontecimentos que proporcionaram a mudança da sociedade de um sistema feudal para uma sociedade calçada na produção.

1780 a 1860

Revolução do carvão e do ferro

- a) Mecanização da agricultura, máquinas de fiar, tear, hidráulica, primeiras máquinas-ferramentas projetadas segundo princípios modernos etc.
- b) Aplicação da força motriz na indústria com a invenção do motor elétrico e do gerador por M. Faraday na Grã-Bretanha em 1821.
- c) Desenvolvimento do sistema fabril
  - Artesão → operário.
  - Rural → urbana.
  - Divisão do trabalho em tarefas.
- d) Crescimento do transporte e da comunicação
  - Navegação a vapor (1807).
  - Locomotiva a vapor (1825).
  - Rádio (1836).
- e) Aumento do poder capitalista

1860 a 1914

Revolução do aço e da eletricidade, surgimento de novos materiais

- a) Fabricação do aço
 

Em 1856, é descoberto o processo Bessemer, que possibilita a produção do aço em escala industrial. O aço ferramenta é o principal material de ferramentas de usinagem. Em 1900, Taylor apresenta o aço rápido.
- b) Plástico
 

Em 1860, foi desenvolvido um plástico chamado celuloide, utilizando para substituir o marfim na confecção de bolas de bilhar e de peças delicadas como caixa de pó de arroz. Não fez sucesso no início, mas em 1889 George Eastman passou a uti-

lizá-lo na produção de filmes fotográficos. Contudo, o celuloide era muito inflamável, chegando a explodir. Em 1862, Alexander Parkes criou um material duro que podia ser moldado. Denominado Parkesine, foi o primeiro plástico semissintético.

c) Substituição do vapor por eletricidade

- Em 1874, primeiro bonde elétrico (Nova York).
- Em 1878, primeira iluminação elétrica de rua (Londres).
- Em 1882, primeira usina hidrelétrica (Wisconsin, EUA).

d) Derivados de petróleo

O primeiro poço de petróleo foi perfurado na Pensilvânia (EUA) em 1859.

e) Aparecimento do automóvel:

- Invenção do motor a combustão e aperfeiçoamento do dínamo em 1873.
- Daimler e Benz abrem caminho para a fabricação do automóvel na Alemanha.
- Dunlop, em 1888, inventa o pneu com ar comprimido (pneumático).
- Henry Ford: produção em massa, linha de montagem; desenvolve a montagem da correia transportadora para a produção do automóvel em 1913.

f) Novos tipos de organizações capitalistas (sociedades industriais).

g) Fim do artesanato

O consumidor perdeu o poder de influenciar na definição dos produtos que iria consumir, decisão que fica a cargo dos projetistas.

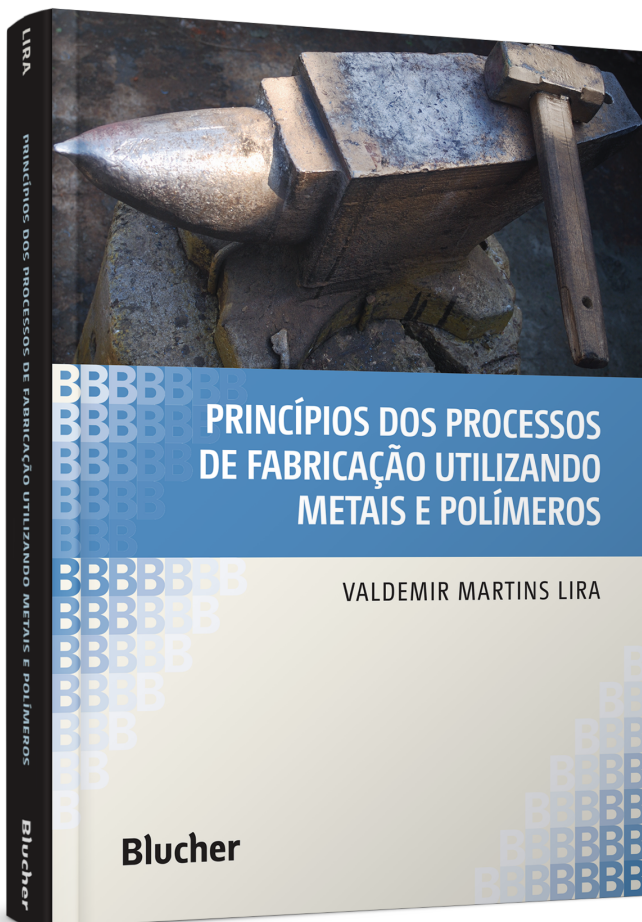
## 1.2 SÉCULO XX: O SÉCULO DA TECNOLOGIA

Com a aplicação do conceito da produção em massa de Henry Ford, no início do século XX, os sistemas de fabricação foram dotados de novas exigências técnicas, novas máquinas e novos materiais, como o baquelite, plástico verdadeiramente sintético, inventado em 1909. As empresas desenvolveram o conceito de aprimoramento de seus produtos, por exemplo, a partir de 1920, com as indústrias siderúrgicas, de automóveis e petroquímica. Essa última passou a fornecer matéria-prima excelente para a fabricação de plásticos. Isso resultou em uma série de materiais com diferentes propriedades calóricas, elétricas, ópticas e de moldagem. Já as máquinas sofreram grande aprimoramento, graças ao desenvolvimento tecnológico, como a invenção do computador, em 1930, possibilitando a incorporação de controles automáticos às máquinas.

A produção seriada de produtos sempre esteve associada a fatores de descoberta e de desenvolvimento tecnológico na sociedade. Assim, calcados nas vantagens computacionais, surgem os sistemas informatizados e máquinas automatizadas que proporcionaram grande desenvolvimento dos sistemas produtivos ao longo do século XX, auxiliando, assim, o desenvolvimento de métodos e técnicas e visando a

melhoria e aperfeiçoamento dos meios produtivos demandados pela evolução tecnológica e mercadológica caracterizada acima.

Essa evolução tecnológica proporciona aos sistemas produtivos métodos de fabricação com tamanha flexibilidade que são capazes de produzir peças unitárias a custos praticamente iguais aos obtidos com a produção em série. As empresas que se utilizam dessa flexibilidade são consideradas empresas de manufatura ágil.



Clique aqui e:

[Veja na loja](#)

# **Princípios dos Processos de Fabricação Utilizando Metais e Polímeros**

**Valdemir Martins Lira**

ISBN: 9788521210856

Páginas: 240

Formato: 17x24 cm

Ano de Publicação: 2017