

2º Mecânica

Habilitação técnica em



Tecnologia dos Materiais e Industrial

CENTRO PAULA SOUZA

GOVERNO DE
SÃO PAULO

CENTRO PAULA SOUZA DO GOVERNO DE SÃO PAULO



CENTRO PAULA SOUZA



Mecânica

Volume 2



CENTRO PAULA SOUZA



Mecânica

Tecnologia dos
materiais e industrial

Antonio Carlos da Silva

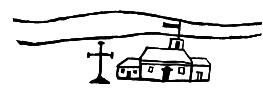
Caio Avanzi

(autores)

Douglas Borges Domingos

Edvaldo Angelo

(coautores)



FUNDAÇÃO
PADRE ANCHIETA

2011



FUNDAÇÃO
PADRE ANCHIETA

Presidência

João Sayad

Vice-presidência

Ronaldo Bianchi, Fernando Vieira de Mello

DIRETORIA DE PROJETOS EDUCACIONAIS

Direcção: Fernando José de Almeida

Gerência: Monica Gardelli Franco, Júlio Moreno

Coordenação Técnica: Maria Luiza Guedes

Equipe de autoria Centro Paula Souza

Coordenação geral: Ivone Marchi Lainetti Ramos

Coordenação da série Mecânica: Meire Satiko Fukusawa Yokota

Autores: Antonio Carlos da Silva, Caio Avanzi

Coautores: Douglas Borges Domingos, Edvaldo Angelo

Revisão técnica: Wanda Jucha

Equipe de Edição

Coordenação geral: Carlos Tabosa Seabra, Rogério Eduardo Alves

Coordenação editorial: Luiz Marin

Edição de texto: Miguel Angelo Facchini

Secretário editorial: Antonio Mello

Revisora: Maria Carolina de Araujo

Direção de arte: Bbox Design

Diagramação: LCT Tecnologia

Ilustrações: Luiz Fernando Martini

Pesquisa iconográfica: Completo Iconografia

Capa

Fotografia: Eduardo Pozella, Carlos Piratininga

Tratamento de imagens: Sidnei Testa

Abertura capítulos: James King-Holmes/Science Photo Library/SPL DC/Latinstock

O Projeto Manual Técnico Centro Paula Souza – Coleção Técnica Interativa oferece aos alunos da instituição conteúdo relevante à formação técnica, à educação e à cultura nacional, sendo também sua finalidade a preservação e a divulgação desse conteúdo, respeitados os direitos de terceiros.

O material apresentado é de autoria de professores do Centro Paula Souza e resulta de experiência na docência e da pesquisa em fontes como livros, artigos, jornais, internet, bancos de dados, entre outras, com a devida autorização dos detentores dos direitos desses materiais ou contando com a permissibilidade legal, apresentando, sempre que possível, a indicação da autoria/crédito e/ou reserva de direitos de cada um deles.

Todas as obras e imagens expostas nesse trabalho são protegidas pela legislação brasileira e não podem ser reproduzidas ou utilizadas por terceiros, por qualquer meio ou processo, sem expressa autorização de seus titulares.

Agradecemos as pessoas retratadas ou que tiveram trechos de obras reproduzidas neste trabalho, bem como a seus herdeiros e representantes legais, pela colaboração e compreensão da finalidade desse projeto, contribuindo para que essa iniciativa se tornasse realidade. Adicionalmente, colocamo-nos à disposição e solicitamos a comunicação, para a devida correção, de quaisquer equívocos nessa área porventura cometidos em livros desse projeto.

O Projeto Manual Técnico Centro Paula Souza – Coleção Técnica Interativa, uma iniciativa do Governo do Estado de São Paulo, resulta de um esforço colaborativo que envolve diversas frentes de trabalho coordenadas pelo Centro Paula Souza e é editado pela Fundação Padre Anchieta. A responsabilidade pelos conteúdos de cada um dos trabalhos/textos inseridos nesse projeto é exclusiva do autor. Respeitam-se assim os diferentes enfoques, pontos de vista e ideologias, bem como o conhecimento técnico de cada colaborador, de forma que o conteúdo exposto pode não refletir as posições do Centro Paula Souza e da Fundação Padre Anchieta.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária Silvia Marques CRB 8/7377)**

S586

Silva, Antonio Carlos da

Mecânica: tecnologia dos materiais e industrial / Antonio Carlos da Silva, Caio Avanzi (autores); Douglas Borges Domingos, Edvaldo Angelo (coautores); Wanda Jucha (revisora); Meire Satiko Fukusawa Yokota (coordenadora). -- São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Mecânica, v. 2)

Manual técnico Centro Paula Souza

ISBN 978-85-8028-040-1

I. Mecânica -- tecnologia 2. Mecânica industrial I. Avanzi, Caio II. Domingos, Douglas Borges III. Angelo, Edvaldo IV. Jucha, Wanda V. Yokota, Meire Satiko Fukusawa VI. Título

CDD 607



GOVERNADOR

Geraldo Alckmin

VICE-GOVERNADOR

Guilherme Afif Domingos

SECRETÁRIO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Paulo Alexandre Barbosa

CENTRO PAULA SOUZA



Presidente do Conselho Deliberativo

Yolanda Silvestre

Diretora Superintendente

Laura Laganá

Vice-Diretor Superintendente

César Silva

Chefe de Gabinete da Superintendência

Elenice Belmonte R. de Castro

Coordenadora da Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa

Helena Gemignani Peterossi

Coordenador do Ensino Superior de Graduação

Angelo Luiz Cortelazzo

Coordenador de Ensino Médio e Técnico

Almério Melquiades de Araújo

Coordenadora de Formação Inicial e Educação Continuada

Clara Maria de Souza Magalhães

Coordenador de Desenvolvimento e Planejamento

João Carlos Paschoal Freitas

Coordenador de Infraestrutura

Rubens Goldman

Coordenador de Gestão Administrativa e Financeira

Armando Natal Maurício

Coordenador de Recursos Humanos

Elio Lourenço Bolzani

Assessora de Comunicação

Gleise Santa Clara

Procurador Jurídico Chefe

Benedito Libério Bergamo

Apresentação

A proposta deste material didático é permitir o acesso ao conhecimento e promover a discussão sobre tecnologia dos materiais e tecnologia industrial. Uma coletânea de assuntos da Engenharia Mecânica discutidos sob a ótica do Ensino Técnico.

O profissional técnico de Mecânica deve aprender a lidar com assuntos de engenharia para trabalhar com suas diversas áreas de conhecimento que afetam o dia a dia da organização. Deve estar pronto para ocupar um lugar de destaque na empresa.

Este livro reúne conhecimentos em materiais, tecnologia industrial, projetos e manutenção.

O estudo do processo de obtenção dos materiais é discutido nos capítulos 1 a 4. Metalografia e tratamentos térmicos e superficiais são apresentados nos capítulos 5 e 6, respectivamente.

Os capítulos 7 e 8 são dedicados ao estudo da tecnologia industrial e envolvem teorias de administração, processos de fabricação, planejamento e controle da produção e custos.

Já o capítulo 9 aborda o projeto do produto. São algumas orientações sobre como o técnico deve proceder para elaborar um projeto de produto conforme normas técnicas e dar apoio aos trabalhos da engenharia do produto.

Montagem industrial de uma nova linha de fabricação ou um equipamento é discutido no capítulo 10. A montagem industrial é a etapa final de qualquer plano de implantação, ampliação ou reforma de uma instalação industrial.

Em especial, o capítulo 11 é dedicado à manutenção de máquinas e equipamentos; como preservar o equipamento de paradas desnecessárias, considerando alguns princípios para tomada de decisão em manutenção. A manutenção é uma função de grande importância na atividade industrial.

Ao final do trabalho, a bibliografia de referência reúne autores especialistas em engenharia mecânica. É uma lista que pode ajudar o leitor interessado em ampliar seu domínio de determinados assuntos, explorando-os mais detalhadamente.

Os temas envolvidos não se esgotam neste material. Cabe ao leitor, sempre que possível, ir além e dedicar-se, tendo em vista a dinâmica do conhecimento e a necessidade de manter-se em constante aprendizado visando a competitividade.

Espera-se que alunos, professores e instituição possam interagir com harmonia nessa busca.

Bons estudos!

Os autores

Sumário

21 Capítulo I

Os materiais e suas propriedades

I.1 Classificação dos materiais	23
I.1.1 Grupos de materiais	23
I.2 Propriedades dos materiais	26
I.2.1 Propriedades mecânicas	27
I.2.2 Propriedades tecnológicas	29
I.2.3 Propriedades térmicas	31
I.2.4 Propriedades elétricas	31
I.2.5 Propriedades eletromagnéticas	32
I.2.6 Propriedades físicas	32
I.2.7 Propriedades químicas	33
I.3 Estrutura dos materiais	33
I.3.1 Materiais cristalinos	34
I.3.2 Materiais amorfos	34
I.4 Materiais metálicos	34
I.4.1 Estrutura cristalina dos metais	35
I.4.2 Metais ferrosos	36

37 Capítulo 2

Aços e ferros fundidos

2.1 Obtenção dos aços e do ferro fundido	38
2.1.1 Usinas integradas	39
2.1.2 Matéria-prima	40
2.1.3 Operações siderúrgicas	42
2.1.4 Usinas mini-mills	45
2.2 Diagrama ferro-carbono	46
2.2.1 Fases do diagrama ferro-carbono	47
2.2.2 Linhas do diagrama ferro-carbono	48

DELMI MARTINS/PULSAR IMAGENS

FOTO OBTRIDA EM LABORATÓRIO / UNIFESP

2.3 Aços

2.3.1 Aço-carbono ou aço comum	49
2.3.2 Aços-liga	52
2.3.3 Aços especiais	55
2.3.4 Aços inoxidáveis	55
2.3.5 Aços rápidos	57
2.3.6 Aços para ferramentas	57
2.4 Ferros fundidos	59
2.4.1 Ferro fundido cinzento	60
2.4.2 Ferro fundido branco	60
2.4.3 Ferro fundido maleável	61
2.4.4 Ferro fundido nodular	62



Capa: Luiz Gustavo Celestino Cintra, aluno do Centro Paula Souza

Foto: Eduardo Pozella e Carlos Piratininga

63 Capítulo 3

Metais não ferrosos

3.1 O alumínio e suas ligas	64
3.1.1 Séries de ligas trabalháveis	66
3.1.2 Ligas de fundição	67
3.2 Cobre	70
3.3 O magnésio e suas ligas	73
3.4 O titânio e suas ligas	74
3.5 O chumbo	74
3.6 O zinco	74
3.7 O estanho	75



NASA KENNEDY CENTER MEDIA ARCHIVE COLLECTION

Sumário

77 Capítulo 4

Polímeros, cerâmicos e compósitos

4.1 Materiais poliméricos	78
4.1.1 Plásticos.	78
4.1.2 Elastômeros	81
4.2 Materiais cerâmicos	83
4.3 Materiais compósitos	85



87 Capítulo 5

Tratamento térmico dos materiais metálicos

5.1 Tratamento térmico	88
5.1.1 Recozimento	88
5.1.2 Normalização	92
5.1.3 Têmpera	93
5.1.4 Austêmpera.	93
5.1.5 Martêmpera	94
5.1.6 Revenimento	95
5.2 Têmpera superficial	96
5.2.1 Aquecimento por indução	96
5.2.2 Aquecimento por chama	97
5.3 Tratamentos termoquímicos	98
5.3.1 Cementação	98
5.3.2 Carbonitretação.	100
5.3.3 Nitretação	100
5.3.4 Boretação	101



ASTRID & HANNES-FRIEDERICH/SCIENCE
PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

© JOHN EARLY/TRANS TOC/CORBIS

103 Capítulo 6

Metalografia

6.1 Macrografia.	105
6.1.1 Preparação dos corpos de prova para macrografia.	105
6.1.2 Micrografia	108

113 Capítulo 7

Tratamento de superfícies

7.1 A limpeza e a remoção de impurezas	115
7.1.1 Desengraxamento	115
7.1.2 Decapagem	115
7.2 Galvanoplastia.	116
7.3 Pinturas	119
7.3.1 Pintura eletrostática a pó	119
7.3.2 Pintura líquida	120

121 Capítulo 8

Teorias da administração

8.1 Introdução	123
8.2 Caracterização do trabalho	124
8.2.1 O trabalho	124
8.2.2 Evolução tecnológica no mundo do trabalho	124



SANKEIARCHIVE/CONTRIBUTOR/GETTY IMAGES



Sumário

8.3 O que é administração.....	129
8.3.1 Teoria da administração científica	129
8.3.2 Teoria clássica da administração	132
8.3.3 Escola comportamental	135
8.3.4 Escola quantitativa ou pesquisa operacional	136
8.4 Conclusões do capítulo sobre teorias da administração	136

139 Capítulo 9 A organização industrial

9.1 A organização	140
9.1.1 Classificação da organização.....	141
9.1.2 Evolução das empresas.....	145
9.1.3 Estrutura organizacional.....	147
9.1.4 A organização estratégica da empresa...	150
9.2 A produção.....	152
9.2.1 Produto e serviço.....	152
9.2.2 O processo de produção	153
9.2.3 A importância e os objetivos da produção.....	153
9.2.4 Estratégia e competitividade	154
9.2.5 Planejamento e controle da produção... .	155
9.2.6 A fabricação dos produtos.....	173

PAUL RAPSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

9.3 O custeio dos produtos.....	177
9.3.1 O preço dos produtos	177
9.3.2 O custo industrial.....	178
9.3.3 A contabilidade.....	180
9.3.4 Custo de fabricação de um produto	180
9.3.5 Cálculo do ponto de equilíbrio	182
9.3.6 Cálculo da massa dos produtos	183
9.4 Desenvolvimento de novos produtos	184
9.5 Desenvolvimento de novos fornecedores.....	185
9.6 Gestão da qualidade total.....	186
9.6.1 O ambiente da manufatura enxuta e o fator qualidade.....	186
9.6.2 Definições de qualidade	187
9.6.3 Gestão da qualidade total	188
9.6.4 Qualidade total em serviços.....	188
9.6.5 Ferramentas da qualidade	188



201 Capítulo 10 Tecnologia e projetos

10.1 Definições de projeto.....	202
10.2 Ciclo de vida do projeto.....	203
10.2.1 Iniciação.....	204
10.2.2 Planejamento.....	204
10.2.3 Execução	204
10.2.4 Encerramento	204
10.3 Tipos de projetos	205
10.3.1 Projeto por evolução.....	205
10.3.2 Projeto por inovação.....	205

SHUTTERSTOCK



Sumário

10.4 Projetos de produtos industriais	206	10.8.7 Lubrificação	217
10.4.1 Interesse pelo projeto	206	10.8.8 Fabricação	218
10.4.2 Pré-projeto ou anteprojeto.....	206	10.8.9 Segurança.....	218
10.4.3 Projeto detalhado	206	10.8.10 Peso	218
10.4.4 Testes e revisão	207	10.8.11 Material.....	219
10.4.5 Planejamento do processo produtivo..	207	10.8.12 Confiabilidade do projeto	219
10.4.6 Estudos de logística	208	10.9 Análise econômica	220
10.4.7 Planejamento do consumo	208	10.9.1 Custo	220
10.4.8 Obsolescência e impactos ambientais..	209	10.10 Análise de segurança.....	220
10.5 Evolução da mão de obra no desenvolvimento de projetos industriais.....	209	10.11 Análise ambiental.....	221
10.5.1 Engenharia simultânea	210	10.12 Unidades e valores	222
10.6 Recursos para desenvolvimento do projeto ..	210	10.13 Códigos e padrões	222
10.6.1 A equipe do projeto	211	10.14 Especificações de equipamentos padronizados e normalizados.....	223
10.6.2 Responsabilidades e habilidades do projetista	211	10.15 Desenho do projeto	224
10.6.3 Equipamentos e ferramentas do profissional de projeto.....	213	10.15.1 Memorial de cálculo.....	224
10.6.4 Softwares	213	10.15.2 Modelos e protótipos	225
10.7 Projeto de mecânica.....	213	10.15.3 O croqui.....	225
10.7.1 Características do produto	213	10.16 Tolerâncias geométricas em projetos mecânicos.....	226
10.8 Análise técnica	215	10.16.1 Desvios de forma	226
10.8.1 Incerteza	215	10.16.2 Desvios de posição e de orientação .	227
10.8.2 Tensão e resistência	216	10.16.3 Desvios compostos	227
10.8.3 Flexibilidade	216	10.17 Planejamento e controle de projetos.....	228
10.8.4 Manutenção	217	10.17.1 Planejamento.....	228
10.8.5 Aquecimento e desgaste.....	217	10.17.2 Gráfico de Gantt	229
10.8.6 Transporte.....	217	10.17.3 Programação linear.....	230
		10.17.4 Técnicas de rede – Pert-CPM	230



Sumário

237 Capítulo 11

Manutenção industrial

II.1 Métodos de manutenção	239
II.1.1 Manutenção corretiva	239
II.1.2 Manutenção preventiva.....	239
II.1.3 Manutenção preditiva	240
II.2 O processo de manutenção	240
II.3 Controle do trabalho	242
II.4 Controle de custos	242
II.5 Manutenção produtiva total (MPT)	242
II.5.1 Manutenção autônoma	242
II.5.2 Indicadores de desempenho.....	243
II.6 Atividades operacionais da manutenção	245
II.6.1 Lubrificação industrial.....	245

267 Capítulo 12

Montagens

12.1 Ferramentas de manutenção	268
12.2 Sistemas de transporte e levantamento de cargas.....	272
12.3 Desmontagem e organização.....	273
12.3.1 Desmontagem	273
12.3.2 Limpeza de componentes	274
12.3.3 Cuidados no processo de lavagem	274
12.3.4 Equipamentos usados no processo de lavagem	274

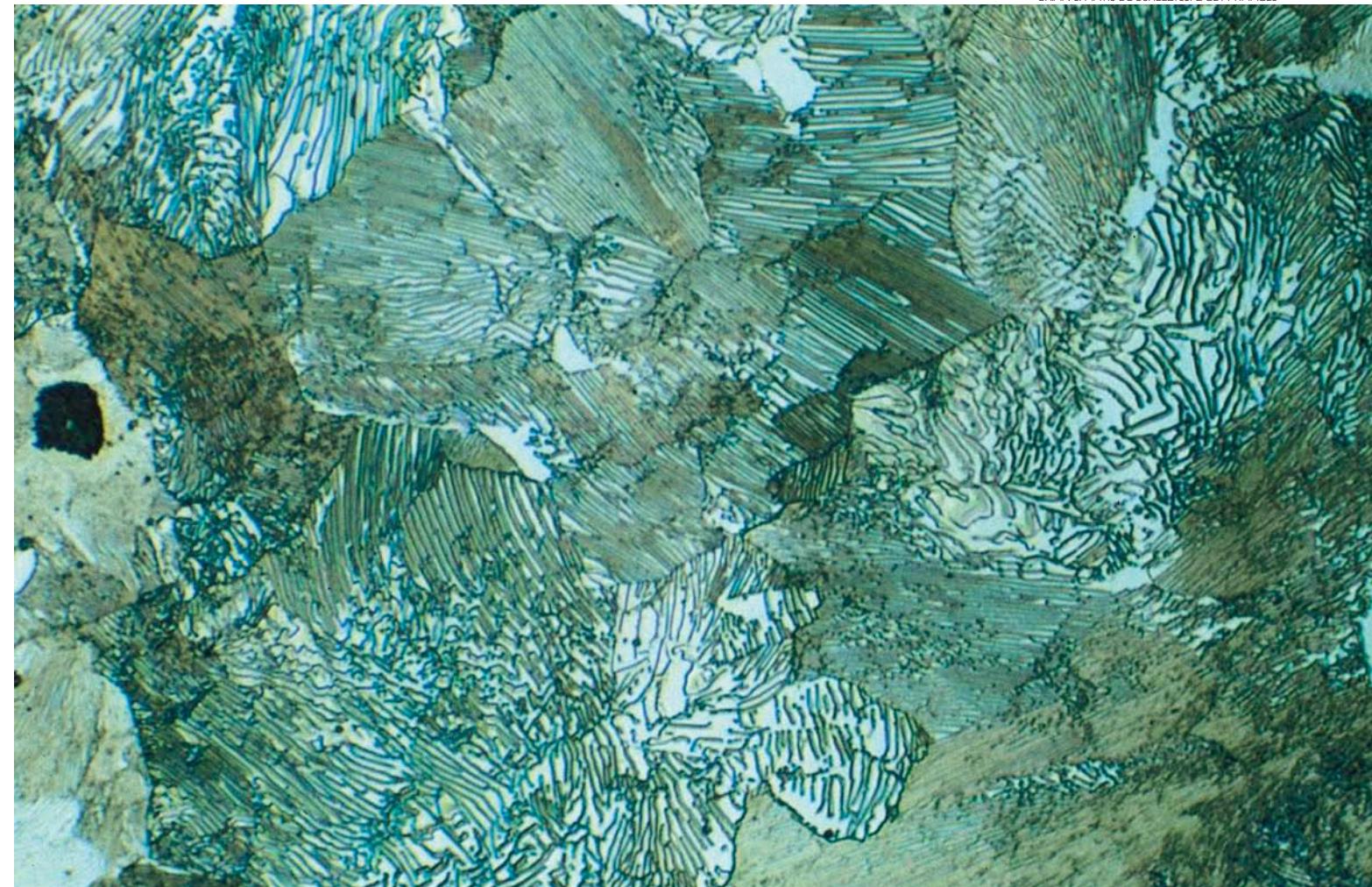
ARTURO LIMONSHUTTERSTOCK

12.4 Manutenção das guias de deslizamento

12.4.1 Acoplamento do rabo de andorinha...	277
12.4.2 Ajustando as máquinas comuns da oficina	280
12.5 Engrenagens	280
12.6 Rolamentos.....	282
12.7 Polias	283
12.7.1 Verificação de desequilíbrio.....	283
12.7.2 Montagem de polias.....	284
12.8 Mantendo tudo em ordem.....	284

285 Referências bibliográficas

BRIAN & MAVIS BOUSFIELD/SPL/GETTY IMAGES



Capítulo I

Os materiais e suas propriedades

Se pudéssemos voltar no tempo até a época em que nossos antepassados inventaram utensílios de pedra e viver a história do ser humano a partir dali, veríamos que ocorreram mudanças bastante significativas.

No início da civilização, o ser humano tinha acesso a um número muito limitado de materiais, todos retirados diretamente da natureza. Há muitos séculos ele descobriu que com aquecimento e resfriamento (tratamento térmico) podia modificar as propriedades mecânicas de metais, isto é, torná-los mais duros, mais moles, mais maleáveis etc. Mais tarde, percebeu também que a rapidez com que o metal era resfriado e a adição de outras substâncias influíam decisivamente nessas modificações. Assim como os metais, milhares de materiais diferentes surgiram com características bastante específicas que atendem às necessidades de nossa sociedade, tais como plásticos, vidros etc.

Novas técnicas contribuíram para melhorar a exploração dos recursos, ampliar a variedade de produtos, desenvolver novos materiais e processos de produção que permitiram o crescimento social e econômico da humanidade.

Embora o processo de produção do aço ainda mantenha suas origens, ou seja, extração do minério, aquecimento e transformação, a busca por novas ligas cada vez mais limpas é uma realidade. O mesmo ocorre com os materiais derivados do petróleo: os combustíveis, os polímeros e as fibras sintéticas.

Figura 1.1

Novas técnicas e melhorias nas condições de trabalho nas minas contribuíram para a exploração dos minérios.



RUBENS CHAVES/PULSAR IMAGENS

Hoje, no entanto, é necessário que os novos projetos possibilitem a criação de produtos utilizando os recursos conscientemente. Projetos inteligentes devem ser propostos para melhorar a vida e integrá-la ao meio ambiente.

1.1 Classificação dos materiais

Os materiais podem ser classificados em metálicos e não metálicos e subdivididos conforme o esquema da figura 1.2.

Uma tendência para o futuro é a substituição de materiais pesados por outros mais leves e resistentes. Empresas fabricantes de veículos estão investindo em novas tecnologias para produzir veículos mais leves que os atuais e, consequentemente, menos poluidores. A indústria de aviação vem usando, na fuselagem das aeronaves, cada vez mais compósitos de dois ou mais tipos de materiais diferentes, o que as torna mais leves e reduz seu consumo de combustível.

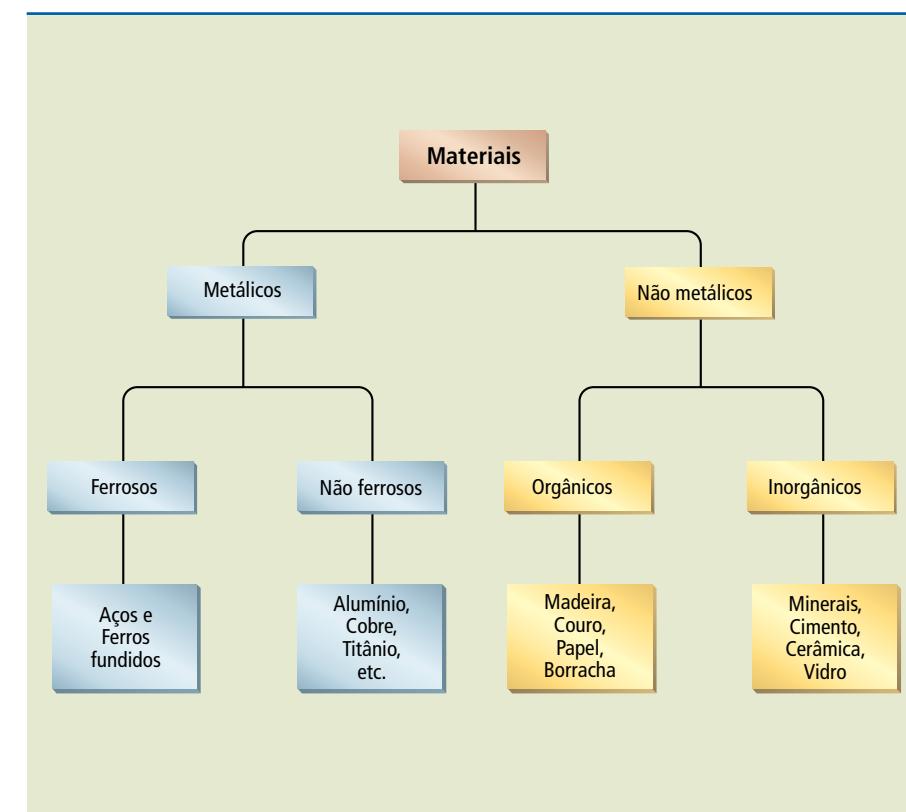


Figura 1.2

Esquema de classes dos materiais.

Materiais renováveis também são desenvolvidos, visto que a maioria dos que utilizamos provém de recursos não renováveis como o petróleo. Tais recursos, que serão escassos em futuro próximo, deverão ser substituídos por outros renováveis para garantir a qualidade do meio ambiente.

1.1.1 Grupos de materiais

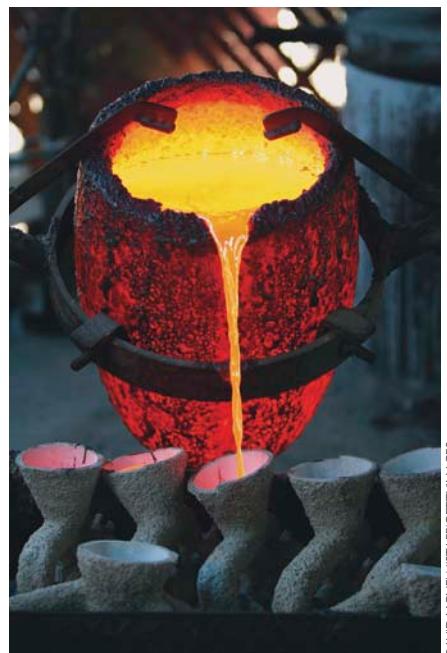
Tradicionalmente os materiais são classificados em quatro grupos: cerâmicos, polímeros e compósitos.

Metais

São elementos químicos sólidos a temperatura ambiente (23°C) e pressão atmosférica de 1 atm (com a única exceção do mercúrio). Caracterizam-se por brilho, opacidade, dureza, ductilidade (permitem ser esticados em arames finos) e maleabilidade (possibilitam sua redução a lâminas delgadas). Outras propriedades físicas são sua elevada densidade, boa fusibilidade e, principalmente, os altos coeficientes de condutividade térmica e elétrica.

Figura 1.3

Entre suas características físicas, os metais possuem boa fusibilidade.



DAVID MCNEW/STAFF/GETTY IMAGES

Uma característica interessante dos metais é o fato de possuírem a chamada “nuvem de elétrons”, ou seja, elétrons livres abundantes que não estão sujeitos a grandes forças intermoleculares e, por isso, se deslocam com facilidade entre uma eletrosfera e outra. Muitas das propriedades dos metais estão diretamente ligadas a esses elétrons.

Metais são os materiais estruturais primários de toda a tecnologia e incluem um grande número de ligas ferrosas (por exemplo, ferro fundido, aço-carbono, ligas de aços etc.).

Cerâmicos

São compostos sólidos formados pela aplicação de calor, algumas vezes calor e pressão, constituídos por ao menos um metal e um sólido elementar não metálico (isolante ou semicondutor) ou um não metal. Propriedades tais como facilidade de conformação, baixo custo e densidade, resistência à corrosão e a temperaturas elevadas fizeram com que os materiais **cerâmicos** tradicionais conquistassem posições de destaque em diferentes setores industriais e artísticos.

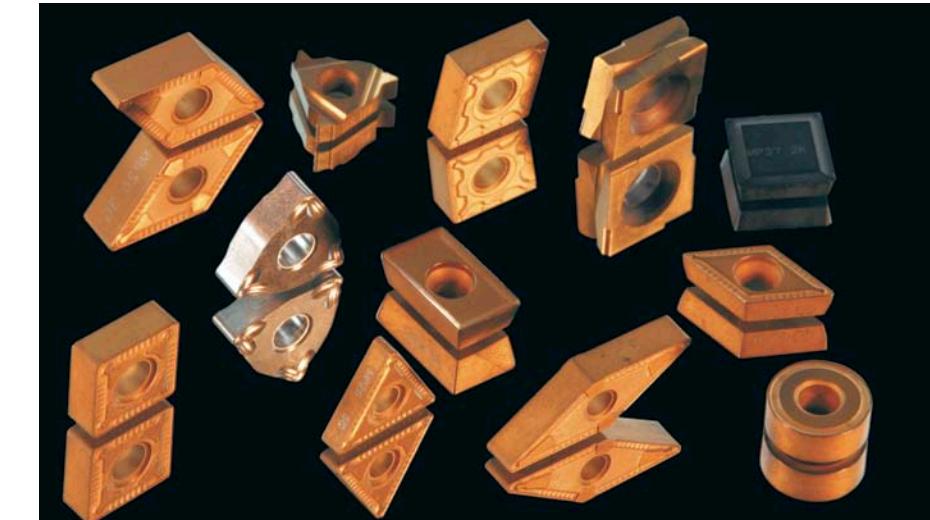
O nome deriva da palavra grega *keramikós*, que significa “de argila”.

Algumas dessas propriedades fascinaram muitos industriais, que passaram a produzir peças técnicas com esses materiais, conhecidas como os cerâmicos de engenharia. Podem ser citados como exemplos os carbonetos (carboneto de silício, SiC), os nitretos (nitreto de silício, Si_3N_4), óxidos (alumina, Al_2O_3), silicatos (silicato de zircônio, ZrSiO_4) etc. Atualmente, os materiais cerâmicos são utilizados na indústria aeroespacial, na blindagem térmica das naves, na indústria nuclear, como combustível (UO_2) de reatores de potência etc.

Tecnicamente é possível classificá-los por suas funções químicas (óxidos, carbonetos e nitretos) ou mesmo pela origem mineralógica, como o quartzo, muito utilizado na produção de sensores eletrônicos e fototérmicos. A outra maneira é pela manufatura, isto é, pela moldagem – a extrusão e a moldagem por injeção. Esses materiais podem ser vistos em tijolos, telhas refratárias (revestimentos de fornos etc.). Os cerâmicos podem ainda ser aplicados em ferramentas de corte para usinagem (figura 1.4), componentes eletrônicos, sensores químicos e catalisadores entre outros.

Figura 1.4

Pastilhas de corte feitas de material cerâmico com revestimento superficial.



METALPIX/ALAMY/OTHERIMAGES

Polímeros

A palavra polímero tem origem no grego: *poli* (muito) + *mero* (parte), e é exatamente isso, a repetição de muitas (*poli*) unidades (*mero*) de um tipo de composto químico. Polimerização é o nome dado ao processo no qual as várias unidades de repetição (monômeros, de *móno*: só, único, isolado) reagem para gerar uma cadeia de polímero.

Existe no mercado grande quantidade de tipos de polímeros, derivados de diferentes compostos químicos. Cada polímero é mais indicado para uma ou mais aplicações dependendo de suas propriedades físicas, mecânicas, elétricas, ópticas e outras.

Os tipos de polímeros mais consumidos atualmente são os polietilenos, polipropilenos, poliestirenos, poliésteres e poliuretanos, que devido a sua grande produção

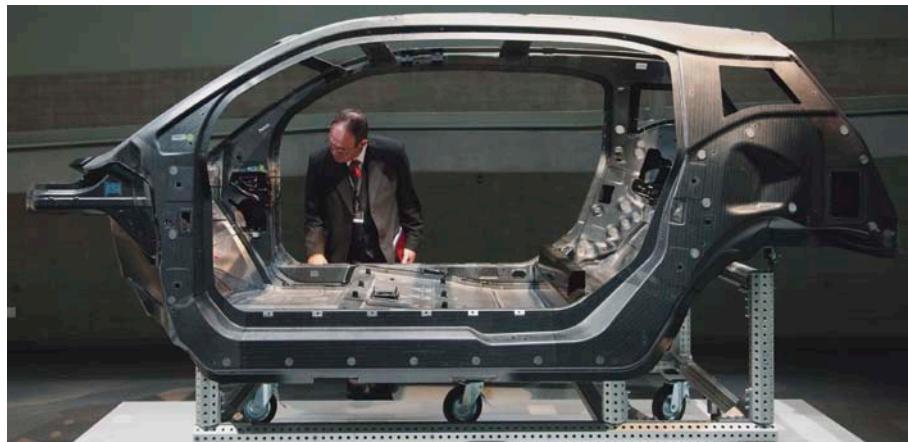
e utilização são chamados polímeros *commodities*. Outras classes de polímeros, como os poliacrilatos, policarbonatos e fluoropolímeros, têm tido uso crescente. Vários outros polímeros são fabricados em menor escala por terem uma aplicação muito específica, ou pelo alto custo. São chamados plásticos de engenharia.

Compósitos

Compósito é um material em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes, por exemplo, metais e polímeros, metais e cerâmicas ou polímeros e cerâmicas. O *fiberglass* (plástico reforçado com fibra de vidro) é um exemplo familiar, no qual as fibras de vidro são adicionadas a um material polimérico. Esse compósito foi desenvolvido para combinar as melhores propriedades dos materiais que o constituem, ou seja, a dureza do vidro e a flexibilidade do polímero. Outro exemplo de compósito é a fibra de carbono, amplamente utilizada na construção civil em estruturas de concreto para aumentar sua resistência.

A indústria automobilística também se beneficia dessa tecnologia na construção de chassis de veículos leves para melhora de desempenho, por causa do baixo peso.

Figura 1.5



Além desses quatro grupos, podemos citar ainda os **semicondutores** e os **biomateriais**.

1.2 Propriedades dos materiais

Com que critério é feita a escolha do material adequado para determinada peça, considerando, por exemplo, a variedade de materiais usados na fabricação de um automóvel (ferro, aço, vidro, plásticos, borracha, cerâmicos etc.)? Cabe aos técnicos em mecânica auxiliar as decisões na escolha de materiais adequados, como parte do projeto mecânico, levando em consideração diversas variáveis.

Para fazermos a escolha, devemos levar em conta propriedades como resistência mecânica, condutividade elétrica e/ou térmica, densidade e outras. Além disso, devemos considerar o comportamento do material durante o processamento e o

uso em que são requeridas plasticidade, usinabilidade, estabilidade elétrica e durabilidade química.

1.2.1 Propriedades mecânicas

Propriedades mecânicas são aquelas que definem o comportamento do material, segundo determinado esforço a que ele pode ser submetido. O conjunto de propriedades mecânicas é baseado nas seguintes características do material.

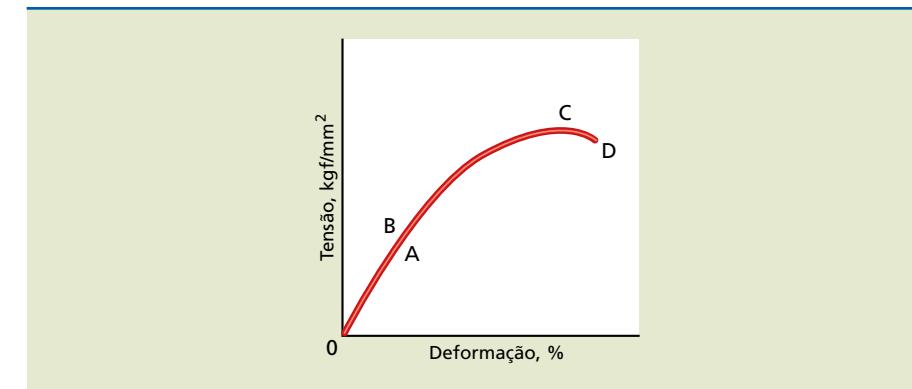
Resistência mecânica

Resistência mecânica é a capacidade de uma estrutura de suportar esforços externos sem sofrer deformações plásticas. Os esforços externos podem ser: tração, flexão, torção, cisalhamento, compressão, dobramento e outros. Essa propriedade é definida por meio de **ensaios mecânicos**. A figura 1.6 apresenta um diagrama (deformação por tensão) obtido por meio de ensaios de tração para determinar as propriedades mecânicas dos materiais.

Esse assunto é abordado com maior abrangência no livro *Projetos e ensaios mecânicos*.

Figura 1.6

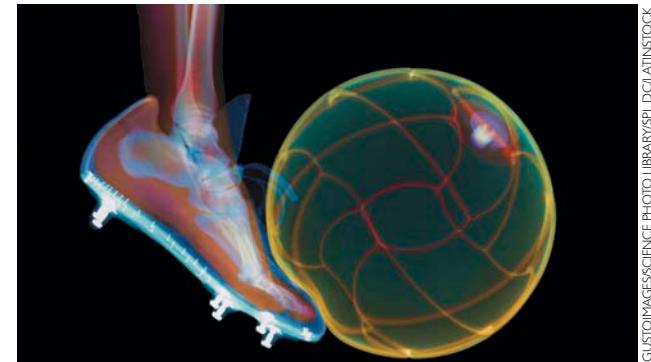
Diagrama tensão-deformação.



Elasticidade

É a propriedade que os materiais apresentam de recuperar a forma quando as tensões deformantes são retiradas ou diminuídas. Um exemplo de deformação elástica ocorre quando pisamos em uma bola, que se deforma com uma força externa e retorna ao formato original após a retirada da força.

Figura 1.7



Plasticidade

É a propriedade que certos materiais apresentam de se deformarem permanentemente, ou seja, assumirem tamanhos ou formas diferentes sem se romperem e sem sofrerem alterações significativas em sua estrutura quando submetidos a pressões ou choques. Exemplo de plasticidade é a de uma chapa de aço que dobramos para que obtenha a forma desejada. A deformação não seria possível se o material não tivesse essa propriedade. A plasticidade pode ser subdividida em:

Maleabilidade

É a propriedade que um material tem de se deformar sob pressão ou choque. Um material é maleável quando, sob tensão, não sofre rupturas ou fortes alterações na estrutura (endurecimento). Essa tensão pode ser aplicada por aquecimento. Se a maleabilidade a frio é muito grande, o material é chamado plástico.

Ductilidade

É a capacidade que os materiais possuem de se deformarem plasticamente sem se romperem. Lembrando que deformação plástica é a propriedade de um material mudar de modo irreversível, ao ser submetido a uma tensão.

Dureza

É a propriedade característica de um material sólido de resistir à penetração, ao desgaste, a deformações permanentes, e está diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos. A determinação da dureza é obtida por meio de ensaios em equipamentos nomeados de durômetros, que são estudados no capítulo Ensaios mecânicos no volume 1 de Mecânica.

Fragilidade

É a propriedade mecânica do material que apresenta baixa resistência aos choques. O vidro, por exemplo, é duro e bastante frágil.

Fluênciа (creep)

Um corpo que sofre alongamento contínuo que pode conduzir à ruptura tem fluênciа. Essa é uma característica de materiais ferrosos (aços e ferros fundidos) quando submetidos a cargas de tração constantes em temperaturas elevadas.

A fluênciа ocorre mesmo quando o material é submetido a tensões em temperatura ambiente, mas nessa temperatura ela é desprezível comparada com a que ocorre nas temperaturas elevadas. Certas peças ficam inutilizadas se alongarem apenas 0,01%.

Resiliênciа

É a propriedade do material de resistir a esforços externos como choques ou pancadas, sem sofrer deformação permanente. Como exemplo, podemos citar molas, ferramentas de corte etc.

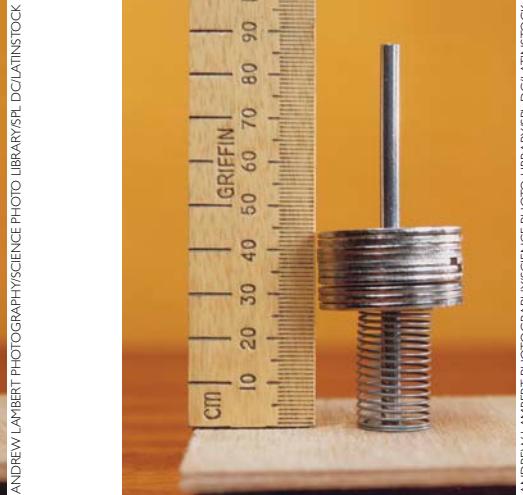


Figura 1.8

Tenacidade

É a capacidade de absorver energia até ocorrer a fratura. Quando a energia é absorvida progressivamente, acontece a deformação elástica e plástica do material, antes de se romper.

A tenacidade é mensurada pela área total do diagrama tensão-deformação. Comumente se diz que um material é tenaz na medida de sua resistência à ruptura por tração. Nem sempre isso é verdadeiro, pois alguns aços doces são mais tenazes que os aços duros. Esse fato se deve às características dos aços duros, que apresentam deformação em sua ruptura.

1.2.2 Propriedades tecnológicas

São propriedades dos materiais de serem trabalhados em processos de fabricação usuais. As propriedades tecnológicas são as seguintes.

Fusibilidade

A fusibilidade é a propriedade do material de passar do estado sólido para o líquido sob ação do calor. Existe em todos os metais. Porém, para ser industrialmente viável, é necessário que o metal tenha ponto de fusão relativamente baixo e que, durante o processo de fusão, não ocorram oxidações profundas, nem alterações na estrutura.

Principais temperaturas de fusão:

Alumínio: 650 °C;
Ferro puro: 1 530 °C;
Aços: 1 300 °C a 1 500 °C;
Gusa e fofo: 1 150 °C a 1 300 °C;

Zinco: 420 °C;
Chumbo: 330 °C;
Cobre: 1 080 °C;
Estanho: 235 °C.

Soldabilidade

É a propriedade de certos metais de se unirem, depois de serem aquecidos. O metal ou liga que muda de modo rápido do estado sólido para o líquido dificilmente é soldável (ferro fundido, por exemplo).

Figura 1.9



Temperabilidade

Após um aquecimento prolongado, seguido de resfriamento brusco, alguns metais endurecem e mudam sua estrutura cristalina. A essa mudança damos o nome de temperabilidade. Essa característica modifica todas as propriedades mecânicas do material. Aços de boa temperabilidade são aplicados quando se necessita de alta resistência mecânica para todo o material, ou seja, a peça deve possuir uma distribuição de dureza igual ao longo da seção.

Usinabilidade

É a resistência oferecida ao corte, medida pela energia necessária para usinar o material no torno, sob condições padrão. É obtida por meio de uma comparação com a de um material padrão, que, por convenção, é igual a 100 (aço B1112). O conhecimento da usinabilidade de um material permite calcular os tempos necessários de usinagem para programar uma fabricação. Alguns tratamentos térmicos são indicados para melhorar a usinabilidade dos materiais.

Fadiga

Quando um material está sujeito a esforços dinâmicos durante longo período, observa-se um “enfraquecimento” das propriedades mecânicas ocasionando a ruptura. A esse enfraquecimento chamamos fadiga. A fadiga pode ser também superficial, provocando desgaste de peças sujeitas a esforços cíclicos, como ocorre em dentes de engrenagens. Podemos citar ainda como exemplo um clipe, que, ao aplicarmos nele uma força para cima e para baixo (esforço cíclico), se aquece até se romper por fadiga.

I.2.3 Propriedades térmicas

Os materiais submetidos a variações de temperaturas apresentam diferentes comportamentos devido a algumas propriedades.

Condutividade térmica

É a propriedade física dos materiais de transferir mais ou menos calor. Temos como materiais bons condutores de calor: prata (Ag), cobre (Cu), alumínio (Al), latão, zinco (Zn), aço e chumbo (Pb). Exemplos de materiais maus condutores de calor: pedra, vidro, madeira, papel.

Dilatação

Dilatação é o aumento do volume de um corpo que sofre variação em sua temperatura quando submetido à ação do calor. A dilatação de um material está relacionada ao chamado coeficiente de dilatação térmica, que pode ser linear, superficial ou volumétrico.

I.2.4 Propriedades elétricas

A **condutividade elétrica** é a propriedade que possuem certos materiais de permitir maior ou menor transporte de cargas elétricas. Os materiais em que esse transporte se dá com facilidade são chamados condutores, uma característica dos metais. Já os que praticamente impedem a passagem de corrente elétrica são chamados isolantes. O cobre, suas ligas e o alumínio conduzem bem a eletricidade e, por isso, são empregados na fabricação de fios e aparelhos elétricos. Algumas ligas de Cr-Ni e Fe-Ni são pouco condutoras e servem para construção de resistências elétricas, por exemplo, em reostatos. Exemplos de materiais isolantes são a madeira seca e a baquelite.

1.2.5 Propriedades eletromagnéticas

A característica mais comum associada às propriedades eletromagnéticas é a **suscetibilidade magnética**. É a propriedade de um material ficar magnetizado sob a ação de uma estimulação magnética, ou seja, é o grau de magnetização de um material em resposta a um campo magnético.

Na natureza existem alguns materiais que, na presença de um campo magnético, são capazes de se tornarem um ímã. Esses materiais são classificados em ferromagnéticos, paramagnéticos e diamagnéticos.

Ferromagnéticos

São materiais (ferro, cobalto, níquel e as ligas formadas por essas substâncias) que se imantam fortemente quando colocados na presença de um campo magnético.

Paramagnéticos

São materiais que possuem elétrons desemparelhados que, na presença de um campo magnético, se alinharam formando um ímã que tem a capacidade de provocar um leve aumento na intensidade do valor do campo. São materiais paramagnéticos: o alumínio, o magnésio e o sulfato de cobre, entre outros.

Diamagnéticos

São materiais que, se colocados na presença de um campo magnético, têm seus ímãs elementares orientados no sentido contrário ao do campo, ou seja, “repelem” o campo magnético. São substâncias diamagnéticas: o bismuto, o cobre, a prata e o chumbo, entre outros.

1.2.6 Propriedades físicas

No conjunto das propriedades físicas dos materiais se destacam a densidade relativa e o peso específico.

Densidade relativa

A densidade relativa é a relação entre a massa específica de um corpo e a massa específica da água, nas condições de ensaio. Essa relação nos dá um número adimensional por causa do quociente.

Em projetos mecânicos procura-se aliar baixa densidade com alta resistência mecânica, levando-se em conta a viabilidade econômica.

Peso específico

Ligado à densidade relativa está o **peso específico**, que é a relação entre a massa e a unidade de volume do corpo. Por exemplo, o peso específico do aço é 7 800 kg/m³.

1.2.7 Propriedades químicas

Resistência à corrosão

É a propriedade que o material tem de evitar danos causados por outros materiais que possam deteriorá-lo. O efeito da oxidação direta de um metal ou de um material orgânico como a borracha é o dano mais importante observado. Também merece destaque a resistência do material à corrosão química. A atenção que damos aos nossos carros é um exemplo óbvio da preocupação com a corrosão. Como o ataque pela corrosão é irregular, é muito difícil medi-la. A unidade mais comum utilizada para medir a corrosão é polegadas ou centímetros/milímetros de superfície perdida por ano.

A necessidade de utilização de metais a altas temperaturas e em meios altamente corrosivos, como a água do mar para a indústria petrolífera, tem levado à obtenção de novas ligas especiais e ao uso de tratamentos superficiais específicos para essas aplicações.



Figura 1.10
Plataforma de petróleo montada no mar.

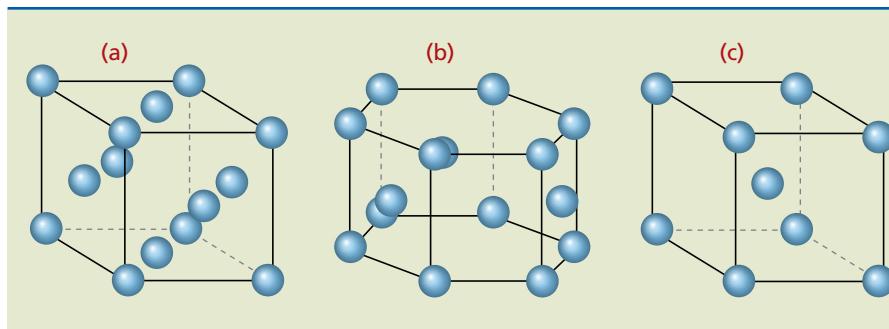
1.3 Estrutura dos materiais

Os materiais, que podem ser encontrados no estado sólido, líquido ou gasoso, são constituídos por diferentes agrupamentos atômicos e, por isso, apresentam características distintas. Por causa de sua mobilidade no estado líquido ou gasoso, os átomos adaptam-se a qualquer forma externa que os contenha. No estado sólido, ocupam posições fixas que conferem ao material volume e forma definidos.

Os materiais podem ser classificados de acordo com suas ligações atômicas, como segue.

Figura 1.11

- (a) Estrutura cristalina cúbica de face centrada
- (b) Estrutura cristalina hexagonal simples
- (c) Estrutura cristalina cúbica de corpo centrado.



1.3.1 Materiais cristalinos

Os materiais cristalinos apresentam uma ordem de átomos que se repete periodicamente até grandes distâncias atômicas. Essa ordem é um arranjo tridimensional, regular e periódico dos átomos no espaço.

Dentre os materiais cristalinos, podemos destacar:

- todos os metais;
- muitos materiais cerâmicos;
- alguns polímeros.

1.3.2 Materiais amorfos

São designados como amorfos os materiais sem organização atômica interna definida, ou seja, cuja estrutura não tem ordenação espacial a longa distância. Algumas substâncias comuns são amorfas, como o vidro, o poliestireno e até mesmo o algodão-doce.

Os materiais amorfos possuem propriedades únicas. Os metais amorfos são produzidos pela rápida solidificação de ligas metálicas e apresentam fácil magnetização, que se deve ao fato de seus átomos se encontrarem arranjados de maneira aleatória, facilitando a orientação dos domínios magnéticos.

1.4 Materiais metálicos

Os materiais metálicos, em linhas gerais, têm as seguintes propriedades:

- **Cor e brilho:** apresentam coloração que varia do branco ao cinzento, com exceção do ouro e do cobre.
- **Densidade:** dividem-se em leves (densidade menor que 6: alcalinos, alcalinoterrosos, Mg, Be, Al) e pesados (densidade superior a 6).
- **Estrutura cristalina:** característica observada em todos os metais.

Os materiais metálicos são classificados em ferrosos e não ferrosos.

1.4.1 Estrutura cristalina dos metais

A maioria dos materiais de interesse tem arranjos atômicos que são repetições, nas três dimensões, de uma unidade básica. Tais estruturas são denominadas cristais.

Define-se um sistema cristalino como a forma do arranjo da estrutura atômica. Sua representação consiste em substituir átomos e rede espacial por conjunto de pontos.

A ordem tridimensional dos átomos (arranjo das células unitárias) se repete simetricamente até os contornos dos cristais (também chamados contornos de grãos).

A estrutura cristalina é um arranjo tridimensional, regular e periódico dos átomos no espaço. A célula unitária ou célula elementar é a menor unidade repetitiva de arranjo de átomos capaz de caracterizar o material cristalino.

O tipo de sistema cristalino, ou seja, sua célula unitária, pode ser determinado experimentalmente por meio de difração com raios X na estrutura do cristal. As figuras 1.12, 1.13 e 1.14 apresentam as três estruturas cristalinas mais comuns em metais.

Figura 1.12
Estrutura cúbica de corpo centrado (CCC).

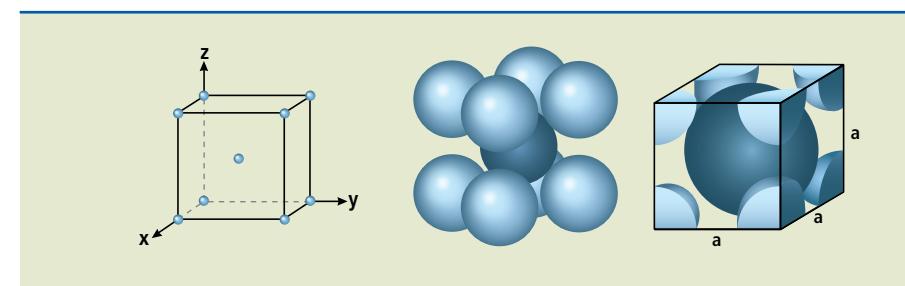


Figura 1.13
Cúbico de face centrada (CFC).

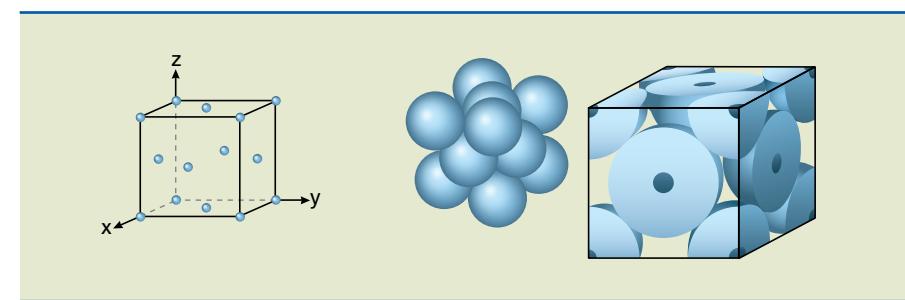
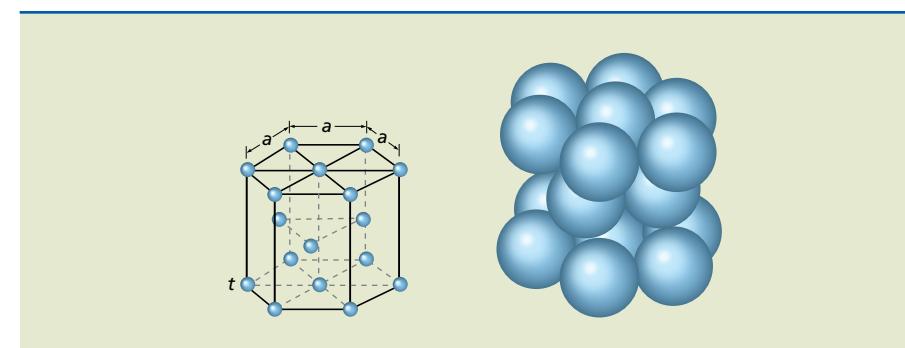


Figura 1.14
Hexagonal compacto (HC).



1.4.2 Metais ferrosos

O ferro é um metal utilizado pelo ser humano há muito tempo. A história registra a existência de armas e utensílios de ferro fabricados por processos primitivos há milhares de anos.

O ferro como metal tem grande importância: com base nele, temos a classificação dos materiais metálicos, além de um ramo da ciência dos materiais específico para seu estudo.

A metalurgia é o conjunto de técnicas desenvolvido pelo ser humano, no decorrer do tempo, que lhe permitiu extrair e manipular metais e gerar ligas metálicas. A siderurgia é o ramo da metalurgia que se dedica à fabricação e tratamento de materiais ferrosos.

Para um material metálico ser considerado ferroso, é necessário que seja uma liga de ferro com carbono e outros elementos, como silício, manganês, fósforo e enxofre. Quando a quantidade de carbono presente no metal ferroso atinge entre 2,0% e 4,5%, temos o ferro fundido e, quando for menor que 2%, o aço.

Capítulo 2

Aços e ferros fundidos

2.1 Obtenção dos aços e do ferro fundido

O minério de ferro é encontrado na natureza geralmente a céu aberto (figura 2.1), sob a forma de óxidos, como a magnetita (Fe_3O_4) e a hematita (Fe_2O_3), e também sob a forma de carbonatos, sulfetos e silicatos.

Figura 2.1

Mina de exploração de minério de ferro de Carajás, no Pará.



DELIM MARTINS/PAULISTA IMAGENS

Na extração desses minérios deve-se levar em consideração a importância de projetos que garantam a vida e o respeito às pessoas e ao meio ambiente.

Os aços e o ferro fundido são fabricados em siderúrgicas. A matéria-prima deve ser preparada para se adequar ao processo de fabricação. Para tanto temos dois modelos de usinas siderúrgicas:

- integradas;
- mini-mills.

2.1.1 Usinas integradas

Nestas usinas integradas acontecem as principais etapas da fabricação dos aços e ferros fundidos. O alto-forno é um forno especial no qual ocorre a extração do ferro do seu minério (óxidos) (figura 2.2). O alto-forno consiste em um reator tubular vertical, no qual a redução se dá de maneira praticamente contínua. Na parte superior é alimentado com carga sólida e, na inferior, com ar preaquecido.

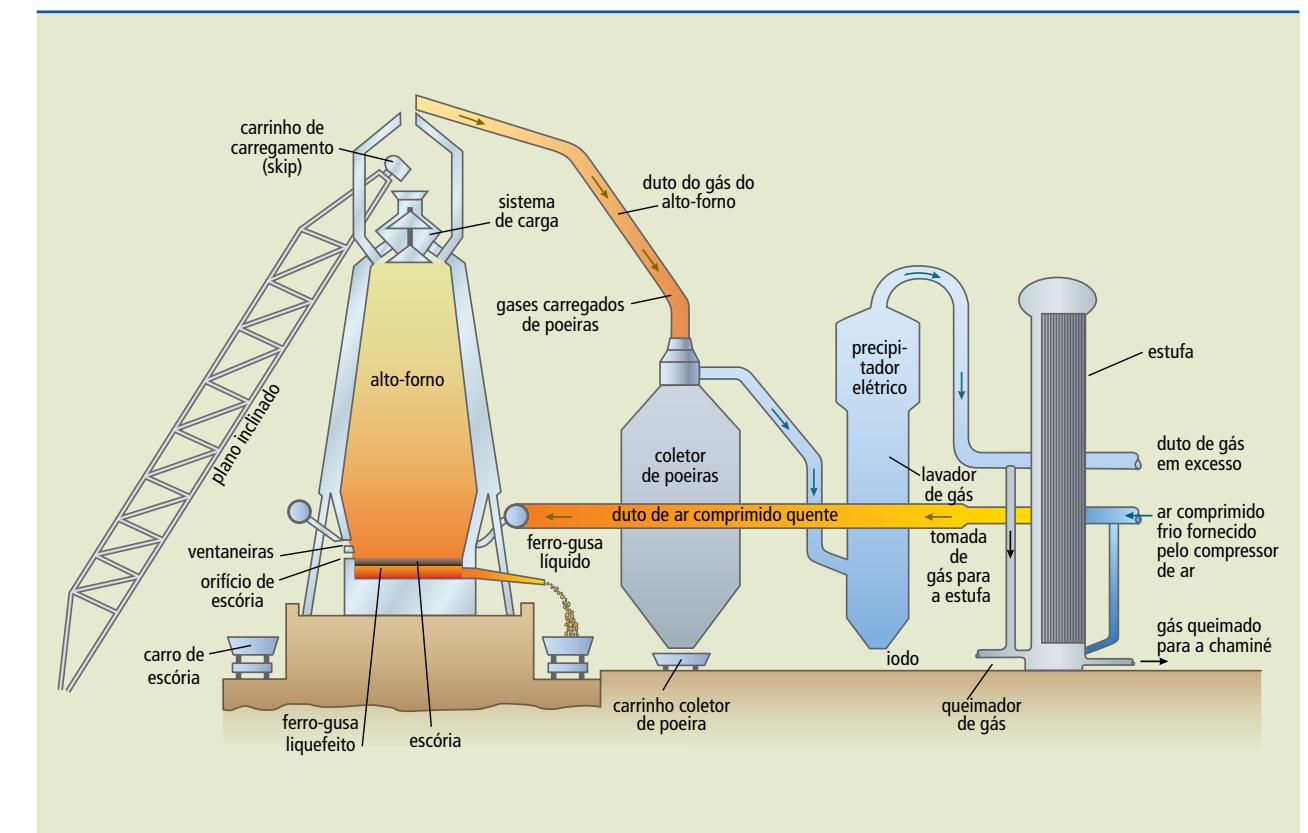


Figura 2.2

Esquema representativo de um alto-forno.

Um alto-forno típico tem cerca de 30 metros de altura e 7 metros de diâmetro e apresenta uma pequena variação do diâmetro interno, necessária para compensar a variação de volume dos gases em função da temperatura. Possui um coletor de poeira cuja função é recolher a grande quantidade de poeiras carregadas nos gases. Há lavadores que empregam um precipitador eletrostático, o qual permite a geração de um campo elétrico que ioniza as partículas de pó, atraindo-as para as paredes do aparelho. Em seguida, são levadas ao fundo com o uso de água e regeneradores. Os regeneradores são armazenadores de calor, constituídos por uma câmara de combustão em que o gás do alto-forno é queimado com ar.

Quimicamente, ocorre o fenômeno da reação da liga ferro-carbono com o carvão ou coque. Esse fenômeno é chamado redução. A liga tem basicamente 5% de carbono. O produto final dessa reação é conhecido como ferro-gusa, que agora está no estado líquido e pode ser vazado em fornos apropriados.

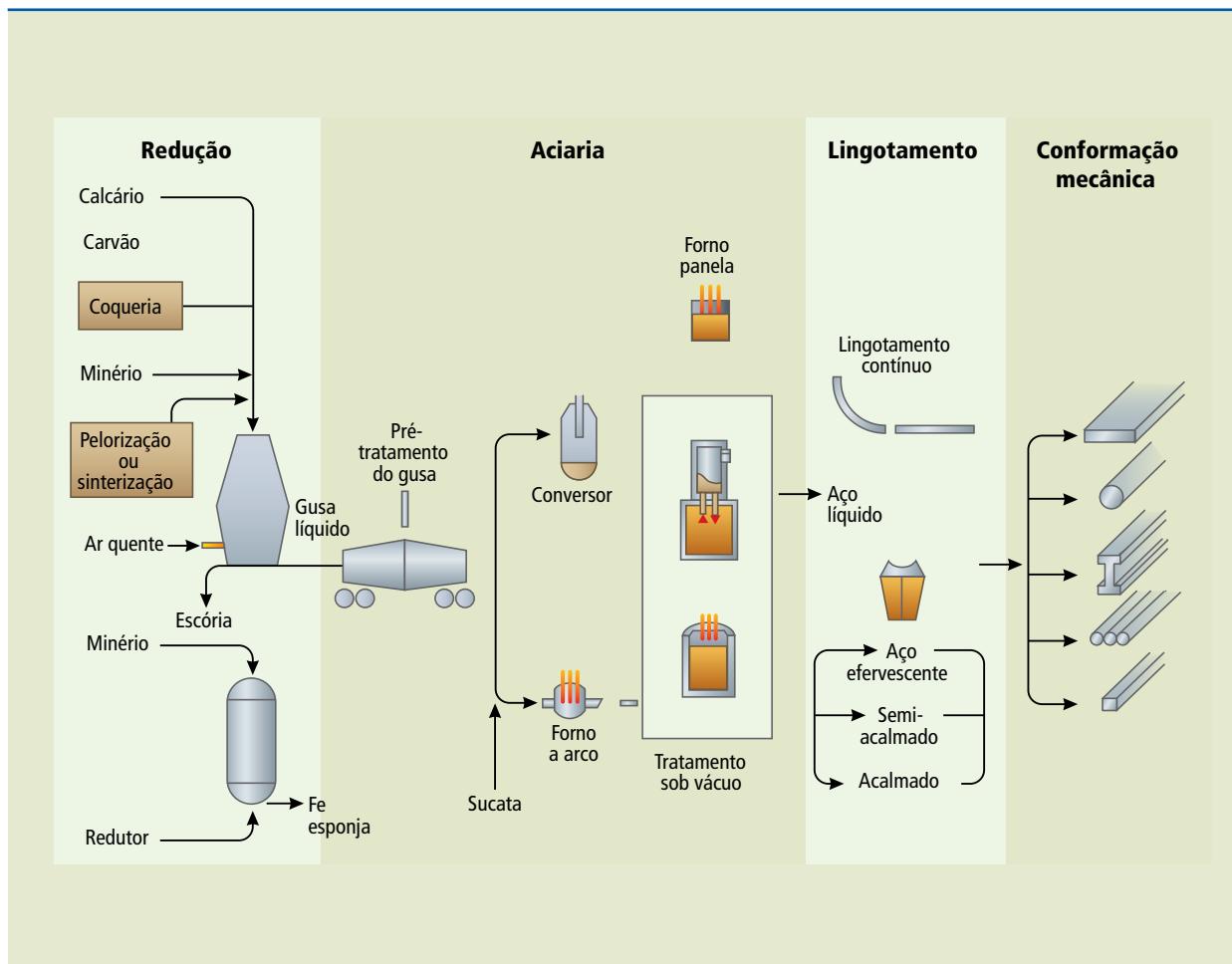
**A laminação é tratada no livro:
Métodos e processos industriais.**

Por fim, há o aço na forma de lingotes. Uma vez no estado sólido, o aço está pronto para a transformação mecânica, que pode ser feita por intermédio de **laminadores**, resultando em blocos, tarugos e placas.

A figura 2.3 apresenta um esquema das principais etapas de fabricação do aço, com base no modelo de processos adotados pelas usinas integradas.

Figura 2.3

Fluxograma de produção do aço com as diversas alternativas de processo.



2.1.2 Materia-prima

As matérias-primas básicas das usinas integradas são:

- minério de ferro;
- carvão;
- calcário.

Minério de ferro

A matéria-prima principal para a manufatura dos processos siderúrgicos é o minério de ferro, e os minerais que contêm ferro em quantidade apreciável são os óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos. Os principais óxidos encontrados na natureza são:

- **magnetita** (óxido ferroso-férrico) de fórmula Fe_3O_4 , contendo 72,4% de Fe;
- **hematita** (óxido férrico), de fórmula Fe_2O_3 , contendo 69,9% de Fe;
- **limonita** (óxido hidratado de ferro), de fórmula $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{NH}_2\text{O}$, contendo, em média, 48,3% de Fe.

Antes de ser inserido no alto-forno, o minério de ferro sofre processos de beneficiamento, com o objetivo de alterar suas características físicas e químicas e torná-lo adequado para utilização. Esses processos são: britamento, peneiramento, mistura, moagem, classificação e aglomeração.

Um dos processos mais importantes dessa etapa é a aglomeração. Tem por objetivo melhorar a permeabilidade da carga do alto-forno para minimizar os custos com a compra de carvão, pois a quantidade exigida é menor. Realizada a aglomeração, a redução apresenta melhorias e o processo se torna mais rápido.

Industrialmente, esse processo é classificado como pelotização, na qual a aglomeração é realizada com partículas ultrafinas de minério de ferro. E a sinterização, que consiste, basicamente, na adesão das partículas, faz com que os pontos de contato aumentem com a temperatura, mantendo o volume e alterando fisicamente a forma cristalina, isto é, enchendo os espaços vazios.

Carvão

O carvão utilizado nos altos-fornos pode ser de origem tanto mineral quanto vegetal. Possui várias funções dentro do processo, que são:

- atuar como combustível, gerando calor para as reações;
- atuar como redutor do minério, que é basicamente constituído de óxidos de ferro;
- atuar como fornecedor de carbono, que é o principal elemento de liga dos produtos siderúrgicos.

Da mesma forma que o minério, o carvão também sofre processamento antes de ser introduzido no alto-forno. Essa operação consiste na coqueificação, que é o aquecimento do carvão mineral a altas temperaturas, em câmaras hermeticamente fechadas, portanto com ausência total de ar, exceto na saída dos produtos voláteis.

Calcário

O calcário reage com substâncias estranhas ou impurezas contidas no minério e no carvão, diminuindo seu ponto de fusão e formando a escória, subproduto do processo clássico do alto-forno.

Figura 2.4

Escória, subproduto do processo do alto-forno.



2.1.3 Operações siderúrgicas

Produção do ferro-gusa

O alto-forno pode ser dividido em três partes fundamentais: o fundo, também conhecido como cadiño, a parte do meio, conhecida como rampa, e a cuba, que é a parte superior.

Figura 2.5

O **cadiño** é onde o ferro-gusa é depositado. Como a escória (impurezas que se formam durante o processo) deve ser separada do ferro, nesta etapa ocorre esta separação. A escória é menos densa que o ferro e flutua no cadiño, no qual existem dois furos: o furo superior para escoamento da escória e o furo inferior, que é aberto quando se deseja que o ferro líquido escoe.

A fusão e a combustão ocorrem na **rampa**. Existem furos distribuídos uniformemente entre o cadiño e a rampa chamados de ventaneiras, por onde o ar pré-aquecido é soprado sob pressão, o que serve para facilitar os processos entre o cadiño e a rampa.

A **cuba** é a parte maior do alto-forno: ela representa dois terços da altura total. Nela é colocada a carga, composta de minério de ferro (sínter ou pelotas), carvão na forma de coque ou vegetal e os fundentes (cal e calcário).

À medida que o carvão, o minério e o calcário descem, encontram os gases provenientes da queima do coque com o oxigênio soprado pelas ventaneiras, a uma temperatura de aproximadamente 1 000º C.

Nesse contexto, o coque, por causa da alta temperatura, reage quimicamente com todo o material líquido e pode, então, ocupar os interstícios (vazios). O processo agora tem dois produtos líquidos: a escória e o ferro-gusa.

O ferro-gusa é uma liga ferro-carbono com teores elevados de carbono (3,4% a 4,5%) e grande quantidade de impurezas. Ele é utilizado para a fabricação do aço e do ferro fundido.

O ferro-gusa pode ser utilizado em contrapesos de guindastes e peças de baixa responsabilidade, em geral sua maior utilização é como matéria-prima de outros produtos siderúrgicos.

Fabricação do aço

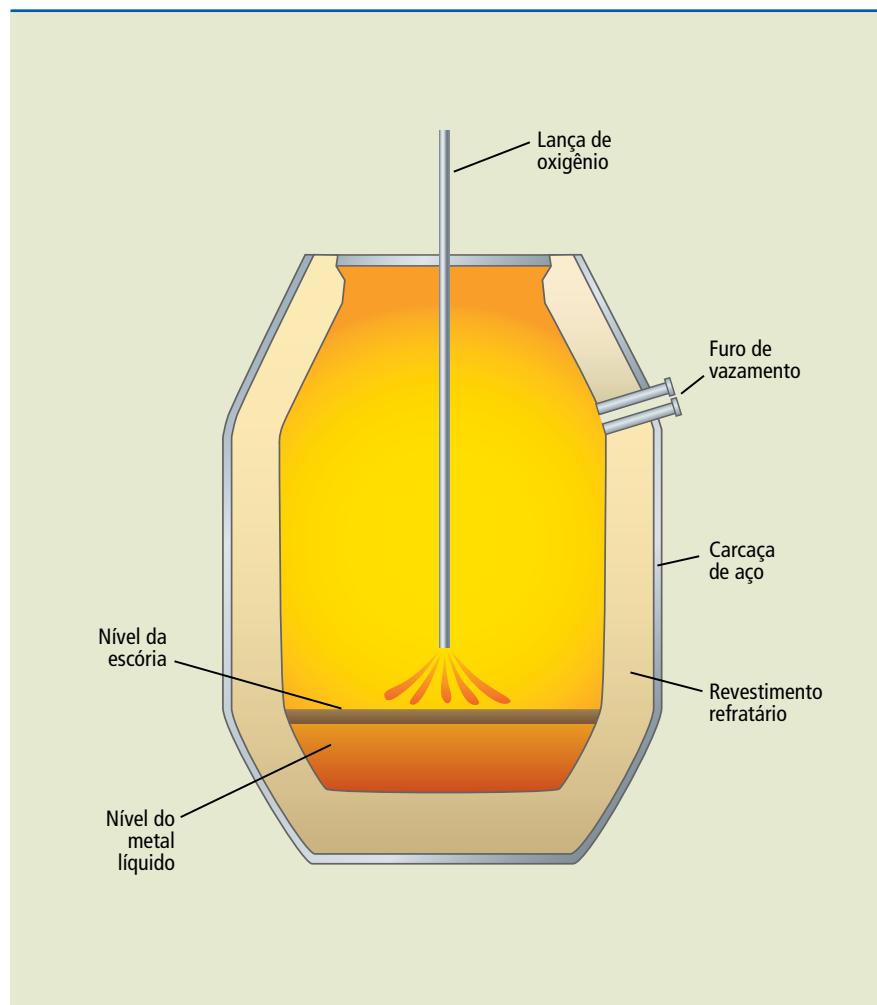
O aço é uma liga de ferro com baixos teores de carbono (C) e, como o ferro-gusa, durante a sua fabricação apresenta teores elevados de carbono e impurezas, silício (Si), manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre (S). A transformação do ferro-gusa em aço ocorre pela redução da porcentagem de carbono e das impurezas, por um processo de oxidação. Na usina siderúrgica, o processo de redução acontece no setor chamado aciaria, utilizando um equipamento conhecido como conversor para obtenção do aço. Existem vários modelos de aciarias e conversores, os mais conhecidos são:

- Bessemer/Thomas, de sopro de oxigênio pelo fundo;
- Tropenas, de sopro de oxigênio pela lateral;
- Linz-Donawitz (LD), de sopro de oxigênio pela parte superior.

No Brasil se utiliza um conversor constituído de uma carcaça cilíndrica de aço, revestida com materiais refratários, conhecido como LD ou BOP (basic oxygen process), conforme a figura 2.6.

Figura 2.6

Seção transversal esquemática de um conversor utilizando insuflação de oxigênio pelo topo.



Neste conversor, o oxigênio é soprado praticamente puro por meio de uma lâmina, provocando um choque na superfície líquida. O forno é carregado com gusa líquido e sucata, o sopro provoca a oxidação para a redução do carbono e das impurezas, e é controlado por cálculos, de acordo com os teores de carbono a serem alcançados. Por fim, a lâmina é retirada e o forno é basculado para o processo de vazamento do aço.

Fabricação do ferro fundido

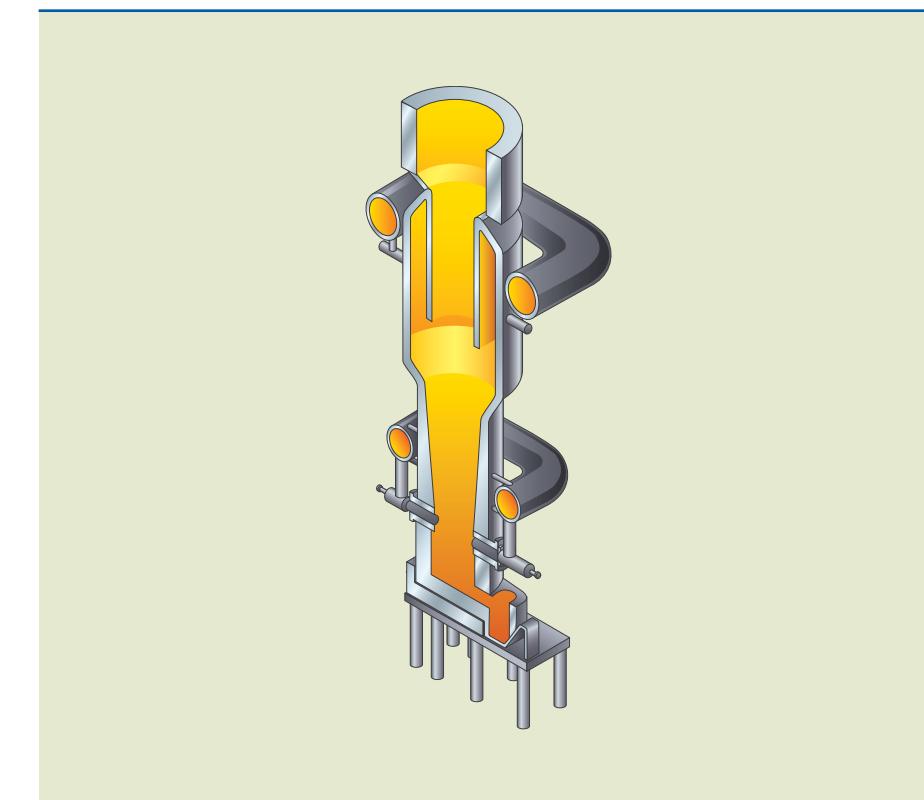
O ferro fundido apresenta teores de carbono maiores que o aço, os quais são obtidos no forno cubilô, que também utiliza como matéria-prima o ferro-gusa e sucatas. A figura 2.7 evidencia em corte o forno vertical e cilíndrico.

Na parte superior existe uma abertura por onde é feita a carga de ferro-gusa, sucatas de aço e ferro fundido, carvão coque e calcário, materiais que são colocados alternadamente.

Uma bica no fundo do forno escoa o metal fundido em intervalos determinados, a escória, que é mais leve, é retirada por uma abertura acima.

Figura 2.7

Forno cubilô.



2.1.4 Usinas mini-mills

Matéria-prima

Estas usinas utilizam como matéria-prima para o processo de fabricação do aço sucata (de aço ou ferro fundido) e cal, e pode-se utilizar também o ferro-gusa.

Pode-se trabalhar também com o ferro-gusa proveniente das usinas integradas.

Operações siderúrgicas

As mini-mills são equipadas principalmente com fornos elétricos a arco ou por indução que podem fundir sucata metálica e produzir aço conforme as especificações exigidas. Após carregar o forno com uma mistura preajustada de matéria-prima (por exemplo, sucata metálica, ferro-gusa e ferro esponja), aplica-se energia elétrica de acordo com um perfil de fundição controlado por computador. Em geral, o processo de produção em mini-mills consiste nas seguintes etapas:

- obtenção de matérias-primas;
- fundição;
- lingoteamento;
- laminiação;
- trefilaria.

Figura 2.8

A diferença básica entre esse processo e o processo de produção de usinagem integrada descrito anteriormente é encontrada na primeira etapa do processamento, ou seja, na fabricação do aço. As mini-mills são unidades menores que as unidades integradas e oferecem algumas vantagens como:

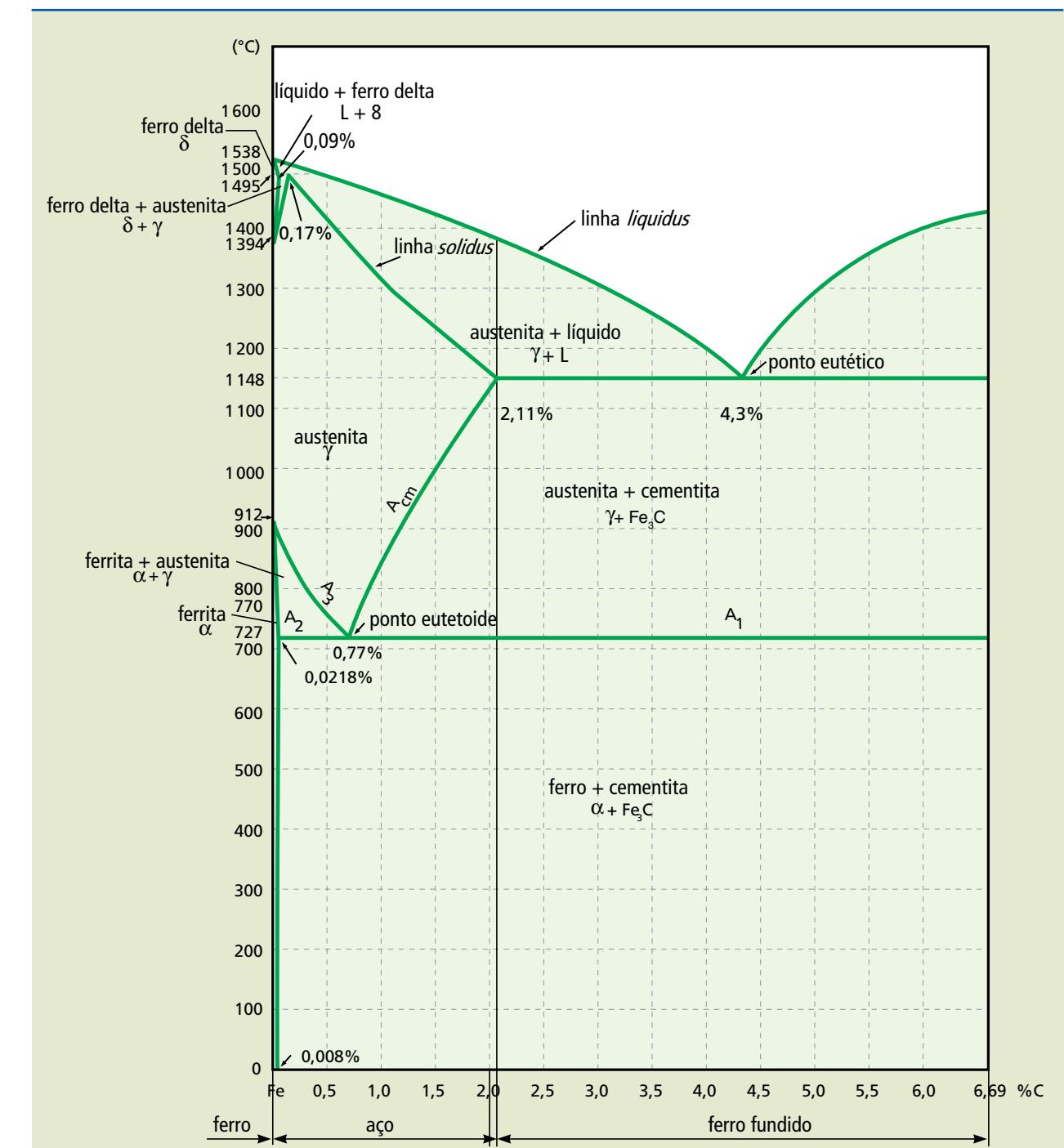
- custo de capital mais baixo;
- riscos operacionais mais baixos pela não concentração de capital e capacidade instalada em uma única unidade de produção;
- proximidade de unidades de produção a fontes de matéria-prima;
- proximidade aos mercados locais e ajuste mais fácil dos níveis de produção;
- estrutura gerencial mais efetiva por causa da relativa simplicidade do processo de produção.

O princípio é transformar a energia elétrica em energia térmica, por meio da qual promove-se a fusão do ferro-gusa e/ou da sucata, em que as condições de temperatura e oxidação do metal líquido são bem controladas.

2.2 Diagrama ferro-carbono

Na prática, as ligas ferro-carbono são os materiais mais utilizados na indústria, uma vez que suas propriedades apresentam grande variação, de acordo com a quantidade de carbono existente, e ainda possibilitam uma gama maior de propriedades se considerarmos os tratamentos térmicos. As transformações em uma liga ferro-carbono são influenciadas basicamente pela temperatura e pelo teor de carbono. Levando em conta esses dois fatores, podemos montar um mapa das transformações que ocorrem e denominá-lo diagrama de equilíbrio (ver figura 2.9).

Nesse diagrama, podemos ver as fases presentes para cada temperatura, composição e também os pontos fundamentais para a compreensão das transformações.



2.2.1 Fases do diagrama ferro-carbono

Ferrita alfa (α)

Solução sólida de carbono em ferro CCC, existente até a temperatura de 912 °C. Caracteriza-se pela baixa solubilidade de carbono no ferro, chegando ao máximo de 0,0218% a 727 °C.

Figura 2.9
Diagrama de equilíbrio ferro-carbono.

Austenita gama (γ)

Solução sólida de carbono em ferro CFC, existente entre as temperaturas de 912 °C e 1 495 °C, com solubilidade máxima de carbono no ferro de 2,11% a 1 148 °C.

Ferrita delta (δ)

Solução sólida de carbono em ferro CCC, mesmo estando o ferro em seu estado líquido, isto é, até a temperatura de 1 538 °C. Nessa condição térmica, o carbono praticamente não se solubiliza ou o grau de solubilização é muito baixo. O teor percentual que se pode atingir são valores limites de 0,09% (temperatura de 1 495 °C).

Cementita (Fe_3C)

É um carboneto de ferro de alta dureza com teor de carbono de 6,69%.

2.2.2 Linhas do diagrama ferro-carbono

Linha A_1

Indica a ocorrência de uma parada (*arrêt*) durante a transformação. Assim, ao resfriar um aço com 0,77% de C, observa-se uma “parada” na temperatura de 727 °C, ou seja, enquanto a transformação $\gamma \rightarrow \alpha + Fe_3C$ não se completa, a temperatura permanece constante.

Linha A_2

Mostra a temperatura de transformação magnética do ferro CCC a 770 °C.

Linha A_3

Identifica a temperatura de transformação $\gamma \rightarrow \alpha$. À medida que o teor de carbono aumenta, a temperatura A_3 diminui, até o limite de 727 °C, em que se encontra com A_1 .

Linha A_{cm}

Indica a temperatura de transformação $\gamma \rightarrow Fe_3C$. Inicia a 727 °C com 0,77% de C e vai aumentando com a elevação do teor de carbono, até atingir 1 148 °C a 2,11% de C.

Linha solidus

Aponta que abaixo dessa linha todo material estará no estado sólido.

Linha liquidus

Indica que acima dessa linha todo material estará na forma líquida.

Na figura 2.10 vemos o esquema das estruturas das ligas Fe-C, na faixa correspondente aos aços, resfriados lentamente, conforme o diagrama de equilíbrio Fe-C.

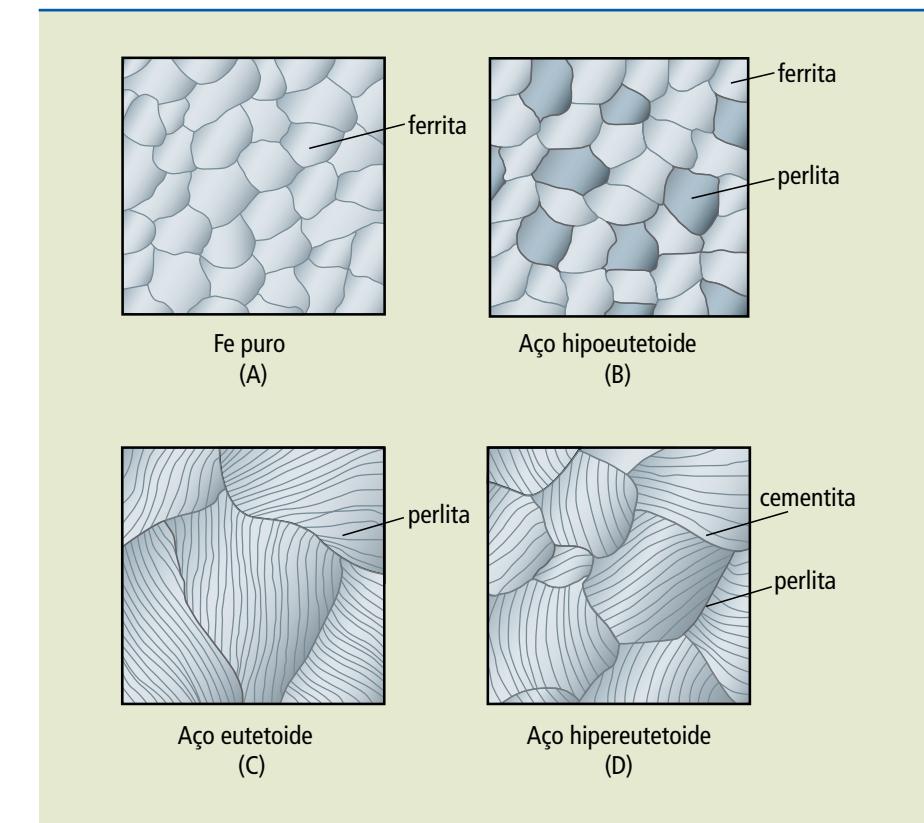


Figura 2.10
Aspecto micrográfico do aço.

2.3 Aços

O aço é o material mais empregado na maioria das construções mecânicas, por suas ótimas características mecânicas e sua adaptabilidade.

Os aços utilizados na construção mecânica são classificados em três grandes categorias:

- aços-carbono ou comuns;
- aços-liga;
- aços especiais.

2.3.1 Aço-carbono ou aço comum

Quando o único elemento de liga é o carbono, o material é designado aço-carbono ou aço comum.

Grandes variações de resistência e de dureza são obtidas pela modificação das porcentagens de carbono ou por tratamentos térmicos. Com base no diagrama de equilíbrio Fe-C, podem-se interpretar as reações que ocorrem nas faixas de composição correspondentes aos aços e que são responsáveis por tais variações.

O aço-carbono é o mais barato dos aços, razão pela qual ele é o preferido, exceto quando condições severas de serviço exigem características especiais, ou quando há necessidade de pequenas dimensões.

Os aços-carbono, de modo geral, cobrem todas as necessidades da prática. Com teor de 0,3% ou mais, pode ser tratado termicamente para melhorar suas propriedades de resistência e dureza. Mas surgem dificuldades em peças de grandes seções por causa do resfriamento lento do núcleo, o que impede as mudanças metalúrgicas requeridas para endurecimento e resistência.

O principal inconveniente do aço comum é sua pequena penetração de endurecimento, estendido apenas a uma fina camada. O resfriamento deve ser muito rápido, o que pode resultar em tensões residuais internas, distorções, perda de ductilidade e, eventualmente, trincas.

Os aços comuns podem ser classificados quanto à composição ou ao teor de carbono. A classificação norte-americana, praticamente adotada no mundo inteiro, define os seguintes padrões:

- aços de baixo teor de carbono: até 0,25% de carbono;
- aços de médio teor: de 0,25% a 0,6% de carbono;
- aços de alto teor: 0,6% a 2,0% de carbono.

A tabela 2.1 apresenta algumas indicações de utilização encontradas comumente na prática.

Figura 2.11
Propriedades mecânicas dos aços em função do teor de carbono.

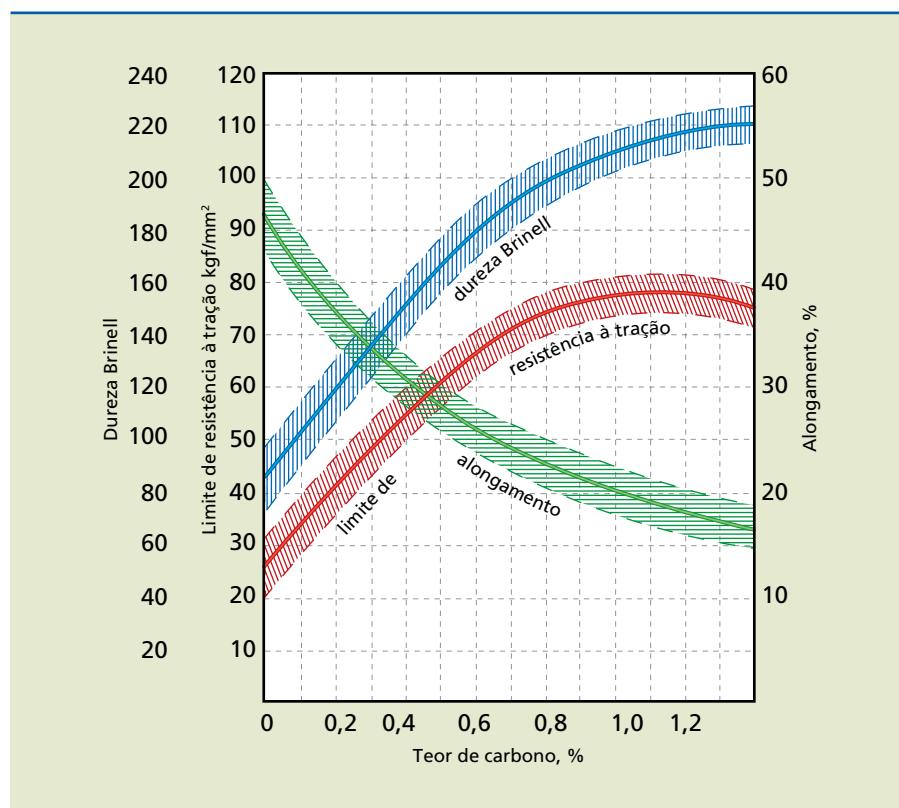


Tabela 2.1
Resumo dos principais aços para construção mecânica

I1010	Aço ao carbono sem elementos de liga, para uso geral, utilizado em peças mecânicas, peças dobradas, partes soldadas, tubos e outras aplicações.
I1020	Aço ao carbono, de uso geral, sem elementos de liga, utilizado em peças mecânicas, eixos, partes soldadas, conformadas ou cementadas, arames em geral etc.
I1045	Aço com teor médio de carbono, de uso geral em aplicações que exigem resistência mecânica superior ao I1020 ou têmpera superficial (em óleo ou água), utilizado em peças mecânicas em geral.
9SMn28	Fácil de ser usinado, oferece bom acabamento superficial, mas é de difícil soldabilidade, exceto mediante o emprego de eletrodos de baixo teor de hidrogênio. Exemplo: E6015 (AWS). Usado comumente na fabricação de porcas, parafusos, conexões e outros produtos que necessitam de alta usinabilidade. Não deve, porém, ser utilizado em partes vitais de máquinas ou equipamentos sujeitos a esforços severos ou choques.
I2L14	Tem características idênticas às do 9SMn28, com exceção da usinabilidade, pois apresenta capacidade superior a 60% em relação ao 9SMn28.
Teluraloy	De características idênticas às do 9SMn28, com exceção da usinabilidade, pois apresenta capacidade superior a 100% em relação ao 9SMn28. Possui algumas melhorias em relação ao 9SMn28 e I2L14, em trabalhos que necessitem de compressão, como rosas laminadas ou partes recartilhadas.
8620	Aço cromo-níquel-molibdênio, usado para cementação na fabricação de engrenagens, eixos, cremalheiras, terminais, cruzetas etc. (limite de resistência do núcleo entre 70 e 110 kgf/mm²).
8640	Aço cromo-níquel-molibdênio de média temperabilidade, usado em eixos, pinhões, bielas, virabrequins, chavetas e peças de espessura média.
4320	Aço cromo-níquel-molibdênio para cementação que alia alta temperabilidade e boa tenacidade. Usado em coroas, pinhões, terminais de direção, capas de rolamentos etc. (limite de resistência do núcleo entre 80 e 120 kgf/mm²).
4340	Aço cromo-níquel-molibdênio de alta temperabilidade, usado em peças de seções grandes como eixos, engrenagens, componentes aeronáuticos, peças para tratores e caminhões etc.
5140	Aço cromo-manganês para beneficiamento, de média temperabilidade, usado em parafusos, semieixos, pinos etc.
5160	Aço cromo-manganês de boa tenacidade e média temperabilidade, usado tipicamente na fabricação de molas semielípticas e helicoidais para veículos.
6150	Aço cromo-vanádio para beneficiamento que apresenta excelente tenacidade e média temperabilidade. Usado em molas helicoidais, barras de torção, ferramentas, pinças para máquinas operatrizes etc.
9260	Aço de alto teor de silício e alta resistência. Usado em molas para serviço pesado, como em tratores e caminhões.
52100	Aço que atinge elevada dureza em têmpera profunda, usado tipicamente em esferas, roletes e capas de rolamentos e em ferramentas como estampos, brocas, alargadores etc.

Society of
Automotive
Engeneers.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) padroniza os aços para construção mecânica segundo o teor de carbono, baseando-se nas normas **SAE**, com exceção de alguns aços que se baseiam nas normas **DIN**, identificados pela letra D anteposta.

Deutsches Institut
für Normung.

Na classificação SAE, a representação é feita por quatro algarismos. O primeiro algarismo indica:

- 1 = aço-carbono;
- 2 = aço-níquel;
- 3 = aço níquel-cromo;
- 4 = aço-molibdênio;
- 5 = aço-cromo;
- 6 = aço cromo-vanádio;
- 7 = aço-tungstênio;
- 8 = aço níquel-cromo-molibdênio;
- 9 = aço silício-manganês.

O segundo algarismo indica a percentagem aproximada do elemento predominante da liga. Os dois últimos representam o teor médio de carbono contido em percentagem. A tabela 2.2 apresenta as padronizações definidas pela ABNT.

Tabela 2.2

Algumas características mecânicas do aço-carbono especificadas pela ABNT.

Grupo	Exemplo	Tipo de aço
I0XX	SAE 1020	aço-carbono comum
I1XX	SAE 1120	aço de alto teor de enxofre
I3XX	I322	aços ligados ao manganês
23XX	2340	aços ligados ao níquel
31XX	3135	aços ligados ao níquel e ao cromo
41XX	4140	aços cromo-molibdênio
43XX	4340	aços cromo-níquel-molibdênio
51XX	5160	aços ligados ao cromo
61XX	6140	aços ligados ao cromo e ao vanádio
86XX	8620	aços níquel-cromo-molibdênio

2.3.2 Aços-liga

Para melhorarmos a resistência mecânica de qualquer material metálico, podemos aplicar processos de fabricação por conformação mecânica, tratar o material termicamente ou acrescentar elementos de liga.

Podemos classificar um aço como aço-liga quando encontramos uma quantidade de elementos adicionados maior do que os encontrados nos aços-carbono comuns. Essa quantidade é responsável pela modificação e melhoria nas propriedades mecânicas do aço.

Dependendo da quantidade dos elementos adicionados, o aço-liga pode ser de baixa liga, se tiver até 5% de elementos de liga, ou de liga especial, se tiver quantidades de elementos de liga maiores do que 5%.

Os elementos de liga mais comumente adicionados ao aço são: níquel, manganês, cromo, molibdênio, vanádio, tungstênio, cobalto, silício e cobre. É possível adicionar mais de um elemento para obter um aço-liga.

O quadro da figura 2.12 mostra a influência dos elementos de liga na estrutura e nas propriedades do aço. Alguns dos aços-liga obtidos de um ou mais elementos apresentados no quadro são padronizados pela ABNT.

Os efeitos de cada um dos elementos de liga são detalhados a seguir.

Manganês (Mn)

O manganês aumenta a temperabilidade e reduz a temperatura de austenitização. Todos os aços-ferramenta comerciais contêm manganês para a redução de óxidos e evitar a fragilidade ocasionada pelo sulfeto de ferro. Aços-ferramenta podem conter até 2% de manganês, com 0,8 a 0,9% de carbono. Em alguns aços-liga o manganês substitui parcialmente o níquel com a finalidade de redução de custo de produção.

Figura 2.12

Influência na Propriedade	Elemento									
	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V	Al
Aumento da Resistência	x	x	x		x				x	
Aumento da Dureza	x	x	x		x					
Aumento da Resistência ao Impacto									x	
Redução da ductilidade	x		x	x						
Aumento da Resistência em altas temperaturas									x	
Aumento da Temperabilidade									x	x
Ação Desoxidante		x			x					x
Aumento da Resistência à Corrosão									x	
Aumento da Resistência à Abrasão									x	
Redução da Soldabilidade	x									

Níquel (Ni)

O níquel aumenta a dureza do aço, sua resistência e ductilidade. Afina a estrutura sem prejuízo da usinagem. Atrasa o crescimento do grão. Em grandes quantidades, produz resistência à oxidação a altas temperaturas.

Cromo (Cr)

O cromo aumenta a temperabilidade do aço e contribui para a resistência ao desgaste e à dureza. Quando o cromo excede 11% em aços de baixo teor de carbono, uma camada é formada na superfície criando resistência aos oxidantes. Aços com cromo são mais fáceis de usinar do que aços com níquel de resistência mecânica similar. Os aços com cromo são usados em matrizes, rolamentos, limas e ferramentas, em que são necessárias durezas elevadas.

Molibdênio (Mo)

O molibdênio aumenta a usinabilidade dos aços-carbono e a resistência à corrosão dos aços inoxidáveis.

É um elemento de alguns aços rápidos, aços resistentes à corrosão e a altas temperaturas.

Vanádio (V)

O vanádio aumenta a tenacidade e a resistência. Conserva a dureza dos aços em temperaturas elevadas. Evita o crescimento do grão. Aumenta a resistência à fadiga e ao choque.

Tungstênio (W)

O tungstênio aumenta a dureza do aço, a estabilidade a altas temperaturas, a profundidade de têmpera e a resistência à tração e ao desgaste. Em pequenas quantidades, melhora a resistência aos ácidos e à corrosão. Permite alcançar um elevado magnetismo no aço especial para eletroímãs.

Silício (Si)

O silício aumenta a resistência dos aços pobres em carbono. Em pequena quantidade, produz forte dureza, resistência ao desgaste e aos ácidos.

Outros elementos

Cobalto (Co)

Tem alta solubilidade em ferro alfa e gama, mas fraca tendência a formar carbeto. Reduz a temperabilidade, mas mantém a dureza durante o revenimento. É utilizado em aços para turbinas e como liga em metais duros. Intensifica a influência de elementos mais importantes em aços especiais.

Boro (B)

Tem sido usado com o objetivo de aumentar a temperabilidade. Em conjunto com o molibdênio, forma um grupo de aços bainíticos de alta resistência à tração. O boro é utilizado em algumas ligas para revestimento de superfícies.

2.3.3 Aços especiais

Aços Hadfield

O aço Hadfield é um material que, quando deformado, endurece bastante na zona deformada. Tal característica é obtida pela adição do manganês na proporção de 11% a 14% e carbono entre 1,1% e 1,4%. A adição do manganês nesse teor dá ao aço grande resistência a choques.

Aços-silício

São empregados quando são necessários materiais com boa permeabilidade magnética. Esse fenômeno ocorre porque o material tem resistência bastante elevada. São utilizados em motores, alternadores, transformadores e outros equipamentos. A composição desses aços varia dentro dos seguintes teores:

- C = 0,07;
- Mn = 0,4;
- Si = 2,4.

2.3.4 Aços inoxidáveis

Esse tipo de aço apresenta maior resistência à corrosão, quando submetido a determinado meio ou agente agressivo. Possui grande resistência à oxidação e a altas temperaturas em relação a outros tipos de aços.

A resistência à oxidação e à corrosão se deve à presença do cromo, que, em contato com o oxigênio, forma uma camada fina de óxido de cromo sobre a superfície do aço, tornando-o impermeável e resistente a oxidações. Assim, podemos definir como aço inoxidável o grupo de ligas ferrosas resistentes à oxidação e à corrosão, que contenham no mínimo 12% de cromo. O cromo favorece o endurecimento produzido pela têmpera em óleo, dificulta a ferrugem e, assim, mantém o material brilhante na atmosfera.

A alta resistência, combinada com a boa ductilidade, determinou o emprego do aço inoxidável quando resistência e leveza são importantes.

O aço inoxidável é classificado em três grupos, de acordo com a microestrutura básica formada:

- martensítico;
- ferrítico;
- austenítico.

Aço inoxidável martensítico

É obtido após aquecimento em altas temperaturas e resfriamento rápido. Possui como característica a alta dureza e fragilidade. Contém de 12% a 17% de cromo e de 0,1% a 0,5% de carbono (em certos casos até 1% de carbono) e pode atingir diversos graus de dureza após tratamento térmico. Dificilmente é atacado pela corrosão atmosférica no estado temperado e se destaca pela dureza. É, também, ferromagnético.

É um aço que apresenta trabalhabilidade inferior à das demais classes e soldabilidade muito ruim.

A padronização desse tipo de aço segue a norma AISI, cuja numeração distingue os teores de carbono, cromo e outros elementos de liga adicionados. Os tipos mais comuns são os aços 403, 410, 414, 416, 420, 420F, 431, 440A, 440B, 440C e 440F.

Os tipos 403, 410, 414, 416 e 420 caracterizam-se por baixo teor de carbono e um mínimo de 11,5% de cromo, que, no tipo 431, pode chegar a 17%.

Embora o carbono seja de baixo teor, esses aços possuem boa temperabilidade, por causa da presença do cromo. São usados em lâminas de turbinas e compressores, molas, eixos e hélices de bombas, hastes de válvulas, parafusos, porcas e outros equipamentos.

O tipo 420F possui carbono entre 0,30% e 0,40% e, nos tipos 440A, 440B e 440C, o teor de carbono é mais elevado (mínimo de 0,60% no tipo 440A e máximo de 1,20% no tipo 440C). Aqueles cujo teor de cromo varia de 12,0% a 18,0% são chamados “tipo cutelaria” e empregados em cutelaria, instrumentos cirúrgicos, molas, mancais antifricção etc.

Aço inoxidável ferrítico

Possui de 16% a 30% de cromo. Não pode ser endurecido por tratamento térmico e é basicamente usado nas condições de recocido. Depois de ser aquecido a altas temperaturas e resfriado rapidamente, apresenta estrutura macia e tenaz.

Possui maior usinabilidade e resistência à corrosão que o aço martensítico por causa do maior teor de cromo. Apresenta boas propriedades físicas e mecânicas e é efetivamente resistente à corrosão atmosférica e a soluções fortemente oxidantes. É, também, ferromagnético.

As aplicações principais são aquelas que exigem boa resistência à corrosão, ótima aparência superficial e requisitos mecânicos moderados. Apresenta tendência ao crescimento de grãos após soldagem, particularmente para seções de grande espessura, e, portanto, experimentam alguma forma de fragilidade.

Os principais tipos designados pela AISI são: 405, 406, 430, 430F, 442, 443 e 446. São aplicados em equipamentos para a indústria química, para res-

taurantes e cozinhas, peças de fornos e em componentes arquitônicos ou decorativos.

Aço inoxidável austenítico

Tem como elemento de liga o níquel, que proporciona uma alteração em sua estrutura capaz de elevar a resistência mecânica e tenacidade. Apresenta excelente resistência à corrosão em muitos meios agressivos.

Outros elementos, como molibdênio, titânio e nióbio, se adicionados podem melhorar a resistência à corrosão.

Dos três grupos, os aços austeníticos são os que apresentam maior resistência à corrosão. Eles têm baixo limite de escoamento com alta resistência à tração e bom alongamento e oferecem as melhores propriedades para trabalho a frio. Não aceitam tratamento térmico, mas sua resistência à tração e sua dureza podem ser aumentadas por encruamento. Não são ferromagnéticos. Apresentam boa usinabilidade e soldabilidade.

Os tipos AISI mais comuns são designados pelos números 301, 302, 302B, 303, 304, 308, 309, 309S, 310, 316, 317, 321 e 347. As aplicações desses aços inoxidáveis são: peças decorativas, utensílios domésticos, peças estruturais, componentes para indústria química, naval, alimentícia, de papel e até mesmo componentes que devam estar sujeitos a temperaturas elevadas, como peças de estufas e fornos, pela boa resistência à oxidação.

2.3.5 Aços rápidos

Os aços rápidos são aqueles que, depois de endurecidos por tratamento térmico, mantêm a dureza. Apresentam como elementos de liga o vanádio, o tungstênio e o cromo.

A maior eficiência dos aços rápidos foi conseguida pela adição do cobalto. A adição de 5% de cobalto ao aço com 18% de tungstênio faz aumentar a eficiência em 100%. Com a adição do cobalto, consegue-se usinar até o aço manganês. Quanto maior o teor de cobalto, mais frágil se torna o aço. Adicionando o vanádio a essa liga, melhora a fragilidade. Por esse motivo, nos aços rápidos, o vanádio é sempre adicionado proporcionalmente ao cobalto.

2.3.6 Aços para ferramentas

Com a Revolução Industrial aumentou a busca por ferramentas que pudessem oferecer melhor custo/benefício, maior vida útil e resistir a situações mais severas. As características e propriedades de novos materiais tiveram de ser estudadas, e novas ligas especiais para ferramentas foram produzidas. Exemplos típicos são os aços rápidos, desenvolvidos por Taylor em 1900.

Existem atualmente no mercado diversos tipos de aços ferramenta. Os técnicos e pessoas envolvidos em um projeto devem consultar o produtor, pois em geral

são desenvolvidos diversos tipos de liga com composição química variada para diferentes aplicações.

Em geral, a seleção correta de um aço para ser utilizado em ferramenta deve ser feita correlacionando-se as características metalúrgicas do material com as exigências de desempenho. O principal critério é o custo da ferramenta para a fabricação de determinado produto.

Esses aços usados na fabricação de ferramentas, por causa da grande solicitação mecânica, têm de apresentar boa ductibilidade, tenacidade, resistência ao desgaste. Por esse motivo, a maioria contém elevados teores de elementos de liga, combinados com altos teores de carbono.

Aços para trabalho a frio

Ferramentas para trabalho a frio são utilizadas em temperaturas próximas da temperatura ambiente em operações como conformação, corte, usinagem e outras.

Suas principais características são:

- evitar a perda de corte rapidamente para ferramentas de corte;
- minimizar os desgastes para ferramentas de conformação;
- boa tenacidade para evitar que a ferramenta quebre.

Em geral para aplicação a frio, pesquisam-se aços com elevado teor de carbono, alto teor de cromo (ver tabela 2.3) e com tratamento térmico específico (têmpera seguida de revenimento) para obter alta dureza, elevada resistência ao desgaste e boa tenacidade.

Tabela 2.3
Composições básicas e algumas aplicações de aços para trabalho a frio.

Aço	Composição química						Aplicações (Exemplos)
	% C	% Cr	% Mo	% V	% W	% Nb	
AISI D2	1,50	12,0	1,00	1,00	—	—	Matrizes para corte, lâminas para corte a frio.
AISI D3	2,00	12,5	—	0,20	—	—	Facas para tesouras, fieiras para trefilação.
AISI D6	2,00	12,5	—	0,07	1,00	0,15	Moldes para prensagem de cerâmicos, facas para corte de chapas.
AISI W2	1,00	5,15	—	—	—	—	Matrizes pesadas e de formas complexas, calibres, fieiras.

Aços para trabalho a quente

Em geral, utilizam-se aços de baixa liga para matrizes de forjamento e trabalho a quente. Diferentemente dos aços para trabalho a frio, os aços empregados para trabalho a quente (ver tabela 2.4), na maioria de suas aplicações, são utilizados

com baixos teores de carbono (0,25% a 0,60%). Algumas propriedades são necessárias para a vida útil desses aços ser mais bem aproveitada:

- resistência ao impacto;
- usinabilidade;
- resistência à deformação em temperaturas elevadas;
- resistência a trincas por causa das altas temperaturas.

Podem ser encontrados aços ferramenta para trabalho a quente em diversas aplicações, tais como:

- moldes para fundição sob pressão de materiais não ferrosos como alumínio, zinco e outros;
- moldes para injeção de plásticos;
- ferramentas para corte a quente.

Tabela 2.4

Composições básicas e algumas aplicações de aços para trabalho a quente.

Aço	Composição química						Aplicações (Exemplos)
	% C	% Cr	% Mo	% V	% W	% Nb	
AISI H11	0,40	5,25	1,30	0,40	—	—	Matrizes para trabalho a quente, moldes para fundição sob pressão de ligas leves.
AISI H12	0,40	5,30	1,45	0,25	1,30	—	Tesouras, pulsões, mandris e facas para trabalho a quente.
AISI H13	0,40	5,25	1,40	0,90	—	—	Matrizes para forjamento e estampagem a quente.
AISI H20	0,30	2,65	—	0,35	8,50	—	Tesouras para corte a quente e mandris para fabricação de molas.

2.4 Ferros fundidos

Os ferros fundidos são fabricados com ferro-gusa. São ligas de ferro e carbono com teor elevado de silício. Nesse caso, o carbono está presente com valores situados entre 2% e 4,5%.

Como são compostos de três elementos: ferro, carbono (2% a 4,5%) e silício (1% a 3%), são chamados de liga ternária. Quando acrescentamos outros elementos de liga para dar alguma propriedade especial à liga básica, é chamado de ferro fundido ligado.

Dependendo da quantidade de cada elemento e da maneira como o material é resfriado ou tratado termicamente, o ferro fundido é cinzento, branco, maleável ou nodular. O que determina a classificação em cinzento ou branco é a aparência da fratura depois do resfriamento. Essa aparência, por sua vez, é determinada pela forma como o carbono se apresenta depois que a massa metálica solidifica.

2.4.1 Ferro fundido cinzento

O nome cinzento se deve à fratura ser de coloração escura, por causa da grafita. Sua microestrutura apresenta grafita em forma de lamelas ou veios. Essa grafita pode atuar como lubrificante natural durante a usinagem, além de proporcionar a quebra de cavacos tornando algumas ligas fáceis de usinar.

O ferro fundido cinzento apresenta propriedades tais como: dureza, boa usinabilidade e capacidade de amortecer vibrações. Tem maior capacidade de amortecimento do que o aço por causa dos veios de grafita, que, por não terem nenhuma resistência mecânica, funcionam como vazios, o que permite a deformação plástica do material localizado ao redor deles.

É empregado em blocos e em cabeçote de motor, bases de máquinas etc.

Classificação

Os ferros fundidos são classificados segundo as normas da ABNT e da DIN. Os ferros fundidos cinzentos, por exemplo (ver figura 2.13) são designados por FC, pela ABNT, ou GG, pela norma DIN, e os algarismos que acompanham indicam o limite de resistência à tração. Exemplo: FC20 significa ferro fundido cinzento com limite de resistência em 200 MPa, ou aproximadamente 20 kgf/mm².

Figura 2.13

Ferro fundido cinzento, com evidência das lamelas ou veios de grafita.

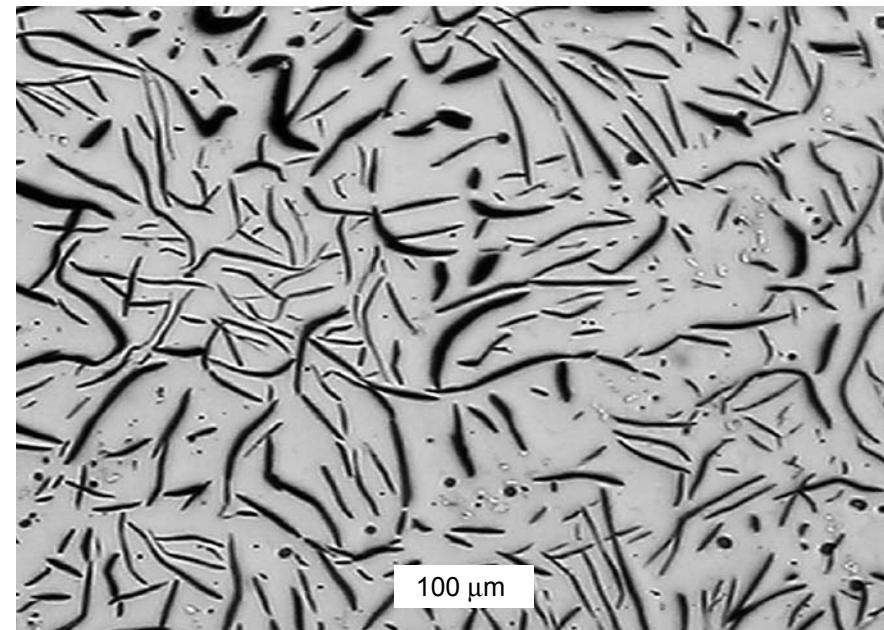


FOTO OBTRIDA EM LABORATÓRIO / UNIMEP

2.4.2 Ferro fundido branco

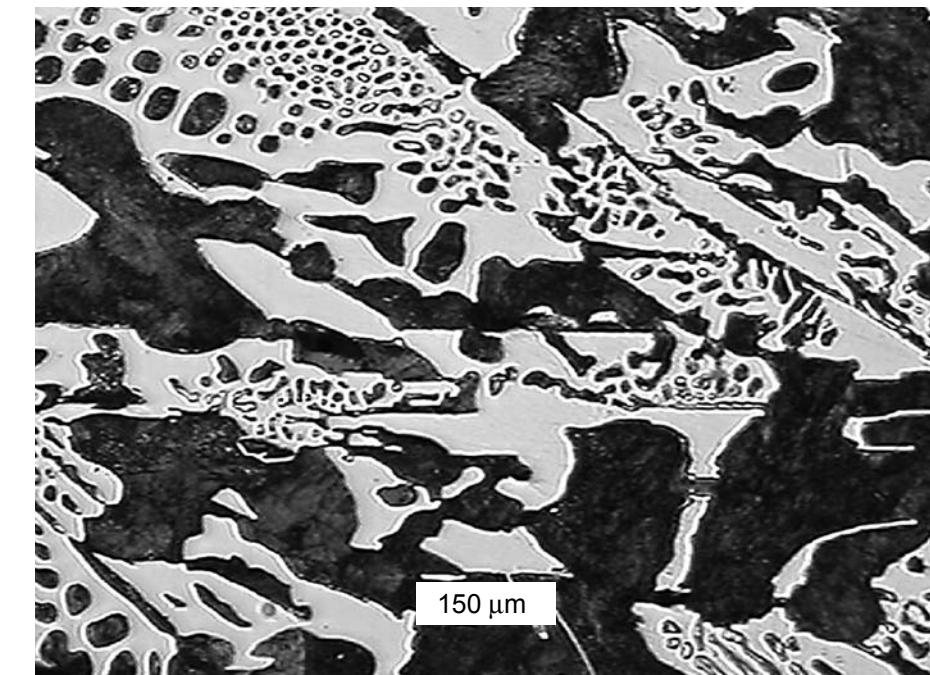
O ferro fundido branco (ver figura 2.14) é formado no processo de solidificação, quando não ocorre a formação da grafita e todo o carbono assume a forma de

carboneto de ferro (cementita). Daí sua cor clara. Para isso aconteça, tanto os teores de carbono quanto os de silício devem ser baixos, e a velocidade de resfriamento tem de ser maior. Nos ferros fundidos brancos ligados, elementos como o cromo, o molibdênio e o vanádio funcionam como estabilizadores dos carbonetos, aumentando a dureza.

Uma das propriedades físicas do ferro fundido branco é a dureza elevada, que o torna frágil, apesar de ser resistente ao desgaste, à abrasão e também à compressão. Essas propriedades físicas permanecem inalteradas mesmo nas altas temperaturas. Portanto, esse tipo de material é empregado em diversos equipamentos das indústrias de transformação química, mecânica, que exigem fragmentação de partículas, e também nos equipamentos destinados à agroindústria.

Figura 2.14

Ferro fundido branco atacado com nital (solução de álcool e ácido nítrico).



2.4.3 Ferro fundido maleável

O ferro fundido maleável é produzido a partir de um ferro fundido branco submetido a tratamento térmico, por várias horas. Esse tratamento torna as peças fabricadas com esse material mais resistentes a choques e deformações. Dependendo das condições do tratamento térmico, o ferro pode apresentar o núcleo preto ou branco.

É um material que tem as vantagens do aço e as do ferro fundido cinzento. Assim, possui ao mesmo tempo alta resistência mecânica a elevada fluidez no estado líquido, o que permite a produção de peças complexas e finas.

2.4.4 Ferro fundido nodular

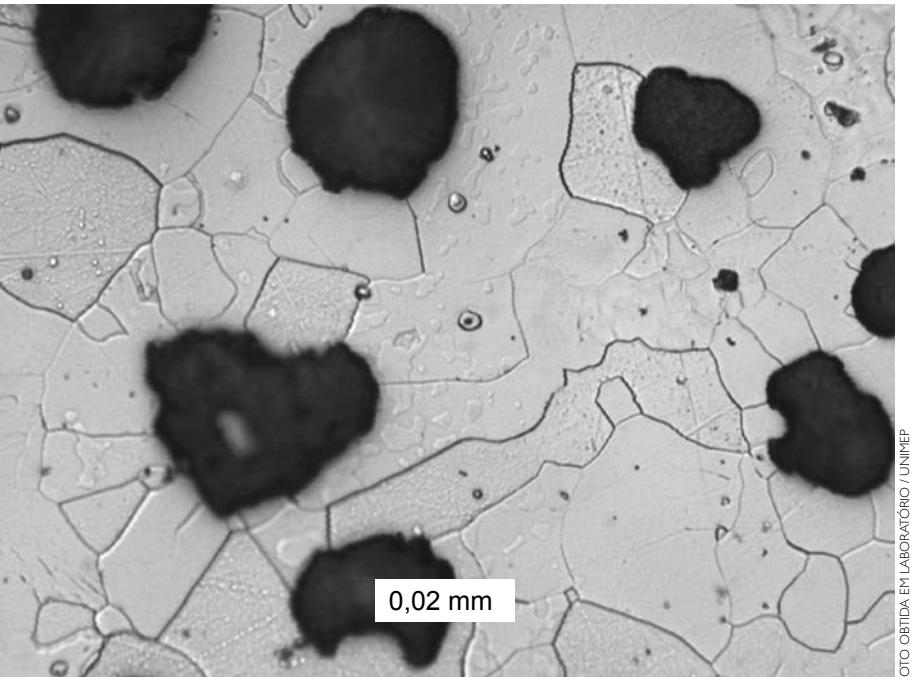
É caracterizado por apresentar em sua microestrutura (ver figura 2.15) grafita sob a forma esferoidal ou nódulos. Isso é obtido com a adição de elementos de liga, como magnésio e cério, no metal ainda líquido.

Por meio de tratamentos térmicos adequados, esse material pode apresentar propriedades mecânicas, como ductilidade, tenacidade, usinabilidade, e resistências mecânica e à corrosão melhores do que as de alguns aços-carbono.

O ferro fundido nodular está substituindo alguns tipos de aços e ferros fundidos maleáveis na maioria de suas aplicações, pelo menor custo de processamento. É conhecido também como ferro fundido dúctil.

Figura 2.15

Microestrutura bainítica



Capítulo 3

Metais não ferrosos

3.1 O alumínio e suas ligas

O alumínio puro, que é muito leve e de baixa resistência mecânica, adquire maior resistência com a adição de elementos de liga. É também um material não magnético e de boa resistência à corrosão. Apresenta densidade baixa, cerca de 30% da densidade do aço. É muito dúctil, bastante maleável e de fácil conformação e usinagem.

O alumínio é um metal retirado da bauxita (ver figura 3.1), minério que existe em grande quantidade na natureza. Cerca de 8% da crosta terrestre é constituída pela bauxita. É, pois, o metal mais abundante em nosso planeta. As propriedades apresentadas conferem a esse metal uma vasta aplicação em diversos segmentos. Como não é encontrado no estado metálico, sua obtenção passa por várias etapas de processamento.

Figura 3.1



Podemos exemplificar o processo da mineração da bauxita, que origina o alumínio, da seguinte maneira:

- remoção planejada da vegetação e do solo orgânico;
- retirada das camadas superficiais do solo (argilas e lateritas);
- beneficiamento: inicia-se na britagem, para redução de tamanho. Lavagem do minério com água para reduzir o teor de sílica;
- secagem.

O processo de produção do alumínio é constituído por duas etapas:

- obtenção da alumina;
- fabricação do alumínio.

As operações de produção do alumínio podem ser exemplificadas e resumidas em um fluxograma, conforme mostrado na figura 3.2.

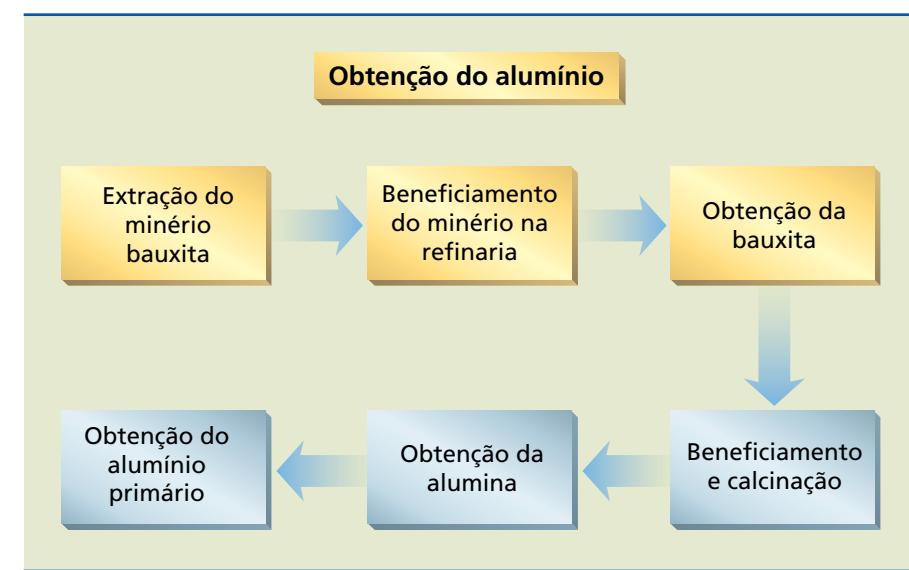


Figura 3.2
Principais fases de produção do alumínio.

O processo de produção do alumínio é caro e necessita de muita energia elétrica. Esse fato explica por que é tão interessante reciclar alumínio. Para reciclar sucata de alumínio, basta aquecê-la até a temperatura de fusão, cerca de 660 °C (1 220 °F). O alumínio derretido é transformado em lingotes e vendido para as indústrias que o utilizam, podendo ser reciclado quantas vezes forem necessárias.

O metal puro (aquele que possui 99% ou mais de alumínio), apesar de ter muitas qualidades desejáveis, apresenta baixa resistência mecânica e não responde aos tratamentos térmicos. Daí a necessidade de liga. Os principais elementos de liga são o cobre, o magnésio, o silício, o manganês e o zinco.

As características do alumínio o tornam indicado para a fabricação de laminados muito finos, embalagens, latinhas de bebidas, recipientes para a indústria química, cabos e condutores elétricos.

A composição química do alumínio e suas ligas são expressas em porcentagem, obedecendo à norma NBR 6834, da ABNT. Essa norma abrange sistemas de classificação das ligas trabalháveis (conformação) e das ligas para fundição (ver tabela 3.1).

Tabela 3.1
Ligas de alumínio.

Ligas de alumínio trabalháveis		
Liga	Características	Aplicações
1050 1100	Alumínio comercialmente puro, muito dúctil no estado recozido, indicado para deformação a frio. Estas ligas têm excelente resistência à corrosão, a qual é crescente com o aumento da pureza da liga.	Equipamentos para indústrias alimentícias, químicas, bebidas, trocadores de calor ou utensílios domésticos.
1350	Alumínio 99,5% de pureza, com condutibilidade mínima de 61% IACS.	Barramentos elétricos, peças ou equipamentos que necessitem de alta condutibilidade elétrica.

Ligas de alumínio trabalháveis		
Liga	Características	Aplicações
2017 2024 2117 2219	Ligas de AlCu, com elevada resistência mecânica, alta ductilidade, média resistência à corrosão e boa usinabilidade.	Peças usinadas e forjadas, indústria aeronáutica, transporte, máquinas e equipamentos.
3003	Ligas de AlMn, com boa resistência à corrosão, boa conformabilidade e moderada resistência mecânica. São ligas de uso geral.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, reboques, vagões, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil e fachadas.
4043 4047	Ligas de AlSi utilizadas em varetas de solda.	Soldagem das ligas das séries 1XXX, 3XXX e 6XXX.
5005 5052 5056	Ligas de AlMg são dúcteis no estado recozido, mas endurecem rapidamente sob trabalho a frio. Alta resistência à corrosão em ambientes marítimos. Em geral a resistência mecânica aumenta com os teores crescentes de Mg.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
6053 6061 6063 6351	Ligas de AlMgSi, tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na têmpora T6.	Carrocerias de ônibus e de furgões, equipamentos rodoviários e veículos em geral, estruturas solicitadas, reboques, vagões ferroviários, elementos estruturais, utensílios domésticos, equipamentos para indústria química e alimentícia, telhas, cumeeiras, rufos, calhas, forros, construção civil, fachadas e embarcações.
7075 7178	Ligas de AlZn, tratáveis termicamente, alta resistência mecânica, boa resistência à corrosão e boa conformabilidade.	Peças sujeitas aos mais elevados esforços mecânicos em indústria aeronáutica, militar, máquinas e equipamentos, moldes para injeção de plástico e estruturas.

aplicadas em linhas de combustível e de óleo em aeronaves, tanques de combustível, rebites e arames.

Ligas tratadas termicamente de média resistência

Contêm magnésio e silício (ligas das séries 6XXX) e possuem elevada resistência à corrosão, mas perdem um pouco da capacidade de serem trabalhadas. Esses tipos de ligas são geralmente aplicadas em tubulações.

Ligas tratadas termicamente de elevada resistência

São as ligas de séries 2XXX ou séries 7XXX, tendo o cobre e o zinco como os principais elementos. São tão resistentes quanto o aço estrutural, mas necessitam de proteção superficial. Essas ligas são utilizadas em aviação por causa da relação resistência/peso. Suas principais aplicações se resumem a estruturas de aeronaves e outras submetidas a tensões elevadas.

3.1.2 Ligas de fundição

Desenvolvidas pela engenharia, as ligas de fundição são largamente utilizadas, pois possibilitam ao produto ter propriedades diversas e de muitas aplicações. Um exemplo é a adição de silício, praticamente um semicondutor com propriedades semelhantes às dos metais e de alguns não metais. Isso faz com que sejam menos viscosas e possam ser trabalhadas de modo mais adequado. Essas ligas exigem, sobretudo, um tratamento térmico, pois a temperatura pode alterar seu arranjo estrutural. Controlada essa variável, obtém-se um produto de aceitação comercial e industrial.

Figura 3.3



MIKHAIL OLYANENSHUTTERSTOCK

3.1.1 Séries de ligas trabalháveis

Ligas da série 3XXX

Muito próximas das propriedades do metal alumínio, quimicamente representado pelo símbolo Al. Pode-se observar que sua conformação e sua resistência à corrosão são muito próximas às desse metal. Todavia, a vantagem está na maior propriedade mecânica, permitindo assim que se produzam diversas peças para uso domiciliar. Uma vez conformado, conserva a forma por mais tempo.

Ligas das séries 5XXX

São as que apresentam maior resistência mecânica. Estão disponíveis no mercado em vários formatos, como lâminas, chapas, perfis, tubos, arames etc. São

Outra vantagem conseguida com essas ligas, também por causa da adição do silício, é a obtenção de peças sem trincas. Por seus constituintes possuírem raios atômicos muito próximos e eletronegatividade semelhante, elas podem ser combinadas para resultar em um produto novo.

Outro elemento muito comum utilizado nas ligas e que permite uma variedade muito ampla de aplicações é o cobre. Uma de suas propriedades é a dureza. Exemplo disso é seu uso nas alianças de ouro. O ouro é muito dúctil e não permaneceria com a forma original no decorrer do tempo. É muito comum também nas válvulas, esferas e gavetas usadas em tubulações de água.

Um dos materiais que oferece maior dificuldade de manuseio e operação para obtenção de ligas é o magnésio, cuja densidade é um terço da do alumínio. Também pode ser observado pela tabela periódica que o magnésio possui um raio atômico maior e estrutura cristalina hexagonal, diferentemente do alumínio, que tem estrutura cúbica de face centrada. Em relação ao ponto de ebulição, o Mg se funde antes do alumínio, o que favorece a formação de borras. É muito utilizado para proteção em veículos marítimos por ter propriedades semelhantes às do sódio. A eletronegatividade ou positividade dos dois elementos são muito próximas, por isso eles não se combinam, característica que permite proteção maior nos navios e barcos. A tabela 3.2 apresenta os principais elementos de liga e suas vantagens e desvantagens.

Tabela 3.2

Principais elementos de liga e seus efeitos.

Elemento de liga	Porcentagem típica	Vantagens	Desvantagens
Cu	3% a 11%	Confere alta resistência mecânica. Facilita trabalho de usinagem.	Diminui resistência à corrosão salina. Fragilidade a quente.
Si	12% a 13%	Aumenta fluidez na fundição. Reduz coeficiente de dilatação. Melhora a soldabilidade.	Diminui usinabilidade.
Mg	> 8%	Confere alta soldabilidade. Aumenta resistência à corrosão em meio salino. Possibilita tratamento térmico de ligas de Al-Si.	Dificulta fundição por causa da oxidação (borra) e absorção de impurezas (Fe e outros).
Zn	0,05% a 2,2%	Sempre associado ao Mg. Confere alta resistência mecânica. Aumenta ductilidade.	Diminui resistência à corrosão salina. Fragilidade a quente. Alta contração em fundição.
Mn	0,5% a 10,7%	Como corretor. Aumenta resistência mecânica a quente.	Pequena diminuição da ductilidade.

A tabela 3.3 apresenta a designação das ligas de alumínio destinadas à fundição.

Tabela 3.3
Ligas de alumínio utilizadas em fundição.

Liga	Características	Aplicações
150.0	Alumínio comercialmente puro com excelente resistência à corrosão e boa condutividade elétrica (57% IACS), não tratável termicamente. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão.	Acessórios utilizados nas indústrias químicas e de alimentação, rotores, condutores elétricos e equipamentos industriais.
242.0	Excelentes propriedades mecânicas em temperaturas elevadas e muito boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em molde permanente e areia.	Pistões e cabeçotes para aviões, motores a diesel e de motocicletas.
295.0	Média resistência, boa usinabilidade. Baixa resistência à corrosão. Fundição em areia.	Elementos estruturais de máquinas, equipamentos e aviação, cárter, rodas de ônibus e de aviões.
319.0	Resistência mecânica moderada e boas características de fundição e usinagem. Fundição em molde permanente e em areia.	Uso geral, além de revestimentos e caixas de equipamentos elétricos.
355.0	Média resistência mecânica, com excelente fluidez, boa usinabilidade após tratamento térmico, boa estanqueidade sob pressão. Fundição em molde permanente e areia.	Peças complexas ou sob tensão, cabeçote de cilindros, corpo de válvulas, camisa de água, união para mangueiras, acessórios para indústria de máquinas e na construção civil.
C355.0	Similar a 355.0, mas com maior resistência mecânica, excelente característica de alimentação (ideal para peças fundidas espessas). Fundição em molde permanente e areia.	Peças estruturais sob tensão, componentes de aviação e de mísseis, acessórios de máquinas e equipamentos, construção civil, fachadas e embarcações.
356.0	Média resistência mecânica, excelente fluidez e estanqueidade sob pressão, boa resistência à corrosão e usinabilidade. Fundição em molde permanente e areia.	Peças fundidas com seções finas, cilindros, válvulas, cabeçotes, blocos de motores, ferramentas pneumáticas e componentes arquitetrais anodizados na cor cinza.
357.0	Elevada resistência mecânica, excelente fluidez e resistência à corrosão. Fundição em molde permanente e areia.	Peças sob tensão que exigem relação de peso com elevadas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão, tais como componentes de aviação e de mísseis.
350.0	Excelente estanqueidade sob pressão, resistência à corrosão e muito boa usinabilidade. Fundição sob pressão.	Recipientes e componentes de iluminação, peças externas de motores e utensílios domésticos.
380.0	Bom acabamento superficial, muito boa usinabilidade, podendo ser anodizada. Fundição sob pressão.	Peças de utensílios domésticos em geral.
A380.0	Elevada resistência mecânica tanto em locais com temperaturas ambiente como elevadas, muito boa fluidez, boa estanqueidade sob pressão, usinabilidade e resistência à corrosão. Fundição sob pressão.	Peças para utensílios domésticos em geral, indústria elétrica e automotiva.

Liga	Características	Aplicações
413.0	Excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão, baixa usinabilidade. Fundição sob pressão.	Caixas de medidores de energia elétrica, peças externas de motores e peças fundidas com seções finas que requerem boa resistência à corrosão.
443.0	Baixa resistência mecânica, muito boa fluidez, excelente estanqueidade sob pressão e resistência à corrosão. Fundição em molde permanente, areia e sob pressão.	Peças fundidas com seções finas, utensílios domésticos, moldes para artefatos de borracha e componentes arquiteturais anodizados na cor cinza.
518.0	Excelente usinabilidade e resistência à corrosão, alta ductilidade, baixa fluidez e excelentes propriedades de acabamento superficial. Fundição sob pressão.	Aplicações marítimas, acessórios ornamentais de máquinas e equipamentos.
520.0	Excelente resistência mecânica, inclusive sob cargas de impacto, boas condições de anodização e de polimento, baixa fluidez, excelente usinabilidade e resistência à corrosão, mas suscetível à corrosão sob tensão em temperaturas acima de 120 °C. Fundição em areia.	Peças submetidas a elevadas tensões na engenharia de aviação, marítima e de transporte.
712.0	Boas propriedades mecânicas, envelhece naturalmente, se retempera após soldagem, excelente usinabilidade e boa resistência à corrosão. Fundição em areia.	Peças fundidas para conjuntos de brasagem.

3.2 Cobre

O cobre é extraído na natureza em estado nativo e combinado formando minérios que podem ser óxidos ou sulfetos, conforme apareça associado ao oxigênio ou ao enxofre. Os principais minérios de cobre são a calcosita (sulfeto de cobre), calcopirita (sulfeto duplo de ferro e cobre) e cuprita (óxido de cobre).

Figura 3.4

Cobre.



O tratamento metalúrgico consiste simplesmente na redução do minério, feita em forno de cuba com combustível e fundente.

Quando se trata o minério sulfurado, o processo consiste em aquecer-lo sem fusão, que elimina o enxofre. Em seguida, faz-se a redução, obtendo-se o cobre bruto em um forno de afinação. Posteriormente faz-se o refino.

O cobre é um metal não ferroso e não magnético que se funde a 1080 °C. Depois da prata, é o melhor condutor de eletricidade e calor. É dúctil e maleável e pode ser laminado a frio ou a quente. Ao ser laminado a frio, estirado ou estampado, adquire um endurecimento superficial que aumenta sua resistência, porém diminui a maleabilidade. Isso o torna mais frágil, o que é corrigido com o tratamento térmico.

O cobre pode ser usado como elemento de liga e, em geral, é adicionado para aumentar a resistência à corrosão. Em relação ao alumínio, a adição de cobre confere a essa liga maior resistência mecânica.

Para melhorarmos ainda mais suas propriedades, podemos adicionar elementos de ligas que lhe dão outras características. As principais ligas de cobre são: bronze, latão e ligas de cobre-níquel.

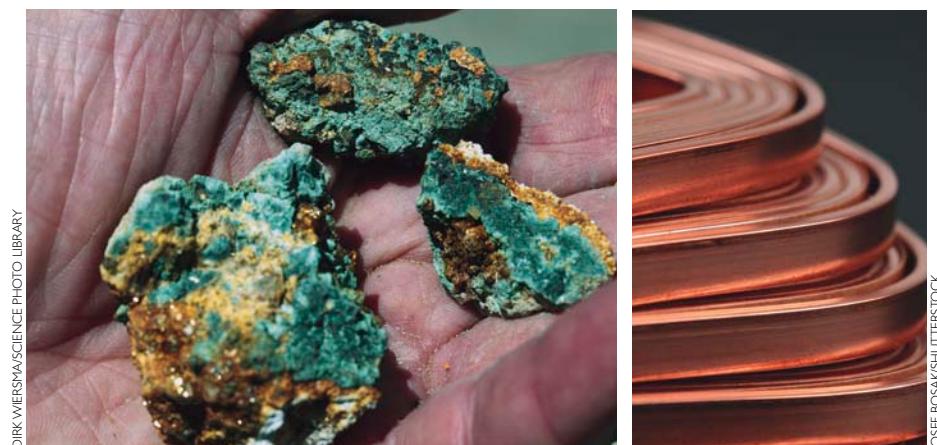


Figura 3.5
Minério de sulfeto de cobre; cobre em fitas.

De acordo com a norma ASTM, as ligas de cobre se classificam da seguinte maneira.

Ligas da série C IXX

Ligas de cobre, que devem ter pureza de 99,3%.

As ligas de cobre com baixo teor de liga, isto é, aquelas nas quais os teores de todos os elementos de liga somados não ultrapassem 1% são denominadas cobre ligado.

Muitas vezes, o tratamento térmico é fundamental para a composição de melhores resistências dessas novas ligas ao desgaste.

Ligas da série C 2XX

Essa liga é também conhecida comercialmente como **latão binário** (cobre-zinco). São permitidos outros metais, entretanto são considerados como impurezas, nada mais. Isso representa teores muitos baixos de outros elementos metálicos da tabela periódica. Não é de aplicação como a Al-Mg, todavia, pode ser utilizada em ambientes de pouca agressividade química. No tocante à conformabilidade, mostra-se muito bem aceita no mercado consumidor.

Ligas da série C 3XX

Também conhecidas como **latão com chumbo**, essas ligas misturam três metais em sua formação, cobre, zinco e chumbo (Cu-Zn-Pb). O chumbo, por ser dúctil, é adicionado com o propósito principal de aumentar a usinabilidade. Por esse motivo são ligas de fácil manuseio para a indústria mecânica.

Nessas ligas observa-se a formação de pequenos globos, distribuídos aleatoriamente. São partículas de chumbo que não se combinam com o cobre nem com o zinco e com nenhum elemento de liga secundário.

Ligas da série C 4XX

São ligas de latão com estanho (Cu-Zn-Sn). Parte do zinco dos latões é trocada por átomos de estanho. Com essa troca, as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão são melhoradas, o que possibilita a exposição das ligas a ambientes muito mais agressivos, como soluções salinas (NaCl) e oceanos. Apesar de o zinco ser usado como elemento de sacrifício em navios, o estanho agrupa essa propriedade com maior eficiência. O estanho é mais eletronegativo que o zinco, não obstante é adicionado por sua propriedade mecânica de resistência.

Ligas da série C 5XX

São ligas conhecidas como **bronzes** (cobre-estanho, com ou sem a presença do elemento fósforo, P). A concentração de estanho varia de 2% a 11% nas ligas trabalhadas. Nas ligas fundidas, a variação é de 5% a 11%. Observa-se o aumento da resistência com o aumento proporcional de estanho (Sn).

Em relação à ductilidade, ocorre o inverso: um percentual acima de 5% faz com que seja diminuída sensivelmente. Uma alternativa para melhorar esses parâmetros foi a adição do elemento químico fósforo. Um adicional em torno de menos de 0,5% possibilita a melhora e, além disso, impede que a camada externa em contato com o ambiente se oxide. Essa liga é conhecida como bronze-fósforo.

Ligas da série C 6XX

São ligas de cobre-alumínio e cobre-silício, também chamadas **bronzes de alumínio**, porque contêm em sua composição até 14% de alumínio. Por ter

na última eletrosfera quatro elétrons, o alumínio não permite a oxidação com facilidade. Essa característica confere alta resistência contra a corrosão em soluções ácidas (principalmente com ácido sulfúrico) e na água do mar.

As ligas da série C 6XX podem conter em sua estrutura outros metais além do alumínio, como níquel, ferro, silício, arsênio e manganês. A boa resiliência e ductilidade são propriedades notáveis nessas ligas. O fato de resistirem à corrosão e aos meios agressivos possibilita seu uso em indústrias de transformação química, bem como na navegação.

Ligas da série C 7XX

Muito próxima das propriedades do aço inoxidável, essa liga é conhecida como **cupro-níquel**. O percentual de níquel atinge 45%. A resistência à corrosão e a altas temperaturas é semelhante à do aço inox. A concentração de 2% do metal manganês e 1,5% de ferro a torna ainda mais resistente. Fluidos com altas temperaturas podem ser transportados em tubulações confecionadas com essa liga.

Ligas das séries C 8XX e C 9XX

São destinadas às ligas fundidas e, de acordo com a norma ASTM – adotada do sistema da Cooper Development Association (CDA) –, temos a seguinte classificação:

C 80100 - C 81100 = Cobre comercialmente puro 99% Cu

C 81300 - C 82800 = Ligas com teor de cobre superior a 94%

C 83300 - C 85800 = Latões vermelhos ao chumbo Cu-Zn-Sn-Pb (teor de cobre de 75%-89%)

C 85200 - C 85800 = Latões amarelos ao chumbo Cu-Zn-Sn-Pb (teor de cobre de 57%-74%)

C 86100 - C 86800 = Bronzes ao chumbo e ao manganês Cu-Zn-Mn-Fe-Pb

C 87300 - C 87900 = Bronzes e latões ao silício Cu-Zn-Si

C 90200 - C 94500 = Bronzes ao estanho e ao chumbo Cu-Sn-Zn-Pb

C 94700 - C 94900 = Bronzes ao níquel e ao estanho Cu-Ni-Sn-Zn-P

C 95200 - C 95810 = Bronzes ao alumínio Cu-Al-Fe-Ni

C 96200 - C 96800 = Cobre-níquel Cu-Ni-Fe

C 97300 - C 97800 = Níquel prata Cu-Ni-Zn-Pb-Sn

C 98200 - C 98800 = Cobres ao chumbo Cu-Pb

C 99300 - C 99750 = Ligas especiais

3.3 O magnésio e suas ligas

O magnésio é um material muito leve e se torna líquido na temperatura de 651 °C. Esse metal é muito utilizado na produção de elementos de liga, tanto no aço quanto no alumínio. Neste último é mais usual por aumentar a resistência mecânica do alumínio.

3.4 O titânio e suas ligas

O titânio tem ótima resistência específica. Sua dureza se compara à de um aço ABNT 1030 no estado normalizado. Tem alto ponto de fusão, elevada resistência mecânica, é dúctil e facilmente forjado e usinado. As ligas de titânio são relativamente caras, reagem com outros materiais em altas temperaturas e apresentam elevada resistência à corrosão (atmosfera, água do mar, ambientes industriais).

Figura 3.6

Barras de titânio



KLAUS GULDRENDSEN SCIENCE PHOTO LIBRARY / GETTY IMAGES

Possui resistência à tração praticamente igual à do alumínio e do magnésio, mas não apresenta a baixa densidade desses metais. Sua densidade se aproxima mais da do aço e do cobre.

Usa-se o zinco como pigmento em tintas, como elemento de liga com o cobre, na produção do latão e, sobretudo, para proteger outros metais, principalmente o aço, por meio da galvanização.

3.7 O estanho

O estanho é um metal branco, brilhante, bastante maleável e o mais fusível dos metais usuais. Seu ponto de fusão é 235 °C. É resistente à corrosão, bom condutor de eletricidade, porém não magnético. É usado como material protetor.

A folha de flandres, empregada na fabricação de latas de conserva, consiste em chapas finas de ferro cobertas a fogo com uma camada fina de estanho. Combina a resistência do aço com a resistência à corrosão, é de fácil soldagem e tem a boa aparência do estanho.

Ligas antifricção podem ser obtidas à base de estanho. Apresentam plasticidade e aderência muito grandes e são utilizadas na confecção de mancais.

O estanho puro ou associado com antimônio e cobre é matéria-prima para a produção de material de solda.

3.5 O chumbo

O chumbo é um metal de baixa tenacidade, porém dúctil e maleável. É bom condutor de eletricidade, embora não seja magnético. É mau condutor de calor e se funde a 327 °C. Seu minério é a galena (PbS).

O chumbo oxida-se com facilidade em contato com o ar. Outras propriedades que permitem grande variedade de aplicações são: alta densidade, flexibilidade, elevado coeficiente de expansão térmica, boa resistência à corrosão, condutibilidade elétrica e facilidade em se fundir e formar ligas com outros elementos.

É um metal que permite a reciclagem de sua sucata. No Brasil, o reaproveitamento dessa sucata corresponde a aproximadamente um terço das necessidades dessa matéria-prima.

3.6 O zinco

O zinco é um metal não ferroso, cuja temperatura de fusão é 420 °C. É produzido a partir da blenda e da calamina. Condutor de eletricidade, é, porém, um metal não magnético. É mais barato que a maioria dos metais não ferrosos.

Capítulo 4

**Polímeros,
cerâmicos e
compósitos**

4.1 Materiais poliméricos

A maioria dos materiais poliméricos é formada por cadeias moleculares orgânicas, motivo pelo qual o carbono se faz presente em todos os polímeros. Eles não possuem estrutura cristalina, mas alguns exibem regiões cristalinas.

De acordo com a estrutura interna, a maioria dos polímeros possui baixa condutividade térmica e elétrica, e normalmente eles são utilizados como isolantes. Têm grande importância na confecção de dispositivos e equipamentos eletrônicos.

Em geral, os materiais poliméricos têm baixo peso específico (densidade), apresentam temperatura de decomposição relativamente baixa e fácil conformação.

4.1.1 Plásticos

Segundo o British Standards Institute (BSI – Instituto Britânico de Padrões), “plástico é definido como um grande grupo de materiais sólidos, compostos eminentemente orgânicos, usualmente tendo por base resinas sintéticas ou polímeros naturais modificados e que possuem, em geral, apreciável resistência mecânica”.

O plástico original, chamado nitrocelulose, é oriundo da celulose usualmente na forma de polpa de madeira, enquanto o fenol e o formaldeído, necessários à confecção da resina fenol-formaldeído, são obtidos do carvão. Hoje, a ênfase tem sido transferida, muito amplamente, para o petróleo e o gás natural, e grande parte da produção de plásticos é baseada nessas duas matérias-primas.

Figura 4.1
Produção de fenol-formaldeído.



CHARLES D'WINTERS SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

Os plásticos são constituídos pelas chamadas resinas básicas, oriundas do processo de polimerização, copolimerização e policondensação, que são as verdadeiras substâncias plásticas. Adiciona-se a essas resinas uma série de compostos químicos, denominados aditivos, que modificam ou reforçam as propriedades das resinas.

Os aditivos citados são substâncias tais como:

- estabilizadores, que controlam a degradação pela luz e pelo calor;
- materiais de enchimento, que melhoram a resistência do material;
- plastificantes, que reduzem sua fragilidade e os tornam flexíveis.

Os materiais plásticos, assim como os materiais metálicos, devem apresentar um conjunto de características que os torne úteis para determinadas aplicações. São propriedades:

- ópticas, como cor e transparência;
- térmicas, ou de resistência ao calor;
- elétricas, ou de resistência dielétrica;
- mecânicas, ou de resistência mecânica;
- químicas, ou de resistência à ação de moléculas estranhas.

Além dessas, outras duas propriedades são particularmente importantes nos materiais plásticos: temperatura de empenamento e temperatura recomendada de serviço.

Os plásticos são classificados, do ponto de vista técnico, segundo duas categorias: termoplásticos ou termofixos (ou termoestáveis).

Termoplásticos

Necessitam de calor para serem conformados mecanicamente. Esses materiais podem ser aquecidos e deformados várias vezes. Sofrem alterações com a temperatura e amolecem a partir de 60 °C.

Figura 4.2



MONA GRODZKA SHUTTERSTOCK

Exemplos típicos de termoplásticos são: polietileno, policloreto de vinila (PVC), polipropileno, poliestireno, náilon e acrílico. A tabela 4.1 apresenta os principais termoplásticos, suas características e aplicações.

Termoplásticos		
Nome	Características	Aplicações
Acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS)	Excelente resistência mecânica, dureza.	Forro para refrigeradores, equipamentos para jardinagem.
Acrílico	Extremamente transparente; propriedades mecânicas razoáveis.	Lentes, janelas transparentes de aeronaves, material de desenho.
Pолietileno (PE)	Resistência química; isolante elétrico; boa dureza; coeficiente de atrito relativamente baixo.	Brinquedos, garrafas flexíveis, copos, bandejas de gelo, embalagens, baldes, sacos de lixo, sacos de embalagens.
Polipropileno (PP)	Resistência à distorção a quente e à fadiga; quimicamente inerte; relativamente barato; pouca resistência à luz ultravioleta.	Embalagens de filmes, gabinetes de TV, malas, cadeiras, poltronas, para-choques de automóveis.
Poliestireno (PS)	Excelentes propriedades elétricas e ópticas; boa estabilidade térmica e dimensional; relativamente barato.	Caixas de bateria, aplicações domésticas, brinquedos, painéis luminosos, materiais descartáveis.
Poliéster	Um dos filmes plásticos mais resistentes; resistência à fadiga, rasgo, umidade, ácidos, graxas, óleos solvientes.	Gravações magnéticas, roupas, automóveis, recipientes para bebidas.

Tabela 4.1

Características e aplicações típicas dos materiais termoplásticos

Termofixos

Os materiais termofixos, ao contrário dos termoplásticos, não podem ser amolecidos e remoldados. Sofrem modificações químicas com o calor, e sua temperatura de amolecimento é bastante elevada (acima de 250 °C).

Figura 4.3

Materiais termofixos, como o fiberglass, são usados na construção de barcos.



A tabela 4.2 apresenta os principais termofixos, suas características e aplicações.

Termofixos		
Nome	Características	Aplicações
Epóxi	Excelentes combinações entre propriedades mecânicas e resistência à corrosão; boa adesão; relativamente barato; boas propriedades elétricas.	Moldes elétricos, tintas protetoras.
Poliéster	Excelentes propriedades elétricas; baixo custo; pode ser usado em altas temperaturas.	Capacetes, ventiladores, barcos de fiberglass, componentes para automóveis, cadeiras.

Tabela 4.2

Características e aplicações típicas dos materiais termofixos.

4.1.2 Elastômeros

De modo geral, elastômeros são materiais semelhantes à borracha, que possuem a propriedade de readquirir o tamanho inicial após terem sofrido grande deformação em um período relativamente curto. Como material de construção, os elastômeros precisam ter as seguintes propriedades:

- grande elasticidade;
- pequena rigidez, isto é, pequenas tensões para grandes deformações;
- alta resiliência, isto é, capacidade de restituir a energia recebida com pequena perda.

O comportamento elástico que deve ser dependente do tempo, isto é, precisa existir um intervalo finito de tempo para o material retornar a sua forma primitiva.

Sua dureza é um dos dados mais citados. Dentro de uma faixa de precisão relativamente larga, pode-se relacionar o módulo de elasticidade do elastômero a sua dureza. Esses valores podem ser adotados nas situações em que a precisão não seja essencial.

Os elastômeros são raramente utilizados com carregamento de tração. No entanto, esse carregamento é em geral usado para efeito comparativo. Valores pequenos ou elevados indicam também valores pequenos ou elevados para as demais propriedades mecânicas.

Os elastômeros mais conhecidos são:

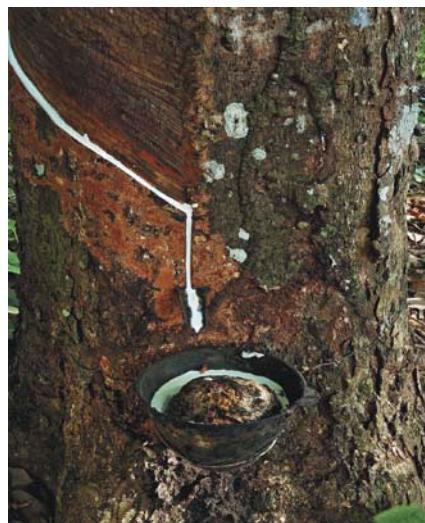
Borracha natural

A borracha natural é uma resina de grande variedade de árvores e plantas, mas em especial da *Hevea brasiliensis*.

A borracha crua não tem a elasticidade e outras propriedades da borracha comercial. Ela é purificada e vulcanizada pelo aquecimento com enxofre em teor que varia de 3% a 3,5%, dependendo da classe da borracha desejada.

Figura 4.4

Extração de resina.



Os fatores mais importantes da borracha são elasticidade e flexibilidade, mas também são fundamentais as propriedades de adesão e resistência à água. Sua flexibilidade mantém-se até aproximadamente -55 °C. Pela modificação em sua composição pode-se cobrir uma faixa larga de condições, até mesmo alta resiliência e resistência mecânica.

O principal inconveniente da borracha natural é sua fraca resistência aos óleos minerais.

Borracha sintética

Não é propriamente borracha, mas um produto semelhante. Não tem a mesma elasticidade, porém é mais resistente à ruptura, ao envelhecimento, ao calor, ao óleo mineral e aos agentes químicos.

Figura 4.5

Folha de borracha sintética na usina de Goodrich, 1941.



4.2 Materiais cerâmicos

São materiais inorgânicos, compostos por elementos metálicos e não metálicos que se unem por ligações químicas. Conforme essa composição, eles podem ser cristalinos, não cristalinos ou uma mistura de ambos. Tijolos, vidros (sílica – SiO₂), louças, isolantes, abrasivos, titanato de bário (transdutores), entre outros, são exemplos de materiais cerâmicos.

Esses materiais se caracterizam por sua grande resistência a altas temperaturas, boa resistência à corrosão, baixa condutividade (elétrica e térmica), pouca plasticidade, dureza elevada e extrema fragilidade. Com frequência, os materiais cerâmicos são subdivididos em: cerâmica vermelha, cerâmica branca, vidros e cerâmicas especiais.

O primeiro material estrutural inorgânico a adquirir propriedades completamente novas como resultado de ação humana intencional foi a argila. Essa ação humana – a “queima” da argila (sinterização) – tornou possível a fabricação de potes, panelas e outros utensílios cerâmicos.

Figura 4.6

Na composição das cerâmicas vermelha (telhas, tijolos e manilhas) e branca (azulejos, sanitários e porcelanas) entram, principalmente, silicatos hidratados de alumínio, como caulinita, haloisita, pirofilita e montmorilonita. A cor da cerâmica vermelha é resultado da adição de óxido de ferro ao processo de fabricação.

Pulverizada e suficientemente umedecida, a argila torna-se plástica, sendo nessa condição modelada. Depois de seca, torna-se rígida e, após queima em temperatura elevada, adquire alta dureza.

As cerâmicas tradicionais (à base de sílica, alumina ou magnésia) são empregadas, como material refratário, em fornos e dispositivos utilizados na fusão e no tratamento térmico de metais e ligas. Enquanto as cerâmicas tradicionais são

obtidas a partir de matérias-primas naturais, argilo-minerais e areia, as cerâmicas avançadas têm composição definida, sendo obtidas de óxidos, nitretos, carbonetos e boretos de alta pureza. Nesses novos materiais, a dimensão, a forma e a distribuição das partículas são controladas.

Muitos novos materiais cerâmicos estão sendo desenvolvidos para aplicações diversas, como para peças de motores de combustão interna. Nesse caso, o material apresenta a vantagem de ser leve, ter resistência e dureza elevadas, alta resistência ao calor e propriedades isolantes. Os materiais cerâmicos também desempenham papel importante na construção de fornos metalúrgicos, por serem bons isolantes térmicos e apresentarem alta resistência ao calor.

Figura 4.7

Materiais cerâmicos são usados na estrutura de aeronaves e espaçonaves.



Até mesmo dentistas utilizam esses novos materiais: próteses, coroas, cimentos e implantes dentários modernos são hoje desenvolvidos com base em compostos cerâmicos.

Outra aplicação desses novos materiais são os filtros de cerâmica de porcelana porosa, que podem isolar micróbios e bactérias do leite e da água potável, separar poeira de gases e remover partículas sólidas de líquidos.

Materiais cerâmicos são essenciais para a indústria de construção e a indústria petroquímica, na geração de eletricidade, nas comunicações, na exploração espacial, na medicina e no sanitário. São úteis também como componentes de motores de automóveis, de ferramentas de corte, na blindagem de veículos militares, na estrutura de aeronaves etc.

Cerâmicas semicondutoras tornaram possível o rádio transistorizado e a televisão portátil, que revolucionaram o modo de pensar a educação e a diversão.

Componentes eletrônicos e circuitos integrados complexos têm sido fabricados em material cerâmico. Cerâmicas monocristais têm importantes aplicações mecânicas, elétricas e ópticas.

São confeccionados em cerâmica desde itens delicados a ponto de um leve toque quebrá-los a itens resistentes a ponto de proteger nosso corpo de disparos de armas de fogo. Também são confeccionados nesse material artigos tão duradouros que depois de milhares de anos continuam nos revelando a história de nossos mais remotos ancestrais.

4.3 Materiais compósitos

São produtos em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais. São formados por uma fase contínua polimérica, chamada matriz, reforçada por uma fase descontínua (fibras). Normalmente a fase descontínua é constituída de fibras de vidro, de aramida ou de carbono, dependendo da aplicação final.

A fase polimérica é em geral composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturada, dissolvida em solvente reativo, ou ainda uma resina ou epóxi. Resinas especiais como o silicone são utilizadas em aplicações especiais.

Na moldagem dessas duas fases ocorre um processo de cura, conhecido como *crosslinking* polimérico, que acopla as duas fases proporcionando ao material final propriedades especiais que definem sua moderna e ampla aplicabilidade.

A massa específica dos compósitos é baixa, o que possibilita sua aplicação em máquinas e equipamentos para redução de peso e também na economia de combustíveis. É cada vez mais comum o uso na aviação e nos veículos automotores, pois a busca por meios menos poluentes e que consumam menos combustíveis fósseis é fundamental para o desenvolvimento de uma economia sustentável.

Figura 4.8

Grafite epóxi impregnado de fibras sendo enrolada em um núcleo de metal.



Capítulo 5

Tratamento térmico dos materiais metálicos



O tratamento térmico é constituído basicamente de aquecimento dos metais a determinada temperatura, seguido de um resfriamento controlado, considerando alguns fatores, tais como: tempo de aquecimento e resfriamento, temperatura (em função do tamanho da peça), profundidade do aquecimento e/ou adição de componentes químicos na superfície da peça, que variam em função do tamanho e da composição química do material da peça e das alterações das propriedades que se deseja.

A definição do tratamento térmico é feita no projeto da peça, com a finalidade da escolha ideal do tratamento e do material que a peça vai conter.

Objetivos dos tratamentos térmicos:

- homogeneizar peças que sofreram aquecimento excessivo, como soldagem e peças brutas de fundição;
- aumento ou diminuição da dureza para diversas aplicações, como melhora na estampabilidade, usinagem ou peças que necessitam melhora na resistência ao desgaste;
- melhora na resistência mecânica;
- melhora na resistência à corrosão;
- melhora na resistência ao calor;
- modificação das propriedades elétricas e magnéticas.

Os tratamentos térmicos podem ser divididos em:

- **Tratamento térmico:** envolve o aquecimento de peças somente com o calor, sem adição de elementos químicos na superfície do aço.
- **Tratamento termoquímico:** além do calor, envolve a adição de elementos químicos na superfície do aço.

5.1 Tratamento térmico

5.1.1 Recozimento

O principal objetivo do recozimento é reduzir a dureza do aço, que pode ter sido causada por tratamentos como: conformação a frio (encruamento), tratamentos térmicos de endurecimento, processos de soldagem, fundição ou outros que geram endurecimento.

O tratamento consiste em elevar a temperatura da peça até a região da austenita e resfriar lentamente. Essa temperatura depende do teor de carbono do material a ser tratado. Os fabricantes sempre indicam a temperatura e a forma de resfriamento necessárias a cada tipo de aço por eles fabricado. Geralmente, para os aços de baixo carbono indica-se o resfriamento com a peça envolvida em areia e para os aços de alto carbono, o resfriamento controlado dentro do forno.

O recozimento altera as propriedades mecânicas e elétricas, assim como a microestrutura. É aplicado quando se deseja melhorar a condição de trabalho como usinagem, estampagem, ou outro tipo de deformação provocada pela queda na dureza e resistência mecânica.

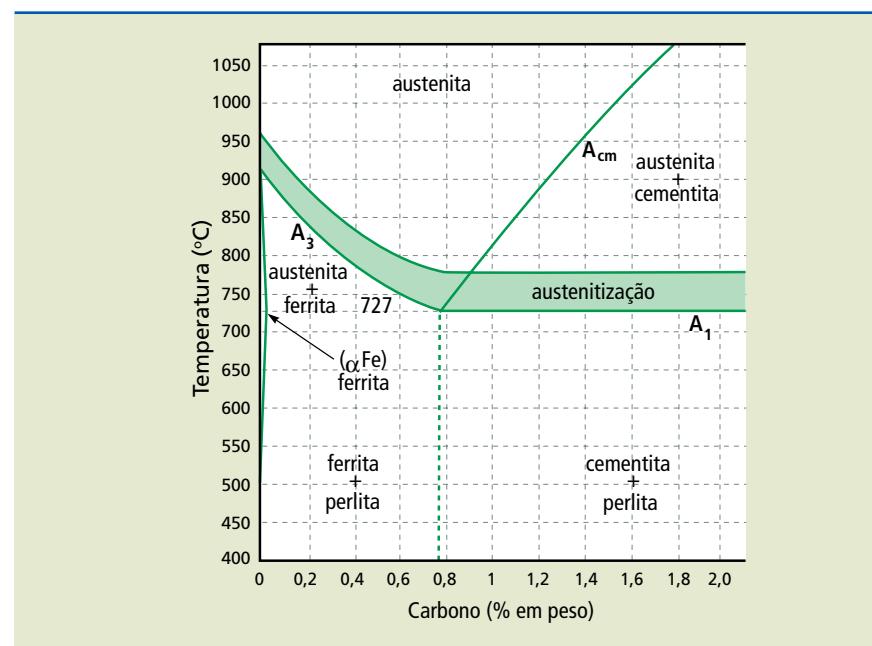


Figura 5.1

©JAN HAASIK / PHOTO RESEARCHERS

Figura 5.2

Temperaturas de austenitização indicadas para recozimento.



Recozimento para alívio de tensões

Esse método consiste no aquecimento do aço a temperaturas abaixo da austenita (figura 5.4). O objetivo é reduzir as tensões originadas durante a solidificação, corte por chama, soldagem ou usinagem, ou qualquer tipo de deformação a frio. Essas tensões começam a ser aliviadas a temperaturas logo acima da ambiente.

Figura 5.3

Corte de aço por chama



CHARLES D'AVINTERS / PHOTO RESEARCHERS

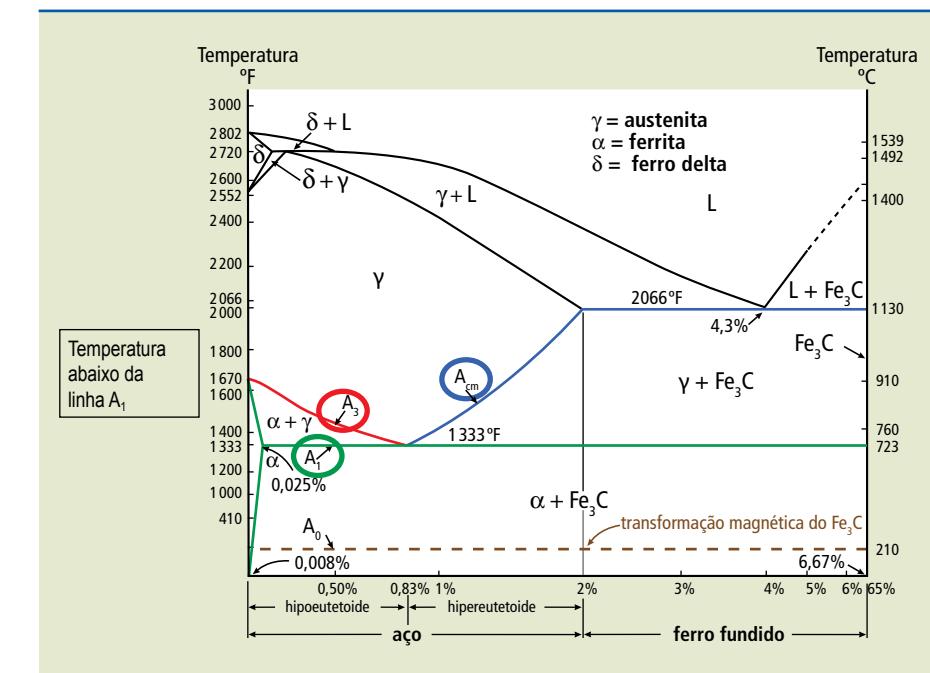
Conforme o tipo de aço, varia de 1440 °C a 1530 °C

Esse tratamento gera um rearranjo formando novos cristais, também conhecido como recristalização. A temperatura de aquecimento dever ser de um terço até metade da **temperatura de fusão do aço**.

Para proteger as peças acabadas contra a corrosão e a perda de carbono causadas pela temperatura com o oxigênio da atmosfera do forno, as peças são colocadas em ambientes vedados, para impedir a entrada de oxigênio, ou mergulhadas em banhos de sal, impedindo assim sua oxidação.

Figura 5.4

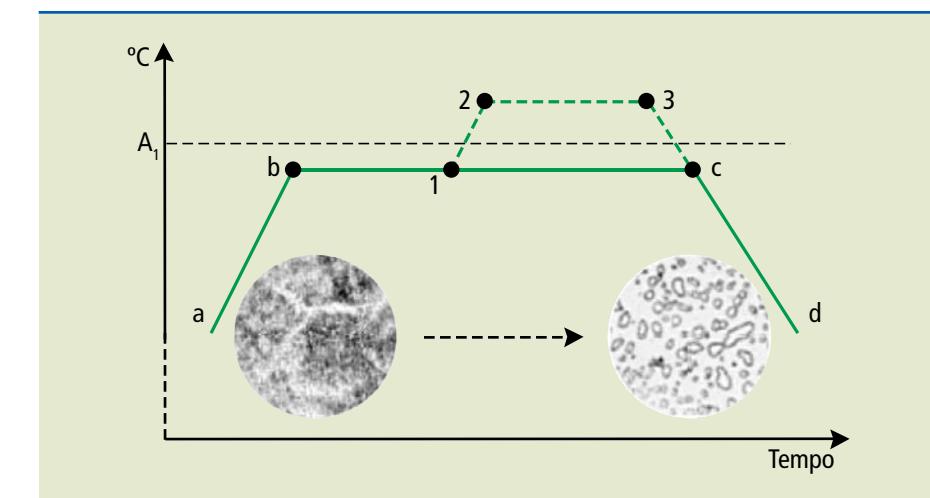
Temperaturas de recozimento para alívio de tensões.



Esferoidização

Tratamento também conhecido como coalecimento, consiste no aquecimento próximo da zona crítica. É um tratamento de várias horas dentro do forno e visa amolecer materiais de altos teores de carbono e quebrar as redes de cementitas, deixando as globulares ou esferoidais com uma matriz ferrítica, o que facilita a usinagem e a deformação a frio.

A figura 5.5 mostra a faixa usual de temperatura para esse tratamento.

**Figura 5.5**

Faixa de temperatura de esferoidização.

Para materiais com altos teores de carbono, como o aço 52100 de elevada dureza, usado na fabricação de rolamentos (figura 5.6), é realizado o tratamento de esferoidização para melhorar a usinagem. Com esse tratamento se reduzem os custos de fabricação com ferramentas de usinagem e os tempos. Depois

de pronta, a peça sofrerá mais um tratamento térmico para endurecer novamente e resistir ao atrito gerado em uso.

Figura 5.6

Rolamentos.



ADIM DEMIR/SHUTTERSTOCK

5.1.2 Normalização

A normalização é um tratamento térmico que consiste no aquecimento do aço até sua completa austenitização, seguido de resfriamento ao ar.

Além de causar melhor uniformidade da estrutura, o objetivo maior da normalização é a homogeneização e o refino do tamanho de grão de estruturas obtidas de trabalho a quente (laminação e forjamento) de aços fundidos e soldagem.

A normalização também é utilizada antes do tratamento térmico para evitar o aparecimento de trincas e empenamento.

Figura 5.7

Laminação do aço.



OLEG - SHUTTERSTOCK

5.1.3 Têmpera

Antigamente, na fabricação de espadas, por exemplo, o artesão, quando aquecia o metal até que ficasse “avermelhado”, para deformar com maior facilidade (forjar), e logo em seguida o mergulhava na água, estava realizando um tratamento térmico chamado têmpera.

Esse tratamento térmico é geralmente aplicado aos aços com porcentagem igual ou maior do que 0,4% de carbono. Consiste no aquecimento até sua completa austenitização (figura 5.2), seguido de um resfriamento rápido. O resfriamento pode ser na água, salmoura e até mesmo em óleo, que é o de menos severidade. A velocidade de resfriamento, nessas condições, dependerá do tipo de aço, da forma e das dimensões das peças. O resultado é a transformação da austenita em martensita.

O principal objetivo da têmpera é o aumento de dureza. Podem ocorrer também tensões internas, que são eliminadas pelo tratamento térmico de revenimento.

A tabela 5.1 evidencia alguns materiais e a faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Tabela 5.1

Faixa usual de aquecimento para o tratamento de têmpera.

Material a temperar	Têmpera			
	Temperatura de preaquecimento	Temperatura de têmpera	Cor do material na temperatura	Resfriar em
Aço 1040 a 1050	500 °C	830 °C	Vermelho	Água
Aço 1060 a 1080	500 °C	790 °C	Vermelho escuro	Água ou óleo
Aço 1090	500 °C	775 °C	Vermelho cereja	Óleo
Aço prata	550 °C	800 °C	Vermelho escuro	Óleo
Aço para molas	600 °C	875 °C	Vermelho claro	Óleo
Aço rápido	500 °C a 900 °C	1300 °C	Branco	Óleo

5.1.4 Austêmpera

Esse tratamento térmico é indicado para materiais com altos teores de carbono. A peça austenitizada é resfriada (mergulhada) a aproximadamente 400 °C, em um banho de sal fundido e mantida nessa condição por determinado tempo. Após a formação da estrutura bainítica, a peça é resfriada até a temperatura ambiente, podendo ser resfriada ao ar.

Esse processo vai fornecer ao aço uma dureza inferior à de um material temperado e revenido, porém com tenacidade maior. A microestrutura bainítica pode ser observada na figura 5.8.

Figura 5.8

Microestrutura bainítica.

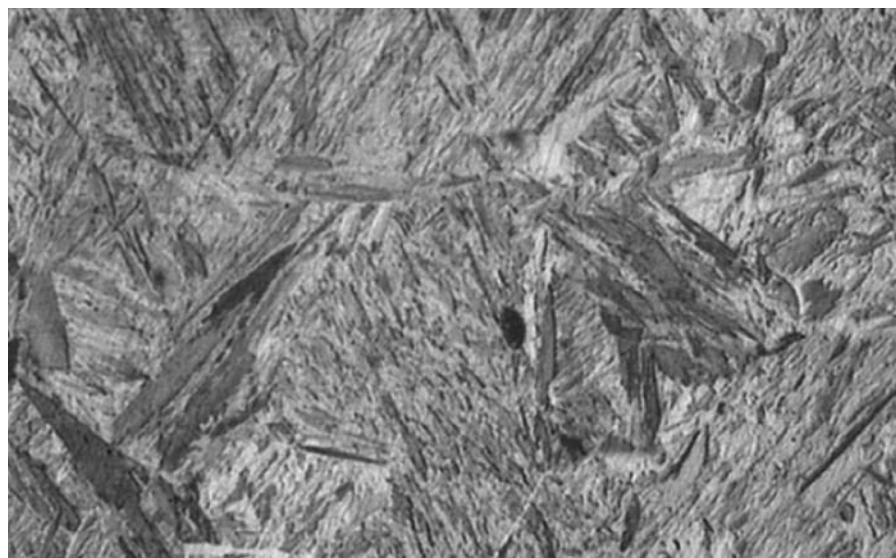
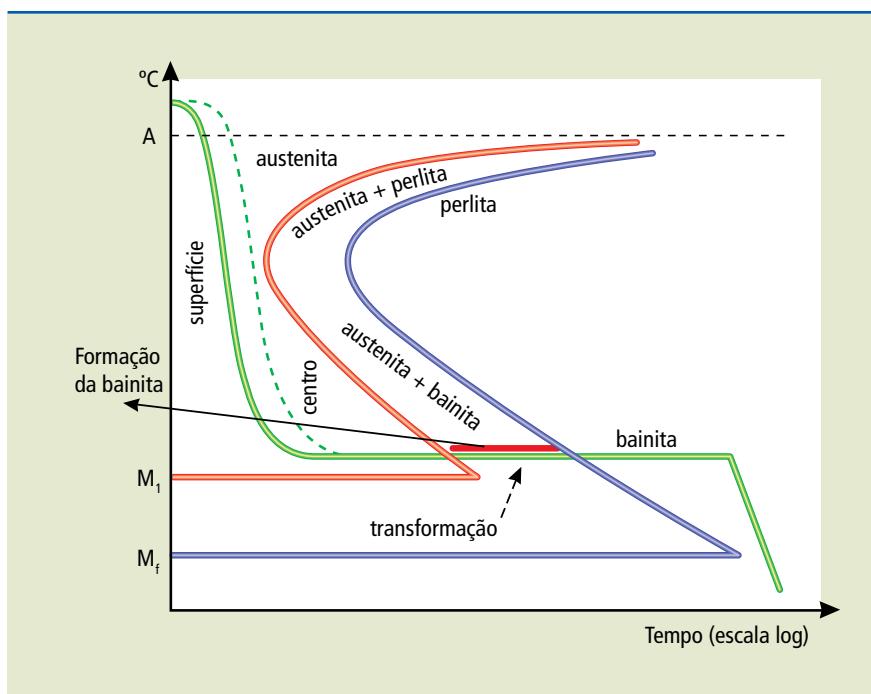


FOTO OBTIDA EM LABORATÓRIO / UNIMEP

Figura 5.9

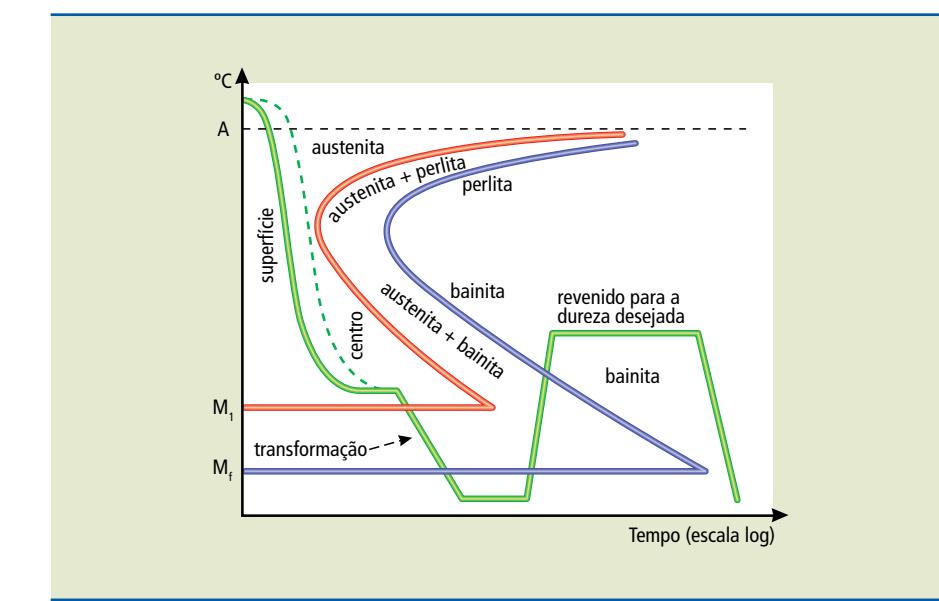
Curva de resfriamento obtendo-se bainita.



5.1.5 Martêmpera

Esse tratamento térmico é realizado com uma interrupção no resfriamento, para evitar empenamentos causados por resfriamentos bruscos.

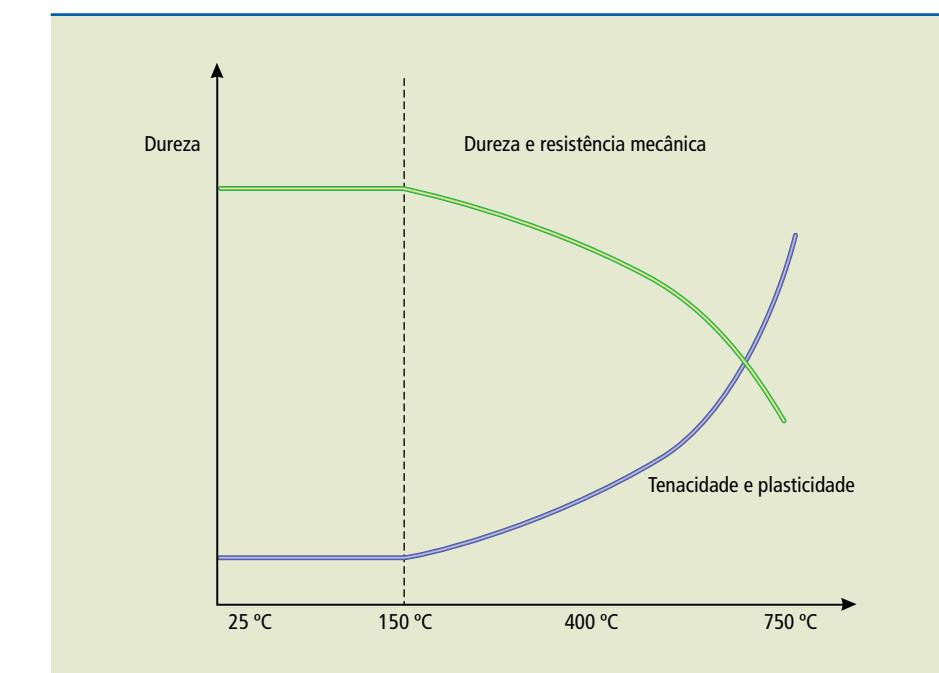
O material é aquecido acima da linha A ou linha crítica, mostrada na figura 5.10. Após o material estar homogenizado na austenita, é resfriado em duas etapas. Depois desse processo, o aço deve ser revenido para retirar quaisquer tensões causadas pelo resfriamento rápido.

**Figura 5.10**

Curva de resfriamento obtendo martensita por meio de martêmpera.

5.1.6 Revenimento

O revenimento é um tratamento térmico realizado após a têmpera. Todo material temperado gera tensões internas que podem provocar trincas, e o revenimento é utilizado para aliviar essas tensões e corrigir a dureza do material.

**Figura 5.11**

Variação das propriedades mecânicas do aço (esquema) em função da temperatura de revenimento.

As faixas de temperatura para revenimento podem variar de 150 °C a 700 °C (figura 5.11). Quanto maior a temperatura, menor a dureza da peça e maior a tenacidade, a capacidade do material em absorver impactos. As indústrias fabricantes de aço fornecem para cada material uma curva de revenimento relacionando dureza com as temperaturas de revenimento.

5.2 Têmpera superficial

A têmpera superficial consiste no aquecimento superficial da peça até certa profundidade. Essa profundidade pode variar com o tempo que a peça fica exposta ao calor e com a intensidade do calor. A região aquecida até a temperatura de austenitização e logo resfriada atingirá a têmpera e será endurecida. O tempo de aquecimento é muito pequeno (alguns segundos), e o resfriamento se dá normalmente em água. O tratamento é indicado para materiais com teor médio de carbono. Ele confere alta resistência e dureza à superfície do material, melhora significativa da fadiga e da resistência ao desgaste. O núcleo mantém sua tenacidade geralmente alta, e sua microestrutura e suas propriedades não mudam.

A têmpera superficial é aplicada, por exemplo, em pinos, correntes, ganchos de talhas e engrenagens. Pode ser realizada por dois processos: indução ou chama.

5.2.1 Aquecimento por indutor

Um indutor – que funciona como bobina induzindo a passagem da corrente elétrica – gera altas temperaturas quando um material condutor se aproxima dele. A figura 5.12 mostra exemplos de aquecimento produzido por vários tipos de bobinas.

A corrente induzida em uma peça é máxima na superfície e diminui rapidamente em seu interior. Esse processo é facilmente automatizado para produção de peças em série.

Figura 5.12
Campo magnético e correntes induzidas produzidas por várias bobinas de indução.

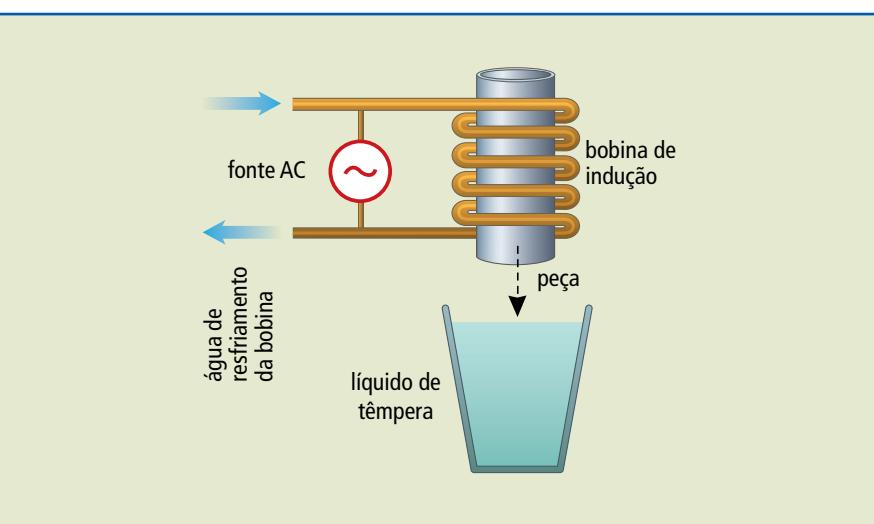
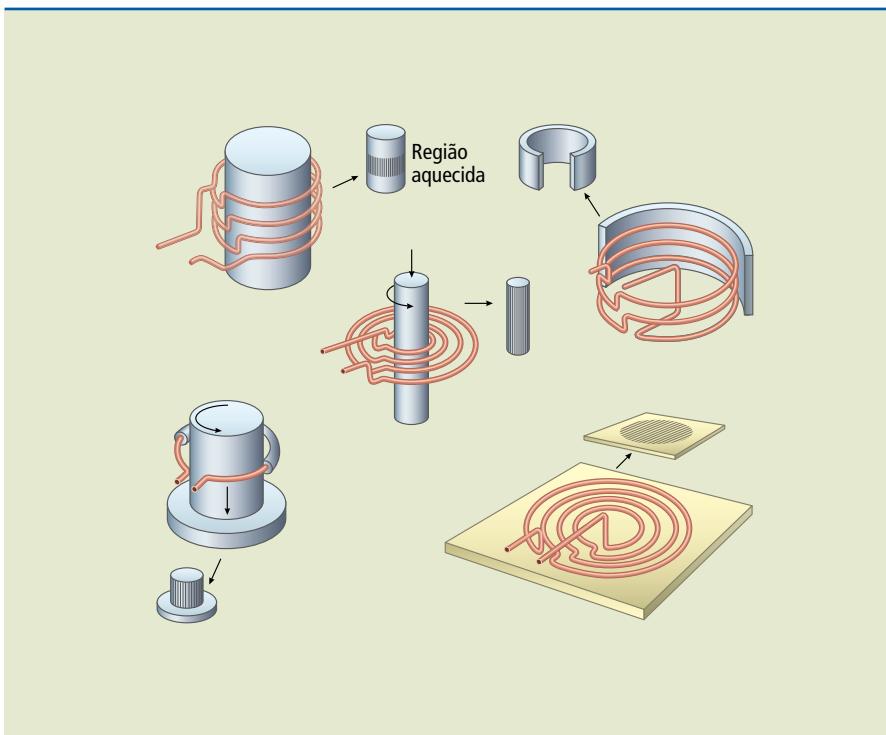


Figura 5.13
Esquema de têmpera superficial por indução.

5.2.2 Aquecimento por chama

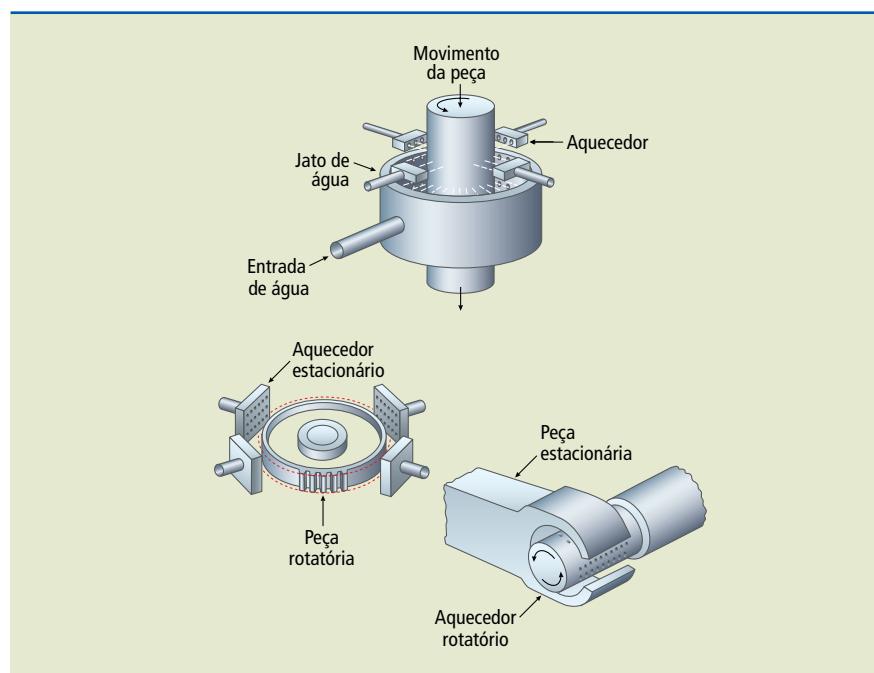
O aquecimento por chama (figuras 5.14 e 5.15) é realizado normalmente por meio de bicos de chama, como um maçarico. Esse aquecimento pode ser feito em parte da peça em que se deseja realizar o tratamento, ou seja, na região da peça cuja superfície se deseja endurecer. Logo após atingir a temperatura adequada de austenitização, a região é resfriada bruscamente, em geral com jatos de água. Nesse processo, a camada endurecida fica mais irregular por causa da dificuldade de manter o aquecimento homogêneo por toda a superfície da peça.



Figura 5.14
Engrenagem, tratamento de têmpera superficial e aquecimento por chama.

Figura 5.15

Dispositivos para têmpera superficial por chama.



Vantagens de utilizar o aquecimento por chama:

- tratamento de pequenas regiões que se deseja endurecer;
- adequado para peças muito grandes que necessitam de fornos com alta capacidade;
- utilização de materiais mais baratos, que podem ser endurecidos.

5.3 Tratamentos termoquímicos

Esses tratamentos têm como definição o aquecimento do material a temperaturas adequadas. Com elementos químicos na atmosfera do forno, esse processo produz na peça uma camada fina e dura.

O principal objetivo desse tipo de tratamento é o aumento da dureza e da resistência ao desgaste na superfície, mantendo o núcleo tenaz.

Os processos termoquímicos são classificados em: cementação e nitretação.

5.3.1 Cementação

A cementação é um tratamento termoquímico que visa adicionar carbono na superfície da peça e logo depois resfriá-la bruscamente. Esse tratamento é indicado para materiais com baixo teor de carbono, menor ou igual a 0,25%. Alguns aços mais utilizados são ABNT 1010, ABNT 1020, ABNT 8620, entre outros.

A peça cementada fica com um potencial de carbono na superfície de aproximadamente 0,8% a 0,9%, e o núcleo se mantém conforme a composição química do aço. Após o resfriamento brusco, a superfície com alto teor de carbono obtém altíssima dureza, e o núcleo se mantém tenaz.

A cementação é realizada em peças como engrenagens (figura 5.16), buchas e naquelas em que se deseja alta resistência ao desgaste na superfície e alta tenacidade no núcleo. Exemplo: as engrenagens que compõem o câmbio de um veículo são cementadas, pois, se fossem duras por inteiro, não suportariam arrancadas bruscas.

Em geral, a profundidade de camada cementada não ultrapassa 2 mm. Por ser um processo demorado, a cementação necessita de várias horas de forno.

Figura 5.16

Engrenagens de uma caixa de câmbio de automóveis.



© JOHN EARLY/TRANSSTOCK/CORBIS

Cementação gasosa

Nesse processo, a peça a ser cementada é colocada em um forno com potencial de carbono controlado. Dentro da atmosfera do forno são utilizados gases, como gás natural, propano e, em alguns casos, álcool etílico volatilizado. Com o controle desses gases, ocorrem reações nas quais o aço recebe carbono na superfície da peça. A profundidade de camada cementada pode variar de 0,5 a 2,0 mm e depende do tempo de permanência dentro do forno, da temperatura e do potencial de carbono na atmosfera dentro do forno.

Cementação líquida

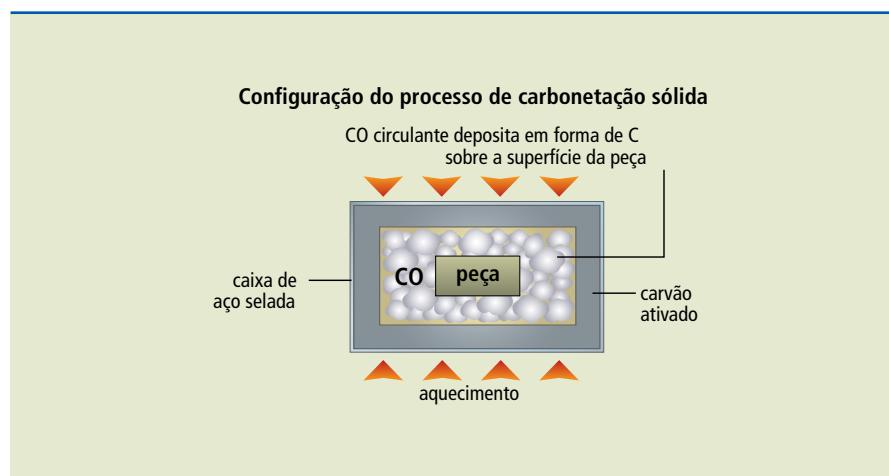
Como o nome diz, as peças são mergulhadas em um líquido apropriado para esse tratamento, em geral cianeto de sódio (NaCN), um sal fundido. Assim, combinando a temperatura e o ambiente rico em carbono, ocorre uma reação química e o carbono é adicionado à superfície da peça. Quanto maior o tempo, maior a profundidade da camada cementada. Para esse tratamento, a camada cementada em geral varia de 0,5 a 2,5 mm de profundidade.

Cementação sólida

Nesse processo, as peças a serem cementadas são colocadas em caixas metálicas cobertas com material sólido, carvão de madeira ou coque; em seguida, são levadas ao forno a temperaturas de 815 °C a 955 °C. Nessa atmosfera a que a peça é submetida, o carbono vai penetrando em sua superfície (figura 5.17).

Figura 5.17

Processo de cementação sólida.



5.3.4 Boretação

A boretação consiste basicamente em colocar a peça em contato com um agente borante gasoso, líquido ou sólido – sendo este último o mais utilizado, por ter menor custo – e aquecer a peça a uma temperatura adequada, cerca de 700 °C a 1 000 °C, por aproximadamente 1 a 12 horas.

No aço se forma o boreto de ferro, que é extremamente duro. Nesse processo, a dureza chega a ser maior do que as obtidas nos outros processos de endurecimento superficial e, ainda, apresenta grande resistência à corrosão.

5.3.2 Carbonitretação

A carbonitretação é um processo que introduz carbono e nitrogênio na superfície do material. É semelhante ao processo de cementação a gás, e o gás utilizado é rico em carbono e nitrogênio. É realizado em temperaturas que podem variar de 700 °C a 900 °C, durante um tempo menor que a cementação a gás.

O principal objetivo é formar na peça uma camada extremamente dura, resistente ao desgaste e à fadiga. Por essa camada conter nitrogênio e carbono, o objetivo é alcançado, pois o nitrogênio melhora a temperabilidade dos aços, formando, assim, uma camada mais dura e mais profunda que a cementação.

5.3.3 Nitretação

Nitretação é o tratamento termoquímico de introdução de nitrogênio na superfície da peça por meio de aquecimento, que varia entre 500 °C a 570 °C, com o objetivo de endurecimento superficial. Esse processo gera na peça uma camada fina e extremamente dura.

A nitretação é realizada colocando-se a peça em fornos com temperaturas adequadas e com atmosfera rica em nitrogênio. Desse modo, o nitrogênio atômico se difunde na fase ferrita.

Os aços, após sofrerem esse processo, passam a obter algumas propriedades, como: alta dureza superficial, cerca de 70 HRC, e excelente resistência ao desgaste, à fadiga e à corrosão.

A nitretação apresenta camadas inferiores às cementadas, cerca de 0,015 a 0,9 mm de profundidade, porém com dureza maior. A profundidade depende do tempo, da temperatura e da composição química do aço.

Os aços mais utilizados para a nitretação são os de baixa-liga que contêm certos elementos em sua composição química, como alumínio, cromo, molibdênio e vanádio, formando, assim, os nitretos, conforme sua composição.



Capítulo 6

Metalografia

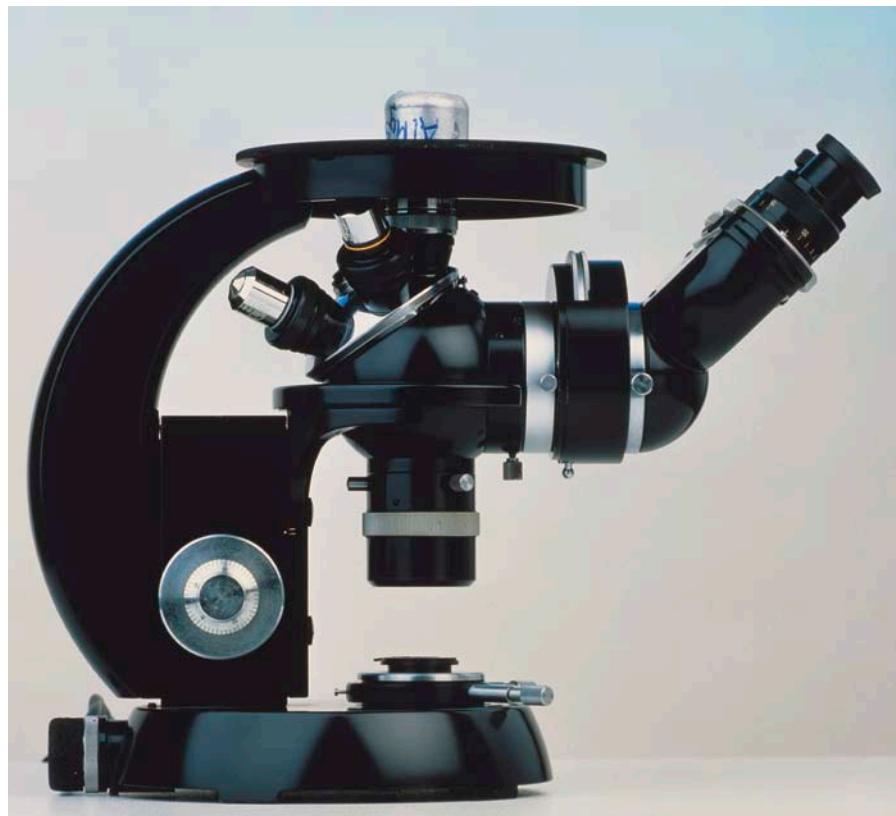
Podemos definir metalografia como o estudo das características estruturais ou da constituição dos metais e suas ligas, para relacioná-los com suas propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Para conseguirmos a relação entre estrutura observada a olho nu, com lupa ou microscópio, e as propriedades mecânicas, devemos seguir uma linha definida de procedimentos, que chamaremos de ensaios metalográficos, que podem ser macrográficos ou micrográficos.

Pelas análises macrográficas e micrográficas é possível a determinação de diversas características do material, até mesmo a determinação das causas de fraturas, desgastes prematuros e outros tipos de falhas.

Figura 6.1

Microscópio para metalografia.



ASTRID & HANNES-FRIEDER MICHAELSCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

6.1 Macrografia

A macrografia consiste no exame do aspecto de uma peça ou amostra metálica, segundo uma seção plana devidamente polida, chamada corpo de prova. Pela macrografia obtemos informações de caráter geral, como a homogeneidade do material da peça, a distribuição e quantidade de certas impurezas, processos de fabricação etc. Para fazermos a análise macrográfica, precisamos preparar um corpo de prova com base no objeto a ser analisado.

6.1.1 Preparação dos corpos de prova para macrografia

A preparação dos corpos de prova seguem os seguintes critérios:

Escolha e localização da seção a ser estudada

É feito um corte transversal, se o objetivo é verificar:

- existência de materiais depositados;
- determinação de processos de fabricação;
- tratamentos térmicos de beneficiamento superficial;
- eventuais defeitos nas proximidades de fraturas;
- vazio, causado pelo resfriamento lento.

É feito um corte longitudinal, quando o objetivo é verificar:

- se uma peça é fundida, forjada ou laminada;
- se a peça foi estampada ou torneada;
- se há solda de barras;
- eventuais defeitos nas proximidades de fraturas; e
- se há a extensão de tratamentos térmicos, superficiais etc.

Obtenção de uma superfície plana e polida no lugar escolhido

A obtenção da superfície compreende duas etapas:

a) Corte ou desbaste

É feito com um cortador de disco abrasivo (*cut-off*). É o método mais empregado para a amostra metalográfica, pois corta uma variedade grande de materiais. Este processo é o mais apropriado, porque deixa um bom acabamento de corte, permitindo assim que se passe para a próxima etapa, que é o lixamento, sem retirar muito material, e também evita o aquecimento, pois o corte é refrigerado constantemente.

b) Lixamento e polimento

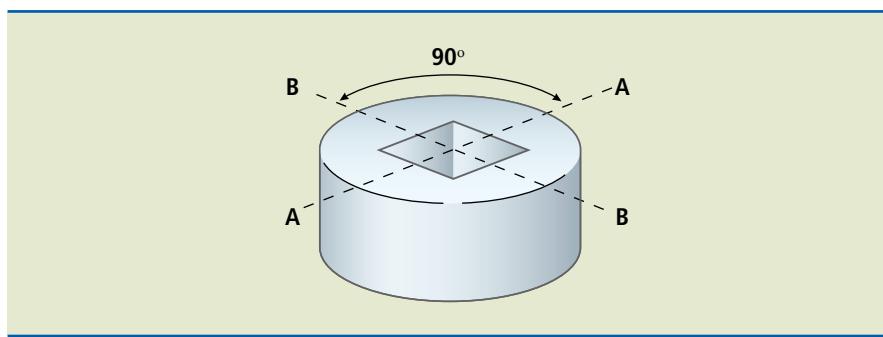
Na preparação do corpo de prova, o lixamento da amostra é uma etapa muito importante: nessa fase devem ser eliminados os danos provocados pelo corte.

Os sulcos e riscos provocados pelo desbastamento do metal são removidos, deixando a superfície da peça mais plana ou com deformações rasas, facilmente corrigidas pela operação de polimento posterior. São utilizadas lixadeiras fixas ou lixadeiras elétricas rotativas. O lixamento também danifica a superfície da amostra, os riscos mais grosseiros são retirados com a utilização de lixas progressivamente mais finas.

O polimento é iniciado após o lixamento e é feito até que os riscos da lixa tenham desaparecido. A peça passa a ter então um aspecto brilhante e sem riscos. Depois se passa para a lixa mais fina, mudando em 90 graus a direção de polimento e prosseguindo até terem desaparecido os riscos da lixa anterior; e assim por diante, até o papel de lixa metalográfica zero. Após cada lixamento, a superfície deve ser cuidadosamente limpa, a fim de que o novo lixamento não fique contaminado com resíduos do lixamento anterior.

Figura 6.2

Orientação para o lixamento:
A–A: direção do lixamento na primeira lixa;
B–B: direção do lixamento na lixa subsequente.

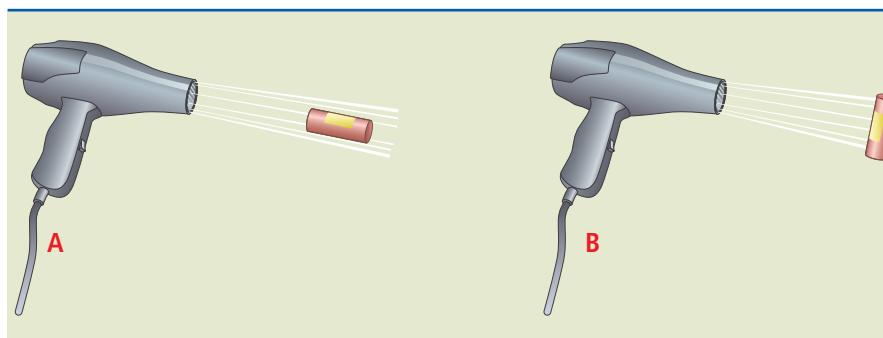


A lavagem é necessária para que se possa observar o acabamento superficial, e deverá seguir a sequência abaixo:

- limpeza em água corrente com um chumaço de algodão;
- imediata aplicação de álcool sobre a superfície molhada para a rápida evaporação da água;
- imediata aplicação de ar quente para a secagem.

Figura 6.3

Posicionamento do corpo de prova durante a secagem no secador:
A) posição correta;
B) posição incorreta.



Nesse estado já é possível observar algumas particularidades da superfície, como vazios que restam, trincas, inclusões, porosidades e soldas falhadas, contudo é indispensável submeter a superfície a um ataque com reativos químicos para pôr outras heterogeneidades em evidência.

c) Ataque por um reagente químico

Certas regiões de uma superfície polida submetida à ação uniforme de um reativo podem ser atacadas com maior intensidade que outras. As causas mais frequentes dessa diferença de atacabilidade são diversidade de composição química ou de estrutura cristalina do material.

O contato do corpo com o reativo pode ser obtido de três modos:

- ataque por imersão, mergulhando a superfície polida em uma cuba que contém certo volume de reagente;
- ataque por aplicação, estendendo uma camada de reativo sobre a seção em estudo com o auxílio de um pincel ou chumaço de algodão, e regularizá-lo se for preciso;
- ataque pelo método de Baumann – método de impressão direta: aplica-se um papel fotográfico, convenientemente umedecido com um reagente apropriado sobre a superfície polida, assim se obtém praticamente um decalque de como os sulfuretos se distribuem.

Existem reagentes específicos para todos os tipos de ligas metálicas, que obedecem à norma ASTM E250. Os mais comuns são:

- reativo de iodo: iodo sublimado 110 g, iodeto de potássio 120 g e água 1 100 g;
- reativo de ácido sulfúrico: ácido sulfúrico 120 cm e água 1 100 cm;
- reativo de Heyn: cloreto cupro-amoniacial 110 g e água 1 120 g;
- reativo de ácido clorídrico: ácido clorídrico 150 cm e água 150 cm;
- reativo de Fry: ácido clorídrico 1 120 cm, água destilada 1 100 cm e cloreto cúprico 190 cm.

No ensaio macrográfico, em consequência da ação do reativo, podemos ver um contraste que se estabelece entre as áreas de composição química diferente ou entre as de cristalização diferente. O contraste decorre do fato de certas regiões escurecerem muito mais que outras (figura 6.4).

Figura 6.4

Imagen de micrografia mostra alta concentração de carbono no aço.

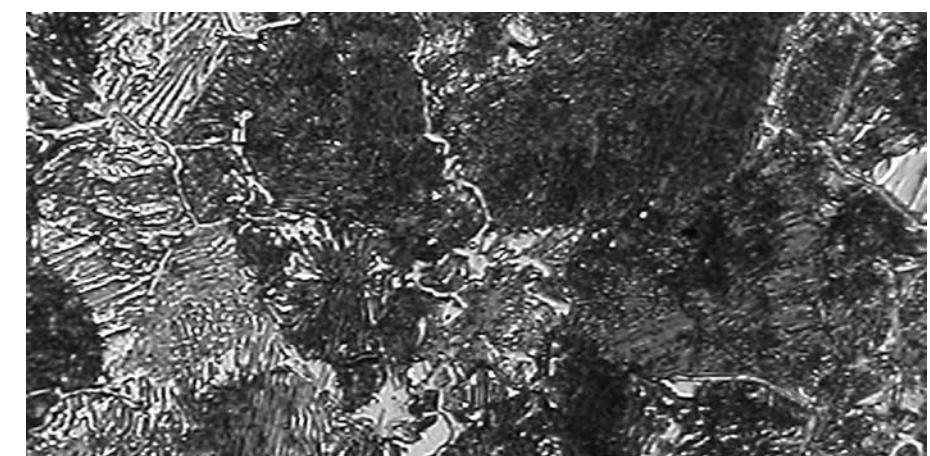


FOTO OBTRIDA EM LABORATÓRIO UNINEP

6.1.2 Micrografia

A micrografia é o estudo dos produtos metalúrgicos feito com microscópio. Para fazer uma análise micrográfica é necessário preparar um corpo de prova do objeto a ser analisado. Nessa análise são observadas características como granulação e a natureza, a forma, a quantidade e a distribuição dos diversos constituintes do material, ou de certas inclusões.

No caso de micrografia de peças grandes, costuma-se fazer a localização do corpo de prova para micrografia após o exame macrográfico. Isso porque se o aspecto é homogêneo, a localização do corpo de prova é indiferente.

Preparação dos corpos de prova para micrografia

A técnica do preparo de um corpo de prova para micrografia abrange as fases a seguir.

Preparação da amostra

A amostra deve ser representativa do material da peça que se quer analisar, ou seja, a estrutura do material a ser estudado não deve sofrer alterações. Não se deve aquecer o material da amostra (acima de 100 °C), nem deformá-lo plasticamente (caso de metais moles), nem permitir a formação de novos grãos por recristalização. A área da amostra a ser examinada não deve exceder de 1 a 2 cm², para não ter um tempo de preparação excessivo. Qualquer preparação depende do material da amostra, da técnica de lixamento e polimento.

Quando a peça é pequena, necessitamos fazer um embutimento.

Embutimento

Em micrografia é de grande importância o embutimento de amostras, pois esse procedimento permite o livre manuseio de peças pequenas. Protegidas, as eventuais arestas dos corpos de prova não rasgam as lixas nem os panos de polimento. Adicionalmente, a proteção impede o abaulamento dos corpos de prova durante o polimento (o que prejudica a observação microscópica).

No embutimento, devemos estar atentos aos seguintes itens:

- o material usado para embutimento não deve danificar a amostra;
- a pressão e o calor podem danificar ou causar modificações na amostra;
- a resina deve ser resistente aos solventes e reativos que serão utilizados posteriormente;
- usar resinas especiais para a observação de superfícies (resinas para retenção de cantos).

O embutimento pode ser:

- a frio – quando se usam resinas sintéticas de polimerização rápida;

- a quente – quando a amostra é embutida em materiais termoplásticos por meio de prensas.

a) Embutimento a frio com resinas

Essa técnica é aplicada na montagem de corpos de prova frágeis e de pequenas dimensões, que não resistiriam ao embutimento sob pressão. Para a montagem, utiliza-se geralmente a resina acrílica.

Depois de polimerizado, o acrílico torna-se transparente. Esse material leva algum tempo para se solidificar e resiste bem à ação do álcool, ácidos e bases em solução (figura 6.5).



Figura 6.5
Acrílico leva algum tempo para se solidificar.

b) Embutimento a quente

Realizado sob pressão, essa técnica foi possível graças ao desenvolvimento da prensa metalográfica (embutidora), dotada de um sistema hidráulico simples. Nos modelos mais recentes, o ciclo de resfriamento é realizado por meio de fluxo de água, a fim de refrigerar e diminuir o período pós-cura. Algumas características das resinas para embutimento a quente são: baixa viscosidade, contracção, boa adesão à amostra e resistência à ação de agentes químicos.

O tempo de embutimento com resina baquelite é recomendado com, no mínimo, 15 minutos de aquecimento e mais 10 minutos de resfriamento, período necessário para que seja atingida a total solidificação da resina. A pressão exercida é de 150 kgf/cm².

Lixamento e polimento

A técnica do polimento para a macrografia aplica-se também à micrografia. Para a micrografia, porém, devemos tomar alguns cuidados especiais, pois a superfície será examinada em microscópio.

Quando o material a ser examinado são partículas pequenas, fazemos uso de artifícios de fixação com a baquelite e certos materiais transparentes.

Pode-se polir a peça deslizando-a suavemente sobre lixas apoiadas em superfície plana ou, então, comprimindo-a contra lixas aplicadas a discos giratórios em movimento. O polimento é continuado sobre um disco giratório de pano sobre o qual se aplica uma leve camada de abrasivo à base de óxido de cromo e/ou óxido de alumínio (alumina).

O abrasivo, que deve ter granulometria conhecida, confere ao material um grau de acabamento e planicidade que dependem principalmente do suporte (pano) utilizado: quanto mais macio, melhor o grau de acabamento; quanto mais rígido, melhor a planicidade. Por sua vez, o pano de polimento deve ter alta resistência e durabilidade. Substituí-lo constantemente pode implicar desperdício do abrasivo residual.

A superfície polida é observada ao microscópio, para a verificação das inclusões, trincas, porosidades, veios ou partículas de grafita, ou outras ocorrências já visíveis nesse estado.

Figura 6.6

Escova para limpeza e Lixa para polimento de metais..



DAN BANNISTER/SHUTTERSTOCK

Ataque por um reagente químico

Uma amostra convenientemente preparada, examinada ao microscópio antes de ser atacada pelo reagente, apresenta poucos detalhes aparentes da estrutura. O método para o desenvolvimento da estrutura cristalina para exame microscópico é o do emprego de um reagente químico.

O reagente é despejado em uma pequena cuba de vidro, e a amostra é imersa na solução. Deve-se tomar cuidado para não permitir o contato da amostra com o fundo da cuba. Recomenda-se que essa operação seja realizada usando luvas ou uma tenaz, evitando segurar o corpo de prova com os dedos. Durante sua imersão na solução reagente, o corpo de prova deve ser movido rotativamente, para evitar a formação de bolsas de ar. Elas impedem o contato da superfície do corpo de prova com o metal-reagente e, como resultado, aparecem algumas áreas não atacadas.

Realizado o ataque e revelada a textura da amostra, ela deve ser lavada em água corrente, para impedir o progresso da reação, e, depois, levada ao secador.

Se o corpo de prova for atacado por esfrega da solução, deve-se friccionar rapidamente a superfície polida, pelo tempo necessário, com um tufo de algodão saturado com reagente. Decorrido o necessário tempo de ataque, deve-se lavar completamente o corpo de prova sob um jato-d'água, de modo a remover o reagente e interromper o ataque. Essa prática é absolutamente essencial: ela interrompe a ação e, principalmente, previne a formação de sais ácidos que desfigurariam a superfície. A limpeza completa sob jato-d'água quente, com a remoção da umidade por evaporação ou enxugamento cuidadoso com tecido macio, é suficiente.

Se cuidados especiais forem necessários, deve-se lavar o corpo de prova com álcool absoluto para remover a água e, então, evaporar o álcool remanescente no fluxo de ar de um ventilador.

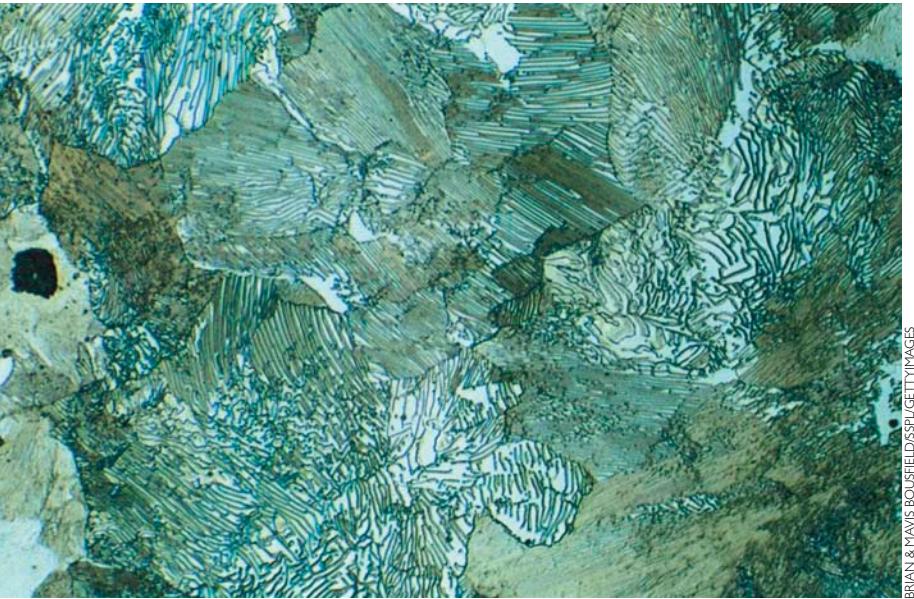
Quando atacada e seca convenientemente, a superfície permanece muitos dias ou mesmo semanas em condições de trabalho, especialmente se for guardada em um secador munido de agente desumectante apropriado (cloreto de cálcio).

Os reativos dissolvem certos constituintes, ou certas regiões, como o contorno dos grãos, de forma superficial, tirando-lhes às vezes o brilho dado pelo polimento, ou colorindo-os diversamente ou, ainda, depositando um composto sobre eles.

- A escolha do reativo depende da natureza do material e do que queremos saber sobre ele. Os reativos empregados na micrografia são numerosos, sendo os mais usuais:
 - solução de ácido nítrico a 1% em álcool etílico – nital;
 - solução de ácido pícrico a 4% em álcool etílico – picral;
 - solução de picrato de sódio: água destilada, 100 gramas; soda a 36 graus Baumé, 25 gramas; ácido pícrico, 2 gramas (ataque oxidante por aquecimento do corpo de prova polido à temperatura aproximada de 270 °C).

Nos laboratórios metalográficos que contam com microscópios apropriados, os chamados bancos metalográficos, é possível examinar o corpo de prova e fotografar comodamente as imagens observadas. Os aspectos micrográficos costumam ser ampliados entre 50 a 1 000 vezes (figuras 6.7 e 6.8).

Figura 6.7



BRIAN & MAVIS BOUSHFIELD/GETTY IMAGES

Figura 6.8

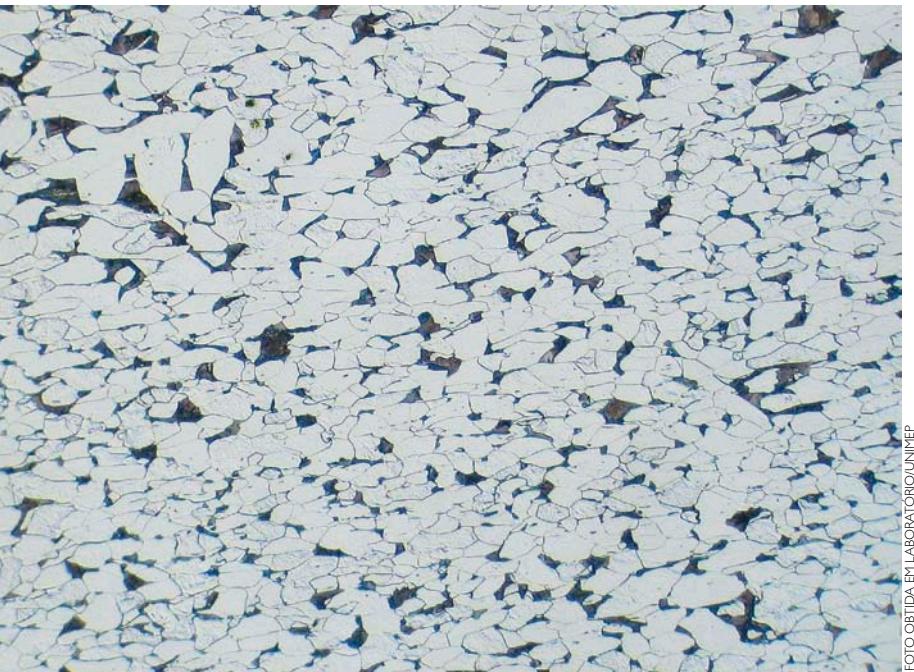


FOTO OBTTIDA EM LABORATÓRIO/UNIMEP

Capítulo 7

Tratamento de superfícies





tratamento de superfície significa a alteração da superfície por meio de transformações químicas, aplicações de revestimentos, ou eliminação de camadas indesejadas.

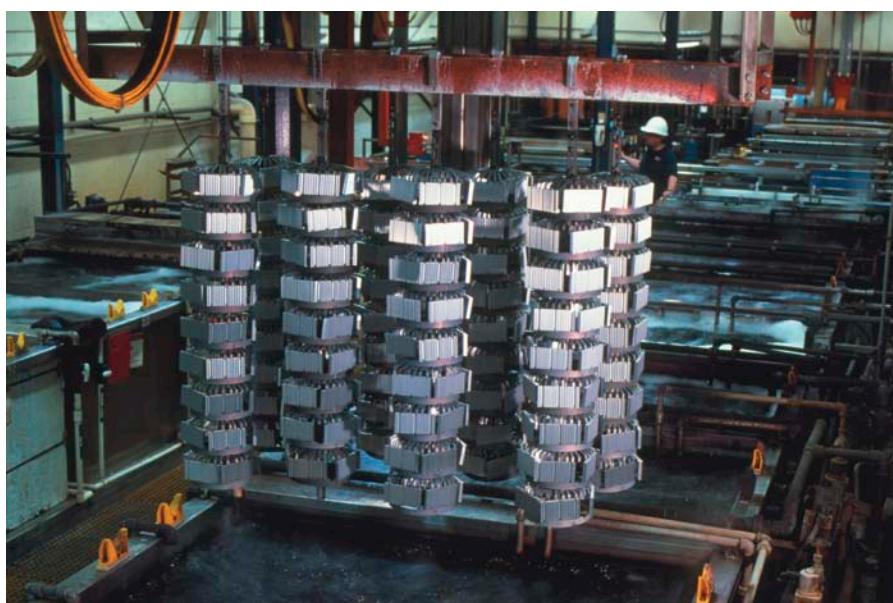
Os tratamentos térmicos superficiais envolvem modificações microestruturais e, consequentemente, alterações nas propriedades mecânicas. Aumentam a dureza superficial, a resistência à fadiga e ao desgaste sem perda da tenacidade da peça ou de componente.

São normalmente tratados dentes de engrenagens, eixos, mancais, fixadores, ferramentas e matrizes.

O objetivo é aumentar a resistência do material componente dessas peças a agentes químicos – como ácidos, soluções orgânicas e inorgânicas –, atmosféricos – como umidade, luz e calor –, efeitos mecânicos – como desgaste, riscos e deformação. Com o processo também é possível dotar o material de propriedades físicas – como isolamento, condutividade térmica ou elétrica – ou estéticas especiais.

Figura 7.1

Tratamento de superfície.



SAM OGDEN SCIENCE PHOTO LIBRARY

Seja qual for a finalidade do tratamento, a superfície sofre um beneficiamento ou proteção de superfície. Quando o tratamento for estético, será chamado embelezamento de superfície. Em alguns casos, esse tipo de tratamento, como a cromagem, pode resultar em um desempenho eficiente ao desgaste e ao riscamento.

Para tratamento eficiente de superfície, devemos estabelecer suas finalidades, de acordo com as condições de serviço da peça a ser tratada (ambiente, temperatura, substâncias químicas etc.). Assim, é preciso:

- executar a limpeza e a remoção de impurezas, garantindo que todos os elementos depositados ou incrustados na superfície da peça sejam removidos;
- aplicar o tratamento adequado.

7.1 A limpeza e a remoção de impurezas

A condição essencial para alcançar um revestimento perfeito é a absoluta limpeza da superfície a ser revestida; deve estar livre de graxa, ferrugem, umidade e sujeira. Podemos considerar duas operações de limpeza no tratamento preliminar: o desengraxamento e a decapagem.

7.1.1 Desengraxamento

É a eliminação da graxa e da sujeira. É feito por meios químicos, utilizando diversos tipos de solventes, banhos eletrolíticos e técnicas de ultrassom.

7.1.2 Decapagem

É o processo que remove oxidações e impurezas inorgânicas, como carepas de laminação e recozimento, camadas de oxidação (ferrugem), crostas de fundição e incrustações superficiais das superfícies metálicas.

Figura 7.2



CROWN COPYRIGHT/HEALTH & SAFETY LABORATORY SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

Diferentes tipos de processos de limpeza podem ser executados como decapagem, sendo os principais:

Decapagem eletrolítica

Como na decapagem química, é feita imergindo a peça em soluções ácidas, mas com uma diferença: a aplicação de corrente elétrica ao sistema, para que a eletrólise ocorra.

Decapagem mecânica

É feita pela escovação e raspagem, por tamboreamento, jato abrasivo, areia quartzídica, esferas de aço, limpeza úmida e remoção da carepa por flexionamento.

Decapagem química

É feita pela submersão em soluções ácidas.

Decapagem térmica

As graxas podem ser removidas por recozimento, limpeza por chama ou com pó de ferro.

Após utilizarmos um dos processos de limpeza, é feito o tratamento superficial, que veremos a seguir.

7.2 Galvanoplastia

A galvanoplastia é um tratamento químico que se aplica a determinadas peças para conferir-lhes proteção superficial, fazendo com que durem mais, ou para efeito decorativo. Nesse processo, por meio de eletrólise, deposita-se um metal na superfície da peça.

Primeiramente, a peça a ser tratada passa por um polimento, destinado a deixá-la com a superfície lisa do ponto de vista macroscópico. Superfícies polidas apresentam área muito menor que quando ásperas, reduzindo a quantidade de material necessário para o revestimento. O polimento também elimina fissuras, poros ou frisos, evitando tanto o acúmulo de íons nesses locais – agentes oxidantes – como o de graxas, que prejudicam o contato elétrico perfeito e, portanto, a eletrólise.

Uma vez polida, a peça vai para a decapagem, processo que elimina óxidos, tintas e incrustações da superfície metálica. Para isso, ela é mergulhada em uma solução de ácido clorídrico ou sulfúrico e, depois, em água, para remover esses ácidos. Em alguns casos, empregam-se soluções alcalinas em lugar das ácidas.

Antes da deposição, todo óleo (graxa) também deve ser removido das peças (processo de desengraxate). Graxa ou óleo são usados para impedir que as chapas aqueçam demais nas operações de lixamento, corte, furação e polimento a que são submetidas. Só depois de passarem por todos esses processos é que as peças vão para a galvanização.



Figura 7.3
Exemplo de peça galvanizada.

Na galvanoplastia, as reações químicas não ocorrem espontaneamente. A deposição (eletrólise) só ocorre com o fornecimento de energia elétrica. Nesse processo, o objeto a ser revestido é ligado ao polo negativo de uma fonte de corrente contínua, tornando-se catodo, e o metal do revestimento é ligado ao polo positivo, tornando-se anodo.

Se a peça for de plástico, material que não é um bom condutor, faz-se um tratamento superficial para conferir melhor condutibilidade a ela. A aderência entre metais também pode apresentar problemas. Assim, além da limpeza perfeita e do desengraxate, é necessário conhecer o comportamento dos metais envolvidos para que a película de metal aplicada se ligue perfeitamente à base. Por exemplo, níquel não adere bem ao aço. Para juntá-los, faz-se uma deposição prévia de cobre, que adere bem aos outros dois metais envolvidos.

Tecnicamente, galvanizar é realizar eletrodeposição de zinco em peças de ferro. O processo de deposição eletrolítica pode produzir peças prateadas ou douradas e realizar nelas a estanhagem, a cadmiagem, a latonagem etc. (ver figura 7.4). Esses banhos eletrolíticos que fazem revestimentos metálicos devem obedecer a uma sequência determinada. Por exemplo, para ser cromada, uma peça deve, necessariamente, ser primeiro cobreada e, em seguida, niquelada, para só depois receber o revestimento de cromo.

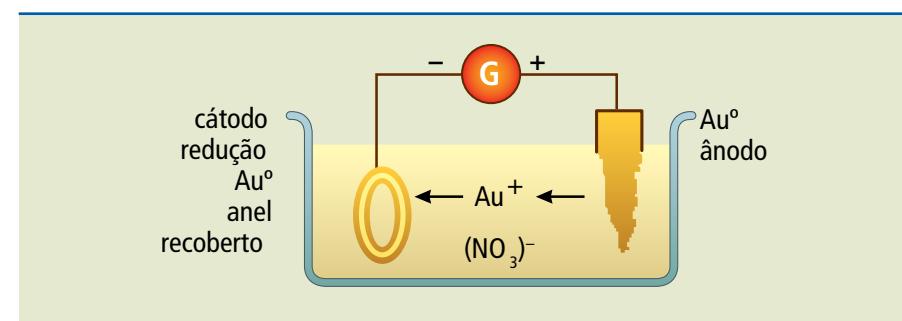
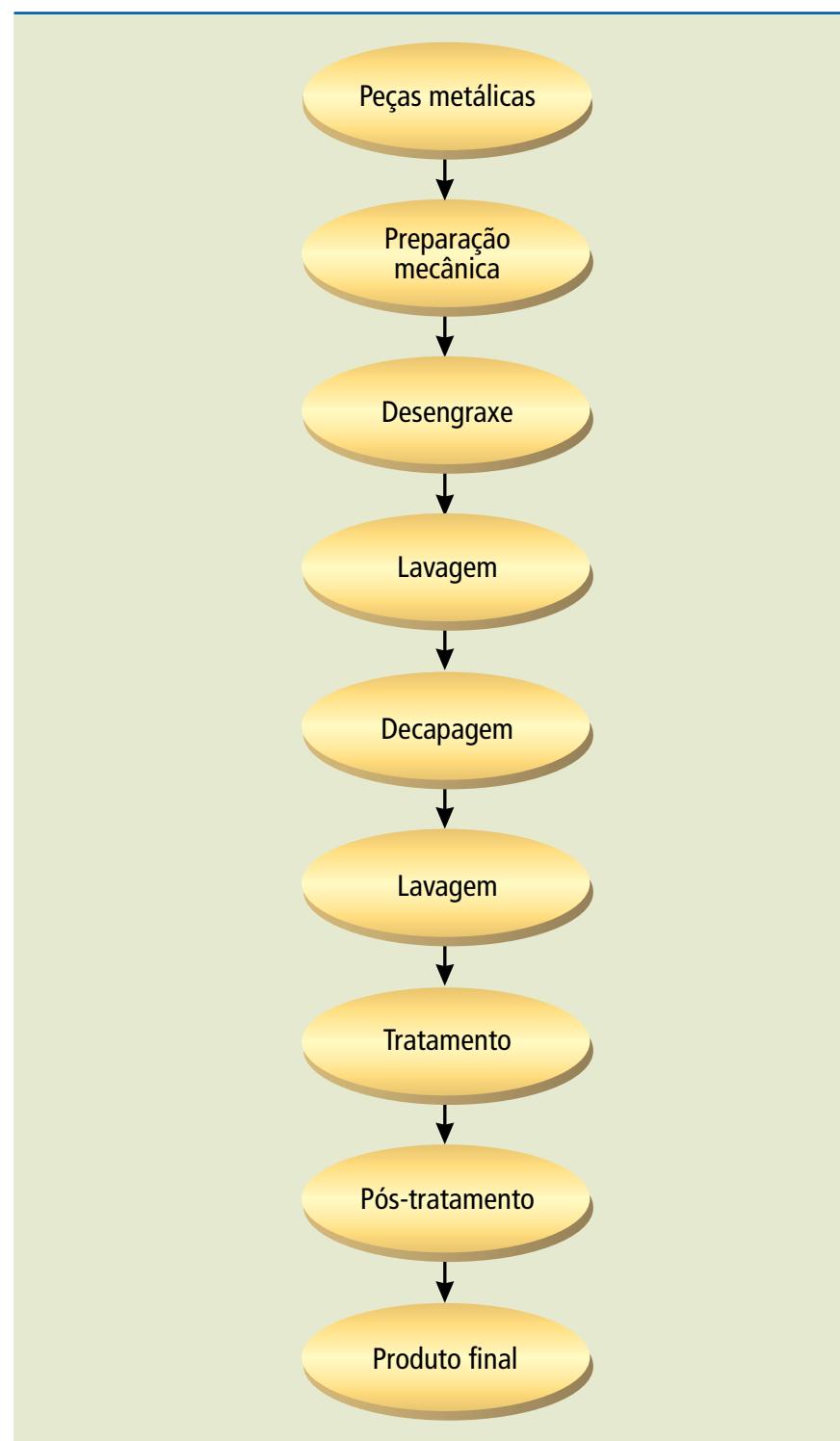


Figura 7.4
Deposição eletrolítica.

Peças cromadas de efeito decorativo como frisos, antenas, botões de rádio, estão presentes em automóveis, eletroeletrônicos, eletrodomésticos e em faróis, alças de cinto de segurança etc. Muitas peças cromadas – como ralos, torneiras, escorredores de pratos, maçanetas, botões etc. – também estão presentes em nossas casas.

A figura 7.5 apresenta as etapas do processo de galvanização.

Figura 7.5
Etapas do processo de galvanização.



7.3 Pinturas

7.3.1 Pintura eletrostática a pó

Trata-se de um processo de pintura em que a tinta aplicada na peça não se apresenta no estado líquido, mas em estado sólido, na forma de um pó.

Na aplicação da pintura, a tinta, na forma de pó, é soprada no ambiente em torno da peça, e não diretamente nela. Ao passar pelo equipamento de pintura, o pó recebe uma carga elétrica aplicada por um eletrodo, cujo potencial pode atingir até 100 000 volts.

As micropartículas de pó, eletricamente carregadas, são atraídas pela peça, formando uma camada fina e que adere a ela por atração eletrostática. A tinta se deposita sobre toda a superfície imersa na nuvem de pó, mesmo que o pó não seja lançado diretamente na superfície ou no ambiente envoltório.

Após a deposição do pó sobre a superfície, de modo uniforme e com a espessura de película desejada, a peça passa por um aquecimento em estufa a 220 °C por cerca de 20 minutos, para a polimerização da tinta. Durante esse processo, os componentes que constituem a tinta reagem entre si, ficando em estado pastoso e penetrando nas porosidades da superfície da peça.

Na fase do resfriamento da peça, a tinta, já polimerizada, forma uma película aderente, de difícil remoção.

Esse processo utiliza cabine de pintura totalmente vedada para evitar a perda de tinta e a contaminação do ambiente. Dentro da cabine existe um sistema de exaustão que recolhe o excedente de pó que fica em suspensão no ar. O ar contaminado de pó, aspirado pelo sistema de exaustão, passa em um conjunto de filtros no qual é separado e coletado para posterior aplicação. A filtragem retém os particulados leves, e o ar, assim filtrado, é liberado para a atmosfera sem causar poluição. A figura 7.6 apresenta o processo de pintura eletrostática a pó.

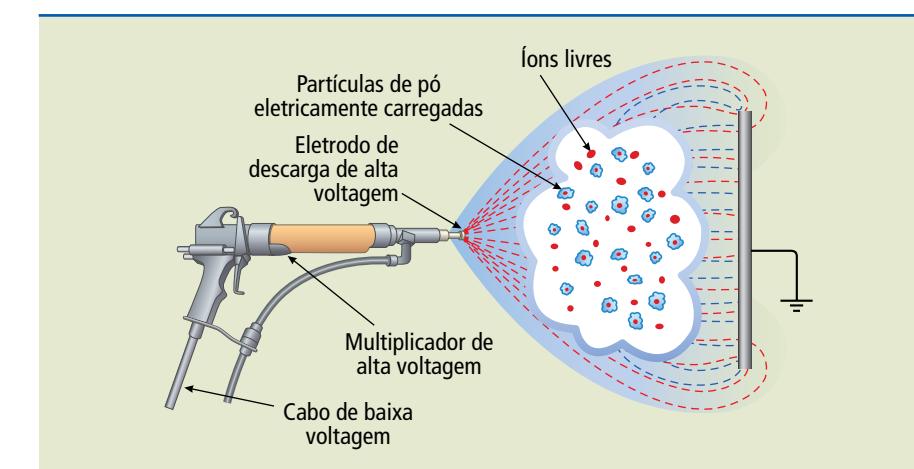


Figura 7.6
Exemplo de pintura eletrostática.

A pintura eletrostática a pó é utilizada para a proteção, por exemplo, de superfícies metálicas de aço-carbono, alumínio, latão, inox e ferro fundido.

É de grande resistência, mesmo nos casos de exposição a intempéries e ambientes corrosivos. As principais características e vantagens do sistema de pinturas eletrostáticas a pó são:

- resistência a impactos;
- cobertura uniforme das peças;
- alcance da tinta em lugares de difícil acesso;
- excelente aderência;
- resistência a altas temperaturas;
- resistência à corrosão;
- ótima flexibilidade.

7.3.2 Pintura líquida

A pintura líquida se baseia na aplicação de camadas de tinta pelo método convencional de pulverização com pistola em metal ferroso ou não ferroso, plásticos em geral (ABS, PS, PC, PVC, náilon e acrílico) e madeira (laminado, compensado e MDF). É importante sempre utilizar o processo de preparação da superfície para que a aderência da tinta seja satisfatória.

As principais características e vantagens do sistema são:

- cobertura uniforme das peças;
- elevada variedade de cores e acabamentos;
- boa aderência em diversos materiais;
- excelente aparência;
- excelente flexibilidade;
- alcance da tinta em locais de difícil acesso.

Capítulo 8

Teorias da administração

Este capítulo e o seguinte tratam de assuntos que propriamente não pertencem à Mecânica, porém são fundamentais para tornar os técnicos de nível médio profissionais competentes, que gerem projetos e produtos com qualidade, viáveis técnica e economicamente, intercambiáveis e competitivos, até mesmo no mercado globalizado.

Nos temas técnicos serão apresentados os diversos tópicos de estudo: desde a pesquisa e desenvolvimento, relacionados ao projeto (concepção, anteprojeto, projeto detalhado, desenhos técnicos, ajustes e tolerância), passando pela definição dos materiais e processos (equipamentos/máquinas, tratamentos, entre outros), o acompanhamento da produção (operacional e supervisão) até o controle da qualidade (metrologia, metalografia, ensaios mecânicos etc.).

Lembramos ainda que o conhecimento profissional não pode ficar restrito apenas à parte exclusivamente técnica, e que o projeto e/ou produto tem de ser submetido a um estudo de viabilidade técnica e financeira.

Figura 8.1



KEITH WOOD/GETTY IMAGES

Pretendemos mostrar nestes capítulos que no início de carreira o profissional de mecânica terá um foco bastante técnico, algo em torno de 100%, o que é muito importante para consolidar os conhecimentos adquiridos. Após a fase inicial de aprendizado prático, ele começa a notar que, para que as ações passem do papel para a prática, depende de ações de terceiros, e que para que estas aconteçam no tempo previsto é necessário receber orientações e ordens de superiores e transmiti-las a colaboradores do mesmo nível ou subordinados. Nessa fase é percebida a importância do relacionamento e inicia-se o processo de transição no contato com os níveis superiores. O tempo gasto com a parte técnica diminui, e aumenta aquele dedicado à gestão (os aspectos técnicos se reduzem para algo entre 70% e 50%). Finalmente, com a consolidação do aprendizado dos aspectos de gestão, o profissional vai evoluindo para cargos de liderança, o que faz aumentar ainda mais o tempo gasto com gestão (aproximadamente 70% para atividades de gestão e 30% para técnicas).

Esse comentário inicial tem por objetivo fazer com que o técnico de nível médio se dê conta da importância do processo de administração e organização e invista no estudo da gestão da produção, com os conhecimentos técnicos operacionais.

8.1 Introdução

Vários autores conceituados se empenharam em escrever os fundamentos que delinearam o comportamento do processo produtivo ao longo do século XX.

Figura 8.2

Linha de montagem no início do século XX.



HIRSHFINGER/ARCHIVE PHOTOS/GETTY IMAGES

Até meados dos anos 1980, a produção industrial brasileira estava baseada na organização taylorista da produção, que considera o homem uma extensão da máquina e enfatiza o trabalho segmentado e as hierarquias. O taylorismo é o método de racionalização do trabalho desenvolvido pelo engenheiro norte-americano Frederick Winslow Taylor (1856-1915). Taylor estudou a produção e seus custos, observou os operários, seus movimentos, suas tarefas e o tempo que levavam para executá-las. O filme *Tempos modernos*, de Charles Chaplin, retrata com arte o modelo de trabalho e a sociedade predominante nos EUA, nos anos 1920 e 1930. Tal filosofia sofreu mudanças, mas algumas técnicas são utilizadas até hoje, embora sem o radicalismo inicial.

Este material reúne tópicos que envolvem: estudo do trabalho, teorias da administração, processos de trabalho industrial, tempos, materiais, leiaute e custo. Os fundamentos não se esgotam e, para aprofundar conhecimentos em determinados assuntos, convém buscar ajuda na literatura técnica específica.

Deseja-se que os alunos desenvolvam interesse pela área e possam utilizar os conhecimentos adquiridos sobre a gestão de negócios envolvendo a produção de bens e serviços de forma simples e prática.

8.2 Caracterização do trabalho

8.2.1 O trabalho

O trabalho surgiu da necessidade de os seres humanos proverem recursos para a própria sobrevivência, ou seja, colher frutas, pescar, caçar e proteger-se das mudanças do clima.

O trabalho envolve também uma manifestação intelectual, pois requer planejamento, precisa ser pensado para ser realizado. O ser humano está sempre criando necessidades e desenvolvendo novos produtos, continuamente se inserindo em novas empreitadas.

Considerando que o homem, além de prover sua subsistência, também precisa de diversão e arte, a visão moderna admite que, para atender plenamente às suas necessidades, é importante que o trabalho ideal leve em conta as capacidades próprias do ser humano, que são fazer, pensar e sentir.

Entender o sentido do trabalho possibilita utilizar recursos, criar ambientes e explorar possibilidades de forma consciente, respeitando as necessidades humanas.

8.2.2 Evolução tecnológica no mundo do trabalho

Diferentemente dos outros animais, o ser humano foi capaz de transformar a matéria existente na natureza em objetos apropriados para seu uso. Inicialmente, aproveitou pedras, galhos de árvores e ossos de animais para utilizar como ferramentas e utensílios, que ampliaram as possibilidades de trabalhar e manter a espécie.

Ocorreram mudanças bastante significativas no mundo desde os utensílios de pedra usados por nossos antepassados. Novas técnicas contribuíram para melhorar a exploração dos recursos, ampliar a variedade de produtos, melhorar a produtividade e os relacionamentos.

Algumas mudanças, por terem sido mais significativas e mais rápidas que outras, são lembradas como revolução. Entre as revoluções tecnológicas destacam-se a do Neolítico e a Primeira, Segunda e Terceira Revolução Industrial, descritas sucintamente a seguir.

A revolução do Neolítico

A revolução do Neolítico ocorreu entre 10 000 e 5 000 anos atrás e caracterizava-se pelo desenvolvimento da pecuária e da agricultura, quando surgiram as primeiras cidades, apareceram os primeiros tecidos (de fibras animais, como a lã, e vegetais, como o algodão e o linho) e os primeiros produtos de olaria e metalurgia.

Em meados do século XVIII, com o enfraquecimento do **feudalismo**, os nobres se viram obrigados a vender suas terras, e os servos, desempregados, deslocaram-se para as cidades. Criou-se nas cidades um grande contingente de desprovidos miseráveis. Simultaneamente, apareceu a figura dos capitalistas, dos empreendedores que se preocupavam em obter capitais para expandir fábricas. Tem início a Primeira Revolução Industrial.

A Primeira Revolução Industrial

A Primeira Revolução Industrial ocorreu entre 1780 e 1850, logo após a invenção da máquina a vapor, em 1776, quando surgiram as primeiras grandes fábricas e houve aumento da exploração do ferro e do carvão. No início, as indústrias se concentravam nas regiões que dispunham de força hidráulica, ferro e carvão. O carvão e o ferro foram os pilares de sustentação da industrialização moderna.

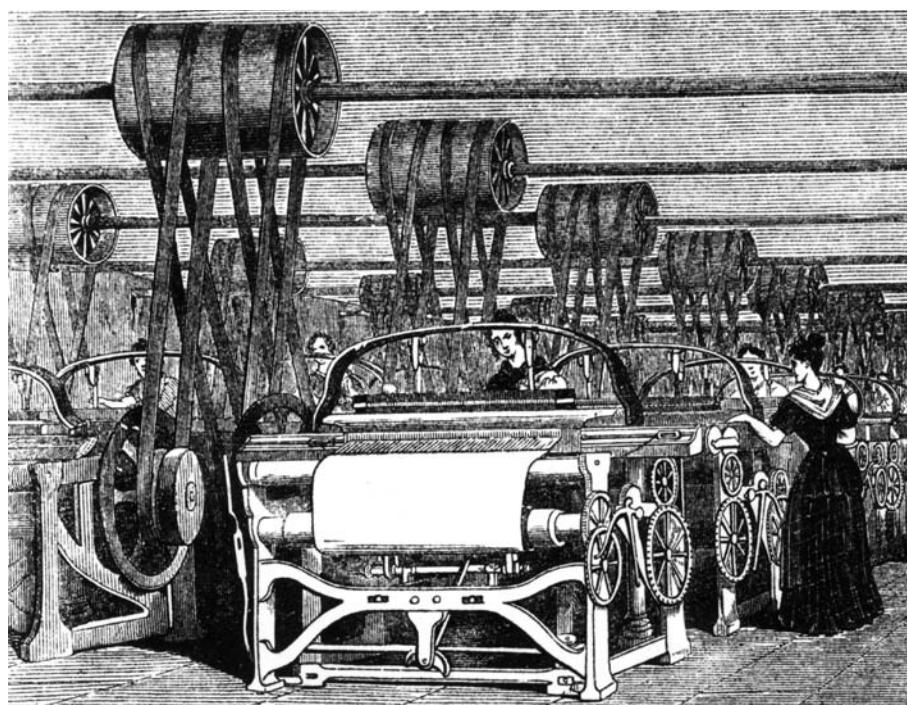
A Primeira Revolução Industrial trouxe grandes mudanças na economia dos países europeus:

- expansão das fábricas;
- evolução e multiplicação dos equipamentos (máquinas-ferramenta, motores a vapor e equipamentos têxteis);
- aumento da produção de bens industrializados;
- intensificação da mecanização da indústria e da agricultura;
- aplicação da força motriz à indústria;
- desenvolvimento do sistema fabril;
- desenvolvimento dos meios de transporte e comunicação;
- aumento do controle capitalista sobre todos os ramos de todas as atividades econômicas;
- descoberta do processo Bessemer de purificação do ferro, que possibilitou máquinas mais eficientes e mais econômicas.

O feudalismo foi um sistema político e social vigente na Europa medieval com base na propriedade da terra de nobres, que as cediam a servos em troca de fidelidade e trabalho.

Figura 8.3

As primeiras fábricas dependiam de força hidráulica, ferro e carvão.



HULTON ARCHIVES/STR/GETTY IMAGES

A Segunda Revolução Industrial

Essa fase teve início em 1860 nos Estados Unidos, o segundo estágio de industrialização, quando começou a produção em massa, caracterizada por processos mecânicos especializados, exigindo rigorosa divisão do trabalho. Suas principais características foram:

- substituição do ferro pelo aço e o aparecimento das ligas de metais leves e de produtos da química industrial;
- substituição do vapor pela eletricidade e pelos derivados do petróleo, com a introdução de equipamentos elétricos e automatizados;
- especialização e rotinização do trabalho operário nos processos de fabricação, com a divisão do trabalho complexo em atividades simples (unitárias);
- desenvolvimento da produção em massa, em série, com a introdução da linha de montagem;
- aumento da produtividade do trabalho;
- desenvolvimento de novas formas administrativas das organizações capitalistas;
- aumento da velocidade do transporte e melhorias no sistema de comunicação;
- expansão da industrialização na Europa e Ásia.

Esse período ficou marcado por alguns fatos relevantes:

- grandes descobertas científicas;
- grande diversificação de produtos;
- enriquecimento da população (porém com aumento das diferenças sociais);

- fortalecimento dos sindicatos;
- crescimento do poder das indústrias;
- crescimento dos bancos;
- aparecimento das empresas multinacionais.

Os resultados sociais dessa revolução foram:

- aumento da população mundial;
- organização da sociedade ocidental;
- fortalecimento do capitalismo pela formação da burguesia industrial e do proletariado.

A Terceira Revolução Industrial

A Terceira Revolução Industrial ocorreu no Japão (foi percebida pelos ocidentais) a partir da década de 1970. Foi marcada pelo desenvolvimento da informática e da eletroeletrônica na indústria automobilística.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o Japão iniciou sua modernização, com a melhoria da qualidade nos processos industriais. As alterações nos modelos de trabalho que se seguiram, especialmente as propostas pela Toyota, deram novo fôlego à indústria automobilística e proporcionaram mudança significativa na forma de produzir e de pensar do mundo na época. Criou-se o que se chama Sistema Toyota de Produção (STP). Iniciado em 1950, somente na década de 1970, esse sistema passou a ser percebido pelos Estados Unidos, que começaram a importar os carros japoneses, incomodando a indústria local, pois eram menores, mais econômicos e mais confortáveis, o que agradou o consumidor norte-americano.

O STP parte do princípio de que a participação intelectual de quem executa diretamente o trabalho é fundamental para assegurar melhores níveis de produtividade e qualidade. Alterou-se profundamente o sistema de segmentação de funções e tarefas da produção fordista.

O modelo de produção de Henry Ford se baseia na economia de escala e padronização dos produtos. Com esse modelo, a linha de produção favoreceu a fabricação em série (todos os veículos eram da cor preta), com o trabalhador alienado, fixado em seu posto de trabalho e apoiado no conceito de tempo predeterminado. Ford produziu seu primeiro carro em 1896, em sua oficina caseira. Organizou a linha de montagem e com ela produziu, entre 1908 e 1927, 15 milhões de unidades do modelo Ford T, um carro de baixo preço, feito pelos melhores trabalhadores. Ford revolucionou a forma de fazer automóveis e atendeu as expectativas dos consumidores de sua época.

A partir dos anos 1970, a customização em massa passou a ser o foco da indústria para atender os clientes, produzindo veículos diferenciados. O trabalhador alienado cedeu lugar ao trabalhador multifuncional. Nesse novo método de trabalho, apoiado pela tecnologia, convoca-se o trabalhador para opinar sobre a melhor forma de organizar e produzir.

Características do Sistema Toyota de Produção

Figura 8.4

Linha de montagem da Toyota, no Japão, em 1974.



SANKEI ARCHIVE/CONTRIBUTOR/GETTY IMAGES

Podemos distinguir as seguintes características no STP (que foi ligeiramente alterado nas últimas décadas):

- foco no cliente;
- o trabalhador não fica alienado;
- o trabalhador desempenha múltiplas funções e tarefas, até mesmo as de apoio à produção;
- são eliminadas funções de apoio à produção;
- horários flexíveis de trabalho;
- exercício dos cinco S's: utilização, organização, limpeza, saúde e autodisciplina;
- administração por metas e objetivos estratégicos da empresa;
- trabalhos em grupos, organizados em células, círculos, ou ilhas de produção;
- níveis hierárquicos reduzidos, substituídos pelo autocontrole dos grupos;
- sistema de promoção, ascensão na carreira e participação nos resultados, baseados na liderança, opiniões de clientes e fornecedores, cumprimento de metas;
- leiaute mais compacto e transparente, eliminando salas individualizadas e espaços exclusivos de gerentes e diretores de fábrica;
- rendimentos (salários e participação nos lucros) atrelados aos resultados do desempenho da empresa em determinado período;
- programas permanentes de redução de custos (melhorias contínuas);
- controle de qualidade feito durante o processo de produção;
- redução de estoques a partir do sistema de qualidade assegurada e utilização das técnicas de *just-in-time* (material certo na quantidade certa, na hora certa e no lugar certo).



TOYOHIRO OHSUMI/BLOOMBERG/VIA GETTY IMAGES

Figura 8.5

Profissional inspeciona um veículo.

8.3 O que é administração

Administrar consiste em planejar, organizar, liderar e controlar o trabalho.

- Planejar: por meio de métodos, analisar e estudar o ambiente, os recursos, e prever, antecipadamente, as ações e os resultados para alcançar objetivos definidos.
- Organizar: arrumar e alocar o trabalho, a responsabilidade e os recursos entre os membros da organização.
- Liderar: dirigir e influenciar pessoas para trabalharem entusiasticamente visando atingir objetivos comuns.
- Controlar: estabelecer padrões, medir e comparar o desempenho com os padrões estabelecidos. Detectar desvios, executar ações corretivas e buscar melhorias constantes nos processos administrativos.

Para entender melhor, é importante estudar as teorias da administração, que ajudam a compreender como as organizações funcionam.

Entre os anos de 1860 e 1930 muitas teorias foram escritas para explicar o comportamento das organizações. As mais importantes são: organização científica do trabalho, teoria clássica da administração, escola comportamental e escola quantitativa, que vamos descrever sucintamente a seguir.

8.3.1 Teoria da administração científica

Formulada por Frederick W. Taylor, Henry L. Gantt e Frank e Lillian Gilbreth, entre 1890 e 1930, a organização científica do trabalho deu ênfase às tarefas e desenvolveu princípios na organização do trabalho.

Os princípios de Taylor

Os princípios do taylorismo podem ser sintetizados nos seguintes itens:

- 1) Desenvolver uma ciência da administração. Reduzir o saber do operário a seus elementos mais simples. Desenvolver o melhor método para realizar cada tarefa.
- 2) Selecionar bem e habilitar (treinar e aperfeiçoar) o trabalhador para a tarefa pela qual será responsável.
- 3) Aplicar a ciência do trabalho e controlar cada detalhe da execução.
- 4) Dividir equitativamente o trabalho e as responsabilidades entre a direção e o operário.

O plano de incentivos de Taylor

Taylor também se preocupou com a remuneração do trabalho a fim de incentivar o aumento da produção. Pagava uma quantia extra para aqueles que conseguissem ultrapassar as metas de produção, da seguinte forma:

- a) Não havia acréscimo se o trabalhador não ultrapassasse a produção estabelecida:

$$S = s \cdot n \text{ em que:}$$

S = salário/hora

s = salário/peça

n = número de peças/hora

- b) Se o trabalhador ultrapassasse a produção estabelecida, o valor seria:

$$S = K \cdot s \cdot n \text{ em que:}$$

$$K = \frac{QP}{PE}$$

QP = quantidade produzida

PE = produção estabelecida

Assim, haveria uma proporção a ser agregada ao salário, referente ao volume produzido em relação à base. Com isso, se conseguia aumentar a produção, reduzir conflitos e pagar por unidade produzida.

A ampliação desse fator motivacional entre os supervisores da organização foi proposta por Henry Gantt. O benefício se estendia a eles toda vez que os subordinados alcançassem suas metas.

Os estudos dos Gilbreth

Os estudos de Frank e Lillian Gilbreth estão relacionados à economia de movimento e ao bem-estar do trabalhador.



Figura 8.6

Lilian e Frank Gilbreth.

A redução da fadiga melhora o bem-estar do colaborador, porém não devemos esquecer que a eliminação de qualquer movimento implica também ganho de produtividade.

Frank Gilbreth (1868-1924) estudou os movimentos e os tempos de produção. Percebeu que o movimento e a fadiga estão interligados. Cada movimento eliminado reduziria a fadiga. Para Gilbreth, o trabalhador pode aumentar os instantes de felicidade, reduzindo a **fadiga**.

A fadiga se reduz se o trabalhador exercitar certa consciência e organização no trabalho: conhecer bem seu ofício, trabalhar rápido, fazer o mínimo de movimento para alcançar o resultado desejado e, também, executar o serviço atual, preparar-se para o posto imediatamente superior e treinar seu sucessor, tudo ao mesmo tempo.

A psicóloga do trabalho Lillian Gilbreth (1878-1972) pesquisou a condição para o bem-estar individual do trabalhador. Para ela, o objetivo final da administração científica era ajudar os trabalhadores a alcançar seu potencial máximo como seres humanos.

Contribuição de Henry Ford

Henry Ford (1863-1947) foi um grande incentivador do movimento da administração científica. Aproveitou e aplicou os conhecimentos de Frederick Taylor.

Observou a linha de “**desmontagem**” de frangos em um frigorífico e transferiu a ideia para a produção de automóveis. A fabricação de um automóvel saltou de 12 horas em 1908 para menos de 10 minutos em 1920.

Transportados em caixa, os frangos eram pendurados vivos e levados a uma divisão do frigorífico de onde saíam mortos e já sem penas, faltando apenas a retirada das vísceras.

Características da administração científica

- A linha de montagem mostrou-se eficaz e contribui até hoje para produzir em grande escala.
- As técnicas de Taylor foram aplicadas em muitas organizações não industriais.
- Dá ênfase à organização do trabalho e ao desenvolvimento dos trabalhadores.
- O caráter racional do trabalho permitiu solucionar problemas organizacionais.
- O trabalho fragmentado faz o trabalhador executar tarefas simples e rotineiras, gerando alienação do trabalhador, que perdeu o sentido da totalidade.
- O saber do trabalho pertence à chefia.
- Ocorre a mecanização do homem.
- Não leva em consideração o desejo humano de autorrealização no trabalho e as necessidades sociais dos trabalhadores, gerando tensões.
- Aumento da insatisfação dos trabalhadores e fortalecimento dos sindicatos.
- Ênfase à produtividade e lucratividade.
- Exploração de trabalhadores e clientes para obter lucros.
- Criação de regulamentação do governo sobre as empresas.

O modelo da administração científica do trabalho influenciou a vida de todos no século XX, e continua até os dias atuais. Esse modelo serviu de base para a implantação das linhas de trabalho automatizadas, controladas por robôs.

8.3.2 Teoria clássica da administração

A teoria clássica da administração surgiu da necessidade de encontrar um método de administrar organizações complexas. Enquanto Taylor se preocupava com as funções organizacionais, Henry Fayol (1841-1925) se interessava pela organização total. Para Fayol, a função da administração deveria ser separada das demais funções da empresa.

Fayol dividiu as operações empresariais em seis atividades inter-relacionadas:

- técnica – produção e fabricação de produtos;
- comercial – compra de matéria-prima e venda de produtos;
- financeira – aquisição e uso de capital;
- segurança – proteção dos empregados e da propriedade;
- contábil;
- administração.

Antes de Fayol dizia-se que os administradores nascem prontos e não podem ser feitos. Para Fayol, a administração é uma habilidade que pode ser ensinada.

Ele tenta, pela primeira vez, identificar os **princípios** e as **habilidades** que servem de base à **administração eficaz** (tabela 8.1).

I	Divisão do trabalho	Especialização das pessoas para aumentar a eficiência.
2	Autoridade e responsabilidade	O direito de mandar e o de receber obediência; a obediência em cumprir as atribuições do cargo e responder pelas consequências do não cumprimento.
3	Disciplina	O cumprimento dos acordos estabelecidos e das determinações vigentes.
4	Unidade de comando	Cada empregado tem apenas um superior.
5	Unidade de direção	Um só chefe e um plano para cada grupo de atividades que tenham o mesmo objetivo.
6	Subordinação do particular ao geral	Subordinação do interesse individual ao interesse geral.
7	Remuneração do pessoal	De forma justa e equitativa, para garantir a satisfação dos empregados e da empresa.
8	Centralização	O grau de concentração da autoridade e a capacidade do chefe de enfrentar sua responsabilidade e a iniciativa dos subordinados.
9	Cadeia escalar (linha de comando)	Hierarquia. A linha de autoridade que vai do escalão mais alto ao mais baixo.
10	Ordem	Um lugar para cada pessoa e todas as pessoas em seu lugar; uma função para cada pessoa e cada pessoa em sua função; um tempo para cada coisa e cada coisa em seu tempo.
II	Equidade	Tratamento justo das pessoas para alcançar sua lealdade pessoal, não excluindo o rigor quando necessário.
12	Estabilidade e duração (em um cargo) do pessoal	Manutenção das pessoas de forma a evitar a rotação de pessoal. Quanto mais tempo uma pessoa permanecer em um cargo, tanto melhor.
13	Iniciativa	A capacidade de visualizar a necessidade de uma ação e executá-la sem precisar aguardar ordens superiores.
14	Espírito de equipe	Harmonia e união das pessoas na força do trabalho para assegurar o sucesso da organização.

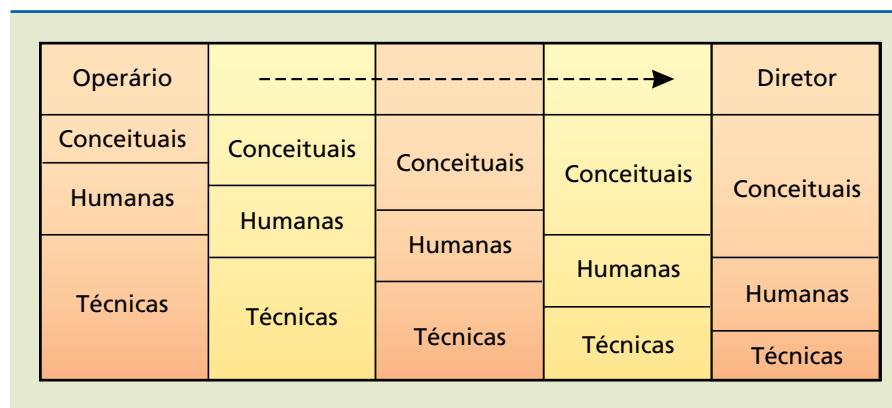
Tabela 8.1

Princípios da administração de Fayol.

No conjunto de capacidades (figura 8.7), um operário possui mais habilidades técnicas que conceituais, e essa proporção vai sendo alterada até ele chegar à função de diretor, que possui mais habilidades conceituais que técnicas.

Figura 8.7

Variação das habilidades na carreira de um operário até se tornar diretor.



As habilidades técnicas compreendem a capacidade de usar procedimentos, técnicas e conhecimentos; as habilidades humanas, a capacidade de trabalhar com pessoas; as habilidades conceituais, a capacidade de coordenar e integrar interesses da organização.

Max Weber e a teoria da burocracia

Os princípios de Max Weber (1864-1920) dão um sentido formal, impessoal e profissional à organização, a regulamentação cuidadosa das atividades organizacionais. Para Weber, a organização baseia-se em leis que as pessoas aceitam por acreditarem que são racionais. A organização ideal seria uma burocracia cujas atividades e objetivos eram pensados racionalmente, as atividades do trabalho declaradas explicitamente, com ênfase na competência técnica e avaliações de desempenho feitas com base no mérito.

Weber buscava o melhor desempenho de organizações socialmente relevantes, tornando suas operações previsíveis e produtivas. As teorias de Max Weber influenciaram o crescimento de grandes organizações, muitas delas importantes até hoje.

Weber estabeleceu a teoria da burocracia, segundo a qual a burocracia é uma organização ligada pelos seguintes critérios:

- normas e regulamentos previamente estabelecidos por escrito;
- comunicações escritas;
- divisão sistemática do trabalho;
- considera as pessoas como ocupantes de cargos e funções e não como pessoas, apenas;
- nela os cargos são hierárquicos e a autoridade pertence ao cargo e não ao indivíduo que o ocupa;
- fixa regras e normas técnicas de desempenho para cada cargo;

- propõe a escolha das pessoas por mérito e competência técnica e não por preferências pessoais;
- baseia-se na separação entre propriedade e administração;
- caracteriza-se pela profissionalização de seus integrantes;
- para que a eficiência máxima do sistema seja plenamente alcançada, todas as ocorrências são previstas, tudo é estabelecido e transformado em rotina de execução;
- o trabalho deve ser planejado, considerando as ocorrências futuras, as atividades preestabelecidas e rotinizadas para alcançar a máxima eficiência em sua execução.

8.3.3 Escola comportamental

O movimento das relações humanas surgiu da necessidade de administrar os fatores psicológicos e sociais no trabalho, a fim de aumentar a produtividade e o bem-estar. Relações humanas é a maneira como os administradores interagem com seus subordinados. Entre 1924 e 1933, um grupo multidisciplinar de estudiosos da administração usou seus conhecimentos de sociologia, psicologia e campos afins para compreender melhor as pessoas dentro das organizações e administrá-las com mais eficácia.

Elton Mayo (1880-1949), considerado o fundador do movimento das relações humanas no trabalho, percebeu que os trabalhadores eram “solitários”, ou seja, seu trabalho não permitia qualquer contato com outras pessoas.

Mayo realizou uma série de experiências na fábrica Hawthorne, da Western Electric, nas proximidades de Chicago (EUA). Separou em uma sala um grupo de operadores e o submeteu a mudanças na iluminação. Percebeu que, melhorando a iluminação, a produtividade aumentava, e, piorando a iluminação, a produtividade também aumentava. Notou, ainda, que a produção também aumentava durante a realização dos estudos. Na sequência, experimentou aumentar salários, variar os períodos de descanso e reduzir a jornada diária de trabalho.

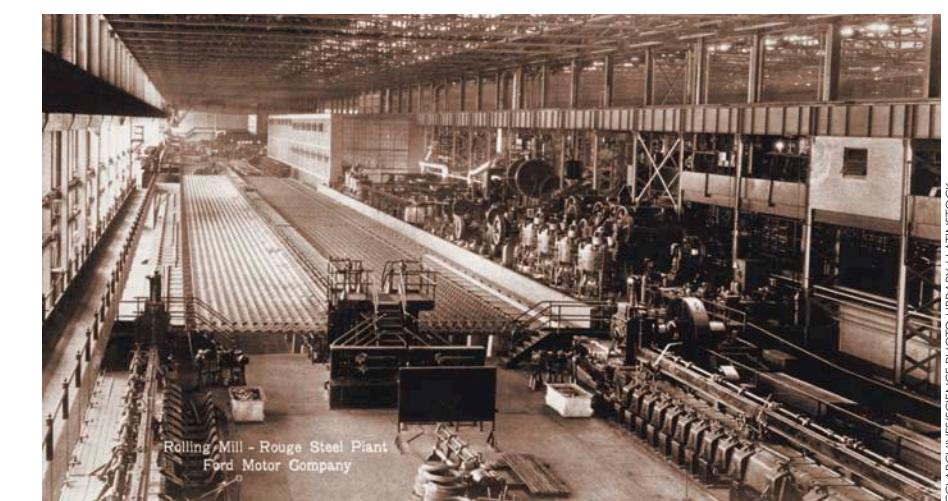


Figura 8.8
Indústria siderúrgica, 1920.

Os resultados foram ambíguos. Os trabalhadores demonstraram comportamento satisfatório durante a experiência, independentemente das variáveis alteradas, para mais ou para menos.

Segundo Elton Mayo, como eles receberam atenção especial durante a experiência, desenvolveram um orgulho de grupo e melhoraram o desempenho. Chamou o resultado de **efeito Hawthorne**: os empregados trabalhariam mais, caso acreditassesem que a administração estava preocupada com seu bem-estar e que os supervisores prestavam atenção especial a eles.

Mayo destacou a importância do estilo mais humano e menos técnico de administrar e, com isso, revolucionou o treinamento de administradores.

Mas o ambiente social no local de trabalho é apenas um dos fatores interativos que influenciam na produtividade. Salários, motivação pela tarefa, estrutura e cultura organizacional e as relações entre trabalhadores e administradores também têm importância.

8.3.4 Escola quantitativa ou pesquisa operacional

O movimento da pesquisa operacional é o resultado da experiência britânica de resolver problemas complexos durante a Segunda Guerra Mundial. Importantes inovações tecnológicas e táticas foram bem-sucedidas durante o período. O modelo inglês foi logo aplicado pelos norte-americanos, que formaram equipes de pesquisa operacional para solucionar problemas semelhantes.

Após a guerra, os especialistas em pesquisa operacional foram chamados para ajudar os administradores a resolver problemas de cálculos com muitas variáveis (máquinas, matéria-prima, número de trabalhadores etc.) envolvidas na modelagem matemática. Nasceu a ciência da administração, que consiste na aplicação de técnicas matemáticas para criação de modelos, análises e solução de problemas de administração. Fornece base para a tomada de decisão. É também chamada pesquisa operacional.

Com o desenvolvimento dos computadores, menores e mais potentes, a pesquisa operacional passou a ser muito utilizada hoje. Os administradores aproveitam técnicas da teoria dos jogos, teoria das filas, análise de valor e simulação para apoiar decisões administrativas estratégicas e garantir investimentos seguros.

8.4 Conclusões do capítulo sobre teorias da administração

Estudamos o trabalho em sua essência, as sequências de revoluções industriais, o Sistema Toyota de Produção (STP), as teorias da administração: administração científica, passando pelas escolas clássica (Fayol e Weber), comportamental e quantitativa. Fica a pergunta: qual teoria utilizar?



Figura 8.9
Linha robotizada de produção industrial no Japão.

ANDY CRUMPS/SCIENCE PHOTO LIBRARY / LATINSTOCK

Apesar das mudanças ao longo dos últimos anos, as principais características (ferramentas) dos diversos modelos ainda são muito utilizadas, por exemplo, as linhas de montagem, o estudo dos movimentos e as funções organizacionais das empresas.

O que mudou foi a ênfase dada aos aspectos comportamentais. Empresas modernas passaram a valorizar os relacionamentos entre os colaboradores e líderes, além disso, encontraram aí uma forma de aumentar o poder de cada trabalhador e garantir mais envolvimento nos processos produtivos. Assim, foi possível incentivar a competitividade pela aplicação de programas simples, como a redução de desperdícios, flexibilidade dos processos e melhoria da qualidade, bases do Sistema Toyota de Produção (STP).

Capítulo 9

A organização industrial

E

no ambiente industrial que o técnico tem mais possibilidades de aplicar seus conhecimentos e desenvolver-se profissionalmente.

9.1 A organização

Denomina-se organização “a união estruturada de duas ou mais pessoas para alcançar um objetivo específico ou um conjunto de objetivos”. A organização cuida da aplicação dos recursos, da divisão das tarefas, da distribuição de responsabilidades, do cumprimento das metas, da comunicação e do processo de tomada de decisões.

Um dos objetivos principais da organização é ter lucro, isso a caracteriza como um conjunto econômico (uma entidade) vinculado a um sujeito jurídico (o patrimônio). A entidade econômica compreende dois elementos fundamentais:

- o patrimônio ou o conjunto de valores econômicos; e
- a pessoa ou a entidade que possui e administra esse patrimônio.

As entidades podem ser classificadas da seguinte maneira:

- de caráter mercantil: fazem produtos e serviços e o lucro obtido pela comercialização é dividido entre os sócios e acionistas;
- de caráter social: visam prestar serviços sem fins lucrativos.

$$\text{Empresa ou organização} = \text{Pessoa} + \text{Patrimônio} + \text{Lucro}$$

9.1.1 Classificação da organização

Classificação qualitativa – quanto à atividade exercida

Qualitativamente, as empresas podem ser classificadas como mostra a tabela 9.1.

Tipo de empresa	Atividade	Campo de atuação
Agrícola	Exploração da terra	Lavoura
Pecuária	Criação de diversos tipos de gado	Empresas pastoris
Mineração	Exploração de minas e depuração de metais	Minas
Industrial	Transformação de matéria-prima em produto elaborado	Fiação e tecelagem, construção civil, refinação de petróleo etc.
Transportadora	Remoção de pessoas e bens	Frotas de táxis, empresas de ônibus, empresas de mudanças
Financeira	Coordenação de recursos	Bancos, empresas de investimento, financiadoras
Prestadora de serviços	Atendimento a necessidades variadas	Análise de mercado, escritas contábeis, corretagens
Comercial	Aproximação do produtor ao consumidor, por meio de compra e venda	Mercadorias, supermercados, lojas

Tabela 9.1

Classificação de empresas quanto à atividade exercida

Classificação por ramo de atividade

As empresas podem ser classificadas de acordo com suas atividades em:

- produtoras de bens (indústria);
- comercializadoras de bens (comércio);
- prestadoras de serviços.

As empresas que produzem bens podem ser divididas em:

- produtoras de matérias-primas – empresas agrícolas, florestais, de caça e pesca, de mineração, que produzem combustíveis, fibras naturais, produtos alimentícios, madeiras e minerais básicos.
- produtoras de bens manufaturados – empresas que transformam as matérias-primas em produtos manufaturados ou industrializados. Elas recebem os produtos das indústrias produtoras de matérias-primas (também chamadas indústrias de base) para transformá-los em bens acabados.

Classificação por área de atuação

Em função da área de atuação, as empresas podem pertencer às seguintes áreas:

- primária – extrativista e agricultura. É a primeira área envolvida na obtenção de qualquer bem útil ao homem;

Figura 9.1



MIRCEA BEZERGHEANU/SHUTTERSTOCK

- secundária – empresas de transformação da matéria-prima fornecida pelas empresas primárias. É a segunda área envolvida na obtenção de um bem;

Figura 9.2



BLOOMBERG/GETTY IMAGES

- terciária – dedica-se à aproximação do produtor e consumidor. Empresas que distribuem os bens produzidos pelas empresas da área secundária e prestam serviços pertinentes. Empresas comerciais e de prestação de serviços.

Figura 9.3



DELFIN MARTINS/PULSAR IMAGENS

Classificação quanto ao tamanho/faturamento

Classificação segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) – carta circular no 10/2010 e 11/2010, de 5 de março de 2010:

- **microempresa** – atividades centradas no dono da empresa. Receita operacional bruta anual ou anualizada até R\$ 2,4 milhões;
- **pequena empresa** – com administração um pouco mais descentralizada. Receita operacional bruta anual ou anualizada superior a R\$ 2,4 milhões e inferior ou igual a R\$ 16 milhões;
- **média empresa** – receita operacional bruta anual ou anualizada superior a R\$ 16 milhões e menor ou igual a R\$ 90 milhões;
- **média-grande empresa** – receita operacional bruta anual ou anualizada superior a R\$ 90 milhões e igual ou inferior a R\$ 300 milhões;
- **grande empresa** – receita operacional bruta anual ou anualizada superior a R\$ 300 milhões.

Classificação das empresas quanto ao porte

Classificação segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae):

- **microempresa** – na indústria, até 19 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, até 9 pessoas ocupadas;
- **pequena empresa** – na indústria, de 20 a 99 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, de 10 a 49 pessoas ocupadas;

- **média empresa** – na indústria, de 100 a 499 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, de 50 a 99 pessoas ocupadas;
- **grande empresa** – na indústria, acima de 499 pessoas ocupadas; no comércio e serviços, acima de 99 pessoas ocupadas.

Caracterização da indústria

Empresas industriais são aquelas que realizam operações que modificam a natureza, o funcionamento, o acabamento, a apresentação ou a finalidade do produto, ou, ainda, aquelas que aperfeiçoam um produto para consumo, por meio do uso intensivo de trabalho, máquinas e equipamentos.

Esses produtos podem ser utilizados para consumo direto, ou final, como mercadorias, pelas empresas comerciais ou, como insumos, utensílios, máquinas e equipamentos essenciais no processo de produção de outras empresas industriais.

De acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), as empresas industriais são classificadas de acordo com as seguintes características:

- empresas de fabricação de produtos alimentícios e bebidas, abate e preparação de carne e de pescado;
- fabricação de produtos do fumo;
- fabricação de produtos têxteis, como beneficiamento de fibras têxteis naturais, fiação, tecelagem, fabricação de artefatos têxteis, serviços de acabamento e fabricação de tecidos e artigos de malha;
- confecção de artigos do vestuário e acessórios;
- preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados;
- fabricação de produtos de madeira;
- fabricação de celulose, papel e produtos de papel;
- edição, impressão de materiais diversos e reprodução de gravações;
- fabricação de coque, refino de petróleo, elaboração de combustíveis nucleares e produção de álcool;
- fabricação de produtos químicos;
- fabricação de artigos de borracha e de plástico;
- fabricação de produtos de minerais não metálicos, como artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e estuque, produtos cerâmicos, aparelhamento de pedras, cal e outros;
- metalurgia e siderurgia;
- fabricação de estruturas metálicas e outros produtos de metal;
- fabricação de máquinas e equipamentos;
- fabricação de máquinas para escritório e equipamentos de informática, fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos;
- fabricação de material eletrônico e de aparelhos e equipamentos de comunicações;
- fabricação de equipamentos de instrumentação médico-hospitalares, instrumentos de precisão e ópticos, equipamentos para automação industrial, cronômetros e relógios;

- fabricação e montagem de veículos automotores, reboques e carrocerias;
- construção, montagem e reparação de embarcações, veículos ferroviários, aeronaves e outros equipamentos de transporte, como motocicletas, bicicletas e triciclos não motorizados;
- fabricação de artigos do mobiliário e de produtos diversos;
- reciclagem de sucatas metálicas e não metálicas.

9.1.2 Evolução das empresas

As empresas tendem a evoluir com o tempo. Essa evolução é natural e define como a empresa vai ser no futuro. Nesse processo, pode ocorrer tanto evolução horizontal como evolução vertical.

Evolução horizontal

Na evolução horizontal, a empresa mantém a especialidade e diversifica seus produtos e/ou aumenta a quantidade produzida. Por exemplo: uma fábrica de automóveis de passeio que aproveita a oportunidade de mercado e a folga na capacidade instalada e passa a produzir, também, caminhonetes.

Essas empresas procuram manter suas atividades centrais e terceirizam aquelas que não fazem parte do foco principal de seu negócio. Nos modelos atuais, as empresas mantêm relacionamentos com várias outras: fornecedoras e distribuidoras.

Um dos motivos que levam uma empresa ao modelo horizontal é o fato de aplicarem seus recursos – principalmente os financeiros – nas atividades centrais do negócio.

Evolução vertical

A empresa pode expandir sua atividade tanto pelo lado do cliente, com a incorporação do serviço de distribuição e entrega, quanto pelo lado do fornecedor, incorporando a produção da matéria-prima, com a intenção de obter segurança e qualidade no atendimento ao cliente.

Um dos principais motivos que levam uma empresa ao modelo vertical, apesar de aplicar mais recursos no negócio, é manter o domínio de grande parte das atividades, o que lhe dá maior controle nas diversas fases do processo, atitude que, muitas vezes, transmite mais segurança aos clientes.

Organizações sistêmicas

No passado, a maior parte das organizações acreditava que a produção deveria ser uma função interna, sem ligações externas (empresa verticalizada). Elas procuravam proteger-se de clientes e fornecedores, para manter eficiência e alta produtividade, porque seus administradores possuíam habilidades diferenciadas. Exemplo: uma indústria têxtil que produzia ou processava a fibra, o fio, o tecido, a tintura, a estamparia, o corte, a confecção. Algumas chegavam a ter lojas para a comercialização.

Não havia, então, troca de informação nos limites do processo, dificultando a comunicação e a resolução de problemas comuns na fabricação de novos produtos.

Nos modelos atuais, considerando o impacto da globalização, com suas vantagens e desvantagens, a organização deixa de ter os limites fechados. A escola clássica da administração vai evoluindo e gerando novos conceitos, entre eles as abordagens holística e sistêmica, conceitos atuais de forte interesse na administração dos limites da organização.

Abordagem holística

Holística (do grego *holos*: “totalidade”) significa visão não fragmentada do real, em que a sensação, o sentimento, a razão e a intuição se equilibram, se reforçam e se controlam, permitindo ao ser humano a tomada de decisão após análise de todos os fatores envolvidos. A administração holística é praticada quando todos têm a visão e a compreensão da totalidade, as pessoas de bem consigo mesmas, com seus semelhantes e com o mundo.

É uma visão em que a pessoa, a sociedade e a natureza formam um conjunto indissociável, interdependente e em constante movimento. A administração holística abrange desde as pessoas da organização até todos aqueles que com elas se relacionam (fornecedores, distribuidores, consumidores).

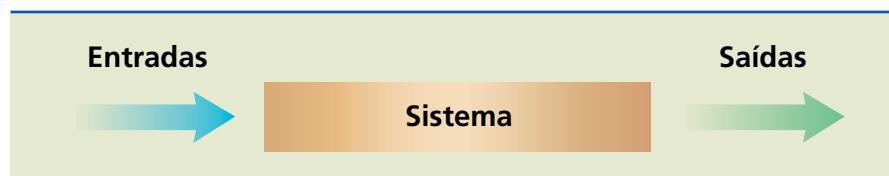
Nas organizações holísticas, o desempenho de cada participante resulta em uma soma ainda maior, porque a soma das partes acaba sendo maior do que o todo. São organizações vivas, socialmente responsáveis, preocupadas com o meio ambiente, com o presente e com o futuro.

Essas organizações tratam seus colaboradores, clientes e parceiros como gostariam de ser tratadas, trocam mais informações, dividem conhecimentos e somam esforços.

Abordagem sistêmica

Conceitualmente, sistema refere-se a qualquer conjunto de componentes e processos que visa transformar determinadas entradas em saídas (ver esquema da figura 9.4). Todo o sistema está associado à razão de sua existência, ou seja, por definição as entradas são as energias que serão transformadas no sistema, resultando em saídas úteis e saídas residuais. As saídas úteis são as relacionadas aos objetivos do sistema. As saídas residuais são as indesejáveis, as que não foram planejadas. As saídas residuais são a ineficiência do sistema.

Figura 9.4
Visão esquemática
de sistema.



Os sistemas podem ter subsistemas que, por sua vez, recebem entradas específicas e produzem saídas específicas.

Os sistemas podem ser naturais ou construídos e têm entradas, saídas úteis e residuais, componentes, processos e retroalimentação. Como exemplo de sistema, podemos citar um refrigerador, que recebe energia e a transforma em trabalho, produzindo energia (frio) e apresentando saídas residuais (perdas em forma de calor).

A visão sistêmica torna mais abrangente e integrada a compreensão das organizações, e muito mais objetiva a análise das operações de qualquer organização, por sua própria natureza, à medida que orienta a análise do todo para o detalhe.

Na visão sistêmica, é importante identificar as partes essenciais de um sistema ou processo. E, a partir daí, repensar o processo, racionalizar, automatizar e reordenar. É fundamental para o estudo e a implantação de alterações nas entradas dos processos de uma organização, nos próprios processos e em suas saídas.

Analizando pela visão sistêmica, a empresa compõe-se:

- de fornecedores – a entrada do sistema;
- do negócio ou da empresa – o processo do sistema;
- dos clientes – a saída do sistema.

9.1.3 Estrutura organizacional

É a forma com que as atividades estão organizadas, divididas e coordenadas dentro da organização.

A estrutura organizacional pode ser **formal** e **informal**. A formal é planejada de modo racional e funcional, com sistemas de avaliação e controle. É representada pelo organograma. A organização informal não é planejada, envolve a comunicação entre as pessoas, conforme suas necessidades subjetivas.

A estrutura da organização tem como função:

- organizar as tarefas, para alcançar os objetivos;
- dividir responsabilidades;
- agrupar as atividades de forma coerente – departamentalizar;
- coordenar o uso dos recursos;
- controlar e acertar onde necessário.

A divisão do trabalho e a departamentalização da organização

A divisão do trabalho, desde o taylorismo, possibilitou o agrupamento de atividades semelhantes. Máquinas, peças, trabalhadores e processos afins são reunidos em departamentos, que trabalham com certa autonomia na estrutura organizacional.

O sincronismo do processo produtivo obedece a um fluxo de prioridades. A produção em lotes torna possível a organização do leiaute por processo, com alocação de máquinas de características iguais. Os lotes de produção são grandes e os produtos, organizados em famílias de peças. Favorecem a administração segmentada do processo produtivo e a especialização dos trabalhadores. A gerência do departamento é dada a um administrador.

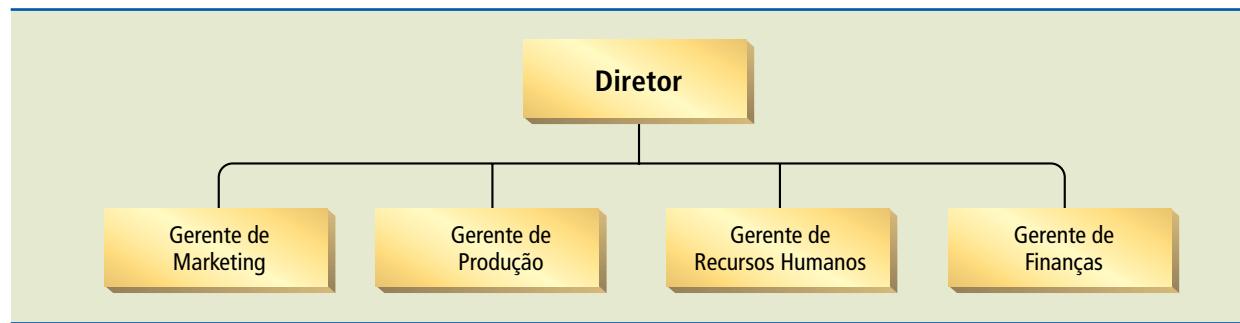
A estrutura organizacional permite que a administração oriente a realização das atividades para alcançar seus objetivos. Os modelos atuais de gestão, focados no atendimento ao cliente, criaram empresas que se organizaram em processos, unidades de negócios, mercados e projetos.

Do ponto de vista da divisão do trabalho, a estrutura organizacional pode ser:

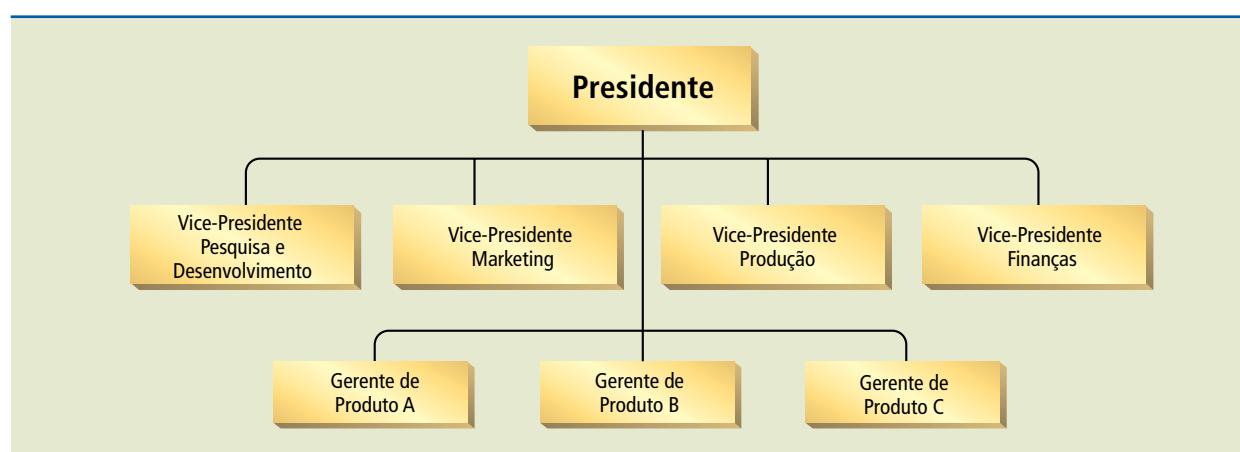
a) **funcional** – forma lógica e básica de departamentalização em que as pessoas são engajadas em uma atividade funcional como produção, *marketing* ou finanças. São agrupadas na mesma unidade (figura 9.5).

Figura 9.5

Estrutura funcional.

**Figura 9.6**

Estrutura organizacional com foco no produto ou mercado.



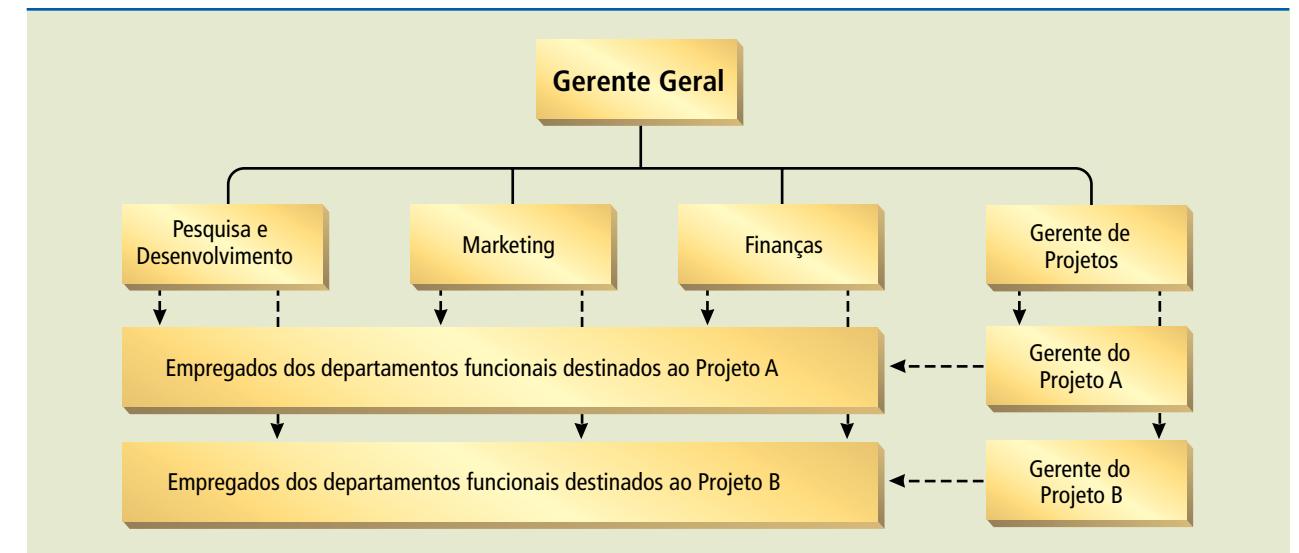
b) **produto ou mercado** – as pessoas reunidas estão envolvidas com foco em determinado tipo de produto ou mercado (figura 9.6).

c) **matricial** – em uma estrutura matricial (figura 9.7), os colaboradores se reportam a mais de uma função. O responsável pelo projeto de determinado

produto, por exemplo, responde para o gerente responsável pelo produto sobre o andamento do projeto e, simultaneamente, para o gerente financeiro sobre os custos do mesmo projeto.

Figura 9.7

Estrutura matricial.

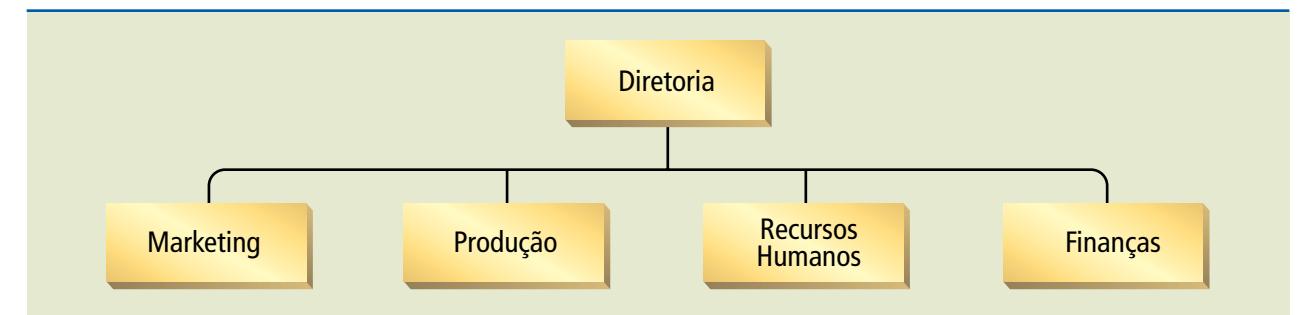


O organograma

Organograma é a representação gráfica (figura 9.8) da escala de posições ou funções de uma organização. Representa a estrutura formal e a disposição dos órgãos da empresa.

Figura 9.8

Organograma da estrutura formal da empresa.



As linhas representam as vias de comunicação formal. Para representar os órgãos são normalmente utilizados retângulos, e podem constar as informações mais diversas, como: cargo, sigla e nome do ocupante, nome ou sigla do departamento ou divisão, número de funcionários, responsabilidades etc.

O organograma é uma forma simples de representar graficamente:

- os níveis hierárquicos da organização;
- os sistemas de comunicação;
- as relações funcionais entre superior e subordinado;
- a divisão do trabalho: cargos e departamentos.

O organograma deve ser claro e apresentar apenas o essencial e a situação atual, suficientes para compreender a estrutura da organização.

Para que o organograma cumpra corretamente sua função, cada item mencionado deverá estar relacionado:

- a) à descrição de cargos; e
- b) à descrição de atividade.

Descrição de cargos

É uma relação organizada das tarefas e deveres atribuídos a um indivíduo de quem são exigidos determinados conhecimentos, aptidões e responsabilidades.

O objetivo da descrição de cargos é estabelecer um critério de padronização do conteúdo de cada atividade com as seguintes características:

- o que faz: a função básica e a responsabilidade;
- onde trabalha: a área, o departamento, o setor, ou jurisdição a que pertence;
- o que e como faz: as tarefas rotineiras que realiza;
- a quem se subordina e a quem lidera: as relações funcionais.

A descrição de cargos oferece vantagens, pois:

- define claramente as atribuições de cada um;
- elimina ansiedade e expectativas de líderes e liderados;
- serve de base para um processo admissional;
- serve de base para o plano de carreira;
- estabelece as relações de trabalho;
- define os parâmetros para avaliação de desempenho e promoções.

9.1.4 A organização estratégica da empresa

Por causa da globalização, ocorreu grande avanço tecnológico, reduziram-se as barreiras de comércio entre as nações, houve diminuição nos custos dos transportes e surgiram novos mercados (emergentes).

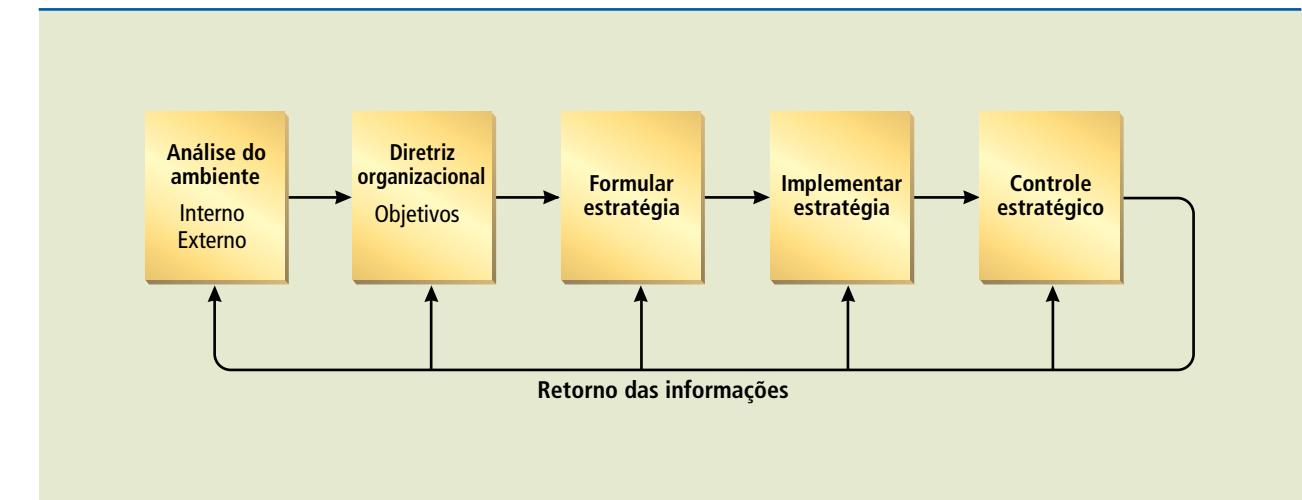
As empresas precisaram ser mais competitivas para sobreviverem nessa nova economia mundial. Nesse contexto, algumas estratégias passaram a ser adotadas pelas empresas: reduzir os custos de produção, atender a determinado nicho de mercado e introduzir diferenciação nos produtos. A administração estratégica pressupõe um processo contínuo, com uma série de etapas, para manter e integrar a organização em seu ambiente. Essas etapas são:

- a) analisar o ambiente interno e externo para identificar os riscos e as oportunidades presentes e futuras da organização;
- b) escrever uma declaração de missão, definindo a finalidade da organização ou razão pela qual ela existe;
- c) definir objetivos e metas que as organizações precisam cumprir;

- d) elaborar estratégias, ações que devem ser executadas para garantir que a organização alcance seus objetivos;
- e) programar as estratégias (figura 9.9) e colocar em prática o que foi planejado;
- f) manter o controle estratégico, monitorando e avaliando o processo de administração, para melhorá-lo e assegurar o funcionamento adequado.

O processo da administração estratégica envolve responsabilidades em toda a organização.

Figura 9.9
Principais etapas do processo de administração estratégica



A alta cúpula se encarrega das **questões estratégicas**. Vê a organização como um todo e se preocupa com os interesses mais altos, aqueles que exigem esforço político em sua implementação (por exemplo, prospectar novos mercados, comprar e vender empresas e abrir o capital na bolsa de valores). Envolve decisões estratégicas e tem prazos mais longos: de 1 ano e meio até 10 anos.

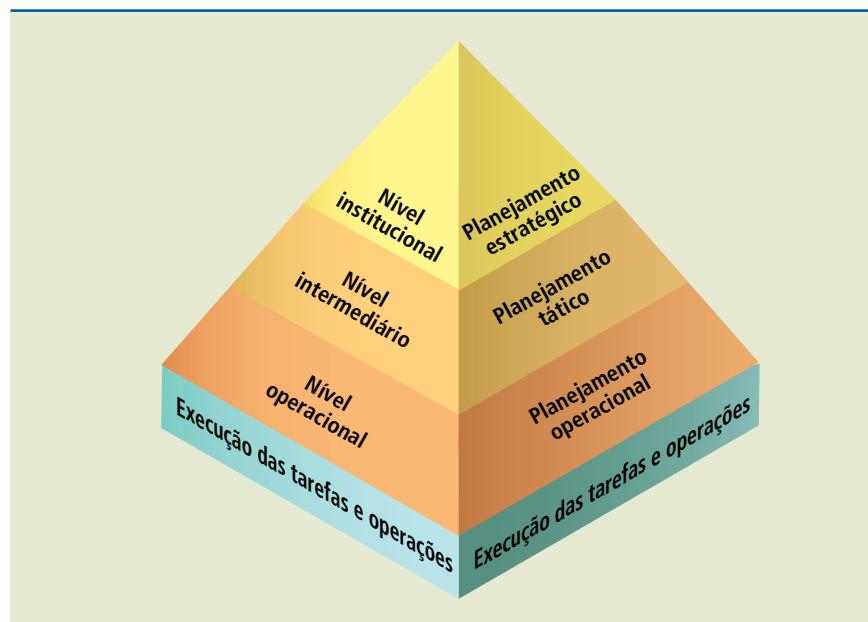
A atividade do **planejamento tático** é de médio prazo (de até um ano) e é compartilhada pela alta direção e pela gerência média. Envolve funções, tais como o estabelecimento de recursos de mão de obra, a determinação do plano mestre de produção e o estabelecimento da política de estoques. Em seu caráter hierárquico, o planejamento tático visa criar mecanismos para implementar o planejamento estratégico proposto pela alta direção.

O **planejamento operacional** é de curto prazo (dias a semanas) e é o complemento (extensão) natural do planejamento tático. É ele que possibilita a programação das atividades operacionais e diárias da empresa, tais como: programação da produção, alocação dos trabalhadores nos postos de trabalho e paradas para manutenção. O controle das atividades operacionais “reabastece” o planejamento tático, e assim sucessivamente. A figura 9.10 apresenta os níveis hierárquicos do processo de planejamento.

Em cada nível, o planejamento deve ser alinhado com o atendimento das prioridades da organização. As decisões devem ser rápidas, precisas e proativas para manter a competitividade.

Figura 9.10

Hierarquia do processo de planejamento e decisão.



9.2 A produção

9.2.1 Produto e serviço

O resultado da atividade industrial são os produtos. Os **produtos** são bens físicos **tangíveis**, que podem ser estocados e transportados. O processo de produção dos bens se caracteriza por apresentar:

- a qualidade sempre evidente;
- pouca participação do cliente durante a execução;
- a possibilidade de mecanização;
- produtos facilmente padronizáveis;
- grau de padronização, que independe do cliente escolhido;
- a precedência sobre o consumo.

Serviços são atividades realizadas, por exemplo, por bancos, escolas, hospitais, aeroportos e transportadoras. Os **serviços** resultam de uma ação ou prestação, são **intangíveis** e não podem ser estocados.

O processo de produção de serviço tem as seguintes características:

- A qualidade é difícil de ser julgada, pois depende da percepção das pessoas. Porém, se estiver muito bem especificada, com processos e indicadores definidos, a avaliação fica facilitada.
- Durante o processo do serviço corre alto nível de contato com o cliente.
- A produção e o consumo podem ser simultâneos.

Bens e serviços andam sempre juntos. Na prestação dos serviços são usados meios físicos, que são fatores determinantes da qualidade do serviço prestado.

Por exemplo, a qualidade do serviço telefônico depende do aparelhamento da rede de comunicação.

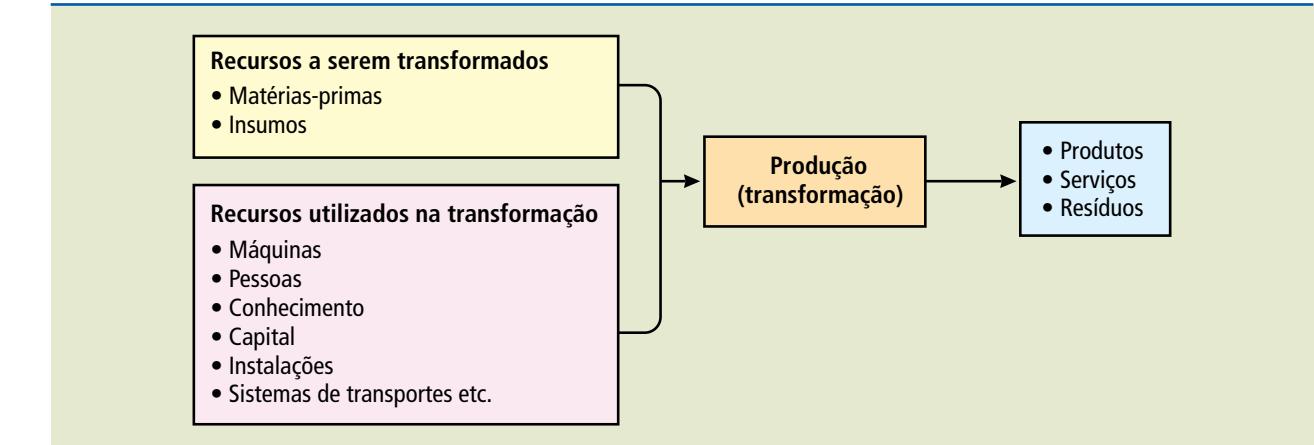
Por outro lado, os produtos são adquiridos tendo em mente a qualidade do serviço que vão prestar.

9.2.2 O processo de produção

Produção é o **processo** sistêmico (figura 9.11) de conversão que transforma insumos, como matéria-prima e mão de obra, em produtos acabados (bens) e serviços.

A produção utiliza recursos de capital, máquinas e equipamentos, pessoas, sistemas de transporte, sistemas de comunicação, entre outros.

Figura 9.11
Diagrama do processo de produção.



9.2.3 A importância e os objetivos da produção

O fato de ter peso importante nas tomadas de decisão estratégicas leva muitas organizações a não terceirizar seu processo de produção. Elas exploram ações da produção para garantir a competitividade da organização. A finalidade estratégica da produção é **fortalecer** o sistema organizacional, apoiando decisões estratégicas tomadas e garantindo vitalidade ao negócio.

Sua importância é bastante significativa quando o assunto é expandir mercado, por exemplo. Para aumentar o número de clientes, a produção precisa estar preparada e deve garantir o sucesso da empreitada. Manter a produção atuante representa uma vantagem competitiva para a organização. Alguns fatores fundamentais justificam essa vantagem. A produção precisa se organizar para:

- fazer produtos de **qualidade** e manter atendimento satisfatório;
- ser **confiável** na manutenção dos compromissos e prazos firmados;
- ser **ágil** para atender os clientes no tempo certo – tempo de resposta menor reduz estoque e custos de fabricação;
- ser **flexível** para garantir mudanças rápidas nos processos – atender os desejos dos consumidores e enfrentar competidores;
- atuar na constante redução dos **custos**, fornecendo produtos mais baratos.

9.2.4 Estratégia e competitividade

A estratégia organizacional segue o padrão de excelência global que rege as tendências mundiais. O padrão de referência global serve de base para que as organizações, em seus ambientes, se ajustem para alcançar metas de longo prazo.

A competitividade é um conceito estratégico. Fundamentou-se a partir da década de 1970 nos países desenvolvidos e, no início dos anos 1990, no Brasil. Evoluiu com base no modelo de produtividade, com melhorias internas na organização, e nos conceitos de Taylor e Ford, incorporando novos conceitos. Após os anos 1960, os fatores de competitividade foram se alterando em ritmo muito acelerado e perduram até hoje.

A evolução dos fatores de competitividade pode ser percebida nas tabelas a seguir, que relacionam as mudanças entre as décadas de 1960 e 1990.

Tabela 9.2
Evolução dos fatores de competitividade.

Período (década)	Fator de competitividade predominante
1950 e 1960	Custo
1970	Qualidade
1980	Flexibilidade
1990	Agilidade
2000	Tempo de resposta

Tabela 9.3
Evolução dos fatores de competitividade.

Fatores	Década de 1960	Década de 1990
Grau de diversificação dos produtos	Baixo	Alto
Vida dos produtos sendo fabricados	Alta	Baixa
Velocidade de mudança dos produtos	Baixa	Alta
Competitividade mundial	Fraca	Forte
Internacionalização	Fraca	Forte

Resumindo: empresas competitivas observam as melhorias práticas do mercado, espelham-se nas empresas de excelência global e praticam os fatores de competitividade:

- preço baixo;
- alta qualidade;
- entregas rápidas e confiáveis;
- produtos e serviços inovadores;

- ampla gama de produtos e serviços;
- habilidade de mudar prazo e quantidade.

9.2.5 Planejamento e controle da produção

O processo de fabricação

Um processo de fabricação ou de serviços reúne atividades com recursos e é definido como um conjunto de tarefas ou de atividades (operações) inter-relacionadas que, juntas, em uma sequência apropriada, viabilizam a entrega do produto ou do serviço.

As operações compreendem muitos processos inter-relacionados em que predominam informações, equipamentos, pessoas e materiais.

Na manufatura, os processos são classificados em processo:

- de projeto;
- de produção sob encomenda;
- em lotes ou bateladas;
- de produto em massa;
- contínuo;
- customizado (personalizado sob a orientação do cliente).

A tabela 9.4 mostra as características de cada tipo de processo e onde são encontrados.

Tabela 9.4
Características dos processos em relação aos volumes de produção.

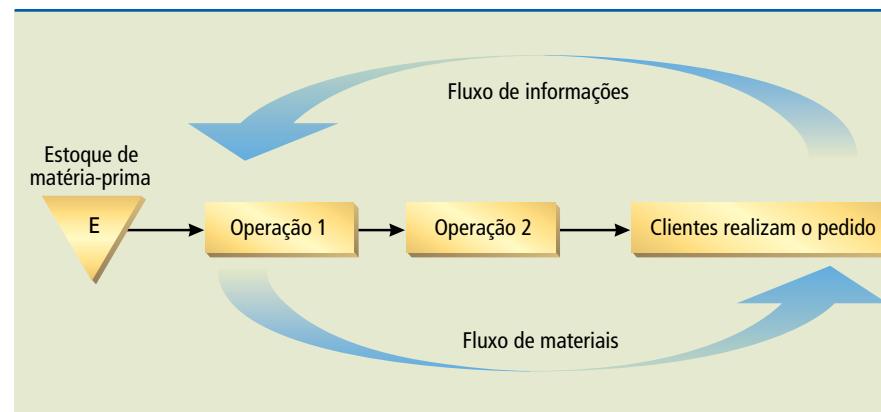
	Tipos de processo	Características	Empresas
Volumes baixos	Fluxo por projeto	Período longo Baixo volume Atividade maldefinida, modificando-se durante o processo Pessoal altamente qualificado	construção de navios, perfuração de poços de petróleo, produção de filmes
↑ ↓	Fluxo intermitente	Produção sob encomenda	Ferramentaria, marcenaria, alfaiataria, gráfica
		Produção em lotes ou bateladas	manufatura de máquinas, produção de alimentos, remédios
Volumes altos	Fluxo em linha	Produção em massa	aparelhos de televisão, cerveja, produção de CDs, fábrica de automóveis
		Produção contínua	siderúrgicas, instalações elétricas, refinarias petroquímicas, fábricas de papel

Em relação ao cliente, considerando o fluxo de informações e a disposição das operações, o processo pode ser:

- **Contra pedido:** os produtos são personalizados. A figura 9.12 apresenta o fluxo de fabricação nesse processo.

Figura 9.12

Fluxo de fabricação contra pedido.



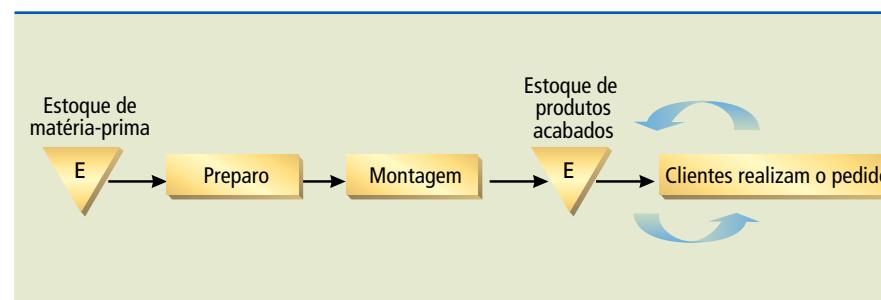
As tarefas em geral são processadas em lotes, e o tamanho do lote se baseia normalmente no tamanho do pedido do cliente. O início da fabricação do lote obedece, em geral, à ordem de chegada.

Nesse sistema, o primeiro pedido que entra deve ser o primeiro que sai (PEPS, ou em inglês, FIFO: *first in, first out*). Ocorre, por exemplo, na fabricação de móveis com dimensões específicas.

- **Padronizado:** produz para estoque. A figura 9.13 apresenta o fluxo de fabricação desde o estoque de matéria-prima até o primeiro pedido.

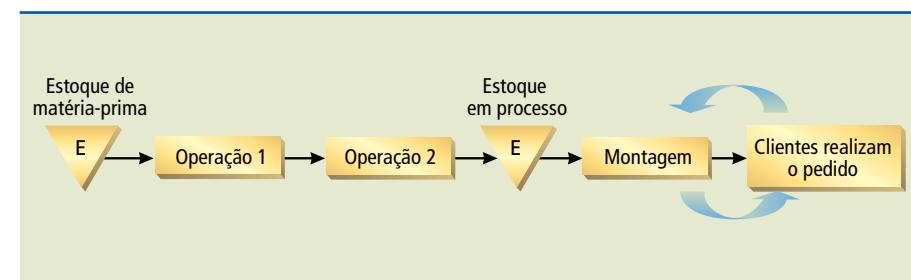
Figura 9.13

Fluxo de fabricação para estoque.



Os produtos prontos facilitam a entrega, apesar do custo do estoque. São produtos que, certamente, serão vendidos porque a procura é alta. A produção é baseada em previsão de venda, mesmo sem haver pedido. Os de uso comum, alimentos, bebidas e de limpeza, e muitos outros de fabricação em massa seguem esse modelo.

- **Modular** (retardo da produção ou *postponement*): nesse processo (figura 9.14), os produtos são semipersonalizados, ou semiprontos, de modo que alguns itens opcionais são oferecidos ao cliente ao final do processo.

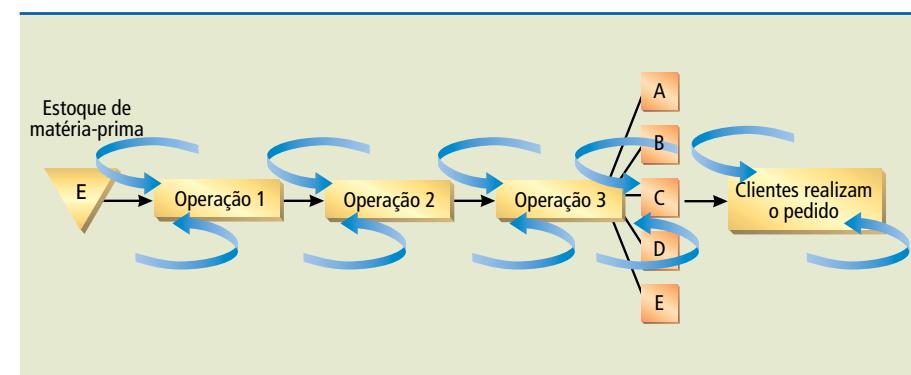


Uma fábrica de camisetas, por exemplo, costuma produzir e estocar camisetas brancas e tingi-las nas cores desejadas pelo cliente, e supre as lojas com as camisetas na cor solicitada.

- **Sistema Toyota de Produção (STP):** esse modelo japonês de fabricar pequenos lotes é orientado pela demanda (sistema de “puxar”) do cliente, que dá o ritmo da produção (figura 9.15).

Figura 9.15

Sistema Toyota de Produção.



Nesse modelo, pequenos estoques balanceiam o fluxo ao longo da linha. O cliente retira a quantidade de produtos desejada ao final da linha, em um “supermercado”. Então, a mesma quantidade de produto retirada é solicitada à operação imediatamente anterior, e assim por diante, em um sistema sincronizado de “puxar” a produção. Cartões (*kanban*) são usados na comunicação entre as operações. Esse modelo é empregado principalmente pela indústria automobilística.

- **Híbrido:** ocorre na manufatura, na qual os produtos passam por diversos processos. Esse processo (tabela 9.5) pode ser encontrado na produção de batatas fritas e no processamento de suco de maçã, entre outros.

Tabela 9.5

Exemplo de processo híbrido de fabricação.

Processo	Fabricação de suco de maçã
Contínuo	Lavar as maçãs
Em lote ou bateladas	Moagem das frutas
Em linha	Embalar o suco em caixinhas

No planejamento dos processos de manufatura há dois enfoques: planejamento dos processos propriamente ditos e planejamento das operações.

Planejamento do processo de produção

É o planejamento que procura estabelecer uma forma de fabricar o produto. Envolve as seguintes atividades:

- definição do roteiro de fabricação (ver A folha de processos, em 9.2.6: A fabricação dos produtos) e encadeamento das operações, obedecendo a um caminho lógico de precedência e evolução de tarefas;
- seleção de máquinas e equipamentos necessários para produzir e transportar os produtos a serem fabricados;
- determinação das condições de preparação da máquina: ferramental de usinagem e análise da qualidade.

Planejamento das operações

Ao planejar a operação, leva-se em conta:

- o tempo estimado e o método;
- a seleção de ferramentas e dispositivos de fixação (pré-montados, se houver);
- a seleção das ferramentas, dispositivos e calibradores para manter a qualidade do produto;
- as características particulares da operação (usinagem, conformação etc.);
- a geração do programa CNC, quando necessário.

Também deve ser definida a sequência das operações com as especificações necessárias, tecnológicas e operacionais (ver A folha de processos, em 9.2.6: A fabricação dos produtos).

Seguem exemplos das operações de processo no trabalho industrial:

- usinagem – torneamento, fresamento, retificação etc.;
- conformação – forjamento, fundição etc.;
- tratamentos térmicos – têmpera, cimentação etc.;
- tratamentos de superfície – depósito de cromo, níquel, zincagem etc.;
- montagem – submontagem, montagem de subconjuntos, montagem final etc.;
- pintura, embalagem etc.

Regras de precedência

No planejamento das operações de fabricação é necessário seguir as regras de precedência e lógica:

- 1) A última operação deve gerar a peça, de acordo com as especificações de desenho.
- 2) As especificações finais são obtidas conforme a capacidade dos processos.
- 3) A precisão evolui dos processos menos precisos aos mais precisos.

4) A ordenação lógica depende da limitação dos processos.

5) As tolerâncias e especificações têm de ser coerentes com a precisão da máquina, ferramenta, dispositivo e peça.

6) A operação anterior precisa permitir a operação posterior de forma encadeada.

7) A operação do roteiro deve ser executada com base nas operações anteriores.

Para aplicar a lógica da precedência é preciso conhecer as disponibilidades de máquinas e de mão de obra e todas as especificações do produto. As restrições, limitações e exigências devem ser consideradas.

Organização da produção

O leiaute

O leiaute da fábrica é o dimensionamento (normalmente com a utilização de desenho em escala) do espaço, considerando a disposição física do equipamento de operação, do pessoal que o opera, da movimentação (fluxo) do material e o armazenamento, os espaços para a circulação das pessoas indiretas (por exemplo, de manutenção) e os fluxos das atividades organizacionais.

O leiaute serve para a organização racional do espaço em uma instalação, com base em um projeto, cujo estudo deve considerar:

- o fluxo dos materiais (classificados desde os mais importantes até os secundários) e dos equipamentos necessários para o deslocamento e fluxo de pessoas;
- atividades que não dependem do fluxo de materiais, por exemplo, a relação de proximidade entre a operação e o vestiário;
- a integração de todos os sistemas no espaço físico – equipamentos produtivos e de movimentação e armazenagem de materiais, sistemas auxiliares (elétrica, ar comprimido, água etc.) e sistemas de apoio (refeitórios, vestiários, enfermaria etc.), além das áreas administrativas;
- a qualidade de vida para as pessoas com adequação visual e coerente, além de interfaces apropriadas ao meio ambiente.

Normalmente, o leiaute é desenvolvido em diversos níveis:

- da máquina (equipamento estudado);
- da seção (conjunto de máquinas ou atividades);
- do prédio (conjunto de seções);
- da planta (*site*) (com os prédios, arruamentos, portarias e acessos).

O leiaute deve ser simples e flexível, para permitir as mudanças, a manutenção dos equipamentos e o funcionamento dos sistemas.

Tipos de leiaute

O leiaute das organizações leva em consideração o projeto do prédio e o manuseio dos materiais. Os tipos de leiaute mais comuns nas indústrias são: por posição fixa, por processo, por produto e celular.

a) Leiaute por posição fixa

Quando o produto que está sendo fabricado ou processado tem posição fixa. É usado para montagens complexas e normalmente de grande porte. Os componentes menores podem ser produzidos em outros setores, que utilizam diferentes tipos de leiaute, e posteriormente transferidos para o local da fabricação ou montagem final.

Características:

- limitado pelo volume e peso dos produtos;
- os equipamentos são movimentados até o produto;
- as equipes de trabalho são substituídas em função das fases de trabalho;
- mínima movimentação do produto e altera-se pouco em relação às mudanças no produto.

Aplicação:

- quando as operações de trabalho possibilitam o desenvolvimento com equipamentos pequenos e ferramentas manuais, leves, de fácil movimentação e adequadas para uso local;
- quando forem feitas poucas unidades de produto;
- quando a movimentação do produto tiver alto custo.

Exemplos: construção de prédios e de navios.

b) Leiaute funcional ou por processo

Quando se agrupam todas as operações de um mesmo tipo de processo.

Características:

- agrupa equipamentos com funções similares;
- permite melhor utilização das máquinas;
- permite a mudança do roteiro de fabricação e a movimentação das peças/produtos entre as operações;
- o volume da demanda pode ser variável; e
- raramente para o processo por falta de material, problemas com manutenção ou fluxo de peças.

Aplicação:

- se o volume de produtos por vez for baixo;
- no caso de máquinas universais, ou de trabalho dedicado, ou de pouca facilidade de movimentação;
- no caso de vários tipos de produtos e/ou com pouca repetição de produção;
- se houver vários tempos de fabricação, com flexibilidade nos métodos de trabalho; e
- no caso de baixo volume por tipo de produto.

Exemplos: seção de prensas e ferramentaria.

c) Leiaute linear

Mais conhecido por linha de produção ou de montagem, ou, ainda, de produto. O material é que se move, com os equipamentos dispostos de acordo com a sequência de operações, mantendo um fluxo progressivo.

Características:

- distâncias curtas de movimentação de materiais
- pouco volume de produtos na linha;
- aproveitamento dedicado da mão de obra;
- controle preciso de cada operação e do fluxo integrado do processo;
- permite bom aproveitamento do espaço físico.

Aplicação:

- linha de produção;
- linha de montagem;
- se houver grandes volumes de peças e produtos;
- ideal para produtos de fácil padronização;
- se a demanda for pouco variável;
- se o processo permitir fluxo contínuo de materiais, operações simplificadas e linhas balanceadas.

Exemplo: linha de montagem de automóveis, eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos.

d) Leiaute celular ou híbrido ou por tecnologia de grupo

Reúne tipos de máquinas e equipamentos diferentes, agrupados em centros de trabalho. São células dedicadas a uma gama limitada de produtos. Peças codificadas por semelhança. O material e as pessoas se movem. Os equipamentos são dispostos de acordo com a necessidade, para facilitar o trabalho do grupo e permitir a sequência nas operações. Os equipamentos de movimentação de materiais são agregados à célula para permitir compartilhamento, ligação entre as máquinas e flexibilidade de operação.

Características:

- flexibilidade de mão de obra;
- melhor aproveitamento da mão de obra;
- emprega máxima mão de obra para manutenção preventiva, análise da qualidade e *setup*;
- garante melhor qualidade do produto;
- uso de máquinas pequenas;
- ajuste da ocupação do espaço conforme necessidade; e
- melhor controle sobre a operação gargalo.

Aplicação:

- produtos similares, padronizados;
- linhas em forma de U;
- demanda estável; e
- melhora o fluxo de material, mantendo as operações balanceadas.

Exemplo: na fábrica de componentes de computador, a usinagem de determinada peça passa por diversas operações na célula e posteriormente é enviada para a linha de montagem final.

e) Leiaute misto

Congrega as características dos demais tipos de leiaute, com diferentes tipos de processos, de movimentação de pessoas e de materiais. Os equipamentos são dispostos de acordo com a necessidade, em cada unidade.

Características:

- permite organizar grandes plantas e atender a públicos e necessidades diversas;
- especialização e flexibilidade de mão de obra onde necessária;
- garante melhor qualidade do serviço, com flexibilidade onde necessária; e
- máquinas e equipamentos conforme a necessidade do local.

Aplicação:

- empresas de serviços;
- atividades diversas com processos diversificados; e
- demanda diferenciada e instável.

Fundamentos para o planejamento do leiaute

- Observe o local como um todo e depois verifique os detalhes.
- Tenha uma visão prática e atente para os fatores que limitam a organização do espaço.
- Verifique a maquinaria, as pessoas, os materiais e como é o processo de trabalho.
- O planejamento do leiaute deve levar em consideração o tamanho, o peso e as características físicas das máquinas, os processos de trabalho, os estoques de materiais e os fluxos, e as possibilidades de instalações elétricas, hidráulicas, pneumáticas e de comunicação de dados.
- Quando possível, projete o edifício baseado no leiaute. Em um edifício já existente, as principais características da estrutura impedem um leiaute bem planejado.
- Projete com a ajuda das pessoas que trabalharão no local. O leiaute deve ser muito bem discutido para satisfazer a todos.
- Confira bem cada detalhe do leiaute antes da organização física, evitando correções na hora da mudança.

- Organize um desenho claro, com simbologias e identificações, para ser bem compreendido e estudado por todos.

Estudos de tempos

No fim do século XIX, Frederick W. Taylor escreveu que, para estabelecer um tempo padrão normal, era necessário subdividir as operações em elementos de trabalho, descrevê-los, medi-los com um **cronômetro** e adicionar tolerâncias para esperas inevitáveis e para a fadiga.

Taylor aplicou a seguinte sistemática:

- estudar a operação;
- observar de que maneira vários operários hábeis, um após outro, executam cada operação e identificar as características superiores de cada um deles;
- identificar e eliminar movimentos inúteis;
- dividir a operação em elementos;
- dividir os elementos em movimentos;
- descrever cada movimento elementar e registrá-los, com o tempo;
- estudar a porcentagem que é preciso acrescentar aos tempos registrados durante os períodos de treinamento de um operário que executa esse trabalho pela primeira vez;
- estudar a porcentagem que é preciso acrescentar aos tempos registrados para cobrir os atrasos inevitáveis;
- determinar a porcentagem para repouso (permissões) e aumentá-la;
- estudar os intervalos de tempo que devem ser concedidos para eliminar a fadiga; e
- reconstruir as combinações de movimentos elementares mais frequentes nos trabalhos de oficina; registrar os tempos desses grupos de movimentos e classificá-los.

Após Taylor, Frank B. Gilbreth, o pai do estudo de movimentos, filmou e estudou os movimentos do operador na execução de certas tarefas. Gilbreth dividiu os elementos de Taylor e os denominou **therbligs**. Fez um estudo detalhado do movimento e alcançou muitos progressos na redução dos tempos e movimentos.

O tempo padrão

Definição ocidental

Tempo padrão de uma operação é a quantidade de tempo necessário para executar uma unidade de trabalho, em condições determinadas, de acordo com um processo e método preestabelecidos, por um operador qualificado e treinado, possuidor de habilidade média, trabalhando com esforço médio durante as horas de sua jornada de trabalho.

Na opinião de Taylor, o trabalhador deveria manter-se em seu posto de trabalho o dia todo, realizar as tarefas a ele determinadas sem conversas laterais. O estudo

Therbligs: é o reverso da palavra Gilbreth, no plural e com o "th" tratado como uma única letra. Denomina um conjunto de 18 movimentos fundamentais que o operário executa em tarefas manuais.

de tempo e a determinação dos melhores métodos de trabalho ficariam a cargo de um cronoanalista, treinado e habilitado para essa função.

Definição japonesa

O tempo padrão no Sistema Toyota de Produção (STP) é o tempo mínimo necessário para completar a operação. Isso representa um desafio para que os operários façam melhorias contínuas e reduzam o tempo de ciclo cada vez mais.

No modelo japonês, os membros da equipe controlam o cronômetro e projetam as próprias atividades. Determinam a melhor forma de trabalhar, anotam e transmitem aos colegas dos outros turnos, para que eles sigam e superem. É o processo de melhoria contínua (*kaizen*).

Takt time: a expressão é composta com a palavra alemã **Takt**, que significa compasso, ritmo.

Adaptado para o Ocidente com a denominação **takt time**, estabelece o ritmo de uma linha de produção, por exemplo, um produto a cada dois minutos.

Aplicações do tempo padrão

a) Estimativa do custo do trabalho e cálculo do trabalho produzido.

$$\text{custo} = \text{matéria-prima} + \text{tempo padrão hora} \times \text{custo/hora}$$

(para equipamentos, mão de obra e gastos gerais de fabricação).

b) Cálculo da produtividade do trabalho: eficiência e utilização.

$$\text{produtividade padrão} = \frac{\text{trabalho efetivamente realizado}}{\text{tempo padrão (TPM ou TPH)}}$$

em que, TPM = tempo padrão máquina e TPH = tempo padrão homem.

$$\begin{aligned} \text{Exemplo: produtividade padrão} &= 100 \text{ peças/hora} \\ \text{produção efetiva} &= 95 \text{ peças/hora} \end{aligned}$$

$$\text{eficiência} = \frac{\text{trabalho efetivamente realizado}}{\text{trabalho padrão}} \quad (\text{cf. tempos padrão})$$

Exemplo: 95 peças efetivamente produzidas em 1 hora

$$\begin{aligned} 100 \text{ peças deveriam ser produzidas, segundo o padrão} \\ \text{eficiência} = \frac{95}{100} = 95\% \end{aligned}$$

recurso empregado = horas disponíveis =

$$= \left\{ \begin{array}{l} \text{quantidade máquina} \times \text{disponibilidade/dia} \\ \text{quantidade homem} \times \text{disponibilidade/dia} \end{array} \right.$$

Indicadores muito importantes para o gerenciamento da produção:

- se a eficiência é 95%, o gestor deve avaliar os motivos;
- para calcular a capacidade da produção – capacidade nominal × eficiência.

c) Capacidade da produção e investimentos correspondentes:

Por meio do tempo padrão multiplicado pela quantidade de peças programadas, é possível determinar a carga de máquina, ou seja, quantas máquinas e quanto de mão de obra serão necessários. Sabendo o valor das máquinas e da mão de obra, é possível determinar o investimento em máquinas e os gastos com mão de obra.

Estudo de médio e longo prazos:

- compra de máquinas para expansão;
- compra de máquinas para produto novo; e
- contratação e treinamento da mão de obra.

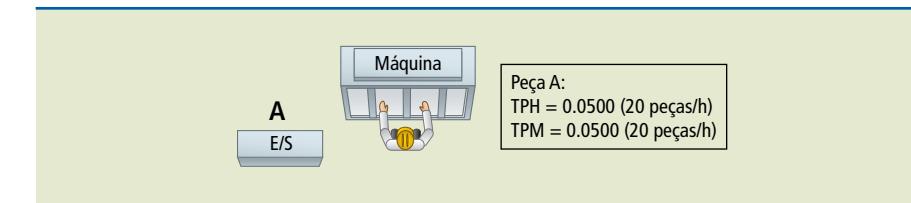
Estudo de curto prazo, revendo a previsão de vendas:

- capacidade-limite;
- compra de serviço externo;
- processamento alternativo para outras máquinas; e
- limitação do programa de produção.

d) Arranjos de máquinas: cálculo do número de máquinas que um trabalhador pode usar eficientemente (individualmente ou em grupos):

- Máquinas individuais

O operador atua em apenas uma máquina (tempo de máquina menor que o tempo manual define o tempo padrão igual para máquina e homem, figura 9.16).



- Bancos de máquinas

O operador atua em mais de uma máquina. Se o tempo da máquina é maior que o tempo manual, o tempo padrão do homem é o tempo de máquina dividido pelo número de máquinas. Se o tempo manual é maior que o tempo da máquina, o tempo do homem comanda o ritmo do banco de máquinas (figura 9.17).

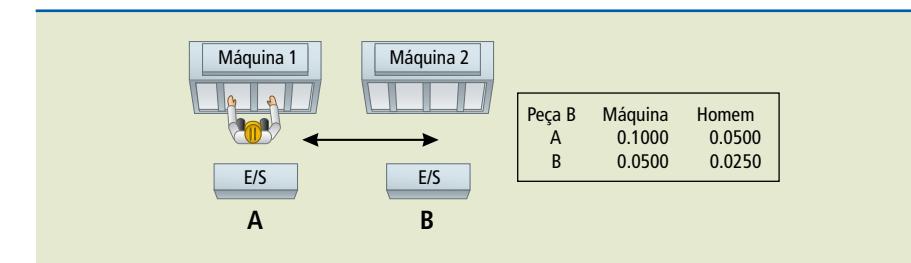


Figura 9.16

Um operador por máquina.

Figura 9.17

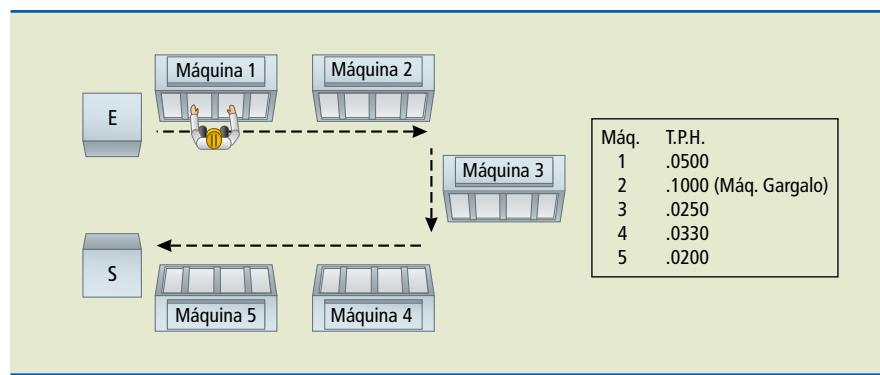
Um operador para mais de uma máquina.

- Células de usinagem ou de montagem

Na célula prevalece o tempo da máquina ou operação gargalo. O operador trabalha em várias máquinas, e o tempo da máquina gargalo marca o ritmo da produção. A máquina gargalo é aquela que tem o maior tempo de produção. É a máquina que não deve ter sua operação interrompida para não atrasar o prazo de entrega de produtos da célula. Melhorias devem ser implantadas na operação gargalo visando a otimização do processo e o aumento da produção (figura 9.18).

Figura 9.18

Operação gargalo.



- e) Composição das tolerâncias inclusas no tempo padrão:

- Tempo das necessidades pessoais.

Esse tempo varia para cada atividade e depende da admissibilidade de cada empresa. O valor é determinado por levantamento contínuo ou amostragem por observações instantâneas. Em alguns casos, para trabalho de 8 horas/dia, sem períodos de descanso preestabelecidos, o valor considerado é aproximadamente 5%.

- Fadiga.

A fadiga está associada a diversos fatores decorrentes do trabalho repetitivo:

- esforço físico;
- esforço mental;
- tempo de recuperação;
- monotonia; e
- condições ambientais.

Os intervalos de tempo a conceder para atenuar a fadiga devem ser estudados, conforme o tipo de trabalho. Há casos em que o valor é 4%.

- Pequenos acertos ou atrasos inevitáveis

Esse valor é determinado por estudos contínuos, ou de amostragem, ou por observações instantâneas, feitos durante período de tempo suficientemente extenso para fornecer dados de confiança. Algumas empresas adotam entre 4% e 16%, dependendo da complexidade da máquina, do ferramental e do processo.

- f) Atividades relacionadas com os tempos, métodos e processos de trabalho:

- Determinar as operações necessárias para a manufatura de produtos e os roteiros de fabricação (ver 9.2.6 A fabricação dos produtos).
- Cronometrar operações de trabalhos, para definir o tempo padrão.
- Cuidar do ferramental de apoio à manufatura.
- Estabelecer o fluxo de trabalho na produção.
- Balancear o tempo de máquinas e a quantidade de homens necessários.
- Determinar a capacidade de produção das máquinas.
- Formar células e linhas de produção.
- Cuidar para o aumento da produtividade.
- Elaborar leiaute.
- Reduzir o tempo de *setup*.
- Dividir a fábrica e/ou organizar novas células e linhas de fabricação.

O estudo do tempo padrão é fundamental para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis e para a organização do trabalho, pois contribui para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de vida.

Desempenho do processo

O desempenho do processo é a forma como se percebe o rendimento do processo produtivo. Medidas (indicadores) de desempenho são usadas para avaliar o rendimento (operacional, financeiro etc.) das organizações. Em uma rede de *fast-food*, o desempenho pode ser medido pela velocidade com que os pedidos são entregues ao cliente. A medida do desempenho também pode ser usada para comparar o rendimento entre unidades e organizações.

- a) Indicadores de desempenho do processo produtivo

- Produtividade

De forma genérica, a produtividade é a relação entre as entradas e as saídas do processo. Pode ser aplicada em diversas atividades, como: trabalho por hora, matéria-prima por quilograma de produto acabado, entre outros.

$$P = \frac{\text{saídas (outputs)}}{\text{entradas (inputs)}}$$

A produtividade é um indicador relativo, no qual um dos valores tem de ser comparado com outro. Exemplos de aplicação da produtividade:

Tipo de negócio	Indicador de produtividade (S/E)
Metalúrgica	produtos (peças/hora de trabalho)
Restaurante	clientes (pratos/hora de trabalho)
Indústria de energia	quilowatts/toneladas de carvão

- Medida da capacidade do processo

$$C = \frac{\text{produção real}}{\text{capacidade instalada}}$$

Capacidade instalada (nominal) é quanto determinada empresa acredita que pode produzir, considerando os equipamentos e as instalações existentes. A produção real é o quanto, de fato, produz.

Tipo de empresa	Índice de capacidade
Cervejaria	barris/ano
Restaurante	refeições/dia
Linha de montagem de computadores	computadores/hora

Na produção, a capacidade é a utilização da máquina, que eventualmente pode ficar boa parte do dia sem produzir em consequência de problemas de fluxo de materiais, manutenção e troca de ferramentas. A empresa deve se preocupar em reduzir os tempos improdutivos e aqueles que não agregam valor, evitando que a capacidade da máquina seja mal utilizada.

$$\text{Utilização da capacidade} = \frac{\text{horas trabalhadas pela máquina}}{\text{total de horas disponíveis na máquina}}$$

O tempo padrão serve de referência para o cálculo da eficiência da máquina. A eficiência da máquina é a relação entre o tempo padrão necessário ao processo e as horas efetivamente trabalhadas. As horas efetivamente trabalhadas são as horas gastas no processo, descontadas as horas paradas.

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{horas padrão do trabalho realizado}}{\text{horas trabalhadas pela máquina}}$$

A eficiência multiplicada pela utilização resulta na produtividade padrão, que é a relação entre o tempo padrão do trabalho realizado e as horas disponíveis da máquina.

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{horas padrão do trabalho realizado}}{\text{total de horas disponíveis na máquina}}$$

A melhoria contínua nos processos contribui para a redução das perdas e para o aproveitamento econômico dos recursos da produção.

- Índice de qualidade

É a medida da taxa de defeitos dos produtos fabricados, por exemplo, refugos e perdas de materiais.

Pode-se agregar, ainda, fatores ligados à qualidade ambiental, ao aproveitamento de resíduos, à reutilização da água industrial, entre outros.

- Velocidade de entrega (tempo de resposta)

O tempo de resposta (*lead time*) é calculado desde o momento da solicitação pelo cliente até a entrega do produto. É medida pela variabilidade do tempo de entrega dos produtos aos clientes. Inclui os tempos que agregam valor e os tempos improdutivos.

À medida que o tempo de entrega diminui, melhora o nível de serviço da empresa e a satisfação do cliente.

- Flexibilidade

Flexibilidade é a capacidade que a empresa tem de reagir às mudanças, de volume e da ordem da produção, e de produzir produtos personalizados. É a agilidade da produção em atender as necessidades individuais dos clientes e fornecer produtos dentro dos prazos determinados.

- Benchmarking

Benchmarking é um processo de comparação entre as práticas e os indicadores de determinada empresa e as melhores práticas e indicadores de mercados ou setores similares. Também pode ser a comparação com empresas classificadas como de excelência mundial em funções e operações específicas.

Medir o desempenho do processo permite à organização perceber seus pontos fracos, implementar melhorias e garantir competitividade. Em outras palavras, quem não mede não gerencia, quem não gerencia não sabe o que melhorar.

Administração dos materiais

Quanto à organização do processo produtivo, as fábricas classificam-se em:

- fábricas focadas no processo; e
- fábricas focadas no produto.

Fábricas focadas no processo são aquelas cujas operações estão reunidas em departamentos, com funções similares, do tipo: forjaria, usinagem, tratamento térmico, retífica e montagem. Quando a empresa trabalha por processo, normalmente os sistemas de planejamento e controle da produção são de “empurrar”, e o **MRP** é uma “ferramenta” (*software*) fundamental nesse sistema.

Exemplo

Para montar uma unidade do produto **A** são necessárias duas unidades de **B** e duas unidades de **C**. Montar a tabela 9.6 com o cálculo de materiais e a programação do produto **A**, considerando, ainda:

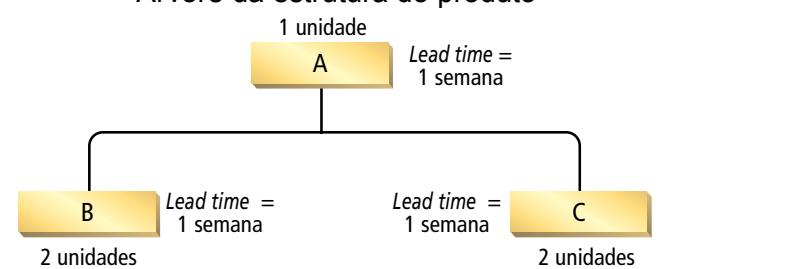
MRP – Material Requirement Planning: sua principal função é o cálculo da necessidade de materiais. É uma metodologia (atualmente mais utilizada com apoio de software) para organizar (por meio dos tempos de resposta – *lead times*) os pedidos de materiais para a produção.

Peça	Necessidades	Estoque inicial	Estoque de segurança (ES)	Recebimento programado	Lead time (LT)	Lote econômico (LE)
A	-	25	10	30 na sem. 5	1 semana	20
B	2 peças para 1 A	65	5	20 na sem. 4	1 semana	25
C	2 peças para 1 A	50	10	5 na sem. 6	1 semana	15

Tabela 9.6

O cálculo de materiais e a programação do produto **A**.

Árvore da estrutura do produto

**Tabela 9.7**

Tabelas de MRP.

Componente A	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas	10	25	10	20	25	30
Recebimentos programados					30	
Estoque disponível: 25	15	-10/10	0/20	0/20	25	-5/15
Necessidades líquidas		20	20	20		20
Ordens programadas	20	20	20		20	

Componente B	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas	40	40	40		40	
Recebimentos programados				20		
Estoque disponível: 65	25	-15/10	-30/20	40	0/25	25
Necessidades líquidas		25	50		25	
Ordens programadas	25	50		25		

Componente C	Semana					
	1	2	3	4	5	6
Necessidades brutas	40	40	40		40	
Recebimentos programados					5	
Estoque disponível: 50	10	-13/15	-25/20	20	-20/10	15
Necessidades líquidas		45	45		30	
Ordens programadas	45	45		30		

Então, para montar os conjuntos desejados de **A**, considerando os componentes já fabricados e estocados e, também, os recebimentos programados, é necessário fabricar 30 unidades de **C** na quarta semana.

A tabela é utilizada para determinar necessidades variáveis, quando a demanda não é independente e não é constante. Determina o número de submontagens, componentes e matérias-primas requeridas e seus períodos de produção para completar um dado número de produtos finais em suas datas específicas.

O objetivo é programar somente a quantidade necessária para suprir a demanda, considerando a estrutura do produto, o estoque existente, o estoque de segurança, os recebimentos programados e o *lead time* de fabricação da quantidade faltante.

Benefícios do MRP:

- formação de preços mais competitivos;
- preços de vendas mais baixos;
- níveis de estoque mais baixos;
- melhor serviço a clientes;
- respostas mais rápidas às demandas do mercado;
- maior flexibilidade para mudar o programa mestre de produção;
- possibilidade de reduzir custos de *setup*;
- tempo ocioso reduzido; e
- possibilidade de programar lotes pequenos ou grandes.

Utilização do MRP:

- ambientes com produção por lote;
- operações de montagem com diversos níveis de submontagem;
- empresas que produzem grande variedade de produtos;
- empresas que têm grande variedade de componentes em seus produtos;
- montagem por pedido;
- fabricação por pedido; e
- fabricação somente do necessário para suprir a demanda.

Nota: Também é utilizado o MRP II – *Material Resources Planning*, para o cálculo das necessidades de recursos (principalmente equipamentos e mão de obra).

Produção focada no produto – controle do estoque por lote

Na produção em lote, a programação de materiais é feita, em princípio, utilizando o conceito de lote econômico de compras (LEC), que pode ser calculado utilizando a fórmula seguinte:

$$LEC = \sqrt{\frac{2DS}{C} \left[\frac{p}{p-d} \right]}$$

D = demanda anual

S = custo de compra

C = custo de estocagem

p = produção diária

d = demanda diária

Essa fórmula também pode ser usada para calcular o tamanho de um lote de produção, substituindo o custo de compra pelo custo de preparação de máquina.

b) Organização da área de estoque

Nas empresas é necessário manter o estoque de materiais (materias-primas, processo e produtos acabados) para controlar as oscilações da demanda, garantir economia nas variações de preços e vantagem na compra ou fabricação por lote. Normalmente, os materiais devem ser organizados em almoxarifados, que são áreas onde os estoques são separados em estruturas (porta-paletes e prateleiras), para materiais de grande e médio porte, e caixas (boxes) para os de médio e pequeno porte, também em função do volume e do peso a armazenar. São necessários, ainda, os equipamentos de movimentação adequados, desde simples carrinhos, até sofisticadas empilhadeiras, que definem a largura dos corredores. Além dos materiais produtivos, podem ser organizados, por exemplo, ferramentais, materiais de saúde e segurança, e de manutenção de máquinas e de limpeza.

Para a eficiência do almoxarifado deve ser realizado um projeto de layout seguindo metodologia semelhante à utilizada para a produção (ver item Organização da produção), dando especial atenção para o endereço de cada local de armazenagem, acessos, rampas etc.

O estoque também pode ser organizado com o emprego dos conceitos dos 5S's, separando e eliminando os itens obsoletos e descartando outros que podem ser eliminados (também conhecido como *housekeeping*).

Para a adequada gestão dos materiais, devem ser usadas algumas metodologias conhecidas:

- Identificar cada produto por meio de códigos apropriados, que representem cada produto isoladamente (SKU – *standard keeping unit*).
- Utilizar técnicas como o gráfico de Pareto (veja no item 9.6.5 adiante), também conhecido como curva ABC, usada para classificar e agrupar, por exemplo, os itens de maior valor unitário, os mais volumosos e os que têm maior giro/movimento.
- Realizar inventários periódicos (anuais, por exemplo) ou rotativos (diários, para os itens de maior valor), para garantir a acurácia do estoque, ou seja, a relação entre a quantidade registrada e a quantidade efetivamente encontrada (contada).
- É importante a utilização de softwares de gestão de armazém (WMS – *warehouse management system*) para o controle eletivo do estoque.
- Sistemas de segurança (patrimonial) para o estoque, higiene e segurança no trabalho para as pessoas que trabalham na área: saídas de emergência, extintores, alarmes oferecem grande confiabilidade ao trabalho.

Controle de estoque no almoxarifado

O volume de compra e de produção pode ser orientado pelos seguintes meios:

- controle por máximo e por mínimo;
- média de consumo dos últimos meses;
- lote econômico de compra e produção;
- estoque de segurança.

Se houver sazonalidade, outros métodos mais complexos poderão ser usados para prever a demanda e orientar a compra.

Tecnologia da informação (TI) no almoxarifado

Para informatizar as atividades do almoxarifado, alguns cuidados devem ser tomados:

- Um fluxograma dos processos deve ser feito para reconhecer a circulação de materiais, documentos e informações e os pontos de controle (computadores – terminais fixos ou móveis).
- Gargalos, entraves e burocracia devem ser eliminados, sempre que possível.
- O estoque deve estar limpo, identificado e organizado.

Como softwares, podemos pensar em dois grupos:

- Os softwares integrados (corporativos) – para armazenar informações dos materiais acerca do modo de compra, dados do fornecedor, dos usuários, custo, controle fiscal, que serão usadas, por exemplo, para emitir documentos de compra.
- Os softwares para aplicação direta, como o WMS – operam em interface com o software corporativo utilizando os bancos de dados, porém têm funcionalidades específicas para uso no armazém, como: saldo por localização/por endereços, controle de data de validade, fifo (*first-in, first-out*), fefo (*first-to-expire, first-out*), compor lista de separação racional etc.

O WMS normalmente está preparado para fazer a interface com leitores de códigos de barras (fixos ou remotos por radiofrequência), que permitem muito boa qualidade e velocidade nas informações e grande avanço na rastreabilidade e no controle dos itens do estoque.

Os softwares propiciam boa acurácia, ou seja, o estoque bem controlado, que por sua vez pode ser reduzido com segurança, compondo a filosofia de estoque enxuto e bem administrado, ajuda na saúde financeira da empresa, sem perder a flexibilidade operacional da organização.

9.2.6 A fabricação dos produtos

A organização do trabalho prático – o planejamento

O planejamento eficiente da fabricação do produto é determinante para que os objetivos da empresa sejam alcançados.

O trabalho deve ser pensado levando-se em conta a qualidade recebida da operação anterior e a qualidade ofertada para a operação seguinte.

Também é necessário considerar a postura apropriada, de forma a garantir conforto, saúde e segurança na execução da tarefa.

Nos locais de trabalho industrial é comum manter dispositivos e ferramentas organizados em prateleiras e painéis, com identificação para acesso imediato.

Para que tudo que descrevemos ocorra, necessitamos de um documento essencial para a organização do processo produtivo: a folha de processos.

A folha de processos

Antes de iniciar o trabalho, é importante organizar os recursos necessários para sua concretização, e a folha de processos (figura 9.19) contém as informações para a execução das operações.

A folha de processos deve conter:

- os equipamentos, ferramentas, fluidos de refrigeração etc.;
- as dimensões e tolerâncias do projeto para a fabricação;
- os instrumentos de inspeção;
- a preparação do plano de processos;
- a determinação das condições de usinagem, tempos, custos, velocidade de corte, rotação, avanço etc.

Na gestão da produção, os trabalhadores também cuidam da manutenção preditiva das máquinas, realizando tarefas de verificação, que contribuem para manter a operacionalidade do sistema e antecipar problemas que podem comprometer a entrega do produto ao cliente.

A folha de processo e as instruções de manutenção devem ficar posicionadas em local visível na estação de trabalho.

Independentemente da folha de processo, a organização do trabalho deve levar em conta, por princípio, o processo de produção, considerando o que deve ser feito, onde, quando, como, com quem e por que deve ser feito.

A preparação do trabalho – os recursos

Para realizar o trabalho de produção é fundamental ter os recursos disponíveis, que são: a máquina, o homem, a matéria-prima e os ferramentais.

A quantidade de máquinas necessárias pode ser determinada pela fórmula:

$$m = \frac{t \cdot N}{60 \cdot h \cdot e}$$

em que:

m = quantidade de máquinas

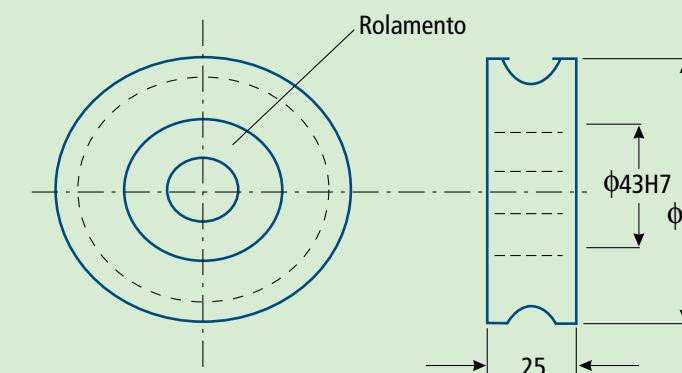
t = tempo de cada operação em minutos

N = número de vezes que a operação se repete

h = quantidade de horas que a máquina vai estar disponível

e = eficiência

Figura 9.19
Folha de processos.

FOLHA DE PONTO CRÍTICO DO TRABALHO											
Nome	Polia	Código	Operação			Facear lado 1 e furar					
											
Tipos	Código	Controle de ponto essencial	Padrão	Ferramenta (classe)	Normal	Antes da troca da linha	Após	Gráfico controlado	c/s	Necessidade	
6990	A	Furo	43 ⁺⁰ _{0,025}	Tampão	I/40	I	3	x	0		
Obs. Antes da medição, deve-se fazer obrigatoriamente o ajuste no calibrador padrão											
Data da elaboração: 2/9/2008						Elaborado por: (Controle de Qualidade)					
Nome	Polia	Folha de instrução de trabalho				Data	Máq.	Setor	Usinagem 3		
Código	000002345-I					TO-005	TO-006	Nome	Almeida		
Op.	Operação	Seq.	Conteúdo da operação (o que faz)			Máq. n°	Qualidade (como faz)			Observação	
10	Facear lado 1 e furar	1	Pegar peça na caixa			FU-006					
		2	Prender pelo lado externo				Centrar corretamente				
		3	Facear				Quebrar cantos				
		4	Indexar broca								
		5	Furar								
		6	Remover peça do dispositivo								
		7	Calibrar furo				Calibrador tampão				
20	Facear lado 2 e tornear canal da polia	1	Pegar peça na caixa			TO-005					
		2	Prender pelo furo								
		3	Facear e tornear em desbaste								
		4	Mudar ferramenta								
		5	Dar acabamento								
		6	Calibrar alojamento da polia				Calibrador especial				

A quantidade de mão de obra pode ser determinada pela fórmula:

$$n = \frac{t \cdot N}{60 \cdot T \cdot e}$$

em que:

n = número total de trabalhadores

t = duração média da atividade, em minutos

N = número de vezes que a atividade é cumprida

T = duração do dia de trabalho, em horas

e = eficiência média, a fração de tempo útil dedicada às atividades

As características descritas no desenho do produto determinam os ferramentais necessários à operação. O trabalho de ajustar a ferramenta ao suporte se chama *presetting* (ou *setup*), e as dimensões da ferramenta de corte ajustadas ao suporte são determinadas na operação de *presetting*. As dimensões são passadas para as máquinas de controle numérico e servem de base para a elaboração do programa de fabricação. O programa mantém o processo de trabalho em conformidade com a qualidade especificada.

Outros recursos necessários são os instrumentos e dispositivos para medir e controlar a qualidade do processo. Estão definidos na folha de processos e o operador deve tomar o cuidado de verificar a validade das aferições dos instrumentos. Também deve haver cuidado no manuseio dos instrumentos, evitando batidas, quedas ou maus-tratos na guarda e conservação. Quanto aos instrumentos com validade vencida deve ser solicitada aferição, para não incorrer na fabricação de produtos fora de conformidade, isto é, produtos que não atendem às especificações do processo.

A execução da operação

Nas fábricas do passado, o operador de máquinas não detinha o conhecimento do processo de fabricação do produto, apenas conhecia determinada operação. Era um especialista em sua função.

Atualmente, nas empresas que buscam as melhores práticas de manufatura, o trabalhador tem envolvimento mais amplo no processo de fabricação. É responsável pelo andamento do programa de produção, pela qualidade do produto, e deve cuidar dos equipamentos de trabalho: máquinas, equipamentos e ferramentais e, ainda, propor melhorias para o desempenho satisfatório do processo.

O trabalho em equipe é fundamental, pois, no caso de uma célula de produção, é a equipe que mantém a operacionalidade e flexibilidade da célula, cuidando da mudança de peças, preparação das máquinas e qualidade do produto.

A execução da operação na produção requer habilidade e conhecimento. Ao chegar a seu posto de trabalho, o operador deve comunicar-se com seu colega de turno e observar as ocorrências. Deve estar preparado para prosseguir com o curso da produção. É importante checar o funcionamento da máquina,

a vida das ferramentas que estão na máquina e a qualidade da última peça produzida. Então, seguir as determinações do processo de fabricação e manter a qualidade do produto, a limpeza e a segurança do local do trabalho.

Controle da qualidade

Toda primeira peça usinada após o *setup* (preparação da máquina para a próxima peça) deve ser encaminhada para análise da qualidade, e a produção liberada somente quando a peça a ser produzida estiver em conformidade com o processo.

Para evitar grandes desvios, as dimensões do produto devem ser acompanhadas constantemente, e o controle estatístico do processo, que tem se mostrado eficiente para detectar antecipadamente os desvios, é um gráfico (figura 9.20) que permite detectar tendências de ocorrências de problemas de qualidade. Para sua confecção, as peças são medidas periodicamente (pode ser em equipamentos eletrônicos do tipo *air gages*) e as informações são “plotadas” na carta de controle, que pode ser gerada manual ou eletronicamente.

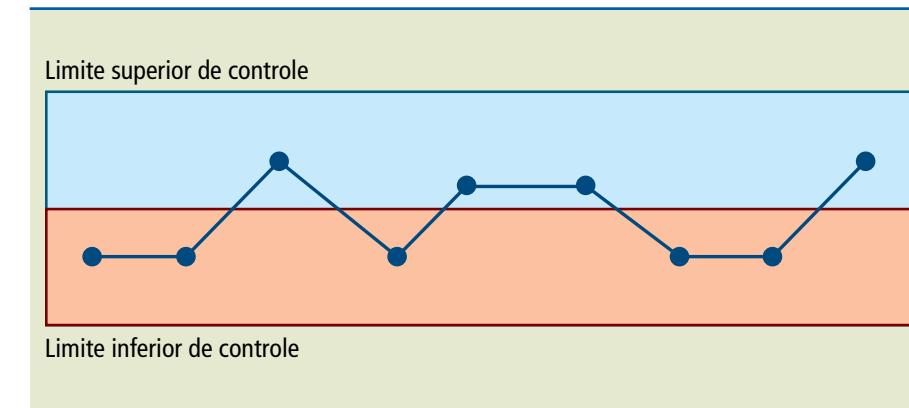


Figura 9.20
Exemplo de carta de controle.

Além disso, o coeficiente de capacidade (capacidade de dado processo ou equipamento de fabricar produtos dentro da faixa de especificação) permite saber se o processo também está dentro dos limites da tolerância.

$$\text{Coeficiente de capacidade} = cp = \frac{\text{Limite de tolerância superior} - \text{Limite de tolerância inferior}}{\text{do processo}}$$

O assunto pode ser visto com mais detalhes em 9.6.5.

9.3 O custeio dos produtos

9.3.1 O preço dos produtos

O preço dos produtos ou dos serviços está relacionado à importância que eles têm para as pessoas (lei da oferta e da procura) e serve para a tomada de

decisão na hora de comprar. É calculado pela soma dos custos e do lucro de um produto.

$$P = C + L$$

em que:

P = preço

C = custo

L = lucro

O principal objetivo dos preços é conseguir um lucro que possibilite o retorno do investimento feito para produzir ou comercializar um produto. Mas há, ainda, a preocupação de como os concorrentes estão administrando seus preços, e por isso o preço é um ponto fundamental na competição entre as empresas.

Na produção industrial, a cadeia de fabricação dos produtos é longa, e os efeitos das oscilações de subidas e descidas de preço demoram a ser percebidos por todos. Quando ocorrem, podem gerar efeitos danosos, além de impactar nos lucros.

Conforme a situação do mercado, as oscilações de preço provocam queda nos lucros das empresas, que por sua vez desejam manter a margem planejada, de acordo com o interesse dos empresários e acionistas. As empresas, então, procuram controlar e reduzir seus gastos, daí a importância de estudar a composição do custo industrial.

9.3.2 O custo industrial

A palavra custo pode ser utilizada para representar, com o lucro, os componentes da formação dos preços, por exemplo, das mercadorias ou serviços vendidos.

São considerados custo de fabricação os gastos com bens consumidos e serviços requeridos pela produção de outros bens.

Gasto é o dispêndio, à vista ou a prazo, para aquisição de bens ou serviços, independentemente de sua destinação dentro da empresa.

Gastos vinculados à obtenção de bens de uso da empresa (por exemplo: computadores, móveis, máquinas, ferramentas e veículos) ou resultantes de aplicações de caráter permanente (compra de ações de outras empresas, de imóveis, de ouro etc.) são considerados investimentos.

Os investimentos são os gastos efetuados com as compras de máquinas, equipamentos, terrenos, construção de prédio etc. ou serviços utilizados na organização da empresa. Podem, ainda, ser os gastos com aplicações financeiras (ações, ouro, imóveis) com a finalidade de obter renda.

Aquilo que a empresa gasta na compra de bens ou serviços demandados pela área administrativa, comercial ou financeira, visando, direta ou indiretamente, obter receita é chamado despesa. São despesas todos os gastos necessários para fazer a empresa produzir.

Classificação dos custos

O custo é composto por três elementos básicos: materiais (matérias-primas + insumos), mão de obra e gastos gerais com fabricação.

O custo pode ser classificado em relação ao tipo de produto e, de acordo com a sua dependência, quanto ao volume produzido.

Classificação com relação aos produtos

Com relação aos produtos, o custo pode se classificar em:

- **direto** – envolve os materiais e a mão de obra usados diretamente na fabricação dos produtos. Exemplo: a matéria-prima, os materiais secundários, materiais de embalagem e a mão de obra;
- **indireto** – representa os gastos com outros elementos, os gastos gerais de fabricação. Exemplo: depreciação, gás, energia elétrica, aluguel da fábrica, salários e encargos dos chefes de seção e dos supervisores da fábrica.

O custo direto de fabricação é fácil de ser conhecido, pois em geral corresponde aos valores integralmente gastos na compra de materiais utilizados, mais a mão de obra das pessoas que trabalharam diretamente na produção.

Alocação dos custos indiretos nos produtos

a) Rateio

Rateio é a distribuição proporcional dos gastos indiretos, entre os produtos fabricados, segundo um critério determinado: por horas de fabricação, número de pessoas, área utilizada etc.

b) Custeio por atividade

O custeio por atividade é outra forma de distribuir o custo indireto entre os produtos. Caracteriza-se pela determinação da porcentagem de utilização do bem entre os diversos produtos fabricados. Por exemplo, uma empilhadeira pode ser usada 20% para movimentar um produto e 80% para movimentar outro. Em um sistema de rateio, a empilhadeira poderia ter seu custo simplesmente distribuído entre os departamentos, sem levar em consideração sua utilização.

Com relação ao volume de produção

No que se refere ao volume de produção, os custos podem ser fixos ou variáveis.

Custos fixos são aqueles que independem do volume de produção do período, isto é, qualquer que seja a quantidade produzida, os custos não se alteram. Por exemplo, o aluguel de um prédio utilizado para a produção.

Custos variáveis são aqueles que variam em função das quantidades produzidas, como ocorre, por exemplo, com a matéria-prima. Os custos variáveis têm ligação direta com os custos diretos de fabricação.

Na classificação com relação ao volume, os custos podem ainda ser semifixos ou semivariáveis.

Custos semifixos são os custos fixos que possuem uma parcela variável. Exemplo: a energia elétrica, que serve para:

- produzir determinado produto – custo variável; ou
- iluminar as diversas áreas não produtivas da empresa – custo fixo.

Custos semivariáveis são os custos variáveis que possuem uma parcela fixa. Exemplo: o custo da mão de obra dos operadores de máquina é variável em função das quantidades produzidas, enquanto o da mão de obra da supervisão da fábrica é fixo, pois independe do volume produzido.

9.3.3 A contabilidade

A contabilidade é a área da empresa que cuida da apuração dos resultados financeiros em determinado período. É realizada por um contador que colhe, classifica, organiza e acompanha os dados relacionados aos valores gastos com as compras de materiais, produtos e serviços, os estoques diversos, os gastos com as horas de trabalho, os investimentos, os financiamentos, a depreciação dos ativos e as despesas administrativas. Também cuida dos critérios de rateio e da alocação dos recursos sobre os custos dos produtos fabricados. A contabilidade segue normas da Receita Federal e apura os resultados financeiros em um documento chamado Demonstração de Resultados.

9.3.4 Custo de fabricação de um produto

A empresa industrial tem por objetivo obter bens, seja para uso, troca, transformação ou consumo, seja para utilizar algum tipo de serviço, portanto, efetua gastos.

Figura 9.21



A transformação da matéria-prima resulta em produtos, serviços e resíduos.

O custo de fabricação de um produto é a soma de todos os custos diretos e indiretos relacionados ao processo produtivo: matéria-prima, mão de obra, ferramentas, máquinas, controle da qualidade e custo indireto de fabricação.

Composição dos custos de produção

Custo da matéria-prima

estoque inicial de matéria-prima
(+) compra de matérias-primas
(-) estoque final de matérias-primas

Custo da mão de obra direta

(+) custo da mão de obra direta + encargos
--

Custos dos equipamentos (ferramentas, máquinas, controle de qualidade etc.) e de outros custos diretos

(+) equipamentos (depreciação, troca, afiação)
(+) materiais secundários
(+) materiais de embalagem
(+) outros materiais
(+) gastos gerais de fabricação diretos (energia elétrica, depreciação das máquinas, água, aluguel da fábrica, serviços de terceiros, custo do controle da qualidade)

Custos indiretos de fabricação

(+) mão de obra indireta (salários de supervisores e chefia)
(+) materiais indiretos
(+) gastos gerais de fabricação indiretos

Custos de produtos em processo

(+) estoque inicial de produtos em processo
(-) estoque final de produtos em processo

Custos do estoque de produtos acabados

(+) estoque inicial de produtos acabados
(-) estoque final de produtos acabados

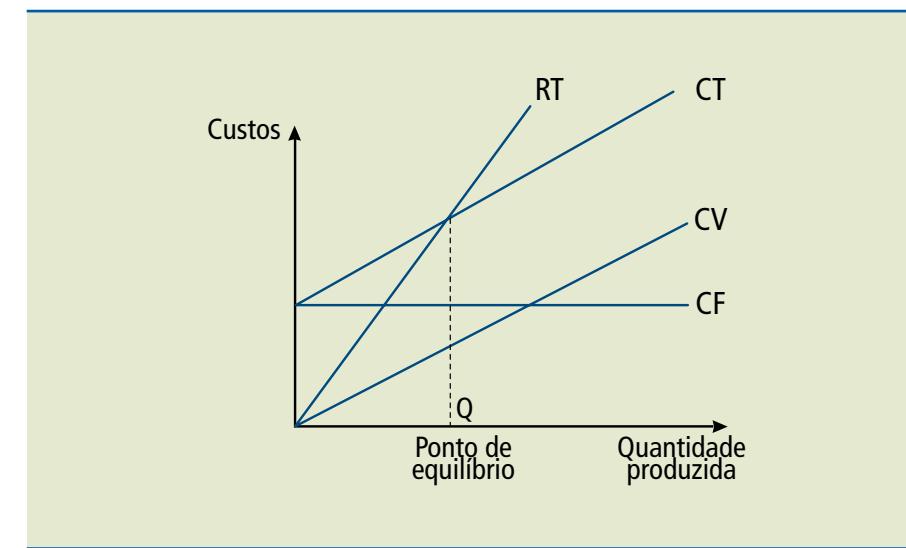
Custo por peça

$$\text{custo por peça} = \frac{\text{custo de produção no período}}{\text{unidades produzidas período}}$$

ou

$$\text{custo por peça} = \frac{\text{custo total}}{\text{quantidade produzida}}$$

O gráfico dos custos em relação à quantidade produzida é mostrado na figura 9.22.



9.3.5 Cálculo do ponto de equilíbrio

É o ponto (ver no gráfico da figura 9.22 – em volume ou custo) em que as receitas são iguais aos custos totais. A partir desse ponto, a receita supera os custos e passa a haver lucro.

$$CT = CF + CV \text{ e } RT = PV \cdot Q$$

em que: CT = custo total associado a uma dada unidade produzida

CF = custo fixo

CV = custo variável

RT = receita ou faturamento

PV = preço de venda

Q = quantidade produzida ou volume de serviços prestados

O custo variável unitário CV_u é dado por:

$$CV_u = \frac{CV}{Q} \text{ e } CT = CF + CV_u \cdot Q$$

Como no ponto de equilíbrio a receita é igual ao custo total:

$$RT = CT \text{ e } PV \cdot Q = CF + CV_u \cdot Q$$

conclui-se que no ponto de equilíbrio:

$$Q = \frac{CF}{PV - CV_u}$$

Acima do ponto de equilíbrio começa a existir lucro, e a fórmula fica:

$$Q = \frac{L + CF}{PV - CV_u} \text{ em que: } L = \text{lucro}$$

Ainda em relação aos custos, os materiais indiretos podem ter os custos de estocagem e compra calculados conforme a fórmula:

$$CT = \frac{D}{Q} \cdot S + \frac{Q}{2} \cdot iC$$

em que: CT = custo total de compra e estocagem

D = demanda anual

Q = quantidade por pedido

S = custo da compra

i = porcentagem de estocagem

C = custo do material

9.3.6 Cálculo da massa dos produtos

Na produção industrial, os produtos são manufaturados com material de base fornecido. Esse material é forjado, fundido, injetado, soprado, em barras ou em chapas. Na compra de fundidos, forjados, injetados ou soprados, seu preço é alocado diretamente ao produto a ser fabricado.

Insumos fornecidos em barras ou chapas são vendidos e contabilizados por quilograma. Para atender às dimensões da peça, são cortados e pesados.

Quando não se consegue pesar o material, calcula-se seu peso usando a fórmula do cálculo da massa:

$$m = \delta \cdot v \quad \delta = \text{densidade [kg/dm}^3\text{]}$$

$$m = \text{massa [kg]}$$

$$v = \text{volume [dm}^3\text{]}$$

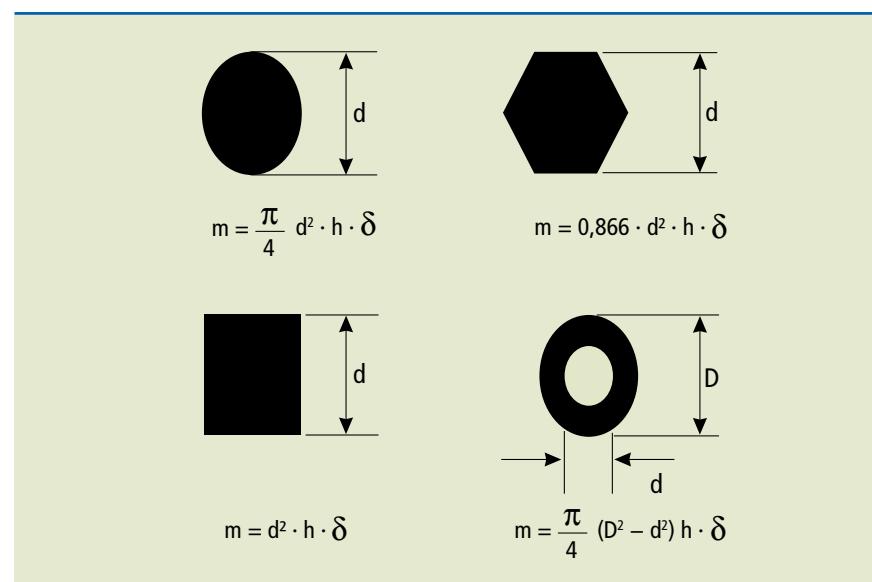
$$h = \text{altura [dm]}$$

Figura 9.22

Custo em relação à quantidade produzida.

Cálculo da massa de material em barras:

Figura 9.23



Cálculo do peso de chapas:

$$\text{massa} = \text{largura} \cdot \text{comprimento} \cdot \text{espessura} \cdot \delta$$

9.4 Desenvolvimento de novos produtos

Assim que uma oportunidade é reconhecida, ocorre a análise da viabilidade, depois o pré-projeto, o desenvolvimento do protótipo e, finalmente, a homologação. O projeto evolui por meio de testes de desempenho, testes de aceitação pelo cliente e estudos econômicos. Fatores relacionados à produção com baixo custo, qualidade, confiabilidade e disponibilidade para fabricar a quantidade desejada são relevantes na aceitação do produto pelo mercado. A figura 9.24 mostra o fluxograma das atividades de desenvolvimento do projeto.

Figura 9.24

Fluxograma do projeto.

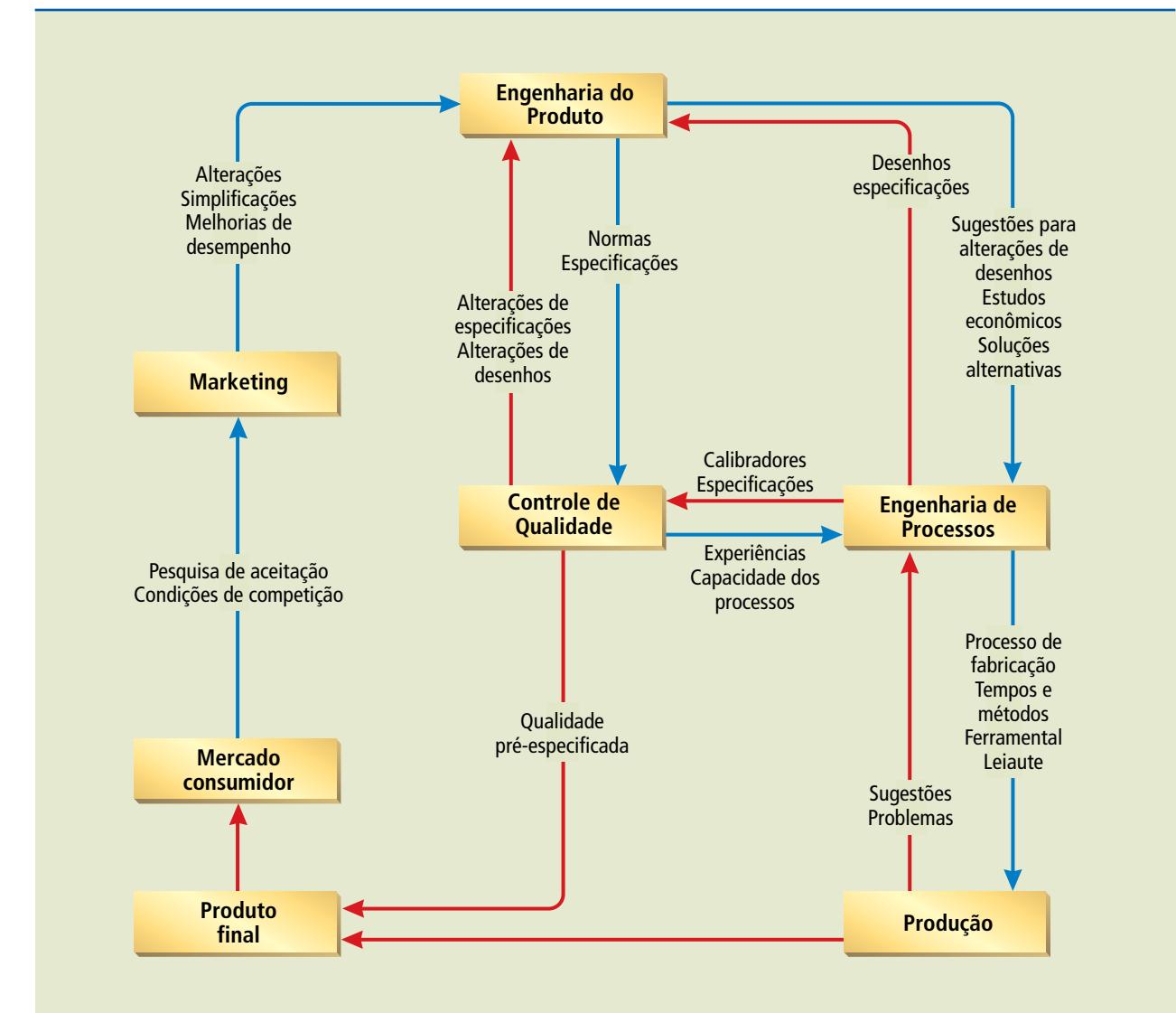
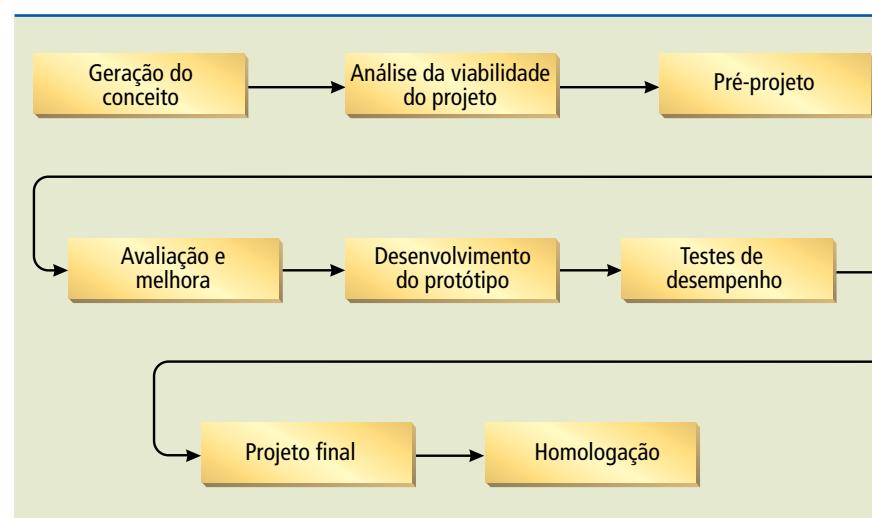


Figura 9.25

Fluxograma das informações na manufatura.

No desenvolvimento de novos produtos é fundamental compreender o fluxo de informações e as interfaces da produção com as demais áreas da fábrica. A figura 9.25 representa o fluxo de informações na manufatura. A atividade de *Marketing* mantém contato com o fornecedor, enquanto a *Produção* se relaciona com as demais áreas da empresa, apoiadas pelo *Controle da Qualidade* e pela *Engenharia de Processos*, em um fluxo intenso de orientação e *feedback*.

9.5 Desenvolvimento de novos fornecedores

A competitividade tem levado as empresas a fazer investimentos constantes em tecnologia. Enormes somas de dinheiro são investidas na automação dos processos produtivos.

Nesse ambiente, as empresas procuram desenvolver suas habilidades e tecnologias nas competências centrais, aquelas que resultam em valor para o cliente, diferenciação sobre a concorrência e expansão nos mercados futuros.

Existe uma tendência entre as empresas modernas de terceirizar processos que não pertencem às atividades centrais, pois evitam a imobilização de capital e minimizam os custos fixos, fatores importantes para a competitividade.

A escolha de novos fornecedores e de novos parceiros tem por objetivo:

- aumentar o valor agregado do produto ao cliente;
- garantir economia de escala, considerando que o fornecedor produz para muitas empresas e o preço fica mais barato; e
- dividir com os parceiros os riscos e oportunidades do negócio, considerando a qualidade e os novos investimentos.

No passado, o processo de terceirização era visto apenas como forma de cortar custos, transferindo responsabilidades aos fornecedores. Hoje, as grandes empresas compartilham o conhecimento e formam redes corporativas, dando caráter federativo à cadeia de suprimento, com resultados positivos para clientes e fornecedores.

Nos anos 1990, as empresas perceberam que havia baixo investimento e muita fragilidade nas interfaces dos processos. Os estudos e investimentos em logística têm se ampliado para solucionar esses problemas e aumentar a segurança na cadeia de suprimento.

9.6 Gestão da qualidade total

9.6.1 O ambiente da manufatura enxuta e o fator qualidade

Até a década de 1970, a qualidade era medida apenas no final da produção, quando a operação já havia sido concluída. Isso implicava produzir muito refugo, peças sem qualidade que não poderiam ser aproveitadas. O modelo norte-americano baseava-se na alta produção e economia de escala. A competitividade estava baseada na redução de custos. Se alguma peça saísse com defeito, a solução era recuperar a peça defeituosa ou utilizá-la na preparação da máquina para a operação seguinte.

A partir dos anos 1930 e, principalmente, após a Segunda Guerra Mundial, a necessidade de recuperação econômica levou o Japão a adotar medidas de gestão da produção diferentes do modelo ocidental.

Taiichi Ono (1912 - 1990). Engenheiro japonês, nascido na China, criador do Sistema Toyota de Produção e responsável pelo aperfeiçoamento do conceito *Just in Time* (JIT).

Como na cultura japonesa prevalece o trabalho em equipe sobre o trabalho individual, o trabalhador japonês passou a se considerar parte da empresa e, em caso de necessidade, todo o grupo se submetia a sacrifícios para a manutenção da atividade e do grupo. Nesse sistema, sempre que o trabalho exige, ocorre um esforço coletivo para atender às necessidades do cliente.

Depois da Segunda Guerra Mundial, **Taiichi Ono** viajou para os Estados Unidos e percebeu uma economia próspera. Em visita a um supermercado, observou o modelo de reposição de estoques nas gôndolas e resolveu implantar modelo semelhante nas linhas de produção da Toyota, para controle de fluxo de materiais.

Atender às necessidades do cliente, por meio da fabricação controlada e organizada por todos os trabalhadores, fornecedores e distribuidores é a base do Sistema Toyota de Produção (STP).

O abandono da produção em massa tradicional e a adoção do STP implicam garantir que cada produto seja feito com qualidade, sem defeitos e sem desperdício.

A partir da década de 1970, em todo o mundo passou-se a adotar o STP, que consiste em organizar diferentes processos em sequência, em que cada um produz somente o tipo e a quantidade de produto necessários para o processo seguinte.

Assim, é preciso produzir com qualidade, sem perda de tempo, com o mínimo custo, na quantidade e no tempo certos, atendendo às necessidades do cliente. Não dá para perder a peça nem o tempo de produção. Esse processo é conhecido como *just-in-time*.

O modelo Toyota baseia-se no pensamento enxuto (eliminação de perdas e de atividades improdutivas). O pensamento enxuto permite repensar cada processo de trabalho, introduzir melhorias contínuas (*kaizen*), eliminar (enxugar) as atividades que não agregam valor ao produto.

A gestão da qualidade é necessária para garantir que todos os produtos fabricados, agora em menor número, abasteçam e saiam da linha de fabricação com qualidade.

Nos anos 2000, em plena era do cliente, a qualidade é uma característica que deve sempre vir incorporada aos produtos e serviços, uma espécie de *commodity*, um valor agregado comum, intrínseco.

9.6.2 Definições de qualidade

As definições de qualidade podem conter um contexto genérico ou específico com base em normas ou padrões.

De acordo com a Fundação Vanzolini, certificadora de empresas com ISO 9000, a qualidade é o atendimento das necessidades em função das expectativas dos clientes e pode ser escrita na seguinte relação:

$$Q = \frac{\text{necessidades}}{\text{expectativas}}$$

A qualidade pode ser definida como a “condição de perfeição, ou do exato atendimento das necessidades do cliente, podendo ser atribuída a qualquer coisa ou ação, integrante ou resultante de um processo” (LOBOS, 1991).

Uma definição mais técnica é apresentada pela NBR ISO 8402 da ABNT, que descreve a qualidade como a “totalidade das características de uma entidade que lhe confere a capacidade de satisfazer as necessidades explícitas e implícitas”.

9.6.3 Gestão da qualidade total

Trata-se de uma forma de abordagem mais completa da qualidade. Tem como meta melhorar a competitividade, a eficácia e a flexibilidade, trabalhando o planejamento, a estruturação e a compreensão de cada atividade, envolvendo todas as pessoas da organização, em cada nível de trabalho. De forma mais sistêmica e participativa, a qualidade total permeia e integra todos os processos de produção e de serviços da organização.

A gestão da qualidade total deve fazer parte do plano estratégico da organização, além de permitir que a administração adote uma visão estratégica da qualidade e trabalhe na prevenção dos problemas, e não em sua detecção. Ela também reúne planejamento, definição de metas, execução e controle das atividades da qualidade.

9.6.4 Qualidade total em serviços

A qualidade total em serviços é uma forma de pensar e trabalhar com foco constante na satisfação total do cliente, subordinando a essa filosofia todas as ações administrativas ou operacionais de uma organização (MARQUES, 2000).

A prática da qualidade total em serviços consiste em procurar a qualidade em todas as relações pessoais e comerciais que possam influenciar a vida das pessoas. É uma filosofia, é sentir e agir impulsionado por uma forma de energia poderosa que pode mudar o rumo de nossa vida para melhor.

9.6.5 Ferramentas da qualidade

A literatura aponta algumas ferramentas que podem auxiliar o profissional no controle da qualidade. As ferramentas aparecem como solucionadoras de problemas: são sete básicas e sete gerenciais (tabela 9.8).

Tabela 9.8

Ferramentas da qualidade.

Sete ferramentas básicas	Sete ferramentas gerenciais
Fluxograma dos processos	Diagrama de relações
Folha de verificação	Diagrama de afinidades
Diagrama de Pareto	Diagrama em árvore
Diagrama de causa e efeito	Diagrama de priorização
Diagrama de dispersão	Matriz de relações
Histograma	Diagrama PDPC
Cartas de controle	Diagrama de atividades

Neste livro, daremos destaque às sete ferramentas básicas da qualidade. Alguns autores as tratam como ferramentas para melhoria contínua. Veja-as a seguir.

Fluxograma

O fluxograma é uma representação gráfica que mostra a sequência de passos de um processo (figura 9.26). Processo é uma sequência de operações justapostas e inter-relacionadas, necessárias à execução de um produto ou serviço.

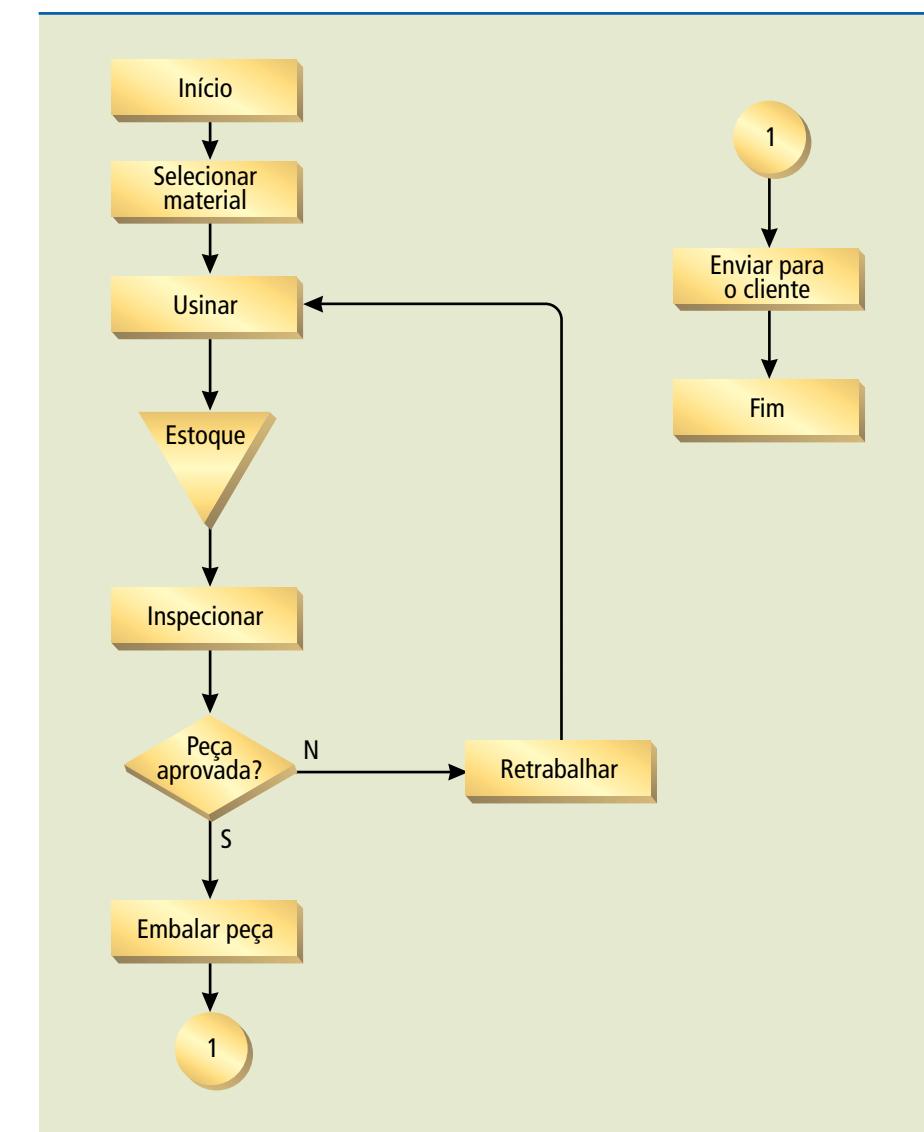


Figura 9.26
Exemplo de fluxograma.

O fluxograma utiliza símbolos e, por meio deles, podem-se detectar falhas no processo ou entender outro muito complexo, em que se deseja programar melhorias com base na redução de operações, ou, ainda, reduzir documentos e informatizar.

Os retângulos são usados para representar as atividades, as ações; os triângulos invertidos representam as esperas, os estoques entre processos; e os losangos

são colocados nos pontos de tomada de decisão. Os pontos de início e fim são representados por um triângulo oblongo. As linhas com setas interligando cada atividade representam a direção de fluxo do processo. Caso seja necessário interromper o fluxograma para continuar em outra página, o recurso usado é um círculo com um número da interrupção escrita em seu interior.

Folha de verificação

É uma ferramenta simples, em que são anotadas e contadas as ocorrências de problemas em um processo de produto ou serviço (tabela 9.9). Para saber com que frequência certos eventos acontecem, devemos:

- escolher os problemas que têm de ser estudados;
- definir durante quanto tempo a observação deverá ser feita;
- fazer um formulário e anotar todas as ocorrências;
- contar as ocorrências.

Tabela 9.9

Folha de verificação.

Problemas na linha de produção de eixos	Mês				Total
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	
Falta de ferramenta	III II	II	III III	III	18
Setup	II	I	III	I	7
Fora de tolerância	II	II	III	III	11
Erro do processo	I		I	II	4
Falta de sobremetal	I	II	III II	II	11
Total	12	7	20	12	51

Essa contagem pode ser útil para a construção do diagrama de Pareto.

Diagrama de Pareto

É um método visual e de fácil interpretação, com base em um critério de prioridades. Tem por objetivo a análise comparativa de dados para estabelecer prioridades na tomada de decisões.

Vilfredo Pareto (1848-1923), inventor do método no século XIX, na Itália, verificou que, em uma classificação de defeitos, o maior volume é atribuível a um pequeno conjunto de causas, e que existe grande quantidade de causas que contribui com um pequeno volume de defeitos.

Na administração da qualidade é possível distinguir quais são as poucas causas importantes e as muitas causas insignificantes. A técnica propõe os seguintes passos:

- Selecionar os problemas a serem comparados por meio de um *brainstorming* – em tradução livre: “tempestade de ideias”, reunião da qual todos devem participar sem restrições – ou outra técnica de coleta de dados, organizados em categorias e em ordem decrescente de prioridade.
- Construir uma tabela, relacionando itens e valores.
- Desenhar o gráfico colocando os itens, em ordem decrescente de valor ou frequência, da esquerda para a direita, no eixo das abscissas. Os itens de menor valor podem ser agrupados na categoria *outros* ao final, à direita no eixo.
- Desenhar as barras (retângulos) acima de cada classificação ou categoria, cuja altura representa a frequência ou o valor de classificação.
- Comparar a frequência ou o valor das categorias entre si.
- Agrupar ou reagrupar a tabela e montar o gráfico conforme a necessidade de apresentação e análise dos problemas (figura 9.27).

Exemplo: Uma rede de loja de departamentos coletou reclamações dos clientes, em um mês de operações, e os classificou segundo a tabela 9.10.

Modalidade	Nº de reclamações	%
Entrega	15	38
Instalação	12	30
Devolução	7	18
Documentação	5	13
Outros	1	3
Total	40	100

Tabela 9.10

Reclamações de clientes.

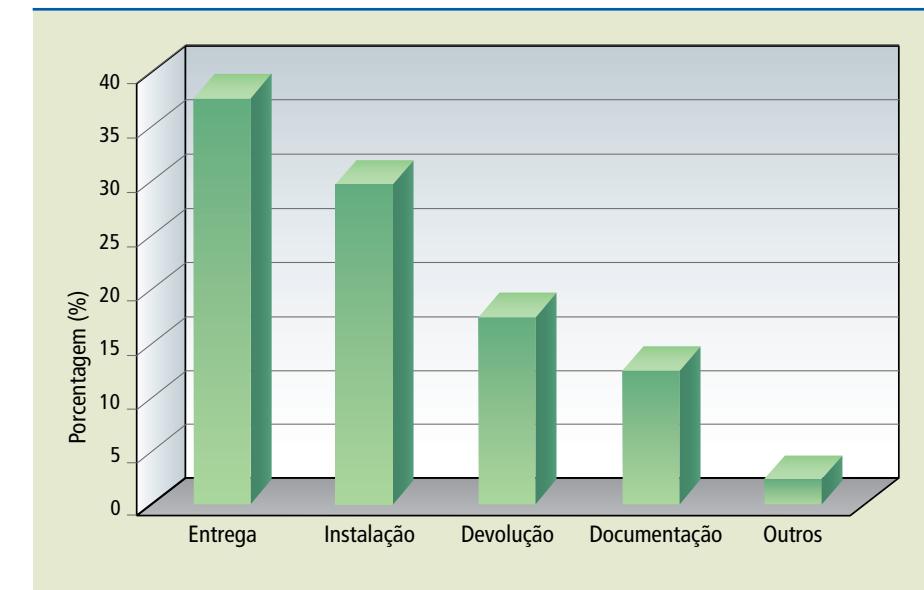


Figura 9.27

Diagrama de Pareto.

O número de reclamações de clientes resultante da entrega representa 38% de todas as reclamações.

Posteriormente à construção do gráfico de Pareto, deve-se determinar a essência do problema, construindo e analisando o diagrama de Ishikawa.

Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa permite perceber as relações entre causa e efeito que intervêm em qualquer processo. Também utiliza a técnica *brainstorming* para seleção dos problemas visando posterior análise e discussão dos itens ou fatores de maior relevância. É também conhecido por diagrama *espinha de peixe* (figura 9.28).

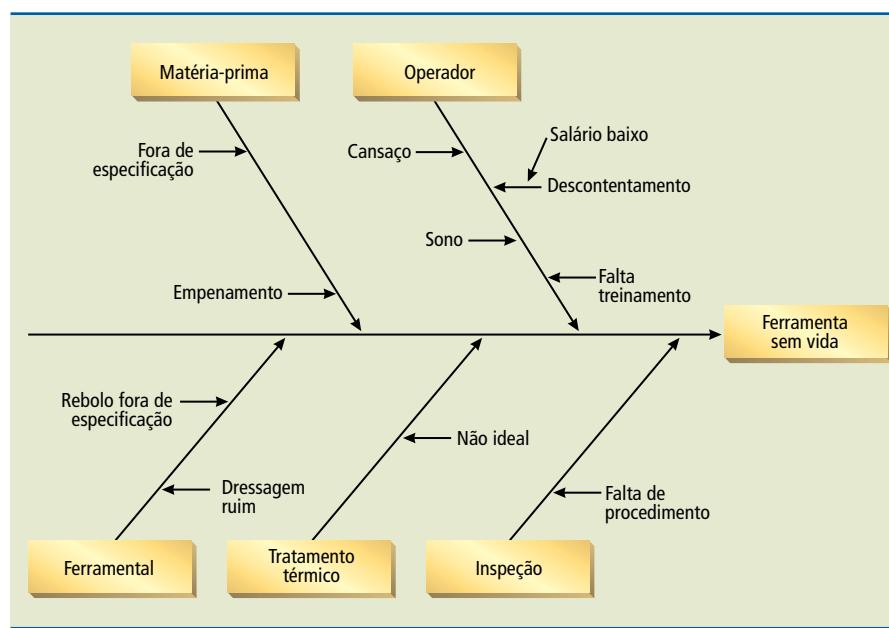
Exemplo: A produção de lâminas de corte para guilhotinas de papel.

Fabricadas em aço inoxidável, as lâminas possuem uma aresta de corte que deve ser usinada, retificada, tratada e afiada com o uso de um rebolo especial. As ferramentas produzidas têm apresentado diferentes tempos de vida, prejudicando sua eficiência quando em operação.

As causas supostas para esse defeito foram:

- 1) ferramental – rebolo com problema na dressagem e rebolo fora de especificação;
- 2) matéria-prima – fora de especificação e empenamento após tratamento térmico;
- 3) mão de obra – operador sem treinamento, cansaço, descontentamento e sono;
- 4) método – tratamento térmico fora de normas; e
- 5) inspeção – não existe procedimento para a inspeção.

Figura 9.28
Diagrama de Ishikawa ou
diagrama *espinha de peixe*.



A análise do gráfico ajuda na conscientização e na visualização do problema para a tomada de decisão.

Diagrama de dispersão

Com o diagrama de dispersão é possível estudar relações entre duas variáveis. Na construção do diagrama, o eixo *x* fica com uma variável, enquanto o eixo *y* fica com a outra variável. O diagrama de dispersão é a etapa seguinte do diagrama de causa e efeito, pois verifica se há uma possível relação entre duas causas, em que intensidade, e se ela é negativa ou positiva (figuras 9.29 e 9.30).

Regra para construção do diagrama de dispersão:

- coletar os pares de amostras;
- desenhar os eixos *x* e *y* do diagrama;
- plotar os valores *x* e *y*;
- marcar os dados e circular os pontos que se repetem.

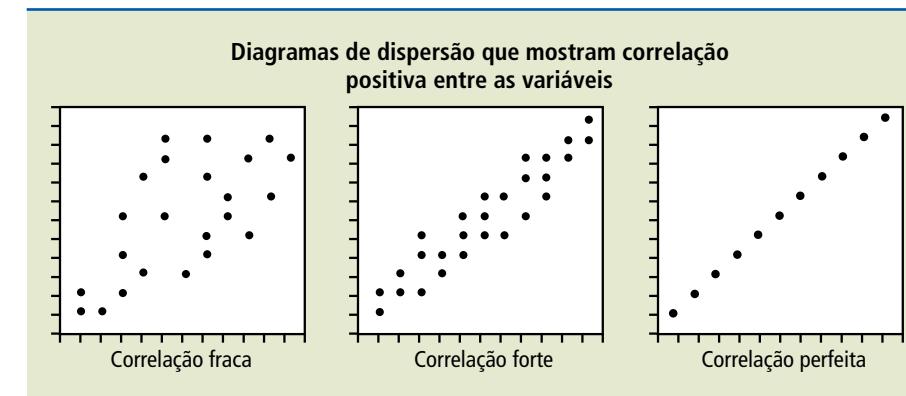


Figura 9.29
Diagrama de dispersão.
Se o *x* varia, *y* é
naturalmente controlado.

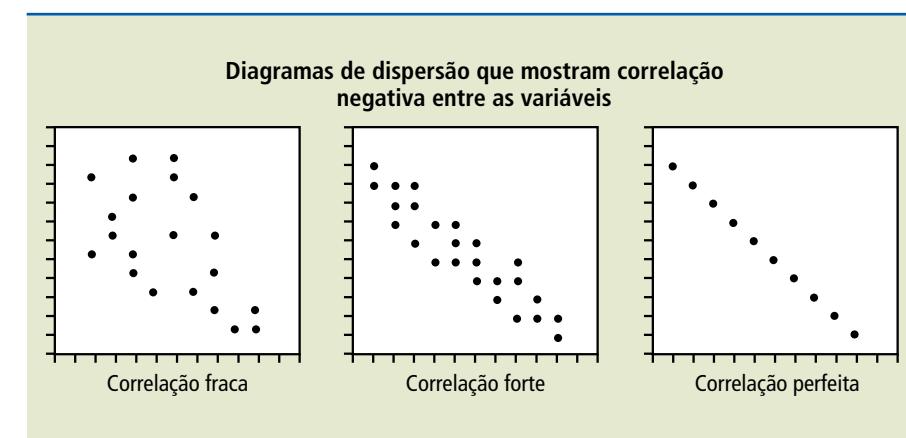


Figura 9.30
Diagrama de dispersão.
Tendência de decréscimo
em *y*, caso o *x* varie.

Histogramas

São gráficos de barras que apresentam variação de dados de forma visual (figuras 9.31 e 9.32). Seguem o mesmo princípio construtivo do gráfico de Pareto e são utilizados para apresentar dados nominais ou categorias.

A reunião dos dados da amostra dispostos no gráfico formam a curva de distribuição chamada de normal ou de Gauss. Nessa curva, a maioria das

medidas se concentram na parte central, e as medidas que ocorrem com menor frequência se alojam na dispersão da curva normal.

Regras para a construção do histograma:

- selecionar os dados;
- calcular a amplitude;
- determinar a quantidade de classes para alocar os valores no diagrama;
- especificar os intervalos de classe;
- determinar os pontos superior e inferior de cada limite de classe;
- construir uma tabela separando os valores em cada classe; e
- elaborar o histograma.

Figura 9.31

Histograma.

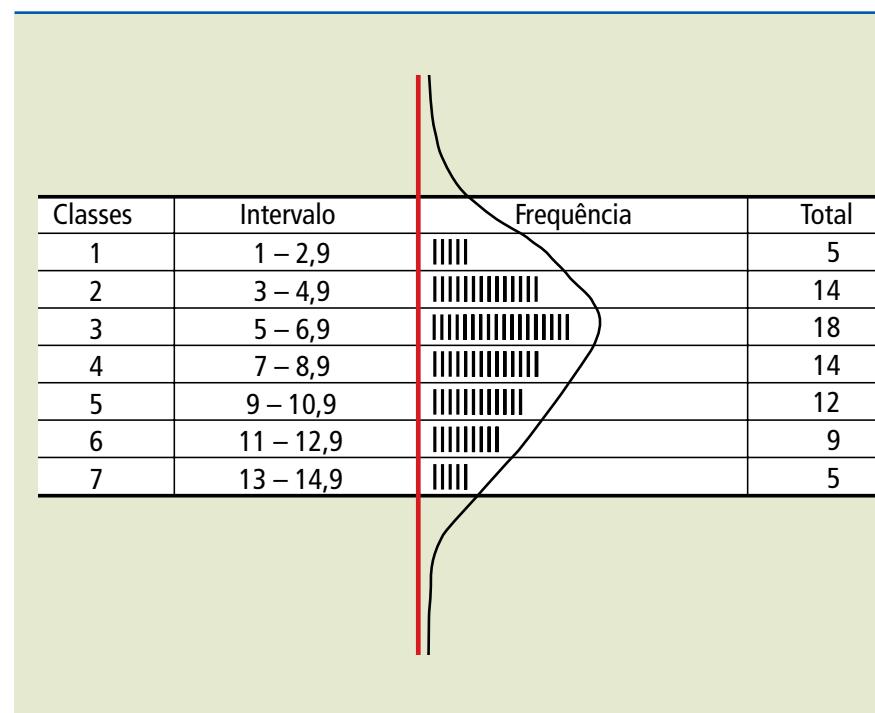
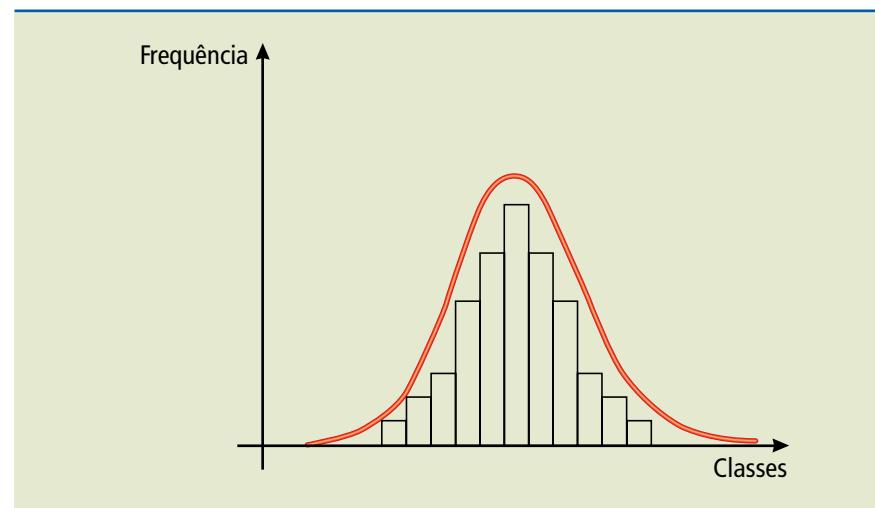


Figura 9.32

Histograma.



Controle estatístico do processo

Capacidade do processo

Diz-se que um processo é capaz quando está apto a produzir itens com valores ou padrões dentro dos limites de tolerância, que, por sua vez, são a variação permitível da dimensão da peça, dada pela diferença entre a dimensão máxima e a dimensão mínima (figura 9.33). Assim, é uma folga necessária para permitir as variações do processo.

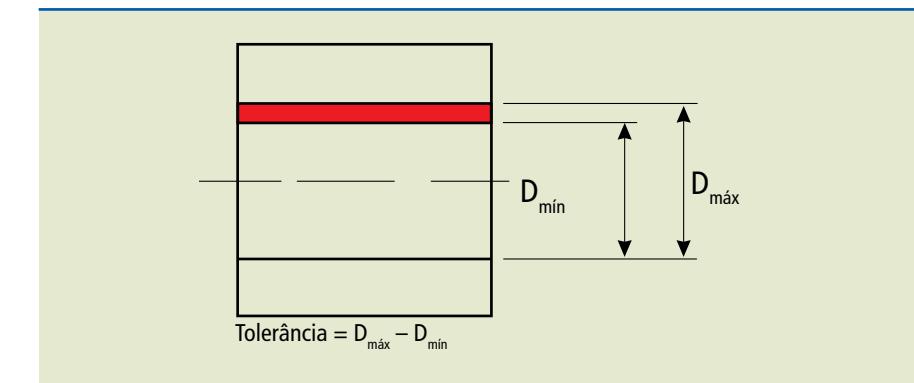


Figura 9.33

Limites de tolerância de uma peça.

Cartas de controle

As cartas de controle podem ser por atributos e por variáveis.

Cartas de controle por atributos são aquelas cujos valores são qualitativos. Os atributos apresentam dois valores:

- passa/não passa;
- conforme/não conforme;
- presença/ausência.

As cartas de controle por atributo exigem precisão ao se definir uma “não conformidade”, uma classificação correta para fornecedor e operador de máquina.

As cartas de controle por variáveis são aquelas cujos valores são quantitativos, isto é, as amostras são expressas em quantidades de medidas (por exemplo, comprimento, peso e tempo).

Essas cartas de controle surgiram por volta de 1920, quando Walter Shewhart (1891-1967) desenvolveu um método para análise e ajuste da variação em função do tempo e percebeu que um processo pode ser descrito com base em duas características: a centralização e a dispersão.

A centralização de um processo pode ser verificada pelo cálculo da média da amostra (\bar{X}), e a dispersão se dá quando ela se afasta da média, medida pelo desvio padrão (σ).

As cartas por variáveis podem ser:

- cartas das médias e amplitudes (\bar{X} e R);
- cartas das médias e desvios padrão (\bar{X} e σ);
- cartas das medianas e amplitudes (\bar{X} e R); e
- cartas de individuais e amplitudes (X e R).

Carta (\bar{X} e R)

Regras para o controle estatístico:

- 1) identificar as medidas X_i ;
- 2) determinar a média e o desvio padrão de cada medida;

$$\text{Média: } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$\text{Desvio padrão: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

n = o número de amostras

- 3) calcular o limite superior e o limite inferior de controle;

$$LSC = \bar{X} + 3\sigma$$

$$LIC = \bar{X} - 3\sigma$$

- 4) calcular amplitudes;

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

- 5) elaborar o gráfico de controle;

- Escala das médias

Regra: a diferença entre o máximo e o mínimo da escala (distância d) deve conter no mínimo duas vezes a diferença entre a maior média e a menor média das amostras.

Valor mínimo de uma divisão maior = $d/10$.

Valor médio da escala = aproximadamente a média entre a maior média e a menor média das amostras.

- Escala das amplitudes

Valor mínimo da escala = zero.

Valor máximo da escala = 2 vezes a maior amplitude encontrada.

Valor de cada divisão maior = valor máximo da escala dividido por 5.

Seguir os passos acima e ajustar para facilitar a plotagem de dados no gráfico.

Cálculo da média das amplitudes (\bar{R})

$$\bar{R} = \frac{(R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)}{n}$$

Cálculo da média do processo ($\bar{\bar{X}}$)

$$\bar{\bar{X}} = \frac{(\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_3 + \dots + \bar{X}_4)}{n}$$

Cálculo dos limites de controle

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

A tabela 9.11 apresenta os fatores para cálculo de limites.

Número de observações (n)	Fatores para Carta X	Fatores para Carta R	
2	1,880	0	3,268
3	1,023	0	2,574
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777

Tabela 9.11

Fatores para o cálculo dos limites de controle da carta (\bar{X} e R).

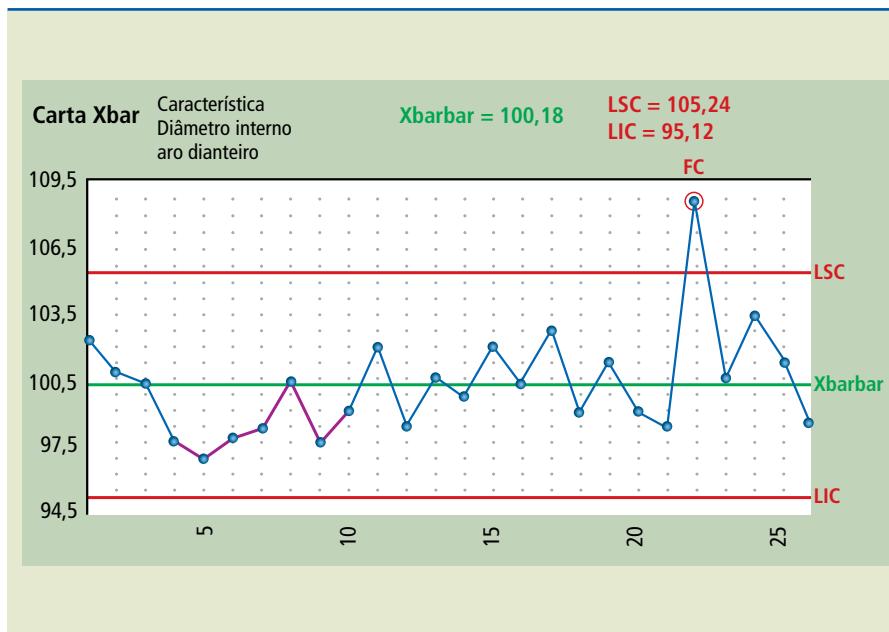
Após a montagem da primeira carta, as demais seguem os limites da primeira: mesma média, limite superior de controle e limite inferior de controle.

- 6) coletar os dados;

- 7) acompanhar a performance do processo durante longo tempo;
- 8) identificar as causas comuns e especiais;
- 9) remover as causas comuns e especiais; e
- 10) analisar e rever as intervenções e o processo.

A carta de controle (figura 9.34) permite prever se um processo tende a produzir a próxima peça com qualidade ou com defeito. Pontos fora dos limites devem ser interpretados e corrigidos com o objetivo de evitar novas falhas.

Figura 9.34
Carta de controle.



Brainstorming

Embora não seja uma das ferramentas básicas da qualidade, o *brainstorming* destaca-se por ser de uso comum para auxiliá-las. Não faz parte do grupo das ferramentas mencionadas acima, mas é muito importante para reunir o maior número de ideias criativas acerca de determinado assunto. A técnica consiste em explorar a potencialidade criativa dos indivíduos do grupo, solicitando aos participantes que apresentem ideias as mais diversas, e até mesmo descabidas, sobre determinado assunto. O *brainstorming* apoia-se em quatro preceitos fundamentais:

- 1) Aceitar todas as ideias, mesmo as mais loucas e descabidas – quanto mais extremadas, mais úteis.
- 2) Nenhuma crítica deve ser permitida, para não impedir a fluência de ideias – todos os julgamentos devem ser adiados para o fim da atividade.
- 3) Privilegiar a quantidade – quanto maior for o número de ideias, mais fácil será selecioná-las.
- 4) Sempre aprovar as combinações de ideias e os melhoramentos daquelas já expostas. Todas as propostas devem ser mantidas por escrito, considerando cada sessão como um jogo no qual a apresentação das ideias pode criar uma forma de rivalidade competitiva e cordial. As ideias devem ser anotadas em uma folha de papel para posterior análise e combinações por meio de gráficos.

O *brainstorming* pode ser conduzido de forma:

- **estruturada** – em que todos devem apresentar ideias de forma sequencial, inclusive os mais tímidos;
- **não estruturada** – as ideias são apresentadas de forma mais descontraída, conforme vão surgindo entre os membros do grupo.

A técnica do *brainstorming* é rápida, necessita entre cinco e dez minutos para ser aplicada.

Capítulo 10

Tecnologia e projetos

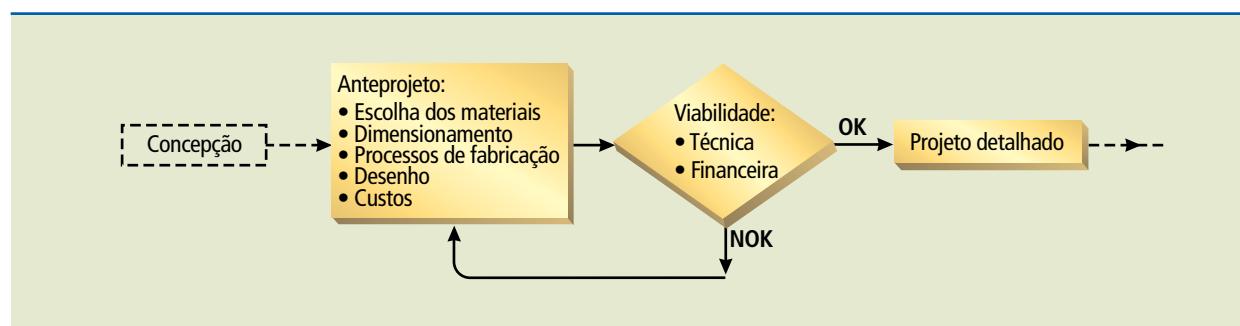




projeto vai dar um fechamento a todas as disciplinas estudadas e possibilitar ao técnico de nível médio aplicar os conhecimentos aprendidos, desde o estudo da resistência dos materiais, o dimensionamento de estruturas e elementos de máquinas, até a seleção de materiais, a definição dos processos de fabricação etc.

A figura 10.1 mostra de forma simplificada a fase de início do projeto, após a concepção; em seguida, o anteprojeto, que passa necessariamente pelo estudo de viabilidade técnica e financeira; o detalhamento e, por fim, a produção.

Figura 10.1
Diagrama do processo de produção.



10.1 Definições de projeto

Na literatura há muitas definições de projeto. As mais comuns o definem como atividade planejada para realizar um produto ou serviço.

Na indústria, projetos são necessários ao desenvolvimento de novas máquinas, equipamentos e componentes, além de dispositivos usados na fabricação e controle de peças.

Trata-se de uma atividade que envolve conhecimentos multidisciplinares, ou seja, de Matemática, Física, Química, Mecânica, Termodinâmica, Mecânica dos fluidos, Eletrotécnica e de tecnologia de produção, ciência dos materiais e ciência do projeto, além de experiência no campo a ser trabalhado.

De acordo com a norma ISO 10006:2003, “projeto é um processo único, consistindo de um grupo de atividades coordenadas, com datas de início e fim, empreendido para alcance de um objetivo conforme requisitos específicos, incluindo limitações de tempo, custo e recursos”.

O Project Management Institute (PMI), organização norte-americana de gerenciamento de projetos, define projeto como “um empreendimento temporário, planejado, executado e controlado com o objetivo de criar um produto ou serviço único”.

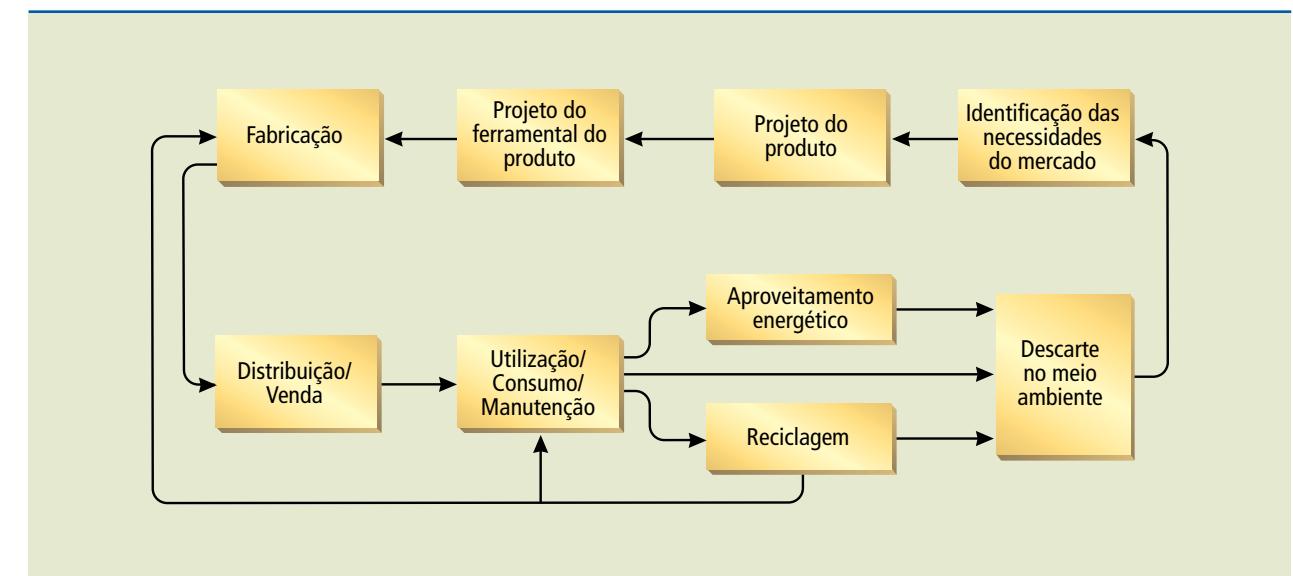
Então, quando fazemos algo fora do cotidiano, como ir ao cinema, ao estádio de futebol ou à Feira da Mecânica, realizamos um projeto. O projeto requer planejamento e cuidado para garantir, o mais acertadamente possível, seu êxito.

10.2 Ciclo de vida do projeto

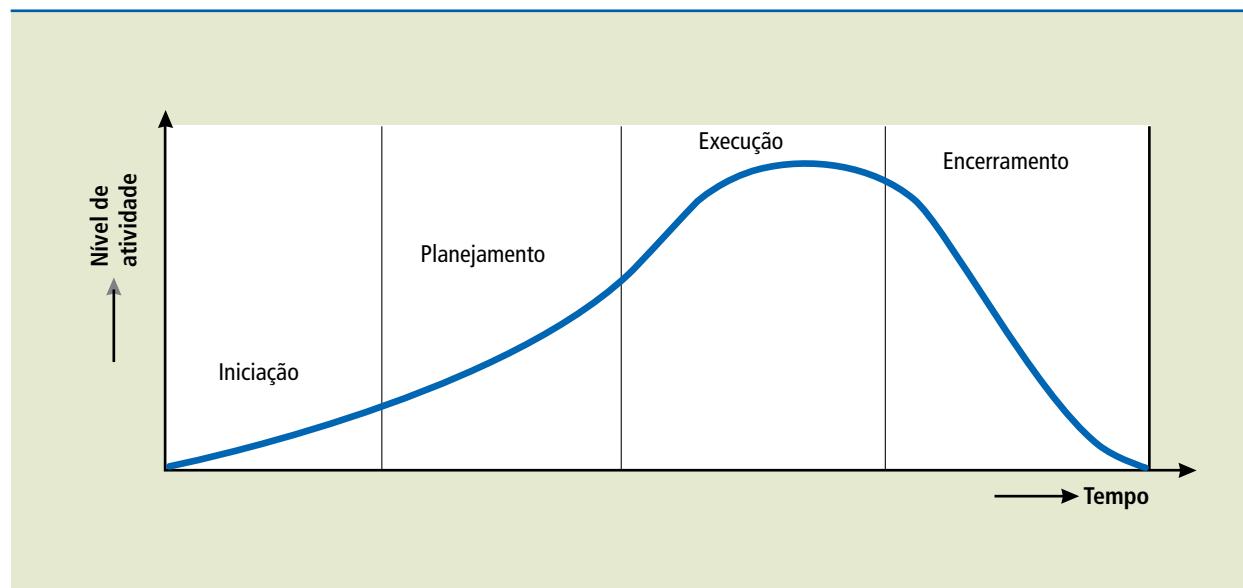
Todo projeto é uma atividade intelectual que precisa ser planejada e elaborada de acordo com conhecimentos básicos e tecnológicos. Pode ser uma oportunidade de aperfeiçoar processos eliminando fatores conflitantes cujos requisitos variam em função do tempo.

O projeto faz parte do ciclo de vida dedicada ao desenvolvimento de um novo produto ou à implantação de melhoria em um produto existente, com base na necessidade do consumidor. O ciclo de vida do produto inicia-se com a identificação da necessidade do mercado e passa pelo projeto do produto, pela fabricação, distribuição, utilização, reciclagem e descarte. A figura 10.2 representa o fluxo de desenvolvimento do produto.

Figura 10.2
Diagrama do processo de produção.



Considerado exclusivamente como atividade de geração de um novo produto ou serviço, o projeto pode ser representado com uma curva de vida composta das seguintes etapas: iniciação, planejamento, execução e encerramento (figura 10.3).

**Figura 10.3**

Curva de vida de um projeto.

10.2.1 Iniciação

A **iniciação** é a fase de preparação do projeto. Os estudos são dedicados à identificação das necessidades, determinação dos objetivos e análise dos recursos. Envolve, também, o estudo da viabilidade técnica e apresentação de um pré-projeto com croquis (XAVIER, 2005).

10.2.2 Planejamento

O **planejamento** envolve a declaração de escopo, a estrutura (consideradas as peças principais e os componentes), o ferramental necessário, o cronograma de execução e o orçamento. Nessa fase também se deve indicar quem vai trabalhar no projeto e quem vai assumir a responsabilidade pelo andamento das atividades.

10.2.3 Execução

A outra fase importante é a **execução** do projeto. Tudo o que foi planejado deve ser colocado em prática. Muitas alterações podem ocorrer durante a fabricação, com o objetivo de melhorar o produto ou o modo de fazê-lo. O cronograma, os recursos necessários e os gastos efetivos de fabricação podem e devem ser ajustados.

10.2.4 Encerramento

O **encerramento** é a fase em que todo o conhecimento sobre o projeto deve ser guardado. Esse material servirá de base à evolução para um novo projeto, no futuro. O encerramento deve ser anunciado a todos os envolvidos. Documentos (desenhos, folhas de processos) devem ser organizados e guardados para provas futuras em casos de manutenção, análises de falhas e necessidades de alterações no projeto atual ou em projeto futuro.

10.3 Tipos de projetos

Quando um produto tem boa aceitação no mercado, os projetistas o usam como referência para lançar produtos novos. BACK (1983) estabelece a seguinte classificação: projetos por evolução e projetos por inovação.

10.3.1 Projeto por evolução

Esse tipo de projeto ocorre quando existe a possibilidade de melhorias no modelo que vem depois. Assim, um novo produto apresenta menor possibilidade de falhas porque foi feito tomando como referência o projeto anterior. Na indústria automobilística, o projeto dos novos modelos de veículos baseia-se nos projetos anteriores. É perceptível a mudança entre eles.

10.3.2 Projeto por inovação

É caracterizado pelas mudanças baseadas em novas descobertas científicas. Novos conhecimentos técnicos são agregados, implicando o rompimento quase completo com as práticas tradicionais. Novos conhecimentos geram novos projetos com base em ideias ainda não experimentadas. Dependendo do grau de inovação, a complexidade da tecnologia leva a resultados não plenamente conhecidos, com risco de erros e dificuldade de análise. Em termos organizacionais, a inovação provoca um salto tecnológico. Exemplos de inovação: a criação do contêiner no começo do século XX e o surgimento da imprensa, no século XV.

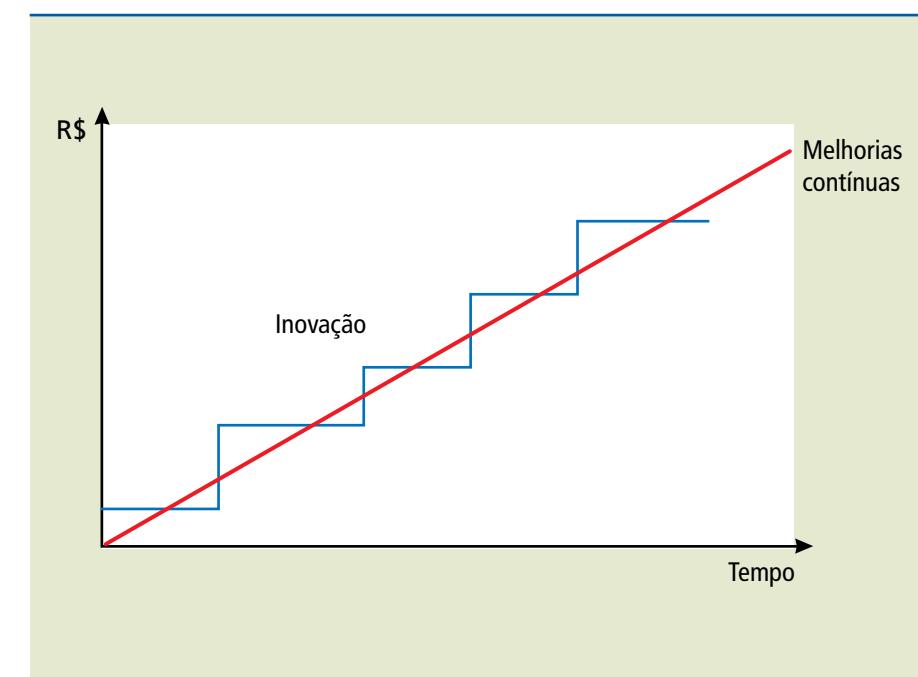
**Figura 10.4**

Gráfico de investimento em função do tempo resultando em inovação e melhorias contínuas.

Na manufatura, o modelo por inovação implementa mudanças radicais, aos saltos, com investimentos maiores e mudanças de paradigmas.

10.4 Projetos de produtos industriais

BACK (1983) apresenta uma visão mais ampla em sua análise do projeto industrial. A realização de um projeto industrial passa por diferentes fases com as seguintes finalidades:

- verificar o interesse pelo projeto;
- desenvolver pré-projeto;
- desenvolver projeto detalhado;
- realizar testes e revisão;
- planejar o trabalho da produção;
- planejar a logística;
- planejar o consumo e a manutenção;
- planejar a obsolescência e os impactos ambientais.

10.4.1 Interesse pelo projeto

O estudo de interesse parte de um estudo real ou de uma hipótese sobre a necessidade do projeto. O estudo real se baseia na pesquisa de mercado, sobre o interesse do consumidor, ou em um problema que precisa ser resolvido. A hipótese pode originar-se na mente de alguém como resposta a um acontecimento não esperado ou como resultado de um avanço científico, tecnológico ou econômico, sem a participação efetiva do consumidor. Por exemplo, o lançamento de um novo tipo de cerveja nem sempre passa pela pesquisa de interesse do consumidor. Esse estudo inicial levanta possibilidades, baseadas em criatividade ou em necessidade do consumidor. Pode ser denominado concepção.

10.4.2 Pré-projeto ou anteprojeto

Nessa fase define-se a melhor alternativa de projeto a ser fabricado e quais parâmetros devem ser controlados. Pontos críticos são estudados, tais como o comportamento do produto no tempo, a disponibilidade de matéria-prima e outros recursos ao longo do tempo, a vida útil do produto sob circunstâncias de trabalho e solicitação e se ele permite evolução.

No pré-projeto, o croqui pode ajudar a definir a forma, o tamanho e outras características básicas do produto. Normalmente, antes do detalhamento do projeto, é desenvolvido o estudo de viabilidade técnica e financeira e, se necessário, feitos ajustes. Ou, então, se o projeto deve ser concluído, se requer mais recursos ou se deve ser adiado para uma oportunidade futura, com mais consistência tecnológica e novas pesquisas.

10.4.3 Projeto detalhado

O projeto detalhado parte do pré-projeto, passa pelo estudo de viabilidade e explora conceitos de engenharia. As dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, as partes são detalhadas, tolerâncias são estabelecidas etc. Nessa fase, amadurece-se o conceito sobre o projeto, reconhecem-se os componentes, as dimensões e as tolerâncias e se detalham os processos de fabricação.

10.4.4 Testes e revisão

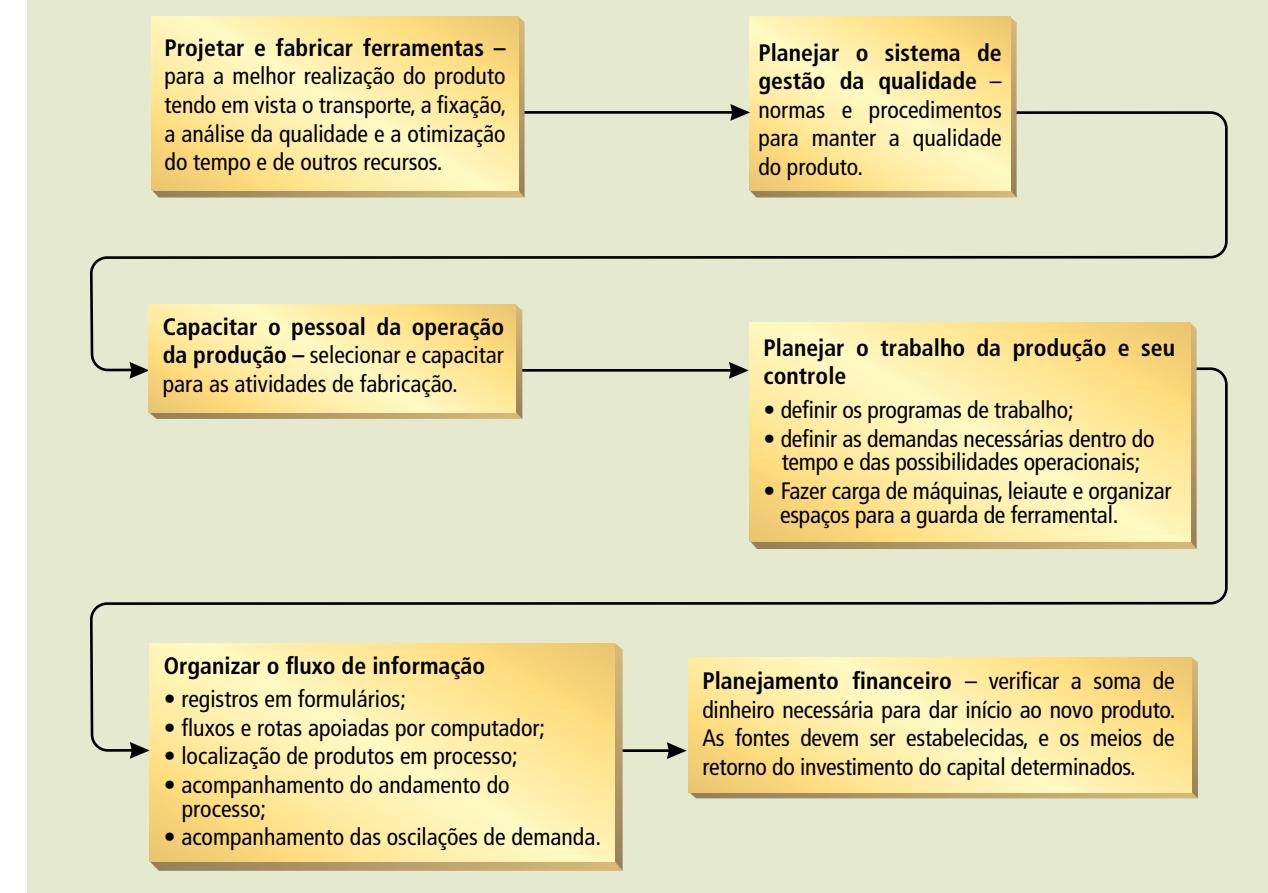
Verificações e testes experimentais são constantes, com a finalidade de entender o comportamento dos componentes e perceber seu desempenho. Quase em paralelo ao desenvolvimento do projeto detalhado ocorre a fabricação de protótipos e modelos experimentais para verificar comportamentos e provar cálculos ainda não testados. Testes de laboratório e de campo servem para verificar os processos, as solicitações em regime de trabalho e as necessidades de informações para as revisões e projetos futuros.

Projetos mais recentes podem ter tempo reduzido com a utilização de simuladores em computadores ou banco de testes, antecipando a colocação do produto no mercado ou alterando pós-projeto, se necessário. Esse procedimento permite a fabricação dos componentes já desenhados enquanto outros ainda estão sendo projetados, reduzindo o tempo de lançamento no mercado. Muitos projetos sofrem revisões durante sua concepção e outros são modificados com base na resposta do consumidor durante seu uso.

Após a conclusão dos testes, os resultados são registrados e homologados, o produto está liberado para fabricação em série e comercialização.

10.4.5 Planejamento do processo produtivo

Figura 10.5
Fluxograma de planejamento de produção.



O planejamento da produção estende a responsabilidade do projetista para as demais áreas da fábrica. A decisão sobre a produção de determinado produto envolve compromisso econômico, responsabilidade técnica e administrativa, envolvimento com a organização fabril e processo de decisão.

O projeto requer o planejamento da produção para que seja possível fabricar o produto desejado de forma organizada. Antes da fabricação é necessário realizar as atividades conforme o fluxograma da figura 10.5.

10.4.6 Estudos de logística

Os requisitos da logística podem influenciar profundamente o projeto. O objetivo dessa fase é planejar um sistema eficiente e flexível de distribuição dos bens projetados. Inclui o projeto da embalagem, do sistema de armazenagem, das atividades de promoção e da satisfação do cliente (BACK, 1983).

Projeto da embalagem

Essa fase prevê as seguintes ações:

- pensar a forma exterior do produto para gerar economia de embalagem;
- analisar necessidade de embalagens individuais e especiais para maior proteção contra choques e mau tempo;
- projetar estrutura e pontos de içamento para a movimentação e transporte com ganchos, correias e empilhadeiras.

Sistema de armazenagem

Determinar locais economicamente favoráveis para armazéns, instalações e forma de distribuição dos produtos.

Marketing e vendas

As ações de *marketing* e vendas pressupõem:

- desenvolver panfletos técnicos de vendas com informações de projeto e dados de testes;
- atender as necessidades do cliente;
- projetar o produto prevendo o período e a forma de condicionamento e exposição para venda;
- considerar a possibilidade de adições modulares posteriores com a finalidade de atender o gosto do cliente na ampliação da capacidade do produto.

10.4.7 Planejamento do consumo

Inicialmente, deve ser feita uma previsão da demanda, pois a influência do consumo pode ser muito grande no projeto do produto, por definir a escala de produção. É fundamental acompanhar a evolução e a forma como o produto vai ser consumido, os aspectos de serviço e detalhes importantes para aperfeiçoar o

projeto futuro, de modo a torná-lo mais eficiente. O projeto deve incluir aspectos relacionados à manutenção, à confiança inspirada pelo produto, segurança, utilização, estética, economia e vida útil.

10.4.8 Obsolescência e impactos ambientais

Certos produtos como automóveis e celulares são projetados para ter vida determinada. O consumidor tem necessidade de trocá-los periodicamente. Na fase de projeto, determinar a obsolescência é muito complexo. O desenvolvimento tecnológico exerce pressão sobre o projetista e também acelera o processo de envelhecimento dos bens de consumo. Outros fatores também podem influenciar o projeto, tais como a mudança da moda (caso de roupas), a diversidade cultural ou as preocupações ambientais. Neste ponto convém lembrar que acelerar uma mudança sem aperfeiçoamento tecnológico pode provocar questionamentos éticos. O correto seria projetar algo para ser substituído à medida que se torne tecnologicamente obsoleto.

Usualmente, os elementos que contribuem para uma vida mais longa são também essenciais para a manutenção e segurança adequadas. O projetista deve desenvolver o projeto com o objetivo de:

- melhorar a vida útil do produto;
- reduzir a obsolescência implementando inovações tecnológicas;
- permitir a reutilização do produto em aplicações diversas;
- permitir a recuperação e reciclagem dos componentes utilizados na fabricação;
- antecipar os impactos ambientais examinando, testando e pesquisando novos materiais a fim de gerar produtos biodegradáveis.

10.5 Evolução da mão de obra no desenvolvimento de projetos industriais

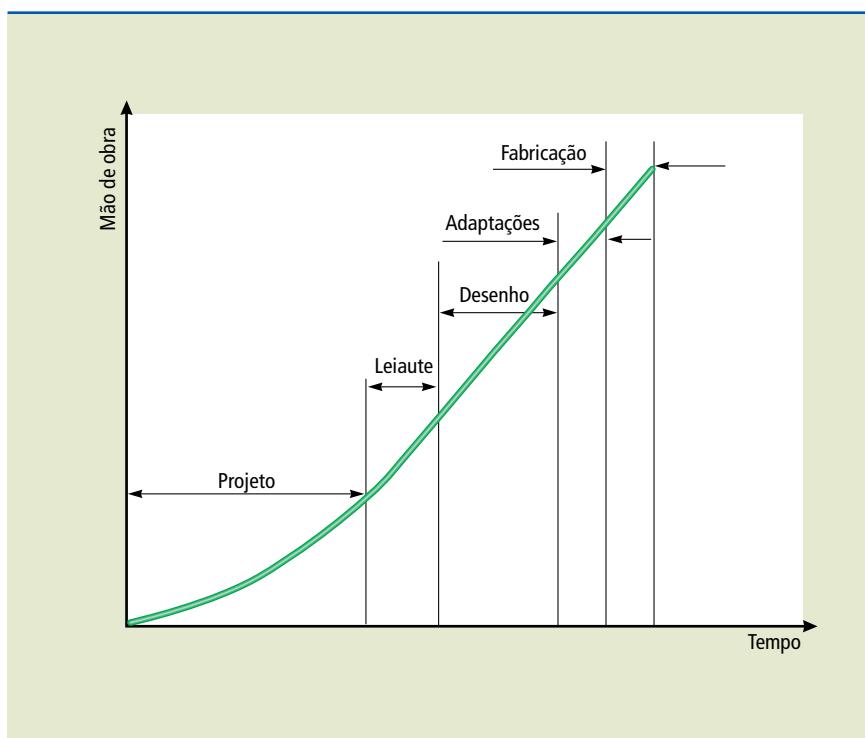
Nos projetos industriais, a quantidade de mão de obra aumenta à medida que as diferentes fases do projeto são realizadas. O crescimento da mão de obra no projeto é apresentado no gráfico da figura 10.6.

Até a fabricação do primeiro lote de produto, com a aprovação da qualidade e homologação final, a maior parte do tempo se consome no planejamento. A fabricação resume-se em um esforço menor, quando o projeto está completo e realizável.

Com o auxílio do computador e de softwares de desenho assistido por computador, a elaboração do projeto tornou-se mais rápida, sendo possível desenvolver produtos em tempo bem menor. Apesar da necessidade de melhor qualificação, a quantidade de mão de obra empregada com a utilização de computadores é bem menor hoje, comparativamente àquela empregada nos projetos desenvolvidos em pranchetas de desenho em meados da década de 1980.

Figura 10.6

Diagrama das necessidades de mão de obra.



10.5.1 Engenharia simultânea

Na década de 1970, nenhuma peça era construída antes que todo o projeto tivesse sido calculado e desenhado. A engenharia de produto desenvolvia todo o projeto e só depois passava os desenhos para a engenharia de fabricação. A fabricação só era iniciada após a liberação do projeto pela engenharia de produto. Isso demandava muito tempo para lançar um novo produto no mercado.

No ambiente mais competitivo do século XXI, o lançamento de um produto precisa ser rápido e exige empenho simultâneo da engenharia, do pessoal de projeto e da fabricação. Os primeiros desenhos elaborados seguem para a fabricação do protótipo, e as áreas trabalham simultaneamente para produzir um lançamento em menor tempo. Com isso, o tempo entre um lançamento e outro diminui e o consumidor recebe novidades mais rapidamente. Com a concorrência acirrada, o consumidor é assediado com novidades e as empresas precisam ser ágeis.

A engenharia simultânea reduziu o tempo de lançamento, mas alguns produtos acabaram por ser corrigidos no campo, pela prática do *recall*, quando o consumidor é chamado pelo fabricante para substituir a peça ou o produto com defeito.

10.6 Recursos para desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento de projetos requer o empenho de pessoas habilitadas munidas de “ferramentas” modernas e adequadas, com foco, empenho e precisão.

A motivação, a criatividade e a capacidade de resolução de problemas são características fundamentais da equipe de trabalho.

10.6.1 A equipe do projeto

Nas organizações modernas, equipes realizam os projetos industriais, que podem ser feitos internamente ou ter algumas atividades terceirizadas, como o desenho do produto por empresas especializadas na confecção de projeto apoiado por computador (AutoCAD, SolidWorks etc.). O conhecimento sobre o projeto completo normalmente não é repassado para a empresa terceirizada.

Em geral, as equipes de projeto, compostas por profissionais experientes, se caracterizam por:

- apresentarem melhor desempenho quando realizam tarefas que exigem experiências e habilidades múltiplas;
- se preocuparem com o desempenho coletivo do trabalho;
- se responsabilizarem por suas contribuições e desempenhos, tanto individual quanto coletivamente;
- possuírem alto grau de sinergia que combina e melhora o conhecimento, capazes de criar produtos e tomar decisões com maior qualidade do que se fossem feitos individualmente.

As equipes de projeto podem ser autogerenciáveis, ou seja, aptas a tomar decisões para solucionar problemas sem precisar da orientação de um líder. São capazes de distribuir responsabilidades, dimensionar o ritmo e avaliar a qualidade do trabalho individual e da equipe. Não obstante, embora saibam caminhar sozinhas para resolver problemas, podem precisar de um líder para representá-las e para interagir com outras áreas da organização e com os clientes.

Equipes multifuncionais podem ser constituídas para lidar com projetos grandes e complexos ou para resolver problemas que ultrapassam as linhas funcionais da organização.

Independentemente da forma como a equipe é organizada, a convivência entre seus membros no desenvolvimento do projeto deve ser sempre pautada por atitudes proativas e éticas.

10.6.2 Responsabilidades e habilidades do projetista

Os novos desafios exigem que o projetista seja um profissional que saiba lidar com problemas de caráter sistêmico. Problemas técnicos e emergentes, como poluição, mobilidade em grandes cidades, saúde, conforto e segurança, exigem conhecimentos teóricos, práticos e sociais.

Segundo BACK (1983), as habilidades desejadas do técnico em mecânica, como projetista e solucionador de problemas teóricos, práticos e sociais, podem ser resumidas conforme mostrado na tabela 10.1.

Tabela 10.1

Habilidades do projetista.

Habilidades	Características
Criatividade	Cognição para resolver problemas, pensando e multiplicando as ideias para conceber coisas ou processos a fim de alcançar os objetivos desejados.
Matemática	Fazer cálculos utilizando recursos matemáticos e de tecnologia da informação.
Especialista e generalista	Saber resolver problemas cuja competência avança para áreas fora de sua especialidade. Ter conhecimento específico e generalista.
Ter espírito analítico	Capacidade de analisar componentes, sistemas ou processos usando princípios científicos e de engenharia para obter rapidamente resultados significativos.
Capacidade para tomada de decisão	Capaz de ponderar e tomar decisões diante das incertezas.
Comunicação clara e precisa	Saber expressar-se de forma clara e persuasiva, oral e graficamente e na escrita.
Comunicação gráfica – desenho técnico	Saber fazer croqui e desenhos de produtos. Interpretar desenhos de produtos e normas técnicas relacionadas à fabricação e ao uso.
Compreensão sistêmica	Capacidade de perceber o mundo à sua volta como um sistema complexo e inter-relacionado, com muitas possibilidades de melhorias e que requer responsabilidade de atitudes para manter a qualidade de vida das pessoas.
Habilidades em informática	Saber utilizar com facilidade o microcomputador e os softwares para desenho e cálculos, pesquisar normas e dominar a pesquisa e comunicação pela internet.

Além das habilidades, também são importantes os conhecimentos, detalhados na tabela 10.2.

Cada produto é único e apresenta características especiais, portanto requer um grau de conhecimentos específicos. No estágio inicial, certas considerações do projeto são bastante remotas em relação ao produto final, mas em estágios mais avançados esses detalhes tornam-se mais importantes.

O projetista deve considerar o processo de fabricação e suas limitações, tendo em vista os métodos que poderão ser aplicados, a mão de obra, o ferramental e o maquinário.

Ainda como objetivo de projeto de produtos industriais, é preciso considerar a qualidade e o custo. Deve-se procurar obter ótimo desempenho operacional e rápido retorno do investimento.

Conhecimentos	Características
Conhecimento em mecânica	Conhecer em profundidade os princípios da engenharia mecânica e suas especialidades.
Conhecer os processos de fabricação	Apreciar e conhecer os processos de fabricação novos e os convencionais.
Conhecimento de uso ou aplicação do produto que está projetando	Se é um produto final ou um componente empregado em um produto final. Nesse caso, o projetista necessita conhecer exatamente a função e as condições de uso do componente no produto.
Entender o valor do produto para o usuário e/ou fabricante	Exercer a empatia (colocar-se no lugar do outro) para perceber a importância do projeto para o usuário/fabricante; seu efeito no crescimento, lucro e prestígio da empresa.
Conhecimento de áreas correlatas	Conhecer os fundamentos dos processos das áreas ligadas à mecânica pelas características do projeto: eletrônica, elétrica, informática etc.

Tabela 10.2

Conhecimentos do projetista.

10.6.3 Equipamentos e ferramentas do profissional de projeto

O microcomputador e a calculadora eletrônica são equipamentos comuns da área de projeto. A prancheta ainda é utilizada, porém seu uso foi muito maior até meados da década de 1990, quando os projetistas desenhavam em papel vegetal utilizando tecnígrafo, régua/esquadro, tinta nanquim etc.

Mais detalhes sobre desenhos e projetos podem ser vistos no volume 6 de Mecânica.

10.6.4 Softwares

O uso de programas de projeto assistido por computador (CAD) tem sido cada vez mais frequente na realização do projeto de produtos industriais e componentes.

Mais detalhes sobre a utilização de softwares para desenhos e projetos podem ser vistos no volume 6 de Mecânica.

10.7 Projeto de mecânica

10.7.1 Características do produto

Na visão moderna, os produtos devem ser simples e, em sua concepção, evitar satisfazer requisitos funcionais coincidentes, isto é, cada parâmetro do projeto tem de atender apenas a um requisito. O projeto do produto precisa ter como objetivo transformar informações sobre as necessidades do usuário e os requisitos funcionais relativos ao produto, o que contribui para

a simplificação e impede redundância de funções. Esse procedimento foi criado e estudado por Nam P. Suh, em 1977, e é usado principalmente nas empresas que trabalham com manufatura enxuta. Nam Suh denominou-o projeto axiomático. Axiomas são verdades que não precisam ser provadas e não possuem contraexemplos ou exceções.

Os parâmetros do projeto (PP) devem satisfazer dois axiomas:

- **Axioma da independência:** manter a independência dos requisitos funcionais (RF). Cada parâmetro deve satisfazer um requisito funcional.
- **Axioma da informação:** minimizar a quantidade de informação sobre o projeto. Mínimo de informações e restrições, peças integradas com funcionamento independente e peças padronizadas e intercambiáveis.

As figuras 10.7 e 10.8 apresentam, respectivamente, os axiomas de projeto e um exemplo.

Figura 10.7

Os parâmetros e axiomas do projeto.

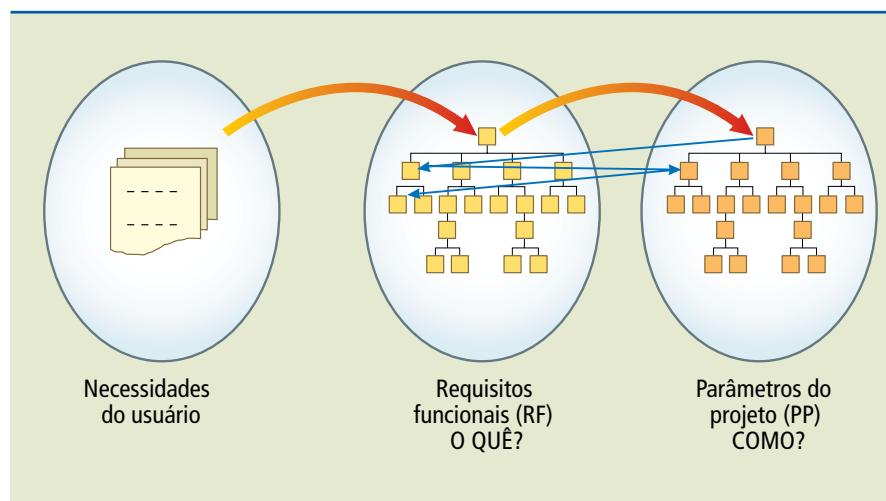
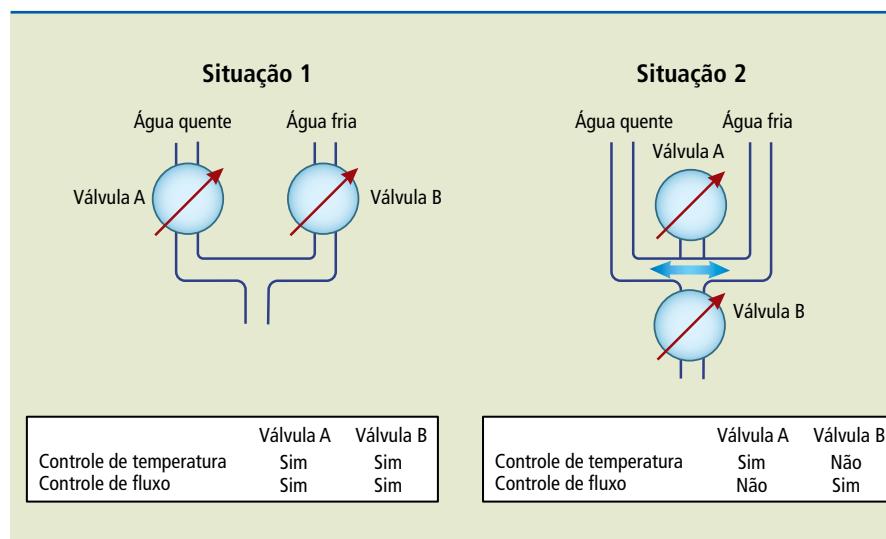


Figura 10.8

Exemplo de projeto axiomático.



As válvulas A e B da situação 1 atendem a dois requisitos funcionais. Um bom projeto deve considerar um parâmetro para apenas um requisito funcional de cada vez.

Alguns requisitos funcionais devem ser levados em conta na elaboração de um projeto, como: funcionalidade, resistência/tensão, distorção/flexão/rigidez, desgaste, corrosão, segurança, confiabilidade, fabricabilidade, utilidade, custo, fricção, peso, vida, barulho, estilo, forma, tamanho, controle, propriedades térmicas, superfície, lubrificação, mercantilidade, manutenção, volume, responsabilidade, refabricação/recuperação dos recursos etc.

Alguns parâmetros do projeto que devem ser alcançados: por exemplo, qual a dimensão adequada, a espessura do material e o formato seguro.

Os estudos na área de materiais, resistência dos materiais, elementos de máquinas e manutenção permitem ampliar o conhecimento dessas características fundamentais para a elaboração de projetos de produtos industriais. Algumas características serão comentadas mais adiante.

10.8 Análise técnica

10.8.1 Incerteza

Embora os produtos devam ser projetados com base em normas e catálogos, são muitas as incertezas que podem ocorrer durante o desenvolvimento do projeto.

Os materiais utilizados apresentam variabilidade nas propriedades mecânicas. As falhas podem ser de deformação elástica, plástica e de fratura.

As incertezas podem estar relacionadas com:

- variação da composição química do material;
- variações de propriedade do material ao longo de uma barra;
- corrosão;
- desgaste;
- concentração de tensão;
- tratamento térmico.

Lidando com essas incertezas, o projetista deve agregar fator de segurança aos cálculos e dimensionamentos, mantendo flexibilidade na aplicação dos materiais e garantindo segurança e vida ao projeto.

Existem métodos matemáticos para calcular as incertezas, mas a técnica primária consiste em estabelecer um fator de segurança com base nas incertezas absolutas do projeto. Por exemplo, no dimensionamento de cargas deve-se evitar que causas imprevistas levem a falhas. Para um problema de carga máxima, é necessário que as tensões permitidas sejam menores que aquelas que levarão a falhas.

$$\sigma_w = \frac{\sigma_e}{N_e} \text{ ou } \sigma_w = \frac{\sigma_u}{N_u}$$

em que:

σ_w = tensão de trabalho

σ_e = tensão de escoamento

σ_u = limite de resistência à tração

N_u = fator de segurança para limite de resistência à tração

N_e = fator de segurança para tensão de escoamento

Boa parte dos problemas é controlada pela inspeção de recebimento dos materiais e peças que serão utilizados na fabricação, seleção rigorosa de fornecedores e aplicação de fatores de segurança. O projetista deve manter documentação para lidar com situações que fogem à previsão de segurança. Para falhas que podem resultar em perigo de vida, os fatores de segurança devem ser maiores.

10.8.2 Tensão e resistência

Segundo SHIGLEY (2005), o projetista deve ajustar a tensão máxima em um componente para que seja menor do que a resistência desse componente quando em operação. O objetivo deve ser ajustar por uma margem em que a falha seja próxima de zero.

- **Resistência** é uma das propriedades do material, relacionada à escolha, ao tratamento térmico e ao processamento.
- **Tensão** é um estado de um corpo em função da geometria, da temperatura e do processo de fabricação.

O projetista deve desenvolver um produto seguro, econômico e eficiente.

10.8.3 Flexibilidade

O projetista deve pensar o produto como um sistema flexível. A flexibilidade pode atender a várias situações:

- **na fabricação:** permitir a utilização de mais de um processo de fabricação, flexibilizando o uso das máquinas da produção;
- **na seleção dos materiais:** possibilitar a seleção de mais de um tipo de material ou fabricante, oferecendo opções de escolha;
- **na escolha de componentes** de fixação, peças prontas e normatizadas existentes no mercado;
- **permitir a engenharia reversa:** desmontagem e reutilização dos materiais usados na fabricação;
- **flexibilidade de modelos:** permitir a facilidade de mudança do produto e criação de famílias de produtos, por meio de projetos modulares e flexíveis;
- **flexibilidade de montagem e manutenção:** o projeto do produto deve gerar um sistema fácil de montar e desmontar, prevendo a manutenção rápida e segura, para evitar paradas longas, dificuldade em encontrar peças de reposição no mercado e uso de mínima quantidade de ferramentais.

A flexibilidade é um pensamento inverso ao da padronização, é a customização dos produtos. O projetista deve pensar em atender a necessidade do cliente e, ao

mesmo tempo, projetar um produto com materiais e componentes de catálogos facilmente encontrados no mercado.

10.8.4 Manutenção

A manutenção muito frequente deve ser evitada, utilizando materiais e sistemas que não necessitem de lubrificação periódica. Quando for inevitável, que seja simples e rápida.

O projeto tem de procurar minimizar o uso de diferentes tipos de parafusos para reduzir a quantidade de tamanhos e tipos de chaves necessárias para a manutenção.

A forma exterior do produto deve facilitar a limpeza e o acesso à manutenção.

10.8.5 Aquecimento e desgaste

O aquecimento e o ruído são causados pelo desgaste, que compromete o funcionamento da máquina e provoca avarias.

O desgaste pode ocorrer em superfície de deslizamento, de rolamento, ser provocado por jatos e por sucção. A superfície resultante pode ser áspera, com trincas e esfacelamento.

Aquecimento e desgaste são evitados com a escolha conveniente de materiais, rolamentos e mancais de ligas deslizantes, diminuição das forças de desgaste, uso de fluidos a seco e lubrificantes (graxa e óleos), endurecimento da superfície por meio de enchimentos com solda e metalização.

Para reduzir o aquecimento é possível prever, também, sistemas trocadores de calor, radiadores, ranhuras, aletas de refrigeração e sistemas de aeração com ventiladores e ar condicionado.

10.8.6 Transporte

Alças para içamento e pontos para alavancagem ou colocação dos garfos da empilhadeira devem ser previstos na elaboração de um projeto. Se o produto for muito grande e desajeitado para ser içado ou transportado, oferecerá riscos de queda e deformação.

Para que produtos pequenos não escorreguem das mãos, é necessário prever o formato adequado para a pega e movimentação, garantindo a segurança do usuário e a utilização plena do produto. Estriadas, ranhuras ou formato anatômico melhoram esse quesito e garantem confiabilidade ao produto.

10.8.7 Lubrificação

O projeto do produto deve ser desenvolvido de forma a evitar a lubrificação periódica, utilizando materiais e sistemas mais modernos. As alternativas para melhorar a vida do produto baseado em lubrificação consistem em construir

produtos com mancais, com anéis de lubrificação, mancais de rolamento, materiais deslizantes, ligas especiais, providenciando canais, ranhuras e pontos de lubrificação e sistema de lubrificação centralizado. Essas intervenções garantem segurança no funcionamento dos produtos, pois evitam esforço de trabalho, travamento, pane e quebra.

10.8.8 Fabricação

O projetista deve desenvolver o produto pensando na forma como ele será fixado na máquina, como será usinado em cada operação, para evitar erros do operador, dificuldade de posicionamento, esforço físico e movimentação. O projeto tem de prever fixadores, alavancas e superfícies de encostos. Se o produto a ser fabricado é uma máquina, precisa ser projetado considerando mecanismos simples de acionamento e de parada. Convém analisar fatores ergonômicos e de estresse na atividade do operador da produção.

10.8.9 Segurança

O projetista tem de prever a falta de cuidado do usuário, considerando que ele pode ser um leigo, um profissional experiente ou uma dona de casa. O produto precisa ser seguro, de fácil utilização e com superfícies que não causem problemas durante o manuseio. A falha e/ou travamento devem ser previstos de modo que, caso ocorra, não coloque em risco a integridade física do usuário.

As peças e mecanismos que oferecem mais riscos têm de ser protegidos para evitar a exposição e contato despercebido. Mecanismos especiais podem ser adicionados: botões de segurança, proteção dos dedos, sinais de advertência, isolamento e proteção.

10.8.10 Peso

No projeto, é necessário prever produtos de menor peso próprio sem comprometer a segurança, a funcionalidade do produto e o custo de fabricação. O custo de fabricação pode até ficar maior, se o esforço apresentar compensação em outro setor qualquer, dentro do processo de fabricação. A redução de peso pode contribuir para:

- aumentar a carga útil do produto, caso o peso total seja mantido;
- reduzir a energia na utilização do produto, facilitando o funcionamento;
- reduzir energia na movimentação para instalação e manutenção do produto;
- reduzir gasto com matéria-prima na fabricação.

A redução de peso pode ser obtida incluindo no projeto:

- furos e cavidades, sem perder a resistência estrutural;
- melhoria no formato, disposição e tratamentos diferentes, garantindo a mesma capacidade de carga com menos material;
- o uso de ligas metálicas mais leves: alumínio, por exemplo;
- o uso de materiais mais resistentes;
- redução de forças de solicitação e impacto, utilizando molas ou dispositivos especiais de sobrecarga, mancais de deslizamento etc.;

- melhoria no resfriamento das construções, utilizando aletas e ranhuras para resfriamento, garantindo melhor funcionamento;
- o uso de tratamentos térmicos e cobertura de superfície (metalização), de acordo com a solicitação de desgaste, esforço e vida do produto.

10.8.11 Material

Na hora de desenvolver um novo projeto do produto, é necessário escolher o material por meio de catálogos de fabricantes, e os mais comuns são facilmente encontrados no comércio.

Embora haja muitos materiais diferentes no mercado, a cada dia são introduzidas novas ligas, mais resistentes e mais leves. As ligas de alumínio são utilizadas para fabricar aviões, latas para refrigerantes e componentes de automóveis.

Um projeto pode ser feito com base nos materiais, exigindo sua escolha prévia e o tipo de fabricação.

Na fabricação em massa é ideal que o material escolhido e o tipo de fabricação sejam compatíveis, para evitar excesso de cavacos, dificuldade de remoção do material e resfriamento deficiente da ferramenta de usinagem. O material escolhido pode ter suas dificuldades de usinagem reduzidas pelo emprego de ferramental de corte adequado e velocidade de corte compatível.

10.8.12 Confiabilidade do projeto

A confiabilidade (R) de um projeto deve estar expressa por um número situado no intervalo entre 0 e 1 (SHIGLEY, 2005):

$$0 \leq R < 1$$

Um índice de confiabilidade $R = 0,95$ indica que o projeto não terá problema de funcionamento com 95% de certeza.

A confiabilidade do projeto é um método que consiste em distribuir as tensões e as resistências e relacioná-las, a fim de atingir uma taxa de sucesso aceitável.

A falha de 50 peças em mil peças fabricadas pode ser considerada aceitável para determinado produto. Esse índice pode variar de um produto para outro, por exemplo: freio de um avião, de um automóvel, de um elevador de passageiros ou de um guindaste.

$$R = 1 - \frac{50}{1000} = 0,95 \quad \text{ou} \quad R = 95\%$$

A confiabilidade deve ser analisada por estudos da média e do desvio padrão de uma série de ocorrências, como tensão, resistência, carga ou tamanho. O projetista deve selecionar materiais, processos e tamanho visando atingir uma meta de confiabilidade.

10.9 Análise econômica

10.9.1 Custo

Reducir custos sempre esteve na pauta diária dos profissionais de mecânica. Normalmente, os custos de processamento apresentam tendência de queda por causa do uso das máquinas automáticas. Na realização de um projeto, os custos podem variar de uma cidade para outra e de uma fábrica para outra, em decorrência de encargos, mão de obra, fretes e pequenas diferenças na manufatura.

O projetista pode reduzir o custo do projeto e da produção tomando alguns cuidados no momento da concepção do produto:

- **Selecionar materiais de catálogo** – fornecedores devem garantir regularidade de fornecimento. Materiais fora de padrão em geral são mais caros, pois requerem desenvolvimento e não são feitos em escala. Alguns materiais e componentes nem mesmo são mantidos em estoque.
- **Cuidar das especificações técnicas** – as tolerâncias de projeto definem a precisão exigida na fabricação. Tolerâncias restritas podem requerer passos adicionais de processamento. A qualidade do produto pode ser maior do que a exigida pelo mercado, com desperdício de tempo de processamento e maior custo.
- **Selecionar máquinas e processo de fabricação** – escolher as máquinas de acordo com a flexibilidade e a vantagem de trabalho que elas podem oferecer. O projetista deve elaborar o projeto tendo em vista a operacionalidade da fabricação, com máquinas mais econômicas, mão de obra com custo reduzido, ou visando a exigência de qualificação dos operadores. É preciso ponderar entre a escolha de máquinas simples, trabalhadores menos qualificados, baixa produção e menor custo de fabricação, ou máquinas complexas, trabalhadores mais capacitados, alta produção e maiores custos de fabricação.
- **Estimar os custos de fabricação** – alguns fatores de desempenho podem ser tomados como referência para cálculo e controle do custo de fabricação. Esses fatores podem ser vistos em 9.3: O custeio dos produtos.

10.10 Análise de segurança

Projetos devem ser seguros, mas nem sempre é possível avaliar a segurança de um produto com os testes realizados com o conhecimento tecnológico da época. Cabe ao projetista avaliar o grau de risco e manter documentação de análises guardadas para investigações futuras.

O projetista precisa avaliar se o produto justifica:

- ensaios elaborados dos materiais em laboratório; ou
- testes de componentes ou protótipos no campo.

Essa decisão pode ser tomada tendo em vista a grande quantidade fabricada, o valor do produto, ou por se tratar de um produto perigoso. Os ensaios podem ser modestos porque a quantidade a ser fabricada não é significativa, ou, ainda, a quantidade é tão pequena que o coeficiente de segurança é maior, e o ensaio é dispensável.

Os projetos precisam ser bem avaliados, e os fatores de segurança, colocados conforme as normas. As normas técnicas permitem ao projetista se sentir mais confiante quando da elaboração de projetos seguros. Em linhas gerais, para o problema de carga admissível adota-se o fator de projeto.

$$\sigma_{ma} = \frac{\sigma_{lim}}{\eta}$$

em que:

σ_{ma} = carga máxima admissível

σ_{lim} = limite de carga acima do qual a carga causa falha

η = fator de segurança, que deve ser aumentado para reduzir a carga admissível e aumentar a segurança do projeto

Os valores do fator de segurança η para dimensionamento de peças de máquinas são dados como segue.

- Solicitação estática

Materiais dúcteis, como o aço: 1,2 a 1,8

Materiais frágeis, como o ferro fundido: 2,0 a 4,0

- Solicitação dinâmica

Materiais dúcteis, como o aço: 3 a 4

Materiais frágeis, como o ferro fundido: 3 a 6

Deve-se sempre prever ocorrências futuras, realizar testes em campo e registrar as falhas encontradas em regime de trabalho. Providências precisam ser tomadas para eliminar o problema, e o histórico tem de ser preservado para evitar que o mesmo problema ocorra na elaboração de projetos futuros.

10.11 Análise ambiental

É necessário que o técnico projetista trabalhe de forma sistêmica, com vistas à sustentabilidade do planeta. Define-se desenvolvimento sustentável como:

“as condições sistêmicas através das quais, em nível regional e planetário, as atividades humanas não devem interferir nos ciclos naturais em que se baseia tudo o que a resiliência do planeta permite, e ao mesmo tempo não devem empobrecer o capital natural, que será transmitido às gerações futuras”.
(MANZINI; VEZZOLI, 2008.)

É a possibilidade de trabalhar permitindo que a natureza, com as alterações impostas, possa voltar ao normal, sem sair do equilíbrio, e que o mundo seja preservado para gerações futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi criado pelo World Commission for Environment and Development no documento *Our common future*,

escrito em 1987. Esse conceito foi apresentado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida em 1992, no Rio de Janeiro. Na sociedade industrial há um aumento desenfreado da criação de produtos e do consumo. O produto é descartado sem que a natureza tenha tempo ou condições suficientes para reincorporá-lo ao ecossistema como lixo biodegradável. Isso quer dizer que os limites da natureza foram ultrapassados pelos limites do sistema de produção atual.

Na visão moderna, o projeto do produto precisa ser pensado tendo em vista a emergência da sobrevivência do ecossistema. Os processos de transformação têm de ser reorganizados e integrados “o máximo possível com os ciclos naturais” (MANZINI; VEZZOLI, 2008). Isso significa usar menos material e energia, incorporando mais inteligência ao produto, colocando a tecnologia da informação e a comunicação como peças centrais do processo produtivo industrial.

Na outra ponta do projeto, a desmontagem e a reutilização das partes do produto após sua utilização completa, para serem empregadas em outros, também são uma solução a ser pensada como forma de aproveitamento de materiais e de seu descarte adequado, contribuindo para o processo de preservação da natureza.

Grandes empresas mundiais estão engajadas em fabricar produtos sustentáveis. Um exemplo é a General Electric, que, com seu programa batizado de Ecomagination, viu as vendas de produtos verdes superarem os 14 bilhões de dólares em 2007, representando 8% das receitas da empresa. Trata-se de produtos como turbinas que emitem menos gases de efeito estufa e sistemas de automação para casas que visam reduzir o consumo de água e energia. É uma lista de produtos e serviços com mais de 60 itens.

10.12 Unidades e valores

Pode ser visto em detalhes no volume 1 de Mecânica.

10.13 Códigos e padrões

Se os produtos não fossem feitos seguindo as normas, seria muito difícil montá-los. Na colocação de um piso, por exemplo, seria preciso desfazer as embalagens e selecionar os pisos parecidos, antes de assentá-los. Isso demandaria tempo e geraria atraso na obra, ou seja, não seria possível a intercambiabilidade. No passado não havia normas ou padrões para parafusos e fixadores. O montador era obrigado a identificar as peças enquanto desmontava para poder montá-las novamente.

A Primeira Guerra Mundial demonstrou os riscos do trabalho mal executado e a necessidade de normas para a produção de materiais bélicos.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a necessidade da produção em massa de suprimentos para a guerra levou as Forças Armadas dos Estados Unidos a comprar armamentos, munições e demais produtos de vários fabricantes. Os contratos de menor preço nem sempre tinham a melhor qualidade, e as Forças Armadas precisavam verificar tudo o que compravam. Surgiu, então, a Military

Standard 105 – MIL STD 105, norma de amostragem aplicada aos contratos militares (tabela 10.3).

A norma é um conjunto de especificações para análise, projeto, manufatura e construção. Seu propósito é atingir um bom nível de satisfação em segurança, eficiência e desempenho ou qualidade.

A evolução das normas		
Ano	Norma	Fonte
1963	MIL-Q-9858 ^a	Exército dos EUA
1969	AQAP	Otan
1971	ASME Boiler Code	American Society of Mechanical Engineers
1973	API 14A	American Petroleum Institute
1975	CSA Z299	Norma canadense
1979	BS 5759	Norma britânica
1985	API Q1	American Petroleum Institute

Tabela 10.3

Normas de amostragem.

As normas servem para fixar padrão, que é um conjunto de especificações para peças, materiais ou processos, necessárias para atingir uniformidade, eficiência e qualidade determinada. A padronização limita o número de itens presentes nas especificações, de modo a proporcionar inventário razoável de ferramentas, tamanhos, formas e variedades.

As organizações mais desenvolvidas estabelecem especificações para padrão e segurança de projeto. Algumas associações de classe são apresentadas a seguir:

- Deutsche Industrie Normen (DIN)
- American Institute of Steel Construction (AISC)
- American Iron and Steel Institute (AISI)
- American National Standard Institute (ANSI)
- American Society of Mechanical Engineers (ASME)
- American Society of Testing and Materials (ASTM)
- International Organization for Standardization (ISO)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)
- American Welding Society (AWS)

10.14 Especificações de equipamentos padronizados e normalizados

Máquinas e equipamentos devem ser padronizados e normalizados. O projeto precisa tomar como referência um padrão.

Exemplo: especificação técnica para ar condicionado

- Unidades de medidas no sistema métrico decimal de acordo com o Instituto Nacional de Pesos e Medidas (Ipem).
- Desenhos técnicos, catálogos e informações devem indicar os materiais utilizados na fabricação, as dimensões, o acabamento, as fixações e outros dados coerentes com o item anterior, e seguir normas da ABNT.

O manual técnico deve conter no mínimo:

- índice geral;
- procedimentos de transporte e armazenagem;
- informações para instalação e operação seguras;
- esquema hidráulico, pneumático e elétrico, quando aplicável;
- manual com instruções para manutenção preventiva, corretiva, e lista de peças de reposição;
- relação com endereço completo dos representantes do fornecimento (matriz e filiais) e dos fabricantes; e
- acesso ao suporte técnico para dúvidas e reclamações.

O fornecedor deve garantir que os equipamentos, (sejam ou não fabricados por ele ou provenham mesmo que parcialmente de subfornecedores) estejam exatamente de acordo com as especificações técnicas, isentos de defeitos de fabricação, de matéria-prima ou de mão de obra. Deve também informar o prazo e a abrangência de cobertura da garantia.

A normalização de máquinas e equipamentos mecânicos está a cargo da ABNT/CB-04 – Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos.

O Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos -- CB-04 da ABNT normatiza máquinas e equipamentos mecânicos, máquinas ferramentas, ferramentas e dispositivos hidráulicos, pneumáticos, termodinâmicos, de medição e controle da qualidade, de movimentação etc. Incluindo projetos mecânicos, considerando a terminologia, requisitos, métodos de ensaio e generalidades.

Quando o produto a ser fabricado se destina diretamente a pessoa física, o projetista também deve se orientar pelas normas de proteção e defesa do consumidor, lei nº. 8.078, de 11 de setembro de 1990.

10.15 Desenho do projeto

10.15.1 Memorial de cálculo

Na elaboração do projeto, o projetista deve organizar cuidadosamente os dados, pois favorecem a realização do projeto, evitando resultados indesejados. Os cálculos devem ser elaborados considerando os fatores necessários para evitar defeitos de utilização, dimensão, peso e custo da construção, como as forças, deformações, tensões, durabilidade, desgaste, potência, rendimento, consumo de energia.

O cálculo de um projeto exige atenção, bom senso e experiência do projetista. Certas dimensões devem ser feitas considerando a solicitação máxima de tensão e deformação, para permitir segurança em caso de ruptura.

10.15.2 Modelos e protótipos

Os modelos e protótipos devem ser construídos para facilitar a avaliação do produto. O uso de modelos permite visualizar a aparência e as características do produto. Podem ser feitos de materiais diversos: papel, madeira, borracha etc., e servem para esclarecer movimentos, tensões e aplicação.

Os protótipos permitem estudar o comportamento do produto diante da solicitação de esforços, com a realização dos ensaios tecnológicos de laboratório e de campo. São úteis para simular a vida e o desempenho do produto e servem também para perceber as informações relativas a seu funcionamento, confirmar resultados ou refazer cálculos do projeto.

10.15.3 O croqui

A informatização do projeto ainda não é ampla o suficiente, capaz de envolver plenamente os projetistas. O desenho feito à mão, com papel e lápis, possibilita maior interação do projetista no processo criativo; embora primitivo, é muito utilizado.

Ainda na fase de concepção, o croqui registra o momento de criatividade, liberdade e compreensão espacial. As configurações e reconfigurações são representações espontâneas. O croqui é o desenho esboçado em que o autor coloca seus traços legítimos; enquanto desenha, percebe as formas e dimensões do produto.

O croqui permite a ampla manipulação do espaço, e é onde o projetista é capaz de planejar e ver suas ideias de forma tridimensional. Trata-se de um recurso mais rápido e descompromissado com o rigor do desenho técnico.

Definições de croqui, esboço e desenho:

- croqui é o esboço do desenho, uma forma rápida de materialização da ideia;
- esboço representa as linhas fundamentais do desenho, um plano, um ensaio;
- desenho é uma representação organizada e dimensionada de uma figura.

Segundo MARTINO (2007), o croqui pode ser apresentado das seguintes formas:

- croqui analítico: possibilita ordenar dados, o raciocínio, e como estabelecer determinadas relações entre eles. Exemplo: fluxogramas, gráficos, organograma e zoneamento;
- tema predominante: desenvolvimento de possibilidades em busca de soluções para determinada questão; e
- vinculação de projeto: relacionado ao desenvolvimento do projeto, resolve questões espaciais, formais e teóricas.

O croqui é um item muito importante em um projeto, pois possibilita de forma descompromissada reconhecer no objeto a ser desenvolvido características como detalhes de encaixe e dobras, mesmo que o objeto não esteja ainda definido formalmente. O croqui permite uma série de tentativas até chegar ao produto final.

10.16 Tolerâncias geométricas em projetos mecânicos

No desenvolvimento de projetos mecânicos, nem sempre as tolerâncias dimensionais são suficientes para determinar exatamente como a peça deve ficar. A peça real pode não corresponder com acurácia à peça projetada. Durante a fabricação, ocorrem desvios e é muito difícil obter uma peça real com as formas idênticas às do desenho. Os desvios verificados são descritos a seguir.

10.16.1 Desvios de forma

É o grau de variação das superfícies reais com relação aos sólidos geométricos que os definem, isto é, em relação à forma geométrica ideal. Destacam-se: a linearidade, a circularidade, a cilindricidade e a planicidade (tabela 10.4).

Tabela 10.4
Desvios de forma.

Tolerância de forma		
Denominação	Símbolo	Descrição
Linearidade	—	Peça cilíndrica: o eixo com sua tolerância deve caber dentro de um cilindro imaginário de diâmetro t cujo centro coincide com o eixo da peça.
Circularidade	○	No plano de corte tangencial ao eixo de referência, a linha circunferencial da peça deve situar-se dentro do campo de tolerância correspondente ao espaço entre duas circunferências imaginárias concêntricas de raios diferentes, distantes t , entre si.
Forma linear	⌒	O perfil da peça, com sua tolerância, deve situar-se entre duas linhas imaginárias envolvendo uma circunferência de diâmetro t , cujo centro se desloca em uma linha que tem o perfil geométrico ideal.
Planeza	□	A superfície com sua tolerância deve caber entre os dois planos paralelos, ideais e imaginários de tolerância t .
Cilindricidade	◎	A forma real deve estar situada entre a superfície de dois cilindros ideais e coaxiais, de raios diferentes. O espaço entre ambos tem distância t .
Forma de superfície	⌒	O campo de tolerância é limitado por duas superfícies tangentes a uma esfera de diâmetro t , cujo centro movimenta-se por uma superfície que tem a forma geométrica ideal.

10.16.2 Desvios de posição e de orientação

São definidos por elementos (linha, plano, superfície, ponto), escolhidos como referência, e representam os graus de variação que as diversas superfícies reais apresentam entre si, com relação a um posicionamento teórico. As tolerâncias de orientação podem ser: paralelismos, perpendicularidade e inclinação; as tolerâncias de posição: desvios de localização, simetria, concentricidade ou coaxialidade. A tabela 10.5 apresenta as tolerâncias de orientação e de posição.

Tabela 10.5
Tolerância geométrica para elementos associados.

De orientação	Paralelismo	//	A superfície com sua tolerância deve estar situada entre dois planos paralelos, distantes t entre si, paralelos ao plano de referência. O eixo com sua tolerância deve situar-se entre dois planos paralelos distantes t entre si, paralelos ao plano de referência. O eixo com sua tolerância deve estar compreendido dentro de uma zona cilíndrica de diâmetro t , paralela ao eixo de referência.
	Perpendicularidade	⊥	O campo de tolerância do eixo fica limitado por dois planos distantes t entre si, perpendiculares à reta de referência. O eixo com sua tolerância deve situar-se dentro de um cilindro com diâmetro t , perpendicular ao plano de referência.
	Inclinação	↙	O eixo com sua tolerância deve situar-se entre duas retas paralelas distantes t entre si que formam com a base o ângulo de inclinação α . A superfície inclinada com sua tolerância deve situar-se entre dois planos paralelos distantes t entre si que formam com a base o ângulo de inclinação α .
De localização	Localização	⊕	O centro real do furo deve situar-se no campo de tolerância de diâmetro t cujo centro coincide com a localização precisa do ponto.
	Coaxialidade ou concentricidade	◎	O eixo da peça com sua tolerância deve situar-se dentro do cilindro coaxial em relação ao eixo de referência de diâmetro t .
	Simetria	≡	O campo de tolerância é limitado por dois planos separados pela distância t , paralelos equidistantes do plano médio de referência.

10.16.3 Desvios compostos

Desvios compostos são aqueles de forma e posição, desvios de batida radial e axial relacionados aos desvios de deslocamentos em relação ao eixo axial ou radial.

Tabela 10.6
Tolerância de batimento.

Radial	↑	Em cada rotação do eixo sobre o eixo de referência, o campo de tolerância é delimitado por um plano perpendicular ao eixo de giro que define dois círculos concêntricos de raios diferentes. A tolerância t dos raios corresponde à tolerância radial.
		Em cada rotação do eixo sobre o eixo de referência, o campo de tolerância fica delimitado por dois planos paralelos entre si, a uma distância t , e que são perpendiculares ao eixo de rotação.

Algumas situações de trabalho que provocam esses desvios:

- desgaste da aresta cortante da ferramenta;
- tensões internas devidas ao material da peça;
- esforço da fabricação;
- velocidades de corte inadequadas;
- centralização e fixação da peça;
- fixação da ferramenta.

Assim, para solucionar esses problemas, devem-se permitir certos limites de desvios de forma aos produtos a serem fabricados. O projeto da peça precisa prever, além das tolerâncias dimensionais, as tolerâncias geométricas, a fim de obter a melhor qualidade funcional possível. As tolerâncias geométricas são as variações permitidas na forma e na posição. Se dois ou mais elementos de uma peça estiverem associados, é preciso levar em conta a posição relativa entre eles.

As normas NBR 6409, DIN 7184 e ISO R-1101 apresentam conceitos relativos a desvios e tolerâncias geométricas.

As tolerâncias geométricas devem ser indicadas quando:

- a exatidão de forma não seja garantida com os meios normais de fabricação;
- houver coincidência entre as superfícies;
- houver necessidade do controle dimensional e geométrico para garantir a montagem sem interferências e a funcionalidade perfeita do conjunto.

10.17 Planejamento e controle de projetos

Um grande projeto, que pode ser chamado de programa, apresenta alto grau de complexidade e necessita de planejamento para a realização de várias atividades que devem ser executadas em determinada ordem, antes que o todo seja concluído. Essas atividades devem ser sincronizadas, seguindo certa ordem de execução que não pode ser mudada.

Um programa pode constituir vários projetos inter-relacionados. Sua realização pode demorar anos e requer planejamento e controle.

10.17.1 Planejamento

O planejamento é um plano organizado de atividades cujos conteúdos se interligam internamente de maneira coerente e, externamente, com as necessidades e interesses dos envolvidos.

Segundo HIRSCHFELD (1982), o que se considera em um planejamento é uma estrutura lógica de tarefas a serem executadas, suas interdependências e seus períodos de tempo normais, que possibilitam saber qual é a duração mínima da execução total planejada. Com relação a cada tarefa, qual a data cedo de iniciá-la e terminá-la, e qual a data tarde, ou seja, a última chance de iniciá-la e terminá-la sem comprometer o prazo do projeto.

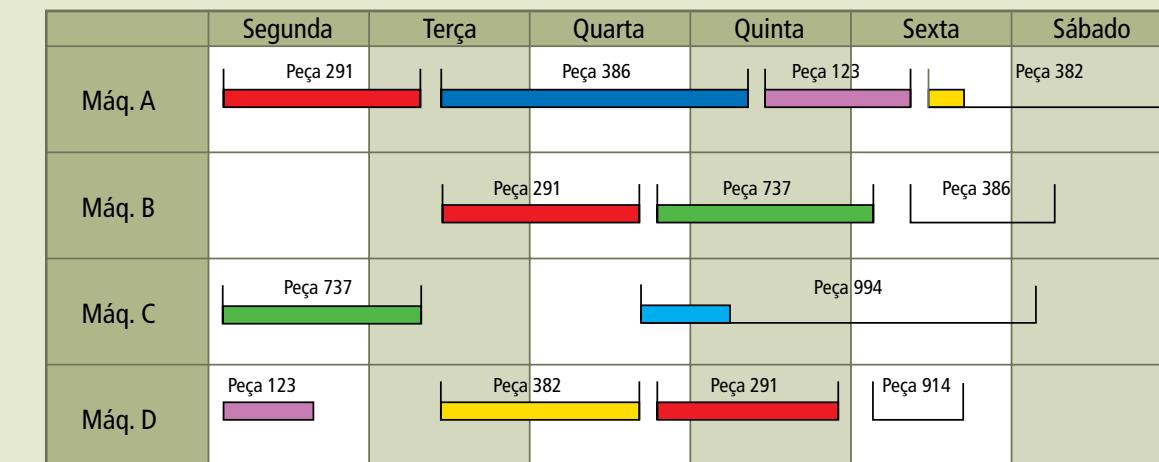
Fases do planejamento do projeto

- 1. Preparação** – A observação é a ferramenta básica. Fase especulativa que remete à pesquisa, à análise, à reflexão. É um momento de estudo.
- 2. Estruturação** – Nasce da etapa anterior, com o registro do plano.
- 3. Acompanhamento** – O que está dando certo? O que não? É a fase da verificação dos encaminhamentos, de questionar, problematizar.
- 4. Avaliação** – O que aconteceu desde o primeiro momento do planejamento, o que foi excessivo e o que faltou. É na avaliação que se observa que é possível prever possíveis erros, hipóteses falsas.

10.17.2 Gráfico de Gantt

O gráfico de barras, ou gráfico de Gantt, desenvolvido por Henry Gantt (1861-1919), é uma técnica antiga e simples de programação temporal dos projetos. Pode ser usada também para a programação da produção de máquinas individuais ou de células de trabalho. Permite ver as datas de início e término de várias tarefas.

Figura 10.9
Gráfico de barras,
ou gráfico de Gantt.



No exemplo dado, as máquinas fazem operações diferentes. As barras indicam o início e o fim de cada tarefa e as cores ilustram as diferentes peças em processo. O gráfico pode ser desenhado ou elaborado com o apoio de *software* específico para tal.

Características do gráfico de Gantt:

- Preocupação exclusiva com a dimensão temporal.
- Negligencia o custo relativo de produzir em uma máquina e não em outra.
- Permite acompanhar projetos relativamente pequenos, compostos por tarefas com poucos desvios.

10.17.3 Programação linear

A programação linear é usada para máquinas ou centro de máquinas. Considera a combinação ótima dos recursos (a eficiência relativa das várias unidades da produção, as diferenças na manutenção, o tempo de operação etc.) para maximização de lucro ou minimização de custo.

10.17.4 Técnicas de rede – Pert-CPM

Para a execução de projetos mais complexos, com mais atividades e recursos, tornou-se necessário o uso de técnicas mais completas, que permitem o planejamento e o controle das atividades de modo eficiente, com boa comunicação visual.

A programação do caminho crítico ou rede Pert é um método gráfico de representar a sequência lógica de um conjunto de tarefas com as interdependências, cuja finalidade é alcançar determinado objetivo.

A rede Pert foi usada pela primeira vez em 1958, no Projeto Polaris da Marinha dos Estados Unidos, para construir um foguete espacial. O número de empreiteiros principais era de 250 e o de subempreiteiros, de 9 mil. Havia fornecimento de inúmeras fontes e muitas agências do governo estavam envolvidas em sua realização. O número de peças diferentes que teriam de ser fabricadas era cerca de 70 mil (HIRSCHFELD, 1982). O problema era bastante difícil e não se queria atrasar o término da operação.

Em 1958, a Marinha dos Estados Unidos, a Lockheed e a Booz Allen & Hamilton International, Inc. desenvolveram um sistema que recebeu o nome de Pert (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de Avaliação e Controle de Programa).

O CPM (Critical Path Method – Método do Caminho Crítico) foi desenvolvido em 1957 pela Du Pont e pela Remington Rand Division, da Sperry Rand Corporation, para auxiliar na programação de manutenção e paradas de fábricas de processamento químico.

O prazo previsto para a fabricação do foguete foi reduzido de cinco para três anos.

Em 1962, os métodos que continham aspectos probabilísticos e aspectos determinísticos foram denominados Pert-CPM.

Estimativas de tempo no Pert-CPM

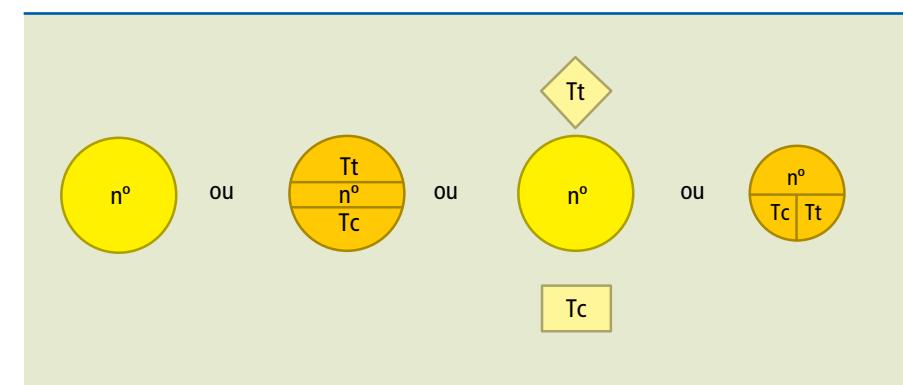
Para aplicar essa técnica de planejamento, o projeto precisa possuir as seguintes características:

- atividades únicas e independentes com começo e fim bem definidos;
- tarefas ordenadas em sequência – relação de precedência;
- uma única estimativa de tempo é feita para cada atividade (no Pert).

O método CPM está baseado em três valores de tempo para cada atividade: hipótese otimista, que considera o tempo mínimo para a realização da atividade, sem complicações ou dificuldades; a hipótese mais provável, que reflete as contingências normais ou o tempo dentro do qual é mais provável que se complete a atividade, baseada em informações, históricos, circunstâncias e imprevistos; e a hipótese pessimista, ou o tempo máximo de execução da atividade, caso surjam complicações ou dificuldades imprevistas.

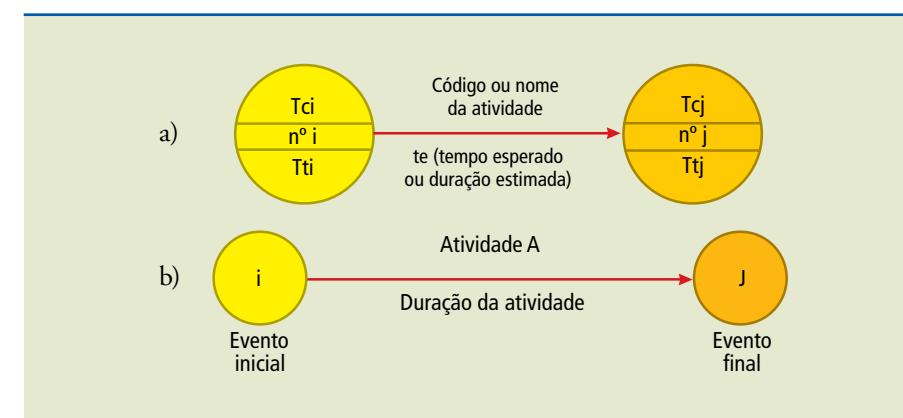
Símbolos e nomenclatura:

A rede representa as atividades do projeto e suas interdependências. Para desenhar a rede são usados círculos que representam os eventos e setas que representam as atividades. Números e códigos identificam as atividades e duração (figuras 10.10 e 10.11).



em que:

$nº$ = número da atividade; Tt = tempo mais tarde; Tc = tempo mais cedo.



em que:

Atividade: tarefa a ser executada, representada por seta.

Eventos i e j : marcos que caracterizam determinados acontecimentos do planejamento, representados por círculos;

Duração da atividade: tempo necessário para a execução das tarefas (hora, dia, semana, mês).

Figura 10.10
Símbologia dos eventos.

Figura 10.11
Símbologia de eventos e atividades.

Características da rede Pert-CPM

- Cada atividade é representada por uma e somente uma seta.
- Duas atividades não podem compartilhar o mesmo evento inicial e o mesmo evento final. A saída para a representação de atividades paralelas é a criação de uma atividade fantasma (seta tracejada), que serve apenas para indicar a inter-relação. A atividade-fantasma não tem duração e não consome recurso.

Exemplo: Camila faz ensino médio. Todo dia acorda cedo e se prepara para ir à escola. Sua mãe, Regina, prepara-lhe o café. Enquanto aguarda o café, Camila assiste à TV (figuras 10.12 e 10.13).

Figura 10.12
Exemplo de CPM.

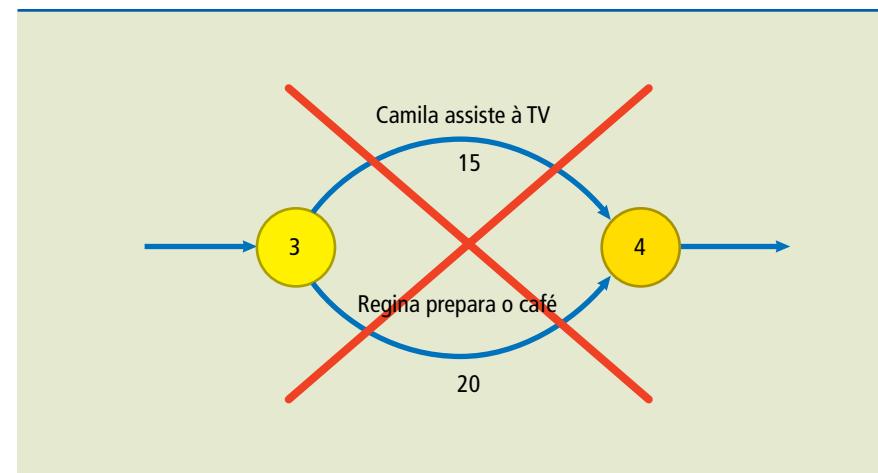
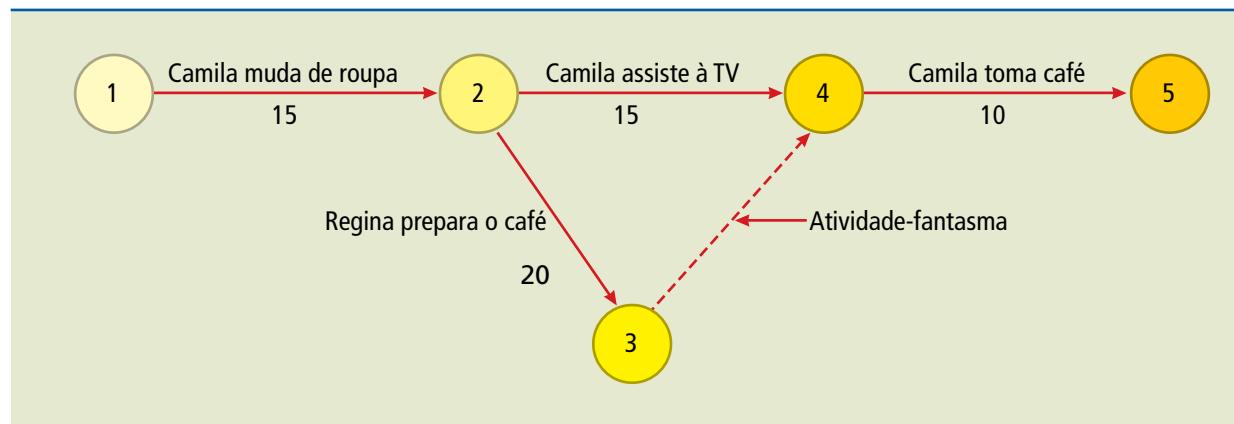


Figura 10.13
Exemplo de CPM.



Se houver atividades independentes que compartilham as mesmas antecedentes, a atividade-fantasma não deve ser utilizada.

Etapas da elaboração da rede Pert-CPM

Seja o diagrama representativo de duração das atividades (figuras 10.14 a 10.17).

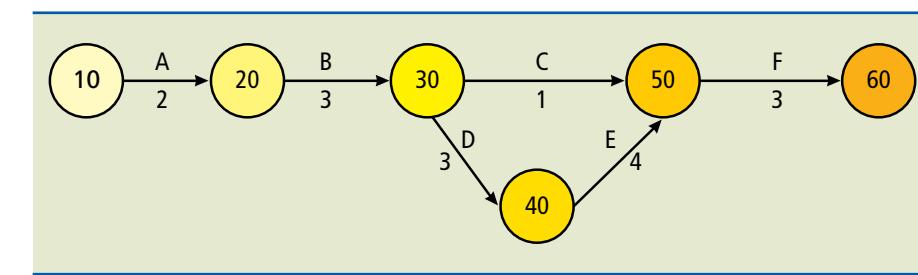


Figura 10.14
Diagrama I representativo de duração das atividades.

Antes	Atividades	Códigos das atividades	Dias úteis	Depois
–	A	10 – 20	2	B
A	B	20 – 30	3	C, D
B	C	30 – 50	1	F
B	D	30 – 40	3	E
D	E	40 – 50	4	F
C, E	F	50 – 60	3	–

Tabela 10.7
Tabela I representativa de duração das atividades.

- **Data mais cedo:** representa o tempo mais cedo em que cada atividade do projeto pode ser iniciada.

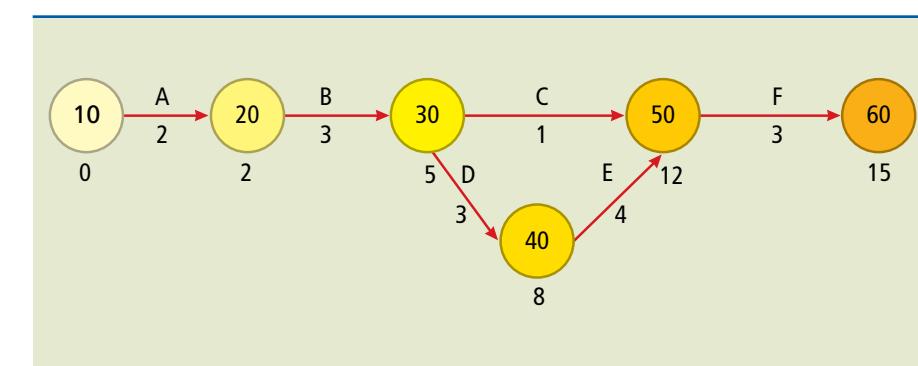


Figura 10.15
Diagrama II representativo de duração das atividades.

Evento	Data mais cedo
10	0
20	$0 + 2 = 2$
30	$2 + 3 = 5$
40	$5 + 3 = 8$

Tabela 10.8
Tabela II representativa de duração das atividades.

Regra: percorre-se a rede da esquerda para a direita para colocar o tempo mais cedo.

$$\text{Evento 50: } \rightarrow \begin{array}{l} 5 + 1 = 6 \\ 8 + 4 = 12 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{Escolhe-se o de maior duração.} \end{array} \right\}$$

Data mais tarde: preestabelecida para o término do empreendimento. É o tempo mais tarde em que cada atividade pode ser iniciada sem afetar a data global de conclusão do projeto.

Figura 10.16

Diagrama III representativo de duração das atividades.

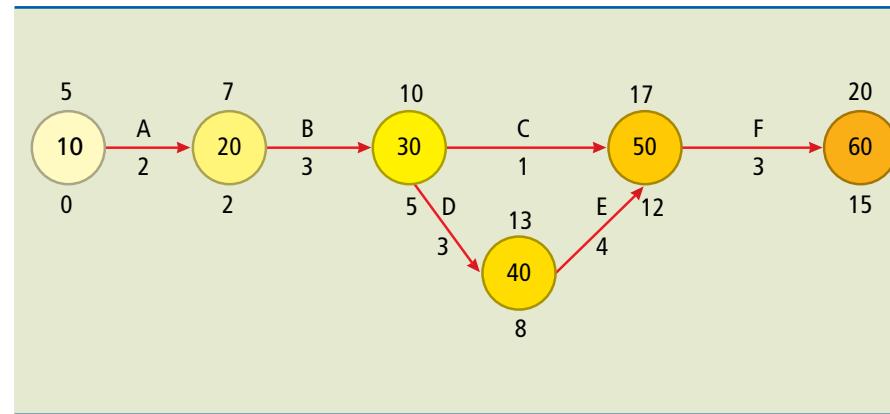


Tabela 10.9

Tabela III representativa de duração das atividades.

Evento	Data mais tarde
60	20
50	20 - 3 = 17
40	17 - 4 = 13

Regra: percorre-se a rede da direita para a esquerda para colocar o tempo mais tarde.

$$\text{Evento 30: } \rightarrow \begin{array}{l} 40 \Rightarrow 13 - 3 = 10 \\ 50 \Rightarrow 17 - 1 = 16 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{Escolhe-se o de menor duração.} \end{array} \right\}$$

$$\text{Evento 20} \Rightarrow 10 - 3 = 7$$

$$\text{Evento 10} \Rightarrow 7 - 2 = 5$$

- **Caminho crítico:** é o caminho de menor folga ($T_t - T_c$) e que tem a maior duração. Tempo de folga é o tempo que uma atividade pode ser atrasada, ou seja, a diferença entre o tempo cedo e o tempo tarde. Folga = $T_t - T_c$.

Evento	Folga ($T_t - T_c$)
10	$5 - 0 = 5$
20	$7 - 2 = 5$
30	$10 - 5 = 5$
40	$13 - 8 = 5$
50	$17 - 12 = 5$
60	$20 - 15 = 5$

No exemplo dado, o caminho crítico é formado pelos eventos: 10 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60.

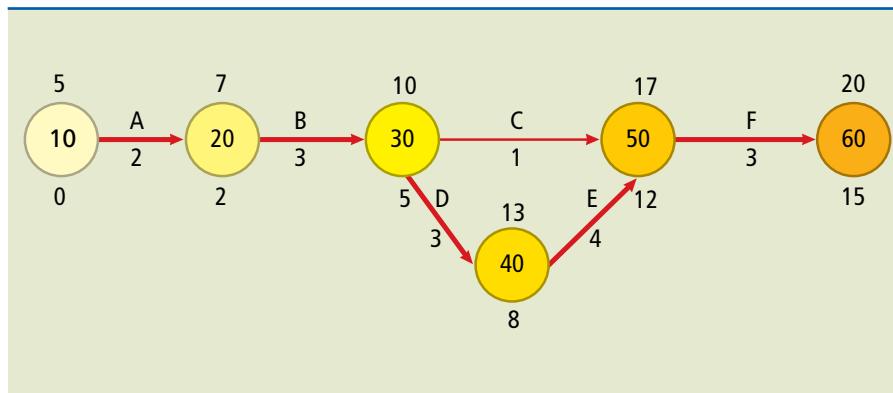


Figura 10.17

Diagrama IV representativo de duração das atividades.

A análise conjunta do Pert-CPM com o gráfico de Gantt coloca o gerente de projeto ligado às atividades do projeto, com acompanhamento prudente, evitando atrasos, reduzindo custos e nivelando os recursos.

Softwares especializados, como o Primavera e o MS Project, e softwares livres, como o Mr. Project e Gantt Project, auxiliam a elaboração do planejamento do projeto, com a construção do gráfico de Gantt e a rede Pert-CPM.

O Gantt Project e o Mr. Project podem ser baixados na internet para o gerenciamento de projetos de baixa complexidade.

Capítulo III

Manutenção industrial



Atividade da manutenção está relacionada à área, ao setor ou à equipe que tem a função de manter máquinas e equipamentos funcionando, sem problemas.

A manutenção pode ser centralizada ou descentralizada. No caso da centralizada todos os recursos são administrados e alocados em um único setor da fábrica. Já na descentralizada os recursos estão alocados em vários setores da fábrica, em pequenos grupos, e gerenciados pela própria produção (MORAES, 2004).

De acordo com a NBR 5462-1994 (XENOS, 2004), “manutenção é a combinação de ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

A atividade da manutenção se concentra em:

- manter o funcionamento das máquinas e equipamentos existentes;
- implementar melhorias onde necessário.

As ações de rotina, do dia a dia, têm por finalidade manter o funcionamento das máquinas e equipamentos, por exemplo, corrigindo falhas, trocando componentes, desde pequenos ajustes, trocas de polias e correias e lubrificação.

As ações de melhoria visam incrementar a produtividade dos equipamentos, possibilitando a modernização, aumentar a segurança, a velocidade de trabalho e a qualidade, e reduzir os custos de manutenção.

Assim, pela atividade diária de manter e melhorar as máquinas e equipamentos da fábrica, a manutenção traz os seguintes benefícios:

- aumenta a confiabilidade do processo;
- melhora a segurança no processo;
- melhora a qualidade do produto;
- possibilita custos mais baixos nas operações;
- aumenta o tempo de vida dos equipamentos;
- melhora o retorno na venda do equipamento, para substituição por um novo.

II.1 Métodos de manutenção

A característica da atividade, a forma de planejamento e a prioridade da execução classificam a manutenção em corretiva, preventiva e preditiva.

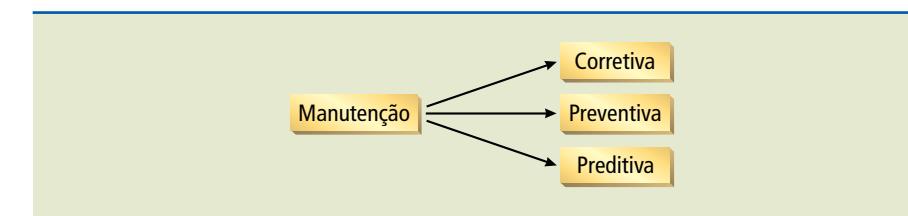


Figura II.1
Fluxograma de manutenção.

II.1.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é adotada quando o equipamento deixa de funcionar em consequência de falhas e não há previsão de quando isso pode ocorrer.

Esse método pode ser utilizado:

- em equipamentos com difícil acesso e sobrecarregados, pois o custo da parada pode inviabilizar a manutenção programada;
- quando o componente a ser substituído é muito caro e precisa ser aproveitado ao máximo antes de ser trocado;
- nos casos em que componentes de baixo custo e que não impedem o funcionamento da máquina ou do equipamento podem ser trocados depois;
- quando a remoção para a substituição é muito difícil e compensa destruir o componente na retirada.

Exemplo de manutenção corretiva, após a ocorrência dos defeitos:

- troca de lâmpadas;
- troca de placas e circuitos eletrônicos;
- troca da resistência para aquecimento de água.

II.1.2 Manutenção preventiva

Dependendo da empresa, a manutenção preventiva pode ocupar a maior parte do trabalho da manutenção (XENOS, 2004).

Características da manutenção preventiva:

- É uma atividade planejada.
- É feita periodicamente e envolve tarefas sistemáticas, como troca de peças, inspeções e reformas.
- As peças são substituídas em função do histórico de manutenção ou de informações do fabricante, mesmo sem estar avariadas.
- Diminui a possibilidade de paradas por falhas.
- O equipamento se mantém, sempre, em perfeitas condições de uso.
- O custo da manutenção é maior, se comparado ao da manutenção corretiva, pois os componentes são substituídos antes do fim da vida.

Exemplo de manutenção preventiva em uma empilhadeira: substituição da correia dentada.

11.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva é baseada na percepção do funcionamento dos equipamentos, na tentativa de prever o ponto mais próximo do fim de vida dos componentes a serem substituídos. Assim, eles poderão ser mais bem aproveitados, e a economia é maior, se comparada com a da manutenção preventiva.

A manutenção preditiva exige um grupo de pessoas especializadas, munidas de equipamentos de coleta de dados, além de análises com alto grau de desenvolvimento tecnológico. Exemplos de aplicação da manutenção preditiva:

- monitoramento da vibração para prever a troca de rolamentos;
- análise de ruídos em hélices hidráulicas para antecipar efeitos da cavitação;
- análise do óleo lubrificante para antecipar falhas decorrentes de desgastes em engrenagens.

11.2 O processo de manutenção

O processo de manutenção pode ser:

- integrado – alocado na produção, em que uma pequena equipe, gerenciada pela produção, responde pela manutenção daquela área da fábrica, ou como um departamento com gerenciamento próprio e independente, normalmente centralizado;
- terceirizado – equipe pertencente a uma empresa especializada em manutenção, para prestação de serviço, ocupando uma posição de apoio no organograma.

A manutenção reúne os profissionais de grande conhecimento técnico, com habilidades para projetar, usinar, montar e desmontar, analisar falhas, reconhecer e solucionar problemas e, ainda, com habilidade para lidar com pessoas.

Na execução do trabalho é necessário:

- manter a segurança;
- desenergizar equipamentos;
- isolar a área de trabalho;
- manter o piso limpo e seco;
- manter as mãos e a roupa limpa (usar panos e estopa para limpeza, não usar ar comprimido sobre o corpo);
- usar os EPI, com segurança;
- ter conhecimentos de como agir em caso de emergência (vazamentos, incêndio, explosão etc.).
- ter controle sobre o tempo de trabalho;
- manter a limpeza geral do ambiente de trabalho;
- manter a organização das ferramentas e dos equipamentos de testes;
- manter atenção nos procedimentos, evitando atos inseguros e planejando a ação do trabalho;
- busca constante de conhecimentos, agregando valores nas diversas especialidades: mecânica, elétrica, hidráulica, pneumática, automação, tecnologia de informação e comunicação.

O processo de manutenção segue o fluxograma mostrado na figura 11.2:

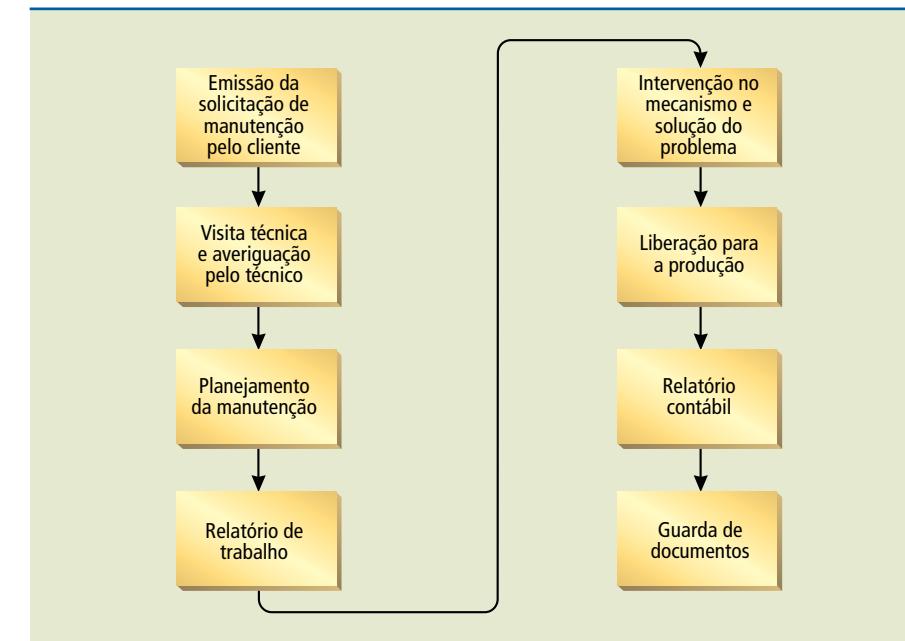


Figura 11.2
Fluxograma de manutenção.

O planejamento da manutenção tem fluxograma como apresentado na figura 11.3.

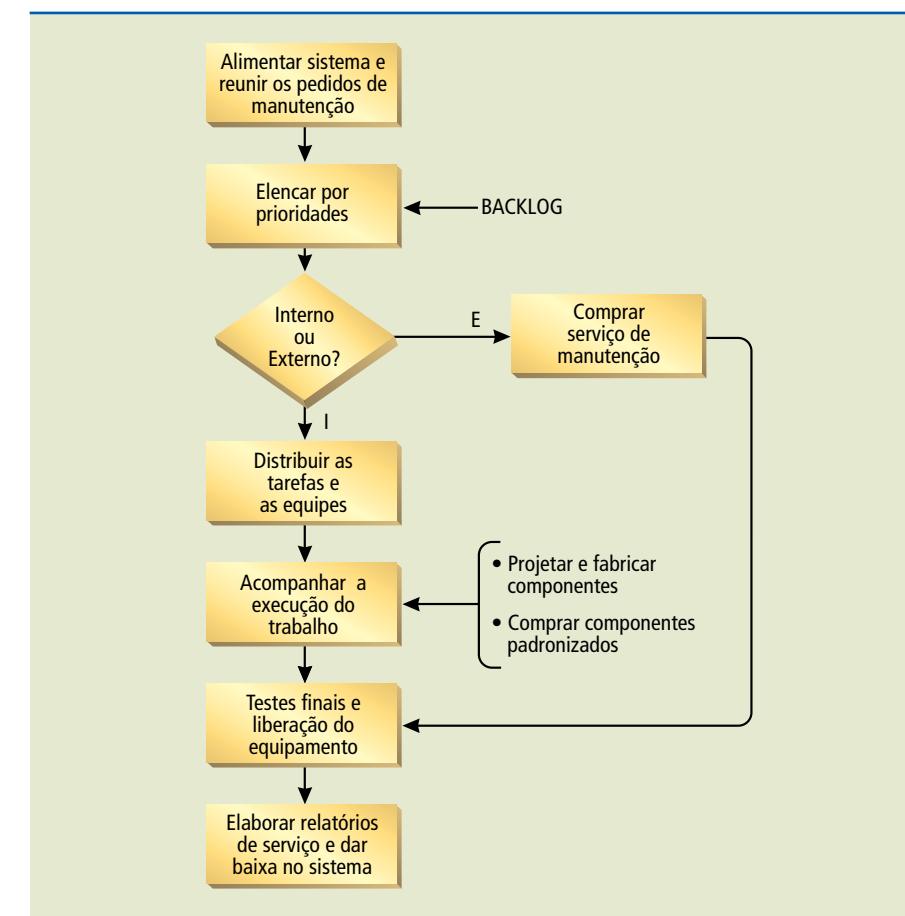


Figura 11.3
Fluxograma do planejamento de manutenção.

11.3 Controle do trabalho

O trabalho de manutenção deve ser orçado, para evitar a insatisfação do cliente (interno ou externo). O orçamento serve para a tomada de decisão sobre fazer ou não a manutenção, em detrimento da substituição do equipamento. Além do mais, o cliente sempre deseja saber o custo e o prazo de realização do serviço.

O gráfico de Gantt é muito usado no planejamento e no controle da execução das atividades de manutenção. Serve para posicionar os diversos trabalhos em forma de projeto, dando o caráter de atividade individual para cada atividade que deve ser planejada e realizada de forma controlada.

Softwares especializados, disponíveis no mercado, ajudam no gerenciamento do trabalho, com controles diários da quantidade de horas, das responsabilidades, da duração do trabalho, além das atividades de fabricação de componentes e controles de compras.

11.4 Controle de custos

Os relatórios de custos de manutenção servem para auxiliar as tomadas de decisão gerenciais, e o histórico de gastos facilita a realização dos cálculos para implementar melhorias, ou a justificativa para efetuar a substituição de máquinas.

11.5 Manutenção produtiva total (MPT)

É a manutenção realizada por todos os colaboradores da empresa, por meio de atividades diárias de pequenos grupos.

Os pilares da manutenção produtiva total são:

- melhorar a eficácia dos equipamentos;
- realizar o autorreparo, ou seja, manutenção autônoma;
- planejar a manutenção;
- treinar o pessoal para aumentar suas habilidades técnicas de manutenção;
- manutenção da qualidade dos produtos pela qualidade dos equipamentos;
- gerir os equipamentos logo no início, considerando seu ciclo de vida;
- segurança, saúde e meio ambiente;
- melhoria dos processos administrativos.

11.5.1 Manutenção autônoma

É realizada pelos operadores dos próprios equipamentos, independentemente da interferência do departamento de manutenção (MORAES, 2004).

Evidências de manutenção produtiva total são percebidas pela organização, pela limpeza dos equipamentos e do ambiente de trabalho. O envolvimento dos funcionários é alcançado utilizando a técnica dos cinco S's: organização, arrumação, limpeza, limpeza pessoal ou padronização e disciplina.

Essa tarefa requer treinamento e pode ser classificada em três níveis:

- Nível de consertos – os operadores executam instruções e não preveem o futuro.
- Nível de prevenção – os operadores anteveem problemas e fazem correções.
- Nível de melhoria – os operadores anteveem problemas, fazem correções e sugerem melhorias.

A manutenção autônoma visa alcançar o rendimento máximo dos equipamentos.

11.5.2 Indicadores de desempenho

OEE

A medida de capacidade produtiva relacionada à manutenção dos equipamentos e/ou os resultados obtidos com a implementação da MPT são medidos mundialmente com a técnica do OEE (Overall Equipment Effectiveness – Índice Global de Eficácia dos Equipamentos, figura 11.4).

	Tempo total disponível	
Disponibilidade	Tempo total programado (A)	Sem programação
	Tempo total da operação (B)	
Desempenho	Produção desejada (C)	Falhas e setup
	Produção real (D)	Velocidade reduzida Paradas de processo
Qualidade	Produção real (E)	
	Produção aprovada (F)	Perdidas por qualidade na partida

$$\text{OEE} = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{E}{F} = \text{disponibilidade} \cdot \text{desempenho} \cdot \text{qualidade}$$

As perdas e paradas do equipamento afetam a disponibilidade do equipamento, o desempenho operacional e a qualidade dos produtos.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}}{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas}} \cdot 100$$

$$\text{Desempenho (\%)} = \frac{\text{tempo teórico de ciclo} \cdot \text{total de peças produzidas}}{\text{tempo total programado} - \text{paradas planejadas} - \text{paradas não planejadas}} \cdot 100$$

$$\text{Qualidade (\%)} = \frac{\text{total de peças produzidas} - (\text{total de refugos} + \text{retrabalhos})}{\text{total de peças produzidas}} \cdot 100$$

Figura 11.4

OEE – disponibilidade × desempenho × qualidade.

Backlog

É um relatório do volume de horas de trabalho. Inclui todo o trabalho da manutenção e é medido em horas estimadas e horas realizadas. O *backlog* reúne as horas estimadas ainda não trabalhadas.

O trabalho da manutenção é acumulado de forma infinita, ou seja, quando chega, é alocado em fila, seguindo o critério de prioridades. Portanto, o volume de trabalho cresce infinitamente: toda requisição de trabalho é aceita e acumulada com as demais. O *backlog* é o volume de tarefas mês a mês, considerando as diferentes prioridades: urgentes, prioritárias e normais.

Com o *backlog* é possível saber se a manutenção da fábrica está com volume alto ou baixo de trabalho, e assim definir o aumento das equipes, a compra de serviço, o investimento na área de manutenção, a terceirização da área, a troca de máquinas e a possibilidade de implantar o gerenciamento autônomo e o controle de custos.

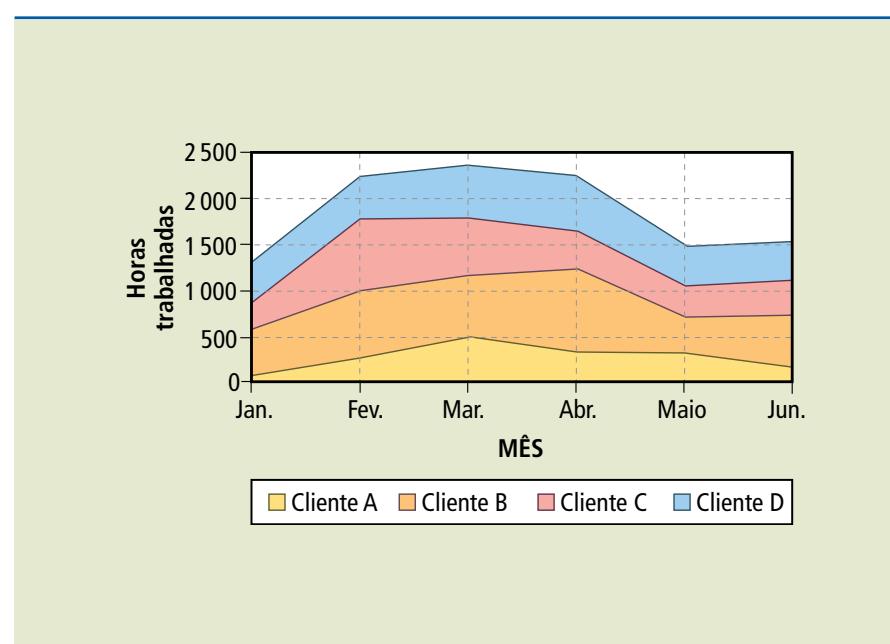
Segundo BRANCO FILHO (2006), o *backlog* pode ser organizado da seguinte maneira:

- listar as ordens de serviço [OS];
- somar as horas-homem estimadas [Hh];
- calcular o tempo-homem disponível [h/dia];
- dividir o total de horas-homem estimadas pelo tempo-homem disponível;
- o resultado será o número de dias que o grupo deverá trabalhar para executar todo o serviço (dias) programado.

Com o valor calculado, montar um gráfico (figura 11.5) ou tabela por área, ou total, e comparar mês a mês, por exemplo.

Figura 11.5

Gráfico de *backlog* – histórico das horas mensais trabalhadas para os clientes A, B, C e D.



Clientes	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.
A	100	270	500	350	325	180
B	500	750	680	900	390	550
C	300	780	580	400	350	400
D	400	450	600	590	430	400

11.6 Atividades operacionais da manutenção

11.6.1 Lubrificação industrial

A lubrificação é fundamental para a manutenção dos mecanismos móveis, pois evita paradas desnecessárias e ajuda a manter o funcionamento e a conservação dos equipamentos. O emprego do óleo e da graxa corretos significa vida mais longa para os dispositivos. O conhecimento e o uso de novos materiais e lubrificantes são muito importantes para a manutenção preventiva das máquinas e dos equipamentos industriais.

Os equipamentos antigos necessitam de muita lubrificação e desperdiçam lubrificantes. Os equipamentos modernos e a preocupação com o meio ambiente reduziram esse desperdício, e os lubrificantes ganharam em qualidade e durabilidade, aumentando a vida dos equipamentos.

O atrito

Qualquer movimento relativo entre corpos sólidos, líquidos e gasosos produz um movimento contrário chamado atrito. Desde a invenção da roda o ser humano tem se preocupado em reduzi-lo. A ciência que estuda o atrito é denominada tribologia (do grego *tribos*, que significa “atrito” e *logia*, “estudo”).

Leonardo da Vinci (1452-1519) constatou que a força de atrito é proporcional à carga e independe da área nominal de contato (STOETERAU, 2004). A industrialização, no século XVIII, levou a novos estudos e à introdução de novas ligas metálicas para mancais deslizantes. O metal patente surgiu nessa época; é um tipo de metal de cor clara, à base de estanho, chumbo, antimônio ou cobre, utilizado para fazer bronzeiras, um tipo de bucha bipartida para revestir mancais deslizantes.

A tabela 11.1 apresenta algumas ligas e seus respectivos coeficientes de atrito (estático e dinâmico).

Tabela 11.1
Coeficiente de atrito de alguns materiais

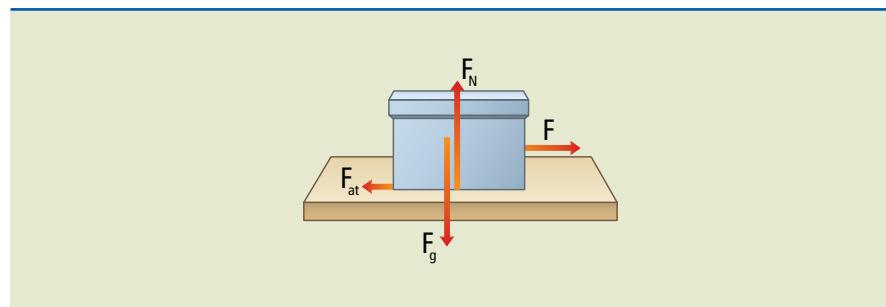
Par de materiais	Aplicação	Coeficiente de atrito estático μ		Coeficiente de atrito dinâmico μ	
		Seco	Lubrificado	Seco	Lubrificado
Aço/aço	Guia de morsa	0,20	0,10	0,15	0,10...0,05
Aço/ferro fundido	Guia de máquina	0,20	0,15	0,18	0,10...0,08

O atrito tem como consequência a geração de perdas no sistema, em forma de calor. Máquinas ou motores têm peças que se interligam provocando atrito e gerando calor. Percebe-se, também, o aparecimento de superfície lisa ou rugosa entre os corpos.

O atrito pode ser estático ou dinâmico (também chamado cinético). O atrito é estático quando não existe movimento relativo entre as superfícies. Se uma das superfícies se movimenta em relação à outra temos o atrito cinético (figura 11.6)

Figura 11.6

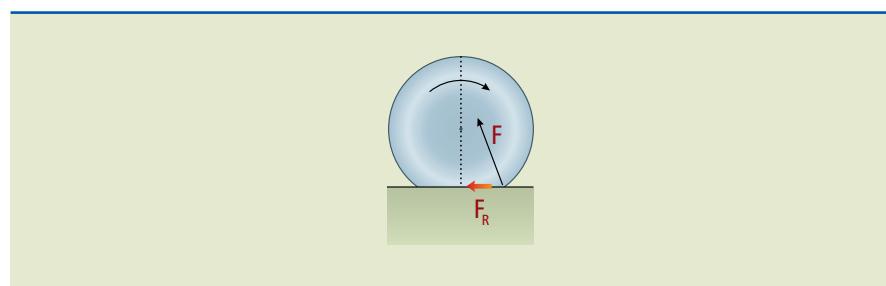
O atrito estático: ocorre enquanto a força F aplicada é insuficiente para movimentar o corpo ($F \leq F_{at}$). O atrito dinâmico se dá quando a força provoca o movimento do corpo ($F > F_{at}$).



O atrito dinâmico pode ser deslizante (caso em que uma superfície desliza sobre outra, como um trenó na neve) ou de rolamento (figura 11.7)

Figura 11.7

Atrito de rolamento.



$$F_R = \frac{f \cdot F_N}{r} \rightarrow \text{força de atrito no caso de rolamento. Exemplo: roda de guincho em trilho de aço.}$$

$$F_R = \mu \cdot F_N \rightarrow \text{força de atrito no caso de atrito estático e deslizante.}$$

em que:

F_N = força de atrito (contrária ao movimento)

F = força de movimento

μ = coeficiente de atrito

$F_R = F_{at}$ = força de atrito

f = coeficiente de atrito rolante

r = raio da superfície rolante

Em relação à natureza das superfícies, o atrito pode ser: sólido, quando as superfícies são rígidas; e fluido, quando as superfícies em contato são líquidos ou gases.

O atrito consome energia e, se não é contido, há superaquecimento com consequente dilatação ou soldagem entre as peças. O atrito leva ao desgaste, às trincas e à quebra de equipamentos, reduzindo a eficiência do sistema.

A lubrificação

Para diminuir o atrito entre as superfícies de contato, é necessário usar lubrificantes, ou seja, a interposição de uma película protetora fluida que impede o contato direto entre as peças, o que reduz o calor gerado e o desgaste. A lubrificação consiste em transformar o atrito sólido em atrito fluido.

Diversos tipos de lubrificantes já foram usados no decorrer dos tempos, destacando-se o óleo, a graxa, a gordura, a água, o ar e partículas sólidas muito finas como grafite, dissulfeto de molibdênio ou de titânio.

Formas de lubrificação

Quanto ao movimento relativo entre dois corpos, há dois tipos de contato:

- contato direto ou metálico – quando não há lubrificante, o contato é direto ou metálico, chamado atrito seco. A lubrificação é denominada lubrificação sólida (figura 11.8);

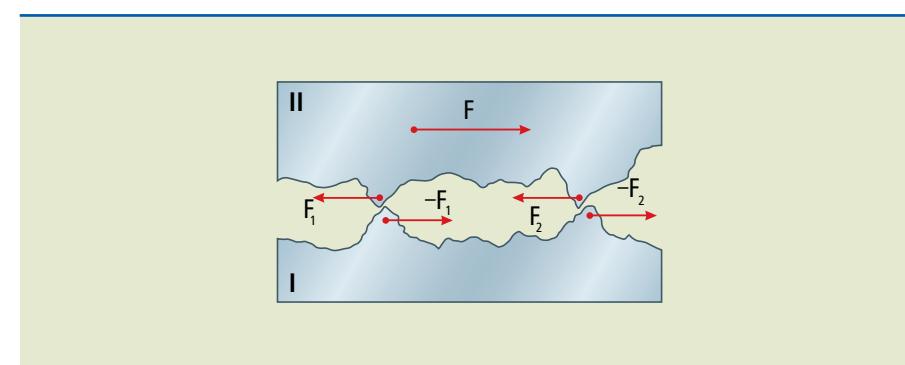


Figura 11.8
Atrito sólido.

- contato separado por película lubrificante – quando isso ocorre, há fricção fluida, em função da viscosidade do meio lubrificante, da velocidade relativa etc. Uma peça desliza sobre a superfície do lubrificante, que desliza sobre a outra peça (figura 11.9).

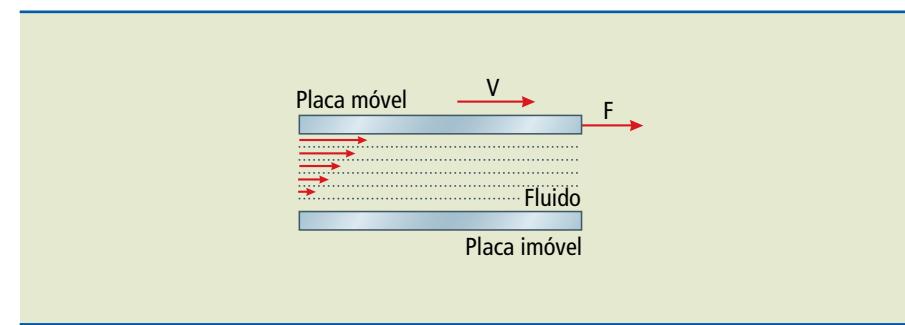


Figura 11.9
Peças deslizantes separadas por fluido.

A lubrificação fluida ou hidráulica é a que proporciona melhores resultados na redução do atrito. A folga entre os corpos é completamente preenchida pelo lubrificante. No caso de um mancal lubrificado, quando o eixo está em movimento de rotação, forma-se uma película lubrificante de contato em todo o diâmetro do eixo e do mancal, como se o eixo flutuasse no lubrificante.

Vantagens da lubrificação fluida:

- eliminação completa do desgaste;
- diminuição das perdas por atrito;
- aumento da segurança em operação;
- diminuição do consumo de lubrificantes.

Tipos de lubrificantes

- **Óleos minerais** – mistura de hidrocarbonetos (hidrogênio e carbono), resultante da destilação fracionada do petróleo, do qual são removidos a cera e o asfalto. Na refinação, o óleo lubrificante passa por um processo de tratamento com ácidos, que lhe confere características variadas: viscosidade, volatilidade, resistência à oxidação etc. A sequência de tratamentos define as características desejadas: óleo mineral puro, óleo composto, óleo com aditivo ou óleo emulsãoável.
- **Óleos graxos** – óleos vegetais e animais que oferecem a vantagem de ter maior oleosidade e maior estabilidade às emulsões oleosas. Com a temperatura elevada, o óleo graxo aumenta sua fluidez e melhora a propriedade de penetração. Essa propriedade também o torna seco, em consequência da rápida absorção do oxigênio, e rançoso, permitindo a formação de bactérias.
- **Óleos compostos** – para certas aplicações, o óleo graxo é misturado ao óleo mineral à base de até 25%. Assim, o óleo mineral adquire as vantagens do óleo graxo, excluindo as desvantagens.
- **Graxas** – são dispersões estáveis de sabões em óleos minerais. Os tipos de graxa variam em função do tipo de sabão utilizado: com textura mais ou menos fibrosa e amanteigada. Os sabões também dão a classificação da graxa no mercado. Agentes estabilizantes como glicerina, ácidos graxos e água mantêm a estabilidade para armazenagem. Os produtos resultantes podem ser semifluidos ou pastosos. A graxa é empregada quando é impraticável o suprimento contínuo de óleo, pois apresentam a vantagem de proporcionar vedação e impedir a entrada de impurezas e umidade no sistema.

Tabela 11.2

Composição das graxas.

As graxas podem ser de diferentes tipos, dependendo de sua composição (tabela 11.2):

Tipo	Utilização e forma de aplicação	Aparência	Ponto de gota	Temperatura de trabalho
Graxas à base de sabão de cálcio	<ul style="list-style-type: none"> • aplicadas com copos graxeiros (tipo Stauffer) ou com pistolas de pressão • peças que trabalham em contato com a água: bombas-d'água, buchas de eixos de hélices marítimas etc. • trabalho em baixa rotação 	<ul style="list-style-type: none"> • untosa • resistente à água 	baixo	até 80 °C

Tipo	Utilização e forma de aplicação	Aparência	Ponto de gota	Temperatura de trabalho
Graxas à base de sabão de sódio	<ul style="list-style-type: none"> • em pontos em que a temperatura de trabalho impeça a aplicação de outras graxas • uso desaconselhável em presença de umidade, pois o sabão é solúvel em água • mancais de fricção e rolamento que trabalhem em alta velocidade e temperatura • engrenagens 	<ul style="list-style-type: none"> • textura fibrosa • alto grau de coesão 	alto	até 180 °C
Graxas à base de alumínio	<ul style="list-style-type: none"> • semelhantes à graxa à base de cálcio • mancais de baixa velocidade periférica • usos variados, sob condições árduas de trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> • semelhante à da graxa à base de cálcio, mas com mais transparência e mais brilho 	relativamente alto	até 180 °C
Graxas à base de sabão de lítio	<ul style="list-style-type: none"> • aplicação com pistolas e sistemas centralizados de lubrificação • substituem bem as graxas de cálcio e de sódio • são caracterizadas como graxas de aplicações múltiplas • custo mais alto, mas reduz a aplicação, o manuseio, o uso dos equipamentos e as consequentes perdas de resíduos nos equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> • similar à de certas graxas de alumínio • bastante aderente • insolúvel em água • substituem bem as graxas de alumínio • textura untosa 	alto	até 180 °C

Sempre que possível, deve-se empregar a lubrificação a óleo e usar a graxa apenas quando as condições forem adversas, ou na falta de reservatório para estancar o óleo ou quando houver dificuldade de acesso.

Lubrificantes sintéticos

As limitações dos óleos minerais e dos óleos graxos levaram os pesquisadores a desenvolver os lubrificantes sintéticos.

Essas limitações estão relacionadas à:

- variação da viscosidade com a temperatura;
- relação entre o baixo ponto de fluidez e a baixa viscosidade;
- relação entre o alto ponto de fulgor e a alta viscosidade.

Lubrificantes sintéticos atendem a essas condições, proporcionando menor variação da viscosidade com a temperatura, baixo ponto de fluidez associado a viscosidade elevada e alto ponto de fulgor associado a baixa viscosidade.

Os lubrificantes existentes e de aplicação industrial são os glicóis polialcenos com seus derivados e os silicones.

Por causa do alto custo do lubrificante sintético em relação ao óleo natural, as empresas adotam o óleo mineral refinado, adicionam aditivos e reservam o uso de óleos sintéticos para sistemas específicos, quando o natural não puder ser utilizado.

Características físicas dos lubrificantes

Os lubrificantes possuem as seguintes características físicas:

- óleos: densidade, ponto de fulgor, ponto de combustão, ponto de fluidez, viscosidade, resíduo de carbono e cor;
- graxas: consistência, ponto de gota ou derretimento.

Para representarem o valor dos produtos, essas características devem ser analisadas em conjunto.

Características dos óleos

a) Densidade

A densidade relativa do lubrificante é a relação entre as massas de volumes idênticos de lubrificante à 20 °C e de água à 4 °C.

$$D = \frac{\mu_{\text{óleo}}}{\mu_{\text{água}}} = \frac{\frac{m_{\text{óleo}}}{V_{\text{óleo}}}}{\frac{m_{\text{água}}}{V_{\text{água}}}} = \frac{m_{\text{óleo}}}{m_{\text{água}}} \cdot \frac{V_{\text{água}}}{V_{\text{óleo}}}$$

D = Densidade relativa

μ = densidade (g/cm^3)

m = massa (g)

V = volume (cm^3)

A densidade da água a 4 °C é igual a 1 g/cm^3 .

A densidade do lubrificante é de grande importância para comparar peso e volume. Ela é determinada de acordo com a norma NBR 7148.

Segundo ROUSSO (1980), a densidade API – American Petroleum Institute, medida em graus, é outra forma de medir a densidade do lubrificante.

$${}^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\mu_{\text{amostra à } 60^{\circ}\text{F}}} - 131,5$$

b) Ponto de fulgor

O ponto de fulgor é a temperatura mínima para vaporizar o líquido em quantidade suficiente para provocar inflamação momentânea em contato com uma chama. Serve para determinar o ponto de volatilidade, a perda de fluidos leves, o grau de impureza e a segurança do produto.

Os métodos mais usados para medir o ponto de fulgor são o Pensky-Martens Vaso Fechado e o Cleveland Vaso Aberto.

c) Ponto de combustão

Uma vez iniciada a queima no ponto de fulgor, e depois de retirada a chama, o lubrificante continua a queimar durante cinco segundos, analisado nos mesmos equipamentos do processo anterior. Essa característica pouco acrescenta à qualidade do óleo lubrificante.

d) Ponto de fluidez

Indica a temperatura abaixo da qual o óleo deixa de escoar. Constitui a temperatura-limite em que o óleo pode ser usado em sistemas de lubrificação por gravidade. Para essa análise, deve-se levar em conta o tamanho e a forma do recipiente, que influenciam muito no resultado do teste.

e) Viscosidade

O que diferencia um lubrificante de outro é a viscosidade, que é o grau de atrito interno que se produz quando o óleo escoa. Viscosidade é a resistência que um líquido oferece a seu escoamento.

Considerando que uma lâmina de líquido tenderá a deslizar sobre a outra, a força tangencial existente entre as faces das lâminas será proporcional à área das faces e ao gradiente de velocidade entre elas:

$$F = \mu \cdot A \cdot \frac{\Delta V}{\Delta n}$$

em que: μ = coeficiente de viscosidade dinâmica, cuja unidade é:

$$\left[\frac{\text{dina} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} \right] = 1 \text{ poise},$$

no sistema CGS. Um **poise** é a viscosidade de um fluido no qual forças tangenciais de um dina atuam entre faces paralelas de áreas iguais a 1 cm^2 , que deslizam entre si a uma velocidade de 1 cm/s.

No sistema MKS técnico:

$$\left[\frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right] = 98,1 \text{ poise}$$

Dividindo o valor do coeficiente pela massa específica do fluido, obtém-se o coeficiente de viscosidade cinemática:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Nome dado em homenagem ao médico francês Jean Louis Marie Poiseuille, que estudou o fenômeno da viscosidade.

O óleo deve ser suficientemente viscoso para cumprir seu papel de lubrificante e manter uma película entre as peças em movimento relativo.

O viscosímetro é o aparelho usado para medir a viscosidade. Há diversos tipos de viscosímetro. Os do tipo empírico expressam a viscosidade em segundos (escoamento através de um orifício) ou em graus (vazamento através de uma placa). Os viscosímetros mais empregados são o Saybolt Universal, o Redwood nº 1 e o Engler em graus.

O processo de medição nos medidores Saybolt Universal e Redwood nº 1 consiste em aquecer o lubrificante no viscosímetro até alcançar a temperatura de teste. Em seguida, abre-se o orifício inferior do viscosímetro, deixa-se escoar e mede-se o tempo. Esse tempo contado em segundos e a dada temperatura é considerado a viscosidade do produto.

No outro modelo de medidor, o Engler, a viscosidade é medida em graus. É considerado o tempo (em segundos) que leva para escorrer certa quantidade de óleo em um aparelho padronizado, e a relação entre esse tempo e o tempo que leva para escorrer, sob as mesmas condições, água a 20 °C. Essa escala denomina-se graus Engler e representa-se por °E. Existem também os viscosímetros cinematográficos. Os mais comuns são os centistokes, que medem óleos com baixa viscosidade, através de um tubo capilar.

O índice de viscosidade (tabela 11.3) indica a capacidade que o lubrificante tem em manter viscosidade em determinada temperatura. Um baixo índice de viscosidade revela a tendência do óleo em apresentar grande variação de densidade com pequena variação de temperatura.

Tabela 11.3

Viscosidade de fluidos a 20 °C.

Fluido	Centipoise
Mel (aproximado)	1 500
Óleo mineral, SAE 50	800
Glicerina	500
Óleo mineral, SAE 30	300
Óleo de oliva	100
Óleo mineral, SAE 10	70
Água	1,0
Ar	0,018

Areologia é o estudo dos fenômenos de mudança na forma e no fluxo do material, que inclui fatores como viscosidade, plasticidade, elasticidade e escoamento da matéria. As pesquisas nesse campo voltam-se para o aproveitamento máximo do óleo lubrificante antes de seu descarte.

f) Resíduos de carbono

É fato que os derivados de petróleo possuem resíduos de carbono. Em certas temperaturas, alguns óleos podem sofrer evaporação e liberar os resíduos de carbono, que são determinados de acordo com métodos e aparelhos padronizados (Conradson, Ramsbottom). Servem para a comparação de tendências de formação de carbono nos óleos lubrificantes para motores de combustão interna.

Em um motor a combustão, em condições normais de operação, a medida do resíduo de carbono não deve ser levada em consideração isoladamente. Ela depende não só das características do óleo, mas também das características da combustão e do combustível.

g) Cor

A cor dos derivados do petróleo é observada pela luz refletida ou transmitida e define o grau de uniformidade do lubrificante. Pode indicar o fabricante, mas não tem nenhuma relação com a qualidade, e não está relacionada com a viscosidade.

Características das graxas

a) Consistência

A graxa pode apresentar consistência mole, dura, rígida etc., que muda com o uso. No laboratório é simulado o trabalho que a graxa deveria ter na operação, e depois é feito o ensaio.

A consistência da graxa pode ser determinada por meio de um aparelho chamado penetrômetro, que mede a penetração, em décimos de milímetros, exercida por um cone sobre uma amostra de graxa padronizada, durante cinco segundos e à temperatura de 25 °C.



Figura 11.10

Consistência dos lubrificantes.

Os ensaios de consistência seguem a norma da ASTM (American Society for Testing of Materials), cujo resultado é apresentado na tabela 11.4, produzida pelo NLGI (National Lubricating Grease Institute), correspondendo às diferentes faixas de penetração.

Tabela 11.4
Ensaios de consistência.

Número de consistência (NLGI)	Penetração trabalhada (ASTM)
0	355 – 385
1	310 – 340
2	265 – 295
3	220 – 250
4	175 – 205
5	130 – 160
6	85 – 115

b) Ponto de gota ou derretimento

Esse ensaio permite definir:

- a temperatura de trabalho em que a graxa passa do estado sólido ou semissólido para o estado líquido; e
- a comparação das graxas diante da correlação da temperatura de trabalho e ponto de gota.

O ensaio consiste em aquecer a graxa em condições padronizadas e observar a temperatura em que ocorre a primeira gota de graxa liquefeita.

Aditivos

São produtos que adicionados ao lubrificante melhoram suas propriedades técnicas (tabela 11.5).

Tabela 11.5
Aditivos e suas características.

Aditivos	Característica
Detergentes	Mantêm o carbono de motores em suspensão e dispersos no lubrificante.
Antioxidantes	Retardam a oxidação formada em regime de trabalho e presença de calor.
Anticorrosivos	Evitam o enferrujamento das peças e das partes metálicas expostas da máquina.

Aditivos	Característica
Antiespumantes	Impedem a formação de espuma causada pela movimentação do lubrificante.
Extrema pressão	Evitam o desgaste de peças que trabalham sob pressão de contato.
Antidesgaste	Mantêm a lubrificação e evitam o desgaste na condição de baixa velocidade com lubrificação no limite.
Rebaixadores do ponto de fluidez	Reduzem a fluidez quando o regime de trabalho necessita de temperaturas mais baixas.
Aumento do índice de viscosidade	Provocam menor variação da viscosidade em diferentes temperaturas.
Agentes emulsionantes	1. Emulsionantes que facilitam a mistura da água com o óleo, resultando um óleo solúvel para resfriar e lubrificar ferramentas de corte durante a usinagem. Aparência leitosa e baixa viscosidade. 2. Emulsionantes que protegem o lubrificante contra a presença de água. Ideais para a lubrificação de mancais e de peças de motores marítimos.
Formulação especial	1. Óleo lavável – quando respingado, é facilmente removido com um jato-d'água, sabão etc. 2. Óleo adesivo – uma película fina adere à superfície sem pingar. Lubrificação de máquinas na indústria têxtil.
Óleos graxos	Adição de pequena quantidade de óleos graxos ao óleo mineral puro lhe confere a oleosidade necessária para torná-lo emulsionante em vapor-d'água. Lubrificação de máquinas a vapor.

Métodos de aplicação de lubrificantes e graxas

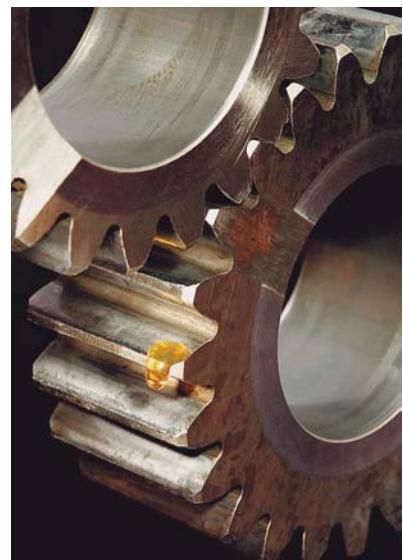
A aplicação depende do lubrificante a ser usado. O óleo lubrificante pode ser aplicado das seguintes formas:

- aplicação manual e simples, utilizando uma almofolia (figura 11.11), bomba manual que lubrifica os pontos expostos dos mecanismos e os botões de lubrificação instalados;



Figura 11.11
Almotolia.

STOCK/SHUTTERSTOCK

Figura 11.12

K&D FOSTER PHOTOGRAPHERS/SHUTTERSTOCK

- copo com agulha ou vareta – um copo com furo e uma haste em seu interior. A haste, ligeiramente afastada do munhão, permite descer o lubrificante sobre o munhão em rotação;
- copo com torcida ou mecha – um copo com um duto central no qual a lubrificação ocorre pelo fenômeno da capilaridade. Uma mecha com uma extremidade mergulhada no interior do copo desce pelo duto, conduzindo o lubrificante até o munhão;
- oleaderia conta-gota – um copo com um regulador de quantidade e interrupção de aplicação do lubrificante;
- lubrificação por anel – no compartimento do eixo, um reservatório mantém o lubrificante. Um anel de diâmetro maior que o eixo repousa em volta do munhão. A parte inferior desse eixo fica mergulhada no lubrificante. Ao girar, o anel carrega o lubrificante do compartimento para o eixo;
- lubrificação por colar – semelhante ao sistema por anel, considerando que o colar está preso ao eixo e mantém parte de sua extremidade mergulhada no lubrificante;
- banho de óleo – mancais verticais mantêm o conjunto munhão-mancal mergulhado em óleo. A aplicação é muito comum em caixas de engrenagens, nas quais as engrenagens inferiores arrastam óleo para as engrenagens superiores;
- estopa ou almofada – a parte inferior do munhão tangencia certo volume de estopa embebido em óleo. Utilizado em vagões de estradas de ferro. Requer cuidado na preparação e manutenção para evitar o envadimento da superfície de contato da estopa, que prejudica o processo de lubrificação;
- salpico ou borriço – o sistema em velocidade contém peças móveis (por exemplo, pá), que mergulham no cárter e elevam o lubrificante para as partes superiores do mecanismo. A velocidade transforma esse processo em borriço;
- sistema de circulação por gravidade – uma bomba recalca o óleo da parte interior para a parte superior, que depois desce por gravidade. O sistema de lubrificação pode ser acionado pelo mecanismo que movimenta o eixo ou por um conjunto acionado separadamente.

Os sistemas graxeiros mais comuns são:

- a) copo dosador com mola – a mola pressiona a saída da graxa de seu interior para o mecanismo a ser engraxado;
- b) bomba de lubrificação manual – utilizada para colocar graxa, manualmente, em pinos graxeiros dispostos nas máquinas;
- c) pino graxeiro – componente fixado à máquina para lubrificar componentes nos quais a temperatura, em regime de trabalho, é mais alta;
- d) copo de graxa tipo Stauffer – mantém a lubrificação constante e livre de sujeira. No enchimento do copo não deve ser deixada nenhuma bolha de ar.

Figura 11.13

Lubrificação manual.



ALEXEI NOVIKOV/SHUTTERSTOCK

A aplicação de óleo com almofolia precisa ser periódica e regular, e os tipos que possuem reservatório devem ter o nível mantido por verificações regulares. Os sistemas têm de ser cuidados para:

- manter os dutos limpos e livres para fluir a lubrificação;
- impedir a entrada de ar para evitar a formação de espumas;
- remover a água do sistema, onde houver centrífuga;
- dosar o óleo na frequência e medida certas.

Lubrificação em mecanismos

Mancais

Os mancais devem ser bem projetados para promover a manutenção da película de óleo lubrificante. A lubrificação pode ser feita por óleo ou graxa.

Nos mancais de rolamento, o atrito é menor, a carga máxima diminui com o aumento da rotação, e o esforço para vencer a inércia inicial é menor do que para manter o elemento rodando. Assim, a lubrificação deve reduzir o atrito entre as partes rodantes, proteger as superfícies contra ferrugem, dissipar o calor gerado e evitar a entrada de impurezas.

Engrenagens

A lubrificação atende a engrenagens expostas e fechadas. O objetivo é reduzir o desgaste por atrito nos dentes. A lubrificação deve ser feita com óleo. De modo geral, quanto maior a resistência do material da engrenagem à tração, tanto maior será a carga nos dentes e maior a viscosidade do óleo lubrificante. Quanto maior o diâmetro primitivo, menor o esforço por dente e menor a viscosidade do óleo. O óleo indicado costuma ser o mineral puro, que suporta trabalhos em alta temperatura.

Sistema hidráulico

O meio hidráulico requer óleo pouco compressível e suficientemente fluido. O sistema hidráulico pode gerar umidade e corrosão, portanto o óleo deve ter a capacidade de se separar rapidamente da água. Precisa ter também boas propriedades de aderência ao metal para manter uma película protetora lubrificante na superfície do sistema.

Máquinas a vapor

Nas máquinas a vapor, o objetivo é reduzir o atrito e o desgaste das superfícies deslizantes. O lubrificante deve ter viscosidade elevada para suportar o trabalho em altas temperaturas. Os óleos minerais puros superam os óleos compostos, porque os elementos graxos tendem a se decompor por causa do aumento da temperatura, o que faz com que eles se misturem com a água. O óleo mineral puro, básico filtrado, tem preferência sobre os óleos compostos. A lubrificação precisa ser suficiente e não em excesso, com viscosidade controlada para evitar ruídos e atritos, e com controle de viscosidade para evitar perdas. O sistema tem de ser livre de impurezas no vapor para não contaminar o óleo e causar ferrugem.

Motores a diesel

Deficiência nos cilindros altera o comportamento dos motores a diesel. Para impedir a formação de vernizes e depósitos nos êmbolos, anéis e ranhuras dos anéis o óleo recebe aditivos. Esses aditivos especiais ajudam a manter o funcionamento adequado do motor.

Compressores

Compressores alternativos, menores, de estágio único, fazem a lubrificação por salpicô, e unidades maiores possuem sistema de circulação sob pressão. O óleo deve ser mineral puro de boa qualidade, fornecido ao sistema em quantidade mínima para não haver acúmulo nas válvulas.

Compressores rotativos exigem óleo com maior viscosidade que as máquinas alternativas, para reduzir o atrito e aumentar a vedação.

Em compressores de frigoríficos, o óleo não deve se congelar no refrigerador e em outras partes frias do sistema. Tem de ter baixo ponto de fluidez e baixa

tendência à formação de cera, pureza e alta estabilidade química. Existem óleos minerais puros, altamente refinados, com viscosidade adequada para cada tipo de compressor.

Turbinas

O óleo deve lubrificar, refrigerar e proteger contra a ferrugem, e tem a tendência de se deteriorar por estar em presença da água. Os óleos minerais, altamente refinados, com aditivos antioxidantes e anticorrosivos, são indicados para turbinas a vapor. Turbinas hidráulicas verticais e engrenagens fechadas de turbinas verticais requerem óleo mineral puro, altamente refinado, com faixa de viscosidade ampla. Os óleos emulsináveis de baixa viscosidade são indicados para turbinas horizontais.

Usinagem

Na usinagem, destacam-se os óleos emulsináveis. A água, embora possua alto poder de refrigeração, não molha suficientemente o metal. Fluidos aquosos, adicionados à água, melhoraram seu poder umectante e oferecem propriedades antioxidantes.

Óleos minerais puros e óleos compostos também são usados em situações de usinagem em que o óleo emulsinável não é necessário: usinagem leve e tornos automáticos.

No tratamento térmico, os óleos de témpera indicados são os minerais, especialmente refinados, resistentes à corrosão, à formação de borra e resistentes ao aumento da viscosidade.

Máquinas têxteis

Os fatores de trabalho desejados nesse segmento são: economizar energia, evitar a oxidação e não manchar os tecidos. A diversidade de máquinas e mecanismos exige ampla variedade de lubrificantes com características especiais, como os óleos minerais puros de grande estabilidade química, com aditivos antioxidantes, antiferrugem, antiespumantes e antidesgastantes.

Transformadores

Na função de dissipar o calor produzido pelos geradores e transformadores, é necessário óleo mineral altamente refinado, com alta estabilidade química e de desempenho prolongado. O óleo deve ter boas propriedades dielétricas e ser de baixa viscosidade para dissipar mais rapidamente o calor.

Cuidados na armazenagem

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro) impõe normas para a embalagem dos lubrificantes: óleo comercializado em tambores de 200 litros, pesando de 170 a 180 kg cada, e graxa comercializada em quilogramas.

Os locais de armazenagem e o manuseio do óleo requerem cuidados especiais. Tambores devem ser armazenados deitados, em locais limpos e secos, de preferência cobertos. Não podem ser colocados no chão, mas organizados em prateleiras ou paletes, para evitar corrosão. Precisam ser mantidos limpos e longe de poeira.

No local de retirada do óleo, os tambores devem ficar suspensos, deitados em uma estante especial. É necessário colocar uma torneira apropriada para a retirada do lubrificante. O piso tem de ser protegido com bandeja para evitar respingos e contaminação do solo, e mantido limpo, sem respingos; toda a estopa usada precisa ser acondicionada para reciclagem.

Os acessórios de trabalho como funis, bombas, galões etc. devem ser mantidos em ordem para evitar a contaminação do local e também a mistura dos produtos.

O pessoal da lubrificação

O trabalho de lubrificação é de extrema importância no processo produtivo e requer cuidados específicos. Qualquer esquecimento põe em risco a vida da máquina ou a qualidade do produto.

O lubrificador é a pessoa encarregada de manter as máquinas e equipamentos da produção lubrificados. Seu trabalho consiste em atender aos seguintes itens:

- não se expor a riscos de contaminação, usar luvas e equipamentos adequados à sua segurança;
- manter o local de trabalho em ordem e os equipamentos limpos;
- não misturar produtos para evitar a contaminação entre os diferentes produtos;
- seguir as normas de descarte de resíduos de produtos lubrificantes;
- não respingar produtos no piso para não contaminar o solo e para evitar a insegurança das pessoas que trafegam pelo local;
- ter cuidado na movimentação dos tambores para evitar choque, amassamento e quedas dos tambores, e também amassamento dos pés e das mãos no manuseio;
- observar as características e o plano de lubrificação de cada máquina;
- cuidar das informações sobre seu trabalho, anotando as ocorrências e situações divergentes;
- comunicar a ocorrência de causas inseguras ou procedimentos fora do normal.

Análise de falhas

Análise do lubrificante

Os resíduos, quando descartados na natureza, causam enormes prejuízos; por isso, no caso de volume muito grande, é interessante analisar o estado do óleo e adicionar os aditivos, a fim de evitar o descarte desnecessário. Um estudo comum é a análise ferrográfica (o ferrógrafo é o aparelho usado nessa análise). Esse tipo de análise permite verificar falhas do equipamento por meio da percepção de resíduos metálicos na amostra recolhida de óleo lubrificante.

O estudo da ferrografia foi desenvolvido na década de 1970. É muito importante para a economia obtida da análise de falhas. As partículas ficam suspensas no óleo durante algum tempo. O método consiste em passar o óleo por um filtro e contar as partículas que ficaram retidas, à luz do microscópio. É aplicado para máquinas de grande porte, com grande volume de óleo, como os turbocompressores e as locomotivas.

Com a análise ferrográfica é possível acompanhar o desgaste do equipamento (manutenção preditiva) e promover uma parada programada (preventiva) para a manutenção.

Análise de vibrações e ruídos

O fenômeno da vibração ocorre quando qualquer movimento se repete, exatamente, após determinado intervalo de tempo. A figura 11.14 mostra o gráfico de um movimento vibratório, em que estão indicados alguns de seus parâmetros principais. RMS (root mean square) é a sigla inglesa para média quadrática, conceito que veremos adiante.

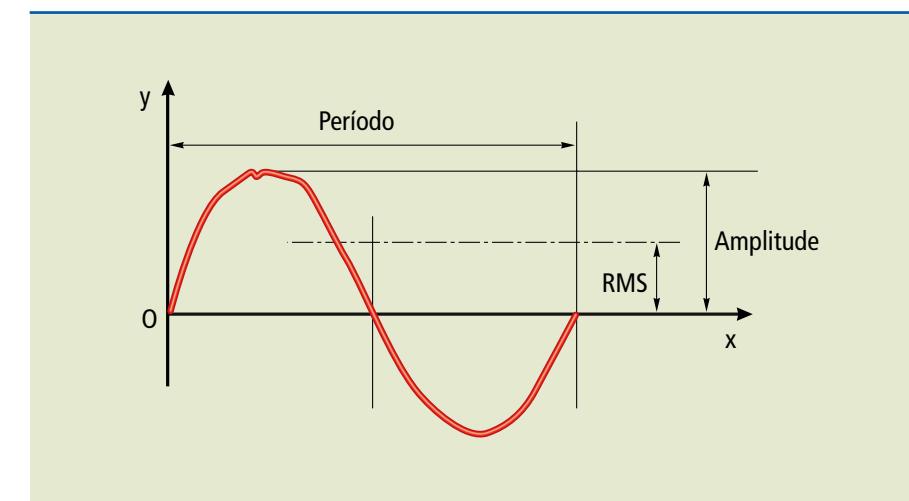


Figura 11.14
Análise de vibração.

Um equipamento vibra quando um ponto (M) localizado em seu eixo longitudinal (x) oscila na mesma distância, para cima e para baixo, na direção y. A amplitude é o deslocamento para cima ou para baixo igual à altura da crista da onda. Na mecânica, essa altura varia em torno de $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$.

As vibrações podem ser livres ou forçadas. Nas vibrações livres, o movimento periódico continua mesmo depois de cessar a força atuante. Nas vibrações forçadas, o **movimento vibratório** existe somente enquanto dura a causa ou perturbação.

Na mecânica, todo movimento vibratório é do tipo livre, por causa da perda de energia do sistema, denominada fator de amortecimento ou constante de amortecimento. Um sistema amortecido é aquele em que a perda de energia decresce rapidamente.

Denomina-se **período (T)** de uma vibração, um ciclo simples completo de vibração. A **frequência (f)** é uma sequência de ciclos que ocorre durante uma unidade de tempo.

Frequência natural é a frequência de uma vibração livre. Quando a frequência forçada se iguala à frequência natural, o sistema entra em **ressonância**.

A unidade de frequência no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o hertz (Hz), (1 Hz = 60 rpm), que é igual a um ciclo por segundo. Pelas definições, temos:

$$T = \frac{1}{f} \text{ e } \lambda = v \cdot T \text{ ou } \lambda = \frac{v}{f} \text{ e } v = f \cdot \lambda$$

em que:

λ = comprimento da onda; distância entre duas cristas consecutivas ou entre dois pontos consecutivos, em concordância de fase;

v = velocidade do ponto M, em metros por segundo, no SI. A velocidade do ponto M desacelera para cima e para baixo e alcança a velocidade máxima em $y = 0$.

A vibração cujo movimento muda de caráter durante o período é chamada vibração transiente, e aquela cujo movimento se repete em cada ciclo sucessivo é denominada vibração em regime permanente. Em um movimento mecânico, a vibração inicial é transiente durante certo tempo, e depois passa a ser em regime permanente, em consequência da perda de energia no sistema.

A compreensão da vibração fica mais clara se considerarmos que os corpos deixam de ser rígidos, e que as máquinas vibram porque são elásticas.

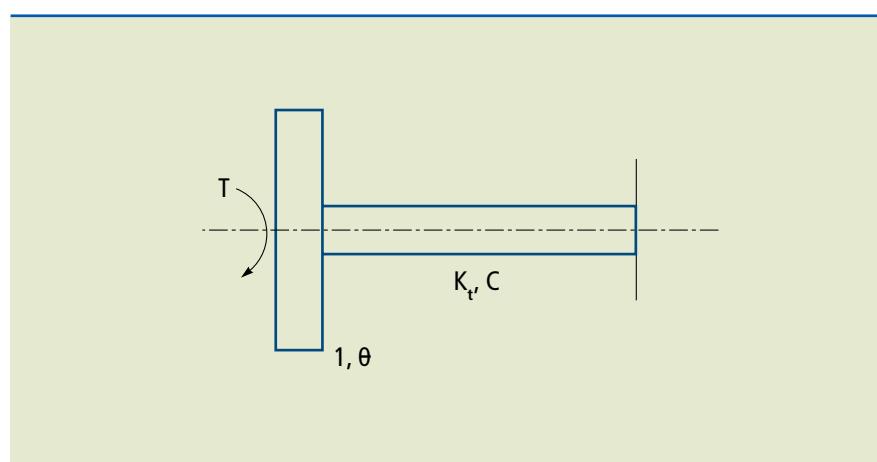
Vibração torcional

Exemplo (SHIGLEY, 1969)

Uma polia de momento de inércia I é montada na extremidade de um eixo sem peso (figura 11.15).

Figura 11.15

Polia montada na extremidade de um eixo sem peso.



Solução:

$$K_t = \frac{T}{\theta} \left[\frac{\text{lb} \cdot \text{pol}}{\text{rad}} \right], \text{ em que:}$$

K_t = constante de rigidez torcional do eixo. Representa o torque capaz de produzir um ângulo de torção igual a um radiano;

T = torque necessário para produzir uma deflexão angular na polia.

$$C = \frac{T}{\theta} \left[\frac{\text{lb} \cdot \text{pol} \cdot \text{seg}}{\text{rad}} \right], \text{ em que:}$$

C = fator de amortecimento torcional

$$T = f(t)$$

Então, a equação do movimento torcional fica:

$$-K_t \theta - C \theta + f(\theta) + (-I\theta) = 0$$

$$\theta + \frac{C}{I} \theta + \frac{K_t}{I} \theta = \frac{1}{I} f(t)$$

Aplicando torque na polia, o eixo sofre torção. Se o torque é retirado repentinamente, a polia vibra torcional e livremente em certa frequência natural. Durante essa vibração, a polia tenta girar. No instante inicial, a quantidade de movimento angular do sistema, em relação ao eixo de rotação, é nula, porque a polia está em repouso. Como o centro de gravidade da polia está sobre o eixo de rotação, o momento das forças externas, em relação ao eixo, é nulo. E o coeficiente de variação da quantidade de movimento angular do sistema, em relação à linha de centro do eixo, deve ser nulo.

Aplicação da análise de vibração

A análise de vibração permite detectar falhas escondidas no interior das máquinas e equipamentos. O analista encosta o sensor em pontos estratégicos do equipamento e coleta dados para análise. A análise de vibração permite detectar:

- engrenagens com dentes gastos, danificados, ou quebrados;
- rolamentos avariados;
- rotores desbalanceados;
- mancais e eixos gastos e com folgas;
- cavitação em sistema hidráulico;
- falha de lubrificação;
- conjuntos desalinhados;
- corrente elétrica;
- folgas generalizadas.

As principais causas são:

- desbalanceamento – má distribuição da massa de um rotor;
- excentricidade – vibrações radiais, percepção semelhante ao desbalanceamento;
- desalinhamento – em decorrência de desgaste de componentes;
- folgas – ocasionadas pela presença de componentes soltos e trincas;
- correias – desgastadas ou com folgas;
- engrenagens com dentes quebrados;
- defeitos em mancais de deslizamento – excesso de carga, folgas e falta de lubrificação;
- defeitos em mancais de rolamentos – defeitos em pista, elementos rodantes e gaiola;
- problemas em motores elétricos.

O método de percepção das vibrações consiste em coletar ruídos do interior da máquina por meio de um sensor e analisar as diferenças, os solavancos cíclicos cuja oscilação é percebida na forma de um espectro gráfico. Os dados são registrados e analisados. Picos e vales fora do padrão podem demonstrar que há problema no interior da máquina. Então, conhecendo seu interior, por meio de desenhos e catálogos, é possível saber onde está o defeito.

O valor de pico resulta de impactos de curta duração, deslocamentos vibratórios da máquina. A média quadrática, ou valor RMS indica a média da energia do movimento vibratório, o potencial destrutivo da vibração.

$$\text{RMS} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \text{amplitude} = 0,707 \cdot \text{amplitude}$$

$$\text{Média} = \frac{1}{2} \cdot \text{amplitude}$$

A vibração é reconhecida por três parâmetros:

Velocidade: identifica vibrações hidráulicas, rolamentos com defeitos e engrenagens com problemas.

Deslocamento: analisa as várias alterações de vibração, mas não é indicada para o desbalanceamento e desalinhamento.

Aceleração: identifica desbalanceamento, folgas e problemas em rolamentos. Pode ser analisada sob dois parâmetros:

- aceleração RMS – que detecta falhas com frequência de até 1 000 Hz. Esse parâmetro é indicado para análise de falhas em rolamentos, engrenamentos e lubrificação;
- aceleração pico a pico – pela análise dos picos do espectro gráfico é possível identificar falhas relevantes, de qualquer natureza.

Falhas geradas em rolamentos e engrenagens utilizam a técnica do envelope, composta de um conjunto de procedimentos aplicados ao sinal, que reúne: definição da faixa de filtragem, refino da amplitude, de modulação da frequência e filtragem da frequência com defeito.

As faixas de frequências identificam as falhas nos rolamentos:

- 50 a 1000 Hz = folgas;
- 500 a 1000 Hz = desbalanceamento.

Equipamentos usados para análise de vibração

Sensores

Os sensores captam as oscilações de torque e transmitem para um sistema de controle e análise. Existem sensores para variadas finalidades. Podem ser: eletrodinâmicos, piezoeletrônicos (figura 11.16) e indutivos (figura 11.17).



ELECTRONISTOCK/ALAMY/OTHERIMAGES

Figura 11.16
Sensor piezoelectrônico.



Figura 11.17
Sensor indutivo
sem contato.

Medidores e analisadores de vibração

A figura 11.18 mostra um aparelho mais moderno usado para medições globais em mm/s e rms, segundo a norma NBR 10082.

Figura 11.18

Medidores.



ZYGALSKI KRYSZTOF/SHUTTERSTOCK

Capítulo 12

Montagens

O centro das atenções da manutenção industrial são as máquinas. O objetivo é manter seu bom funcionamento e o melhor aproveitamento. Paradas indesejadas são evitadas com a manutenção permanente. A manutenção preditiva e autônoma cumpre esse papel. Com o passar do tempo, uma intervenção maior deve ser agendada e a máquina vai para a manutenção preventiva, que evita uma parada geral dessa máquina.

Em condições extremas, por conveniência ou não, as máquinas acabam na manutenção corretiva. Quando ocorre uma intervenção maior, o grupo da manutenção precisa, desmontando a máquina, corrigir as falhas, eliminar peças e conjuntos avariados e melhorar o funcionamento geral do sistema.

Alguns fatores são essenciais na execução dessa tarefa de manutenção corretiva. É necessário estar atento às especificidades do trabalho de desmontagem e montagem dos componentes da máquina. Alguns cuidados podem ser importantes:

- manter as ferramentas de trabalho;
- selecionar equipamentos de elevação e movimentação de cargas;
- desmontar componentes das máquinas;
- recuperar guias deslizantes;
- substituir componentes;
- fazer ajustes nos mecanismos.

A seguir, são abordados alguns tópicos com o objetivo de iniciar conhecimento na área.

12.1 Ferramentas de manutenção

As ferramentas primitivas foram desenvolvidas para facilitar a vida dos seres humanos na colheita de frutas, na caça, na pesca e em sua proteção. Ao longo da história, elas se modificaram e se tornaram mais sofisticadas com a mudança do foco do trabalho, de agrícola para industrial.

Na indústria, as ferramentas servem para a realização de trabalhos manuais em montagem de produtos, instalações diversas e manutenção de máquinas e equipamentos.

As ferramentas manuais mais comuns podem ser classificadas em:

- ferramentas com borda afiada: Exemplos: facas, machados, cortadores manuais de barras e hastes, formões, cortadores de vidro (figura 12.1);



DUMITRESCU CIPRIAN-FLORIN / SHUTTERSTOCK

Figura 12.1
Cortadores de vidro.

- ferramentas de golpes: como martelos de cabeça (feitos de ferro, madeira, bronze, plástico), marretas, cinzéis (figura 12.2);



JAKE RENNAKER / SHUTTERSTOCK

Figura 12.2
Ferramentas de golpe.

- ferramentas de torção: chaves de fenda, chaves de boca (figura 12.3);



ALDORADO / SHUTTERSTOCK

Figura 12.3
Ferramentas de torção.

- ferramentas de pinçamento: alicates, tenazes, torqueses (figura 12.4);

Figura 12.4

Ferramentas de pinçamento.



SERG64/SHUTTERSTOCK

- outros tipos: bombas de óleo, peneiras, saca-rolhas, saca-polias, baldes, tambores, coletores de pó, *kits* de ferramentas, entre outros.

Figura 12.5



As ferramentas devem ser manuseadas com cuidado, para evitar acidentes e ferimentos nas mãos. Alguns cuidados são fundamentais:

- Posicionar corretamente a ferramenta no momento da utilização.
 - Empunhar firmemente a ferramenta, evitando deslizamento do apoio, esforço de correção das mãos e aplicação inadequada de força ou golpes.
 - Segurar corretamente a ferramenta: reduzir a força aplicada considerando o projeto e o momento resultante da aplicação da força (momento = força x distância).
 - Manter a limpeza e conservação. As ferramentas não devem ficar jogadas no chão ou perdidas entre os componentes das máquinas. Após o uso, precisam ser limpas e guardadas de forma organizada em caixas ou armários próprios, de fácil acesso ou transporte. O transporte tem de ser feito em carrinhos ou caixas apropriadas.
 - Dar aplicação adequada a seu fim, por exemplo: alicate não deve ser usado como martelo, ou chave de fenda como formão.
 - Usar equipamentos de proteção individual (luvas, óculos de proteção, avental etc.) ajuda a prevenir acidentes e manter a qualidade do trabalho.

A tabela 12.1 oferece orientação para seleção de ferramentas e aplicação de torques, conforme norma.

Tabela I2.I

Valores de torção (Nm*)								Valores mínimos de torção garantidos para testes de chaves de aperto, conforme norma DIN 899 (1 kpm = 10 Nm)													
Estes valores de torção são utilizados para roscas métricas conforme normas DIN 13 e para as medidas de cabeças conforme normas DIN 912, 931, 934, 6912, 7984 e 7990. Os parafusos podem sofrer um esforço de até 90% de seu limite de carga, com um coeficiente de atrito de 0,14, para parafusos sem uso e sem lubrificação.								IB (lado estrela) 2 / 2A	4 33	IB (lado boca) 6 / 7 400	29 29B	26 49 626	27 28 35B	894	Quadrado de encaixe						
Obs.: para situações em que os parafusos são lubrificados, devemos reduzir os valores de torção em 20%.																6,3	9,5	12,7	19,05	25,4	
	Classes de qualidade conforme norma DIN 267																20 D20	30 D30	19 D19	32 D32	21 D21
	4,6	5,5	6,9	8,8	10,9	12,9	mm										1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"
M2	0,123	0,162	0,314	0,373	0,520	0,628	4										1,90			10,4	
M2,3	0,196	0,265	0,510	0,598	0,843	1,010	4,5										2,64			12,6	
M2,6	0,284	0,373	0,726	0,863	1,206	1,451	5										3,55			15,1	
M3	0,441	0,588	1,128	1,344	1,883	2,256	5,5										4,64			2,32	17,8
M3,5**	0,677	0,902	1,736	2,060	2,893	3,481	6	17,6	7,4	5,92						17,6			2,96	20,6	23,2
M4	1,000	1,344	2,599	3,040	4,315	5,148	7	25,2	11,4	9,12						25,2			4,56	26,8	33,2
M5	1,961	2,648	5,099	6,031	8,483	10,200	9	45,5	23,0	18,4						45,5	45,5	9,20	41,1	59,9	119,2
M 6	3,432	4,511	8,728	10,300	14,710	17,652	10	58,1	31,0	24,8	58,1	58,1	58,1	58,1	58,1	12,4	49,1	76,7	147		
M 7**	5,590	7,453	14,220	17,162	24,517	28,439	11	72,7	40,4	32,3	72,7	72,7	72,7	72,7	72,7	16,1	57,8	96	178		
M 8	8,238	10,787	21,575	25,497	35,304	42,168	13	107	64,5	51,6	107	107	107	107	107	25,8	68,6	141	249		
							14	128	79,4	63,5	128	128	128	128	128	31,7	68,6	169	288		
M 10	16,67	21,575	42,168	50,014	70,608	85,317	15	150	96,2	77,0	150	150	150	150	150	38,5		198	331		
							16	175	115	92,3	175	175	175	175	175	46,1		225	425		
M 12	28,44	33,246	73,550	87,279	122,60	147,10	17	201	134	107	201	201	201	201	201	53,5		225	425		
							18	230	160	128	230	230	230	230	230	64,0		225	477		
							19	261	186	149	261	261	261	261	261	74,5		225	531	569	
M 14**	45,11	60,801	116,70	138,30	194,20	235,40	20	294	215	172	294	294	294	294	294	86,0		225	569	—	
							21	330	247	198	330	330	330	330	330	99,0		225	569	—	
							22	368	281	225	368	368	368	368	368	112		225	569	569	
M 16	69,63	93,163	178,50	210,80	299,10	357,90	23	408	319	255	408	408	408	408	408	127		569	569	569	
							24	451	359	287	451	451	451	451	451	143		569	569	569	
							25	496	402	322	496	496	496	496	496	161		569	583	583	
M 18**	95,12	127,50	245,20	289,30	411,90	490,30	26	544	449	359	544	544	544	544	544	179		569	624		
							27	594	499	399	594	594	594	594	594	199		569	665		
							28	647	552	442	647	647	647	647	647	221		569	707		
M 20**	135,3	180,45	384,10	411,90	578,60	696,30	30	760	670	536	760	760	760	760	760	268		569	795		
M 22**	182,4	245,16	470,70	559,00	784,50	941,40	32	884	804	643	884	884	884	884	884	321		569	888		
M 24	230,5	308,91	598,20	711,00	1000	1196	36	1165	1117	894	1165	1165	1165	1165	447			1084	1677		
M 27**	343,2	460,90	887,50	1049	14,81	1775	41	1579	1442	1154	1579	1579	1579	1579	577			1353	1910		
M 30	465,8	622,72	1206	1422	2010	2403	46	2067	1816	1453	2067	2067	2067	2067	726			1569	2143		
M 33**	632,5	848,30	1628	1932	2716	3266	50	2512	2145	1716	2512	2512	2512	2512	858			1569	2329		
M 36	814,0	1089	2099	2481	3491	4197	55	3140		2077	3140	3140	3140	3140	1038			1569	2562		
M 39**	1059	1412	2716	3226	4531	5443	60	3849		2471	3849	3849	3849	3849	1235			1569	2795		
M 42	1304	1746	3364	3991	5609	6727	65	4021			4021	4021	4021	4021	4021	1422			2795		
M 45**	1638	2177	4207	4992	7012	8414	70	4658			4658	4658	4658	4658	4658	1618			2795		
M 48	1981	2638	5080	6021	8473	10150	75	5394			5394	5394	5394	5394	5394	1765			2795		
M 52**	2540	3393	6541	7747	10885	13092	80	6178			6178	6178	6178	6178	6178	1912			2795		
M 56	3168	4227	8149	9650	13582	16279	85	6963			6963	6963	6963	6963	6963	2059					
M 60**	3932	5247	10101	11964	16867	20202	90	7845			7845	7845	7845	7845	7845	—					
M 64	4737	6306	12160	14416	20300	24320	95	8336			8336	8336	8336	8336	8336	—					

* O torque foi calculado utilizando as fórmulas e valores referenciais mencionados no Catálogo Gedore GBr 2009.

** Por recomendação da norma DIN, devemos evitar o uso dessas medidas.

12.2 Sistemas de transporte e levantamento de cargas

Na manutenção de máquinas e equipamentos, é comum o içamento de componentes como motores, eixos e conjuntos. A tabela 12.2 apresenta os principais equipamentos de transporte e içamento de cargas (ver também figuras 12.6 e 12.7).

Tabela 12.2
Equipamentos de transporte e içamento.

Equipamento	Capacidade de carga
Macaco mecânico	Até 50 t
Macaco hidráulico	Até 100 t
Cilindro hidráulico	Até 500 t
Talha pneumática	De 0,5 t a 5 t
Talha elétrica	De 1 t a 10 t
Empilhadeira	De 3 t a 15 t
Tirfors	De 1 t a 4 t
Guincho manual	Até 1 t
Guincho pneumático	Até 3 t
Guincho elétrico	Até 2 t
Guincho a diesel	De 10 t a 50 t
Talha de arraste, de corrente e de engrenagem, dos tipos coroa e sem-fim, diferencial e planetária.	Diversas
Sistema de roldanas, simples ou múltiplas, do tipo moitão ou cadernal etc.	Diversas
Guindastes diversos	De 0 a acima de 100 t
Ponte rolante	10 t a 400 t

Figura 12.6
Equipamentos de içamento.

ERIC MILOS/SHUTTERSTOCK



ALEXEY LEDEV/SHUTTERSTOCK



SHIVAS/SHUTTERSTOCK

Figura 12.7
Acessórios para içamento e movimentação de cargas.

12.3 Desmontagem e organização

Quando uma máquina precisa de manutenção, a intervenção do pessoal da manutenção tem início com a desmontagem da máquina, a separação e lavagem dos componentes.

Essa etapa requer alguns cuidados:

- desligar a máquina da rede elétrica;
- remover circuitos elétricos;
- limpeza geral, eliminando resíduos de usinagem;
- drenagem de óleos e fluidos de refrigeração;
- remover carenagens, proteção e acessórios que não estão presos à máquina.

12.3.1 Desmontagem

Em seguida, começa a desmontagem da máquina:

- soltar parafusos, tomando o cuidado de lubrificar aqueles que estão travados;
- remover completamente os parafusos;
- remover os componentes, identificá-los antes de colocar em caixa ou engradado para evitar perdas;
- as caixas de peças devem estar identificadas;
- separar componentes para o processo de lavagem.

12.3.2 Limpeza de componentes

Dependendo do grau de sujeira, os componentes de máquinas podem ser lavados em solução de água e soda cáustica, água e querosene, água e detergente etc. As peças podem ou não ficar de molho para amolecer e soltar a sujeira. Um pincel de cerdas duras deve ser usado para remover resíduos incrustados nas partes internas dos componentes.

A limpeza precisa ser cuidadosa e minuciosa para obter resultado satisfatório de preparação dos componentes para a montagem.

Nessa operação já é possível identificar nos componentes as regiões com desgaste, trincas, fissuras, peças quebradas, avarias, pintura etc.

12.3.3 Cuidados no processo de lavagem

Alguns cuidados devem ser tomados para a proteção da saúde da pessoa que lava peças e para proteger o meio ambiente:

- proteger as mãos com luvas;
- usar óculos de segurança;
- usar máscara para proteger do cheiro do produto de limpeza utilizado;
- usar avental;
- usar calçado adequado;
- manter atenção para evitar quedas das peças ou amassamento das mãos durante o manuseio das peças no processo de lavagem;
- o local de trabalho deve ser mantido limpo, sem respingos para não contaminar o solo.

12.3.4 Equipamentos usados no processo de lavagem

Os componentes de máquinas precisam ser lavados e protegidos para evitar a contaminação do meio ambiente. Existem no mercado cabines de lavagem, máquinas tipo pias e máquinas agitadoras que mantêm as peças submersas em solução de limpeza.

Na manutenção é comum ter uma máquina de lavar peças tipo pia, com um reservatório de solução de limpeza que circula por um filtro e é reutilizada. Nessa máquina, usar querosene filtrado e desodorizado. Não utilizar gasolina, tiner, óleo diesel ou álcool combustível na operação de lavagem.

O álcool deve ser mantido limpo e filtrado e ser substituído periodicamente.

Após a lavagem, as peças devem ser secas com ar comprimido. O ar comprimido deve ser aplicado contra as peças, com cuidado, evitando respingos no aplicador ou em alguém que passe pelas proximidades da área de limpeza. Deve-se manter o ar comprimido somente para limpeza de peças.

As peças precisam ser separadas em lotes, considerando o seguinte critério:

- peças boas que não requerem substituição ou manutenção;
- peças avariadas que precisam ser substituídas;
- peças que requerem manutenção;
- peças que precisam ser analisadas em laboratório para substituição ou recondicionamento.

As peças devem ser encaminhadas para a bancada de montagem ou aguardar o programa de trabalho, armazenadas em local adequado.

Os processos de trabalho, a documentação da máquina e os catálogos de fabricantes de componentes têm de ficar nas proximidades do trabalho, pois serão utilizados na informação necessária à montagem da máquina e compra de componentes que necessitam substituição ou reparos.

A equipe de manutenção de máquinas deve manter a ordem para realizar o trabalho com confiabilidade e qualidade, garantindo a entrega rápida dos equipamentos, evitando perdas excessivas por paradas longas.



Figura 12.8
Manutenção de máquinas.

12.4 Manutenção das guias de deslizamento

Máquinas são sistemas que resultam da aplicação combinada das chamadas máquinas simples, que surgiram ao longo da história: a alavanca, o plano inclinado, o parafuso, a roda e a roldana.

As máquinas possuem eixos de trabalho que se inter-relacionam na operação (figura 12.9).

Figura 12.9

- (a) Eixos de trabalho de uma fresaora;
- (b) Eixos de trabalho de um torno.



ARQUIVO PESSOAL

Esses sistemas mecânicos são formados por diversos componentes que se relacionam por meio de guias de deslizamento, guias de rolamento, engrenagens, polias, eixos, fusos, mancais de deslizamento, mancais de rolamento, correias, cabos, molas etc.

Guias de deslizamento (figura 12.10) e guias de rolamento permitem manter a trajetória de determinados componentes de uma máquina.

As guias de rolamento permitem o deslizamento, por exemplo, sobre rodas, esferas ou roletes, comum em pontes rolantes, portas de máquinas e mancais.

As guias de deslizamento são muito usadas nas máquinas da produção mecânica. Proporcionam a interação entre duas superfícies planas e a redução do esforço na realização do trabalho.

As guias de deslizamento trabalham expostas à sujeira: cavacos de usinagem, pó de esmeril, óxidos metálicos e poeira. A operação de trabalho de ir e vir faz com que esses resíduos formem com o lubrificante uma pasta abrasiva perigosa para a conservação das guias de deslizamento das máquinas de usinagem.

Figura 12.10

Guias de deslizamento ou barramento de máquinas operatrizes.



ARQUIVO PESSOAL

Por esse motivo, as guias de deslizamento devem ser sempre protegidas. Existem sistemas de proteção sanfonados, tipo foles de acordeão, ou metálicos, que avançam com o carro. Outra forma de proteção é a aplicação de tiras de feltro presas na extremidade da parte móvel que desliza sobre a guia.

A recuperação das guias deslizantes envolve a retificação da superfície em pelo menos duas direções de trabalho, até eliminar completamente as protuberâncias. Em seguida, um rasqueteamento cuidadoso deve ser feito para desenhar ranhuras de lubrificação sobre a superfície da guia. É feito com uma ferramenta manual parecida com um formão. A qualidade do polimento determina a exatidão da montagem.

O parafuso de rosca sem-fim transmite movimento ao fuso, que movimenta o carro sobre as guias da máquina. Por causa da solicitação em regime de trabalho, é comum a presença de folgas, trincas e desgaste nas guias. A parte móvel que desliza sobre a guia precisa ter o mínimo de folga.

Assim, o barramento (ou guia deslizante da máquina) deve ser calçado com **régua de ajuste**. Essa régua serve para compensar o desgaste do barramento pelo uso, mantendo firmeza no movimento e garantindo precisão na usinagem.

O desgaste é normal e ocorre mesmo com a manutenção correta da lubrificação.

No caso do torno, a manutenção consiste em remover o austral, retificar o barramento, verificar as engrenagens de velocidade e de avanço do carro, a rosca sem-fim do carro e fusos. Outras providências também são importantes: substituir o óleo lubrificante, checar o sistema de refrigeração, ajustar os carros, alinhar o contraponto e checar a parte elétrica da máquina.

12.4.1 Acoplamento do rabo de andorinha

Esse tipo de acoplamento é bastante comum nas máquinas operatrizes. O ajuste entre as superfícies deve ser feito pelas superfícies horizontais inferiores (figura 12.11).

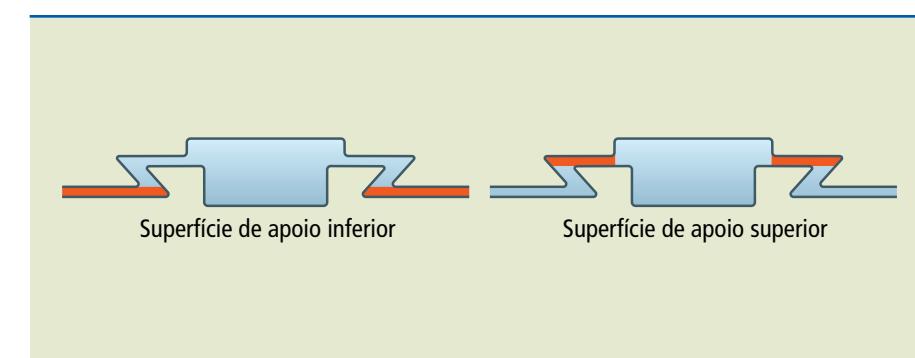


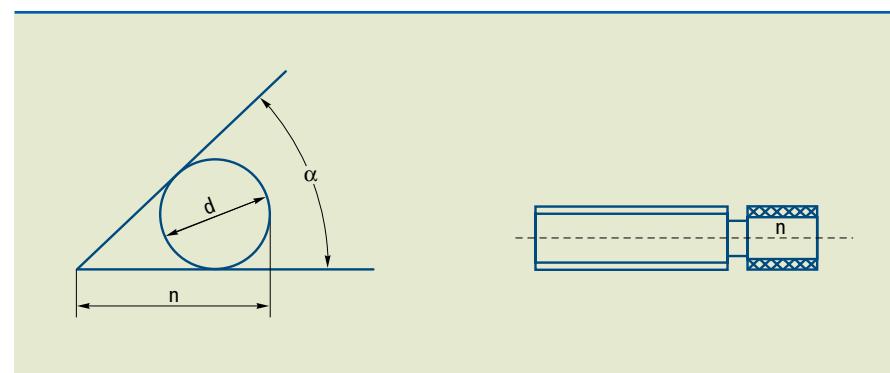
Figura 12.11

Superfícies horizontais de apoio.

São utilizados cilindros de medição que possibilitam medir as distâncias das superfícies do acoplamento. É possível medir ângulos entre 20° e 160°.

Quando um dos lados do ângulo é comum para os dois lados, o diâmetro do pino é dado por: $d = 12,5 - 15,0$ mm (ver figura 12.12).

Figura 12.12
Diâmetro do pino quando um dos lados é comum aos dois lados.

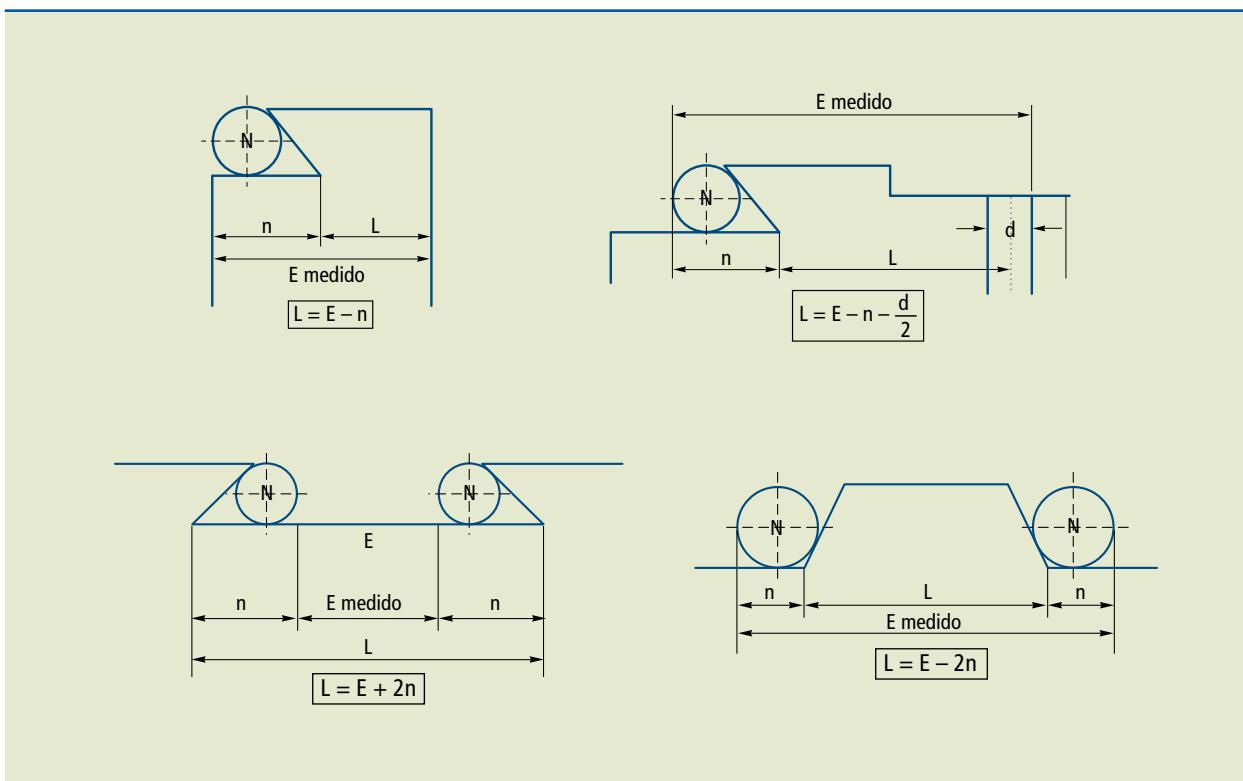


Para cada ângulo α um valor n é dimensionado, conforme a tabela 12.3.

Tabela 12.3

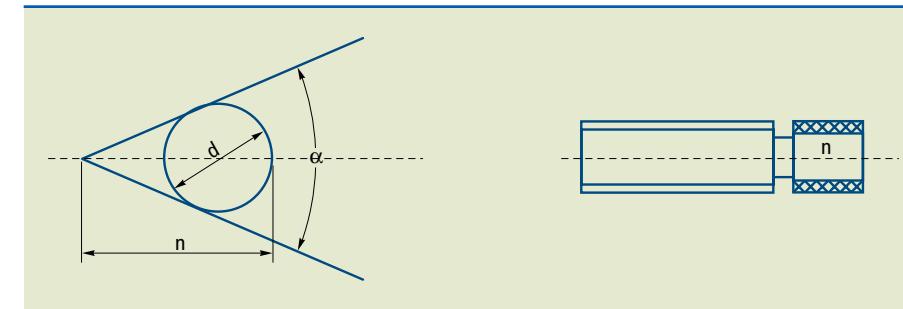
$\alpha [^\circ]$	20	30	40	50	60	70	80	100	110	120	130	140	150	160
n [mm]	46	32	26	22	20	18	16	14	12	10	10	10	10	8

Figura 12.13
Aplicação dos cilindros n .



Quando a linha de centro é a bissetriz do ângulo, o diâmetro do pino utilizado é dado por: $d = 14,6 - 15,0$ mm (figura 12.14).

Figura 12.14
Diâmetro do pino quando a linha de centro é a bissetriz do ângulo.

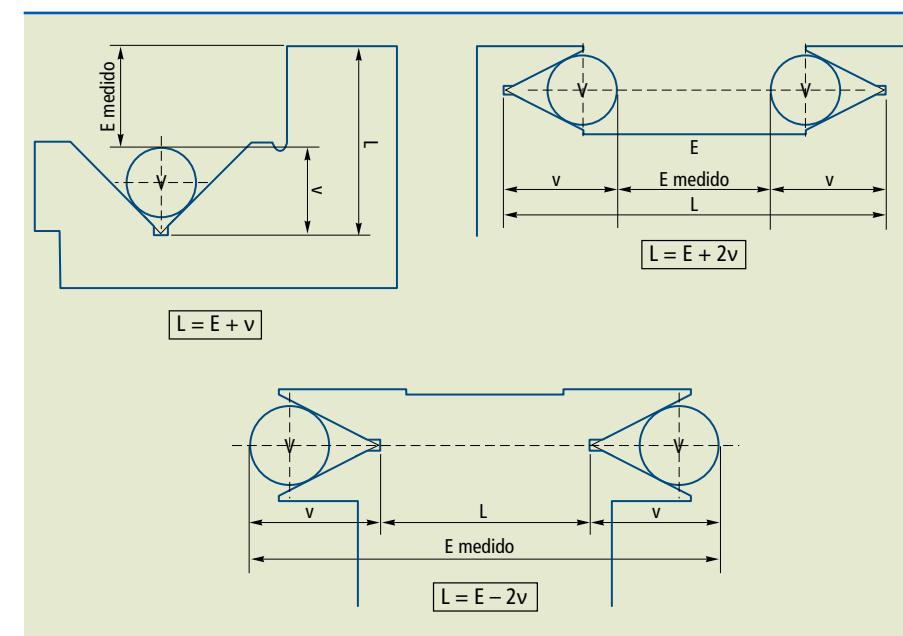


Para cada ângulo α um valor v é dimensionado, conforme a tabela 12.4.

Tabela 12.4

$\alpha [^\circ]$	60	90	120
v [mm]	22	18	16

A aplicação dos cilindros v , de acordo com SCHRÖCK (1979), está esquematizada na figura 12.15.



Nas guias rabo de andorinha é necessário medir, ainda, o paralelismo delas, utilizando ponte de medição e relógio apalpador.

Nas guias em V e nas guias prismáticas, a exatidão é conseguida pelo acomodação da guia pelo uso, pelo tratamento da superfície, pelo aplaçamento, pelo polimento e pela própria montagem. Nas elas são verificadas a planeza da superfície

com nível de bolha, régua de verificação e relógio apalpador. Quando a guia é muito longa, a verificação é feita com mira telescópica.

Nas guias individuais, utiliza-se ponte de medição, nível de bolha e relógio apalpador para verificar paralelismo. Toma-se uma das guias como referência.

12.4.2 Ajustando as máquinas comuns da oficina

Nos tornos, é comum o ajuste do paralelismo entre o eixo árvore e o contraponto. Prende-se a barra de verificação entre pontos e percorre-se com o relógio apalpador preso ao carro transversal. Encontrando o valor desejado, ajusta-se a régua do contraponto.

Nas fresadoras, a verificação do movimento de trabalho é feita apoiando o relógio comparador no eixo de movimento da máquina e aplicando a haste do relógio sobre a superfície funcional que se deseja comparar. Pode-se verificar:

- a perpendicularidade do movimento transversal da mesa em relação ao movimento longitudinal;
- a perpendicularidade do fuso em relação à superfície da mesa.

12.5 Engrenagens

Na montagem das engrenagens é necessário observar a área de contato. Pintar uma engrenagem com azul da prússia e observar a outra. A imperfeição deverá ser revelada. A área de contato tem de ser perfeita: contato central entre os dentes, sem carga e contato cheio, com carga.

Na formação dos jogos de engrenagens, deixar uma folga correta (*backlash*) na montagem para manter a pressão adequada nos dentes, dentro das tolerâncias de fabricação. A tabela 12.5 oferece orientação para a montagem dos pares de engrenagem, considerando o ajuste final.

Tabela 12.5

Módulo	Pitch (DP)	Jogo (backlash)	
		mm	Polegadas
Até 1,27	20 ou mais	0,25 a 0,075	0,001 a 0,003
2,54	10	0,050 a 0,1	0,002 a 0,004
4,23	6	0,1 a 0,15	0,004 a 0,006
6,35	4	0,15 a 0,20	0,006 a 0,008
8,47	3	0,20 a 0,28	0,008 a 0,011
12,70	2	0,30 a 0,40	0,012 a 0,016

A montagem incorreta causa abrasão, corrosão, remoção de pequenos flocos da superfície, sobrecarga, lascamento, ondulações, sulcamento dos dentes, esmagamento, recalcamento e quebra.

Outros efeitos podem aparecer, decorrentes de causas variadas:

- vibração – causada pelo desbalanceamento;
- superaquecimento – causado por excesso de carga, falta de lubrificação, velocidade em excesso etc.;
- ruídos – em consequência de folga, batidas nos dentes, desgaste etc.

A manutenção não deve se descuidar da limpeza e da lubrificação correta das engrenagens.

A figura 12.16 mostra a disposição das distâncias entre eixos para as relações de transmissão em conjunto de engrenagem e parafuso sem-fim (ver tabelas 12.6 e 12.7).

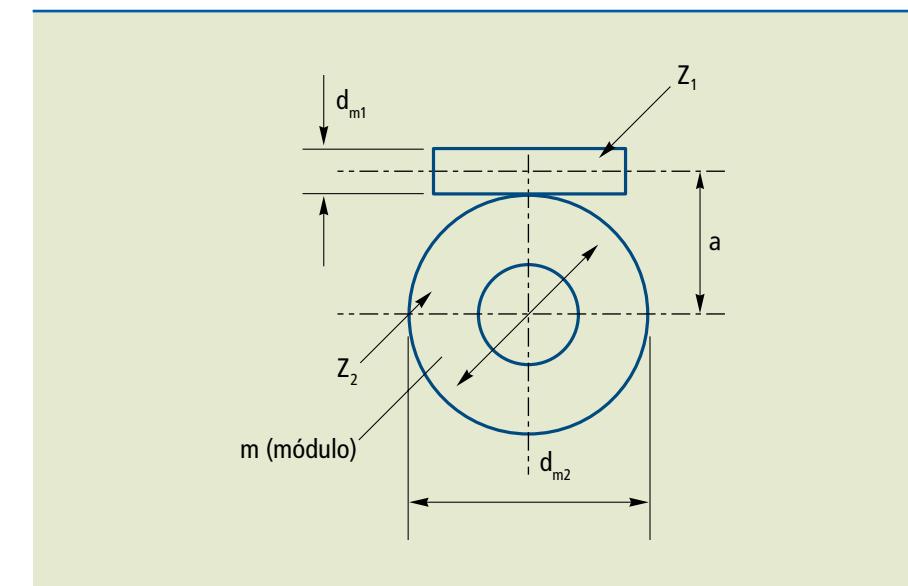


Figura 12.16

Roda helicoidal	Parafuso sem-fim
d_{m2} = diâmetro da circunferência primitiva Z_2 = número de dentes n_2 = número de rotações	d_{m1} = diâmetro da circunferência primitiva Z_1 = número de filetes n_1 = número de rotações
Distância entre eixos	$a = \frac{d_{m1} + d_{m2}}{2}$
Relação de transmissão	$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$

Tabela 12.6

Tabela 12.7

M	d_{m1}	Z_1	Z_2	d_{m2}	Distância entre os eixos	Relação de transmissão
4	40	4	40	160	$\frac{40+160}{2} = 100$	$\frac{4}{40} = \frac{1}{10}$
4	40	2	40	160	100	$\frac{2}{40} = \frac{1}{20}$
4	40	1	40	160	100	$\frac{1}{40}$
2	40	1	80	160	100	$\frac{1}{80}$

Na verificação de engrenagens de parafuso de rosca sem-fim, utilizam-se régua de verificação, calibre prismático e relógio apalpador. A coaxialidade do parafuso (rosca) sem-fim é medida fora da caixa. A montagem segue as tolerâncias de fabricação:

- Tolerâncias de fabricação do parafuso sem-fim:
 - diâmetro primitivo: $d_{m1} = \pm 0,08 \text{ mm}$;
 - ângulo dos flancos $= \pm 5^\circ$;
 - cilindro dos flancos, centragem $= \pm 0,05 \text{ mm}$.
- Tolerâncias de fabricação da roda helicoidal:
 - diâmetro da circunferência primitiva: $d_{m2} = \pm 0,08 \text{ mm}$;
 - centragem do cilindro divisor em relação ao furo da roda $= \pm 0,06 \text{ mm}$;
 - inclinação, em 100 mm.
 - $= \pm 0,08 \text{ mm}$

12.6 Rolamentos

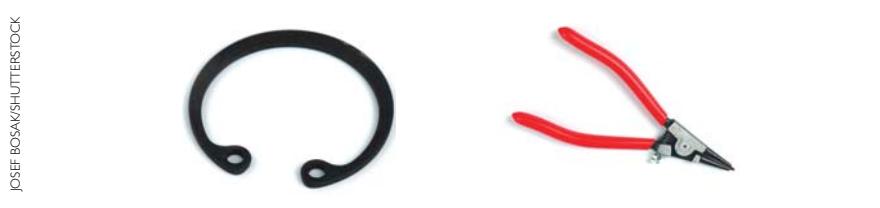
A montagem do rolamento de esferas deve ser feita com a aplicação da força no anel que se deseja fixar. Primeiro, o rolamento tem de ser preso ao eixo e, depois, o conjunto precisa ser levado à caixa e ajustado.

Na fixação são aplicados golpes de martelo, utilizando uma espiga metálica ou um tubo de metal.

O rolamento deve ser colocado no eixo até o anel interno do rolamento apoiar-se no encosto. Em seguida, colocar o anel de trava para dar segurança (DIN 471), utilizando um alicate especia.

Figura 12.17

- a) Anel de trava de rolamento;
b) alicate para colocar anel de trava.



Deve-se tomar cuidado para não sujar o rolamento. Aplica-se graxa para evitar a oxidação. Também se deve atentar para que não fique rebarba, por causa do esforço utilizado na colocação.

As espigas e tubos usados na fixação não devem conter rebarbas e superfícies irregulares, para não prejudicar a superfície do rolamento.

12.7 Polias

As correias são sistemas de transmissão muito utilizados nas máquinas. É comum encontrar correias no acionamento da rotação dos motores das máquinas. Como trabalham com precisão e velocidade, é necessário que as polias e correias transmissoras tenham funcionamento tranquilo.

As correias exigem polias alinhadas e ajustadas na forma e posição (SCHRÖCK, 1979):

- exatidão nas medidas do furo;
- exatidão na superfície de encosto;
- exatidão nas superfícies de ajustes;
- exatidão na superfície das vias de rolamento;
- coincidência nos eixos de rotação e de gravidade.

No conjunto de polias da máquina e do motor devem ser verificados:

- centragem e paralelismo entre a superfície de contato com a correia e o furo;
- esquadro entre a superfície de encosto do cubo e a superfície do furo;
- centragem e paralelismo entre as superfícies de ajuste do escatel e as superfícies do furo.

12.7.1 Verificação de desequilíbrio

O equilíbrio em peças rotativas (rodas, polias, discos etc.) é conseguido quando o eixo de simetria e o de rotação coincidem. A massa da peça tem de estar distribuída sobre a totalidade de sua periferia. No caso da polia, o centro de massa coincide com seu eixo de rotação.

Na fabricação das polias não é possível eliminar as irregularidades de distribuição de massa. Precisam ser compensadas com a colocação de pesos.

As perturbações no equilíbrio podem ser:

- **estáticas** – presentes em peças em formato de discos de pouca espessura. A compensação é feita mediante a colocação de contrapesos, com a peça instalada no eixo e posicionada em um cavalete;
- **dinâmicas** – ocorrem em eixos nos quais o desequilíbrio é representado com um par de forças (binário) aplicadas ao longo do eixo. A verificação é feita em uma máquina que coloca a peça em rotação até a velocidade de serviço, e calcula o valor e o local do contrapeso a ser instalado.

12.7.2 Montagem de polias

Na montagem da polia no eixo, devem ser levadas em consideração: a centragem das superfícies de ajustes circulares; a centragem de superfícies de ajustes planos; apoio correto das superfícies de encosto e de tensão (SCHRÖCK, 1979).

A montagem tem de ser cuidadosa e ensaiada. Faz-se o posicionamento, ensaiam-se o acoplamento e o ajuste para perceber se não há falhas. Então, procede-se ao posicionamento final apoiando os componentes em seu encosto de forma definitiva.

Colocado em posição, deve ser observado o alinhamento do conjunto. O mesmo tem de ocorrer após o aperto: verificar se não tirou as peças de lugar.

Após a montagem, devem ser verificados defeitos de posição nas peças (peças colocadas fora de posição) e defeitos de montagem, problemas de inclinação, aparafusamento e aperto.

12.8 Mantendo tudo em ordem

Após a manutenção, a máquina deve ser religada e testada. É aconselhável usar uma peça para análise da qualidade. Deve-se, então, desocupar o espaço, organizar as ferramentas e limpar o setor.

O processo de manutenção se encerra com a aprovação do serviço pelo cliente.

Desenhos, catálogos e documentos de cada manutenção devem ser organizados no arquivos correspondentes a cada máquina. Esses documentos constituem o histórico da máquina e serão úteis nas futuras intervenções da manutenção, na contabilidade do custo do equipamento e do departamento onde ele se encontra, e também no momento de decidir a substituição, venda ou sucateamento da máquina.

Manter esse histórico agiliza o trabalho da equipe de manutenção e o torna eficiente, exigindo menos tempo de parada de máquina para a manutenção.

A eficiência da manutenção garante maior vida útil às máquinas e equipamentos, o que se traduz em aumento da produtividade e lucro para a empresa.

Os cuidados na conservação e manutenção dos equipamentos são também uma importante atividade do técnico mecânico, enquanto participante da equipe de manutenção ou da produção das organizações industriais contemporâneas.

Referências bibliográficas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISO 8402.

AGOSTINHO, Oswaldo L. *Sistemas de manufatura. Apostila do curso de pós-graduação de Engenharia Mecânica*. Campinas: Unicamp, 1997. v. 1.

_____. *Sistemas integrados de manufatura. Apostila do curso de pós-graduação de Engenharia Mecânica*. Campinas: Unicamp, 2000.

ALBUQUERQUE, Olavo A. L. Pires. *Lubrificação*. Rio de Janeiro: McGraw-Hill, 1973.

AZEVEDO, Joyce B.; CARVALHO, Laura H.; FONSECA, Viviane M. *Propriedades reológicas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos com degradação em motor automotivo*. Trabalho Técnico Científico apresentado no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, 2 a 5 de outubro de 2005. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0223_05.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2009.

BACK, Nelson. *Metodologia de projeto de produtos industriais*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BEZERRA, Roberto de Araújo. *Detecção de falhas em rolamentos por análise de vibração*. Campinas: Unicamp, 2004. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/>>. Acesso em: 1º dez. 2009.

BRANCO FILHO, Gil. *Indicadores e índices de manutenção*. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

BRASSARD, Michael. *Qualidade: ferramentas para uma melhoria contínua*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2000.

CALLISTER Jr., William D. *Ciência e engenharia de materiais – Uma introdução*. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC.

CHIAVERINI, V. *Tecnologia mecânica: estrutura e propriedades das ligas metálicas*. 2ª ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1986, v. 1.

_____. *Tecnologia mecânica: materiais de construção mecânica*. 2ª ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1986, v. 3.

COLPAERT, Humbertus. *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blücher.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. *Fundamentos da administração da produção*. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DRAPINSKI, Janusz. *Manual de manutenção mecânica básica*. São Paulo: McGraw-Hill, 1973.

- FERNANDES, Paulo S. Thiago. *Montagens industriais – Planejamento, execução e controle*. 2^a ed. São Paulo: Artliber, 2005.
- FERRARESI, Dino. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
- FISCHER, Ulrich et al. *Manual de tecnologia metal mecânica*. São Paulo: Edgard Blücher, 2008.
- FUNDACENTRO. *Ferramentas manuais. Material informativo*. Disponível em: <<http://sstmpe.fundacento.gov.br>>. Acesso em: 21 dez. 2009.
- GAITHER, Normam; FRAZIER, Greg. *Administração da produção e operações*. 8^a ed. São Paulo: Pioneira/Thomson Learning, 2001.
- HIRSCHFELD, H. *Planejamento com Pert-CPM*. 7^a ed. São Paulo: Atlas, 1982.
- KHATER, Evaldo. *Medição de vibração torcional em laminadores siderúrgicos*. São João del Rei: Departamento de Engenharia Mecânica, Funrei.
- LAS CASAS, Alexandre. *Marketing – Conceitos, exercícios, casos*. 3^a ed. São Paulo: Atlas, 1993.
- LIMA, Prof. Dr. Paulo Correia. *Apontamentos de aula de pós-graduação – Tópicos em Engenharia de Produção*. Faculdade de Engenharia Mecânica. Campinas: Unicamp, 12 abr. 2001.
- LOBOS, Júlio. *Qualidade através das pessoas*. São Paulo: Instituto de Qualidade, 1991.
- MANO, Cristiane. “O executivo mais verde do mundo”. *Revista Exame*, São Paulo, 23 mar. 2008. p. 23-31.
- MANUAL SHELL. *Lubrificação industrial*. [S.i.: s.n.; ca. 1980].
- MANZINI, Ézio; VEZZOLI, Carlo. *O desenvolvimento de produtos sustentáveis – Os requisitos dos produtos industriais*. São Paulo: Edusp, 2008.
- MARQUES, Fábio. *Guia prático da qualidade em serviços*. São Paulo: APMS Books, 2000.
- MARTINO, Jarryer Andrade de. *A importância do croqui diante das novas tecnologias no processo criativo*. Bauru, 2007. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Unesp.
- MARTINS, Eliseu. *Contabilidade de custos*. 4^a ed. São Paulo: Atlas, 1992.
- MAXIMIANO, Antonio C. A. *Teoria geral da administração*. Ed. Compacta. São Paulo: Atlas, 2007.
- MEI, Paulo Roberto; COSTA E SILVA, André Luiz. *Aços e ligas especiais*. São Paulo: Edgar Blücher, 2010.
- MORAES, Paulo Henrique de Almeida. *Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística*. Taubaté: Unitau, 2004.
- MOREIRA, A. Daniel. *Administração da produção e operações*. São Paulo: Pionneira/Thomson Learning, 2004.
- MOURA, Reinaldo A.; UMEDA, Akio. *Sistema kanban de manufatura “just in time” – Uma introdução às técnicas de manufaturas japonesas*. São Paulo: Imam, 1984.
- NASCIMENTO, Aurélio E.; BARBOSA, José P. *Trabalho – História e tendências*. 3^a ed. São Paulo: Ática, 2001.
- OZAKI, Yaeko. *Técnicas de coleta de informações. Apostila do curso*. Itu: CEUNSP, 1999.
- PAHL, Gerhard; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. et al. *Projeto na engenharia. Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações*. 6^a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PETER, J. P.; CERTO, S. C. *Administração estratégica – Planejamento e implementação da estratégia*. São Paulo: Makron Books, 1993.
- RAGO, Luzia M.; MOREIRA, Eduardo F. P. *O que é taylorismo*. 7^a ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.
- RIBEIRO, Osni M. *Contabilidade de custos fácil*. 6^a ed. São Paulo: Saraiva, 1999.
- ROUSSO, José. *Manual de lubrificação industrial*. Rio de Janeiro: Manuais CNI, 1980.
- SANTOS, Valdir A. *Manual prático da manutenção industrial*. 2^a ed. São Paulo: Ícone, 2007.
- SCHRÖCK, Joseph. *Montagem, ajuste, verificação de peças de máquinas*. Rio de Janeiro: Reverté, 1979.
- SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. *Projeto de engenharia mecânica*. 7^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- SHIGLEY, Joseph Edward. *Dinâmica das máquinas*. São Paulo: Edgard Blücher, 1969.
- SINK, D. S.; TUTTLE, T. C. *Planejamento e medição para a performance*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1993.
- SLACK, N. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 2000.

SMITH, William F. *Princípios de ciência e engenharia dos materiais*. 3^a ed. São Paulo: McGraw-Hill.

SOUZA, Sérgio Augusto de. *Metálicos: Fundamentos teóricos e práticos*. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

SOZO, Valdeon; FORCELLINI, Fernando A.; OGLIARI, André. *O processo de tomada de decisões na fase de projeto conceitual de produtos: uma abordagem axiomática*. In: Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produtos IV, 6 a 8 outubro de 2003, Gramado (RS). Disponível em: <www.portaldeconhecimentos.org.br>. Acesso em: 22 out. 2009.

STOETERAU, Rodrigo Lima. *Tribologia – EMC 5315*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<http://www.lmp.ufsc.br/>>. Acesso em: 5 dez. 2009.

STONER, James A. F.; FREEMAN, R. E. *Administração*. 5^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

SUH, Nam P. *Principles of design*. Nova York: Oxford University Press, 1990.

VIEIRA, Newton L. *Pert-CPM*. Manuais CNI n. 24. Rio de Janeiro: Apex.

VITTORINO, Marco Antonio. *Manual de manutenção Cargill*. Disponível em: <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/Apostila.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2009.

XAVIER, Carlos M. da Silva. *Gerenciamento de projetos*. São Paulo: Saraiva, 2005.

XENOS, Harilaus Georgius d'Philippos. *Gerenciando a manutenção produtiva*. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

SITES

www.abal.org.br/aluminio

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT/CB-04. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/CB04/normas_gestao.asp>. Acesso em: 2 nov. 2009.

www.somametais.com.br/Ligas.htm

CENTRO PAULA SOUZA DO GOVERNO DE SÃO PAULO





Excelência no ensino profissional

Administrador da maior rede estadual de educação profissional do país, o Centro Paula Souza tem papel de destaque entre as estratégias do Governo de São Paulo para promover o desenvolvimento econômico e a inclusão social no Estado, na medida em que capta as demandas das diferentes regiões paulistas. Suas Escolas Técnicas (Etecs) e Faculdades de Tecnologia (Fatecs) formam profissionais capacitados para atuar na gestão ou na linha de frente de operações nos diversos segmentos da economia.

Um indicador dessa competência é o índice de inserção dos profissionais no mercado de trabalho. Oito entre dez alunos formados pelas Etecs e Fatecs estão empregados um ano após concluírem o curso. Além da excelência, a instituição mantém o compromisso permanente de democratizar a educação gratuita e de qualidade. O Sistema de Pontuação Acrevenida beneficia candidatos afrodescendentes e oriundos da Rede Pública. Mais de 70% dos aprovados nos processos seletivos das Etecs e Fatecs vêm do ensino público.

O Centro Paula Souza atua também na qualificação e requalificação de trabalhadores, por meio do Programa de Formação Inicial e Educação Continuada. E ainda oferece o Programa de Mestrado em Tecnologia, recomendado pela Capes e reconhecido pelo MEC, que tem como área de concentração a inovação tecnológica e o desenvolvimento sustentável.