

SUMÁRIO

Apresentação do IBP	xiii
Apresentação da ABENDI	xv
Apresentação da ABRACO	xvii
Prefácio	xix
1 Introdução	1
1.1 Exercícios	3
2 Obtenção dos Metais.....	5
2.1 Minérios	5
2.1.1 Tipos de minérios	6
2.1.2 Beneficiamento dos minérios	11
2.2 Processos primários de obtenção dos metais	14
2.2.1 Redução primária do ferro	14
2.2.2 Redução primária do alumínio	19
2.2.3 Redução primária do cobre	21
2.2.4 Redução primária do zinco	24
2.2.5 Redução primária do estanho	26
2.2.6 Considerações sobre a obtenção de metais de uso mais restrito...	27
2.2.7 Principais impurezas resultantes do processo primário de redução	30
2.2.8 Natureza da escória e seu aproveitamento	30
2.3 Processos de refino	31
2.3.1 Processo de refino dos materiais ferrosos	31
2.3.2 Processo de refino do alumínio	34
2.3.3 Processo de refino do cobre	34
2.3.4 Processo de refino do zinco	34
2.3.5 Processo de refino do estanho	35

2.4	Influência das impurezas no comportamento dos materiais metálicos....	36
2.5	Visão geral das plantas metalúrgicas	37
2.6	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	38
2.7	Resumo e conclusão	38
2.7.1	Resumo	38
2.7.2	Conclusão	39
2.8	Exercícios	39
3	Estrutura dos Metais	43
3.1	Estrutura atômica e ligação interatômica	43
3.2	Estrutura cristalina dos metais	50
3.3	Imperfeições e defeitos da rede cristalina	52
3.4	Importância dos defeitos da rede cristalina nos materiais metálicos	56
3.5	Difusão no estado sólido	58
3.6	Avaliação da microestrutura	59
3.7	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	60
3.8	Resumo e conclusão	60
3.8.1	Resumo	60
3.8.2	Conclusão	61
3.9	Exercícios	61
4	Os Metais Puros e a Formação de Ligas Metálicas	63
4.1	Metais puros	63
4.2	Ligas metálicas	64
4.3	Diagramas de fases em equilíbrio	65
4.3.1	Diagramas isomorfos	65
4.3.2	Diagramas com várias fases – eutético – eutetoide – peritético ...	67
4.3.3	Diagramas de fases Fe-C	70
4.3.4	Diagrama com intermetálico	73
4.3.5	Influência de elementos de liga nas ligas ferrosas e no diagrama Fe-C (Cr, Ni, Mn, Si, Mo, Ti, V)	74
4.3.6	Influência das transformações de fase nos tratamentos térmicos	78
4.4	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	78
4.5	Resumo e conclusão	78
4.5.1	Resumo	78
4.5.2	Conclusão	78
4.6	Exercícios	79

5	Processos de Beneficiamento de Materiais Metálicos e de Utilização de Metais e Ligas na Fabricação de Componentes e na Montagem Industrial – Influência nas Propriedades	81
5.1	Beneficiamento	83
5.1.1	Laminação	83
5.1.2	Revestimentos	84
5.2	Fabricação	85
5.2.1	Fundição	85
5.2.2	Forjamento	86
5.2.3	Metalurgia do pó	86
5.2.4	Soldagem	87
5.2.5	Trefilagem	104
5.2.6	Extrusão	104
5.2.7	Estampagem	104
5.2.8	Embutimento	105
5.2.9	Ligação aparafusada e rebitada	105
5.3	Avaliação da qualidade dos produtos no beneficiamento, fabricação de componentes metálicos e montagem industrial	105
5.3.1	Ensaio visual	106
5.3.2	Líquido penetrante	107
5.3.3	Partículas magnéticas	108
5.3.4	Ultrassom	108
5.3.5	Radiografia, radioscopia e gamagrafia	109
5.3.6	Correntes parasitas	110
5.3.7	Análise de vibrações	111
5.3.8	Termografia	111
5.3.9	Emissão acústica	112
5.3.10	Estanqueidade	113
5.4	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	114
5.5	Resumo e conclusão	114
5.5.1	Resumo	114
5.5.2	Conclusão	118
5.6	Exercícios	118
6	Tratamentos Térmicos – Mecânicos – Termoquímicos – Influência nas Propriedades	121
6.1	Tratamentos térmicos	121
6.1.1	Recozimento pleno	122

6.1.2	Recozimento subcrítico (intermediário) ou alívio de tensões	125
6.1.3	Têmpera	127
6.1.4	Revenido ou revenimento	129
6.1.5	Tratamento por precipitação	131
6.2	Tratamentos mecânicos	133
6.3	Tratamentos termoquímicos	133
6.4	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	134
6.5	Resumo e conclusão	134
6.5.1	Resumo	134
6.5.2	Conclusão	136
6.6	Exercícios	136
7	Características e Propriedades dos Materiais Metálicos.....	137
7.1	Características	138
7.1.1	Opacidade e cor	138
7.1.2	Brilho	138
7.1.3	Massa específica	138
7.1.4	Estado físico e temperatura de fusão	138
7.1.5	Valência e potenciais eletroquímicos	139
7.2	Propriedades	139
7.2.1	Propriedades mecânicas	139
7.2.2	Propriedades elétricas	146
7.2.3	Propriedades térmicas	146
7.2.4	Resistência à corrosão	147
7.2.5	Resistência à fadiga	148
7.2.6	Resistência à fluência	149
7.2.7	Soldabilidade	150
7.2.8	Resumo das características e propriedades	150
7.3	Influências nas propriedades	150
7.3.1	Influência das impurezas durante o processo de obtenção dos metais	150
7.3.2	Influência da estrutura cristalina	152
7.3.3	Influência da transformação de fases	153
7.3.4	Influência dos elementos nas ligas	153
7.3.5	Influência do processo de beneficiamento ou fabricação	154
7.3.6	Influência dos tratamentos	154
7.3.7	Influência do tamanho de grão	155
7.4	Análise da correlação entre propriedades	155

7.5	Ensaio para determinação de propriedades	159
7.5.1	Ensaio de tração	159
7.5.2	Ensaio de compressão	160
7.5.3	Ensaio de dureza	160
7.5.4	Ensaio de endurecibilidade	162
7.5.5	Ensaio de tenacidade	163
7.5.6	Ensaio de fadiga	164
7.5.7	Ensaio de fluência	165
7.6	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	165
7.7	Resumo e conclusão	165
7.7.1	Resumo	165
7.7.2	Conclusão	166
7.8	Exercícios	166
8	Principais Metais e Ligas Metálicas	169
8.1	Aços-carbono	169
8.1.1	Aços com baixo teor de carbono	171
8.1.2	Aços com médio teor de carbono	171
8.1.3	Aços com alto teor de carbono	172
8.2	Aços-ligas	172
8.3	Aços inoxidáveis	173
8.4	Ferros fundidos	175
8.5	Cobres e suas ligas	176
8.6	Alumínio e suas ligas	178
8.7	Zinco e suas ligas	179
8.8	Níquel e suas ligas	179
8.9	Chumbo e suas ligas	180
8.10	Titânio e suas ligas	180
8.11	Magnésio e suas ligas	182
8.12	Outros metais	183
8.13	Critérios de especificação de materiais metálicos	183
8.14	Critérios de seleção de materiais metálicos	183
8.14.1	Vasos de pressão e esferas	184
8.14.2	Tanques metálicos de armazenamento	184
8.14.3	Dutos	185
8.14.4	Tubulações industriais	186
8.14.5	Permutadores de calor	186
8.14.6	Estruturas metálicas	187

8.14.7	Equipamentos de atracação de navios e embarcações e plataformas fixas de produção de petróleo	187
8.14.8	Equipamentos de transporte	188
8.14.9	Máquinas de fluxo	188
8.14.10	Equipamentos que trabalham a quente (fornos, caldeiras, turbinas e reatores)	189
8.14.11	Instalações elétricas	190
8.14.12	Instalações de transporte e tratamento de resíduos líquidos e sólidos	190
8.15	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	190
8.16	Resumo e conclusão	191
8.16.1	Resumo	191
8.16.2	Conclusão	196
8.17	Exercícios	196
9	Integridade dos Materiais Metálicos – Causas de Perda de Integridade	199
9.1	Perda de integridade por processos corrosivos	199
9.1.1	Corrosão eletroquímica	200
9.1.2	Princípios básicos da corrosão química	227
9.1.3	Técnicas de ampliação da resistência à corrosão ou de proteção anticorrosiva	232
9.2	Perda de integridade por processos mecânicos associados ou não a processos corrosivos	236
9.2.1	Fluência	236
9.2.2	Erosão – corrosão	236
9.2.3	Cavitação – corrosão	237
9.2.4	Fratura mecânica – dúctil e frágil – temperatura de transição – mecânica da fratura	237
9.2.5	Corrosão sob tensão	238
9.2.6	Fissuração induzida pela pressão de hidrogênio	241
9.2.7	Fragilização por metal líquido	242
9.2.8	Fadiga – corrosão	242
9.2.9	Carbonetação e descarbonetação	244
9.3	Avaliação de integridade	244
9.4	Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	244
9.5	Resumo e conclusão	244
9.5.1	Resumo	244
9.5.2	Conclusão	246
9.6	Exercícios	246

10	Aspectos Complementares.....	249
	10.1 Substituição dos materiais metálicos	250
	10.1.1 Critérios de substituição	250
	10.1.2 Materiais não metálicos	250
	10.2 Impactos ambientais e sustentabilidade da metalurgia	254
	10.3 Aspectos econômicos	254
	10.4 Aspectos relevantes no futuro	254
	10.5 Leitura adicional recomendada e referências bibliográficas	256
	10.6 Resumo e conclusão	256
	10.6.1 Resumo	256
	10.6.2 Conclusão	257
	10.7 Exercícios	257
11	Apêndices.....	259
	Apêndice I – Conceituações Importantes em Metalurgia.....	259
	I.1 Conceituações de termos usados na metalurgia e na caracterização dos materiais metálicos	259
	I.2 Revisão de conceitos básicos de química aplicáveis à metalurgia e aos materiais metálicos	286
	I.2.1 Elementos químicos	287
	I.2.2 Oxidação e redução	287
	I.2.3 Substâncias	288
	I.2.4 Ácidos	288
	I.2.5 Bases ou hidróxidos – alcalinidade	288
	I.2.6 Sais	289
	I.2.7 Óxidos	290
	I.2.8 As substâncias químicas na natureza	290
	I.2.9 Reações químicas e cálculo estequiométrico	291
	I.2.10 Equivalente grama e concentração de soluções	292
	I.2.11 Eletrólise	293
	I.2.12 Equilíbrio químico	294
	I.2.13 Hidrólise de sais	295
	I.2.14 Leitura adicional recomendável	295
	Apêndice II – Características e Propriedades dos Materiais Metálicos Ferrosos e não Ferrosos – Classificação e Tabelas	295
	II.1 Características dos metais puros de uso mais frequente	297

II.2 Propriedades dos materiais ferrosos	298
II.3 Propriedades dos materiais não ferrosos	310
Apêndice III – Normalização Técnica	317
III.1 Objetivo das normas técnicas em metalurgia e materiais metálicos ...	317
III.2 Filosofia da normalização	318
III.3 Elaboração de uma norma técnica	318
III.4 Classificação das normas técnicas	319
III.4.1 Quanto ao uso	319
III.4.2 Quanto ao tipo	319
III.4.3 Quanto à entidade normalizadora	319
III.5 Uso das normas	338
Apêndice IV – Unidades do Sistema Internacional de Medidas e Conversão de Unidades para o Sistema Inglês	340
IV.1 Unidades da grandeza comprimento	341
IV.2 Unidades da grandeza área	341
IV.3 Unidades da grandeza volume	342
IV.4 Unidades da grandeza massa	342
IV.5 Unidades da grandeza de pressão/tensão	342
IV.6 Unidades da grandeza de energia	343
IV.7 Unidades da grandeza de vazão	343
Referências Bibliográficas	344
Índice Remissivo	347