

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	XIII
PREFÁCIO DA 2ª EDIÇÃO	XV
PRÉFÁCIO DA 1ª EDIÇÃO	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
2 PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CORROSÃO ELETROQUÍMICA	5
2.1 Potenciais Eletroquímicos	5
2.2 Pilhas ou Células de Corrosão	17
2.3 Meios Corrosivos	24
2.4 Reações no Processo Corrosivo – Produtos de Corrosão	25
2.5 Polarização – Passivação – Velocidade de Corrosão	28
2.5.1 Polarização	28
2.5.2 Passivação	31
2.5.3 Curvas de polarização e passivação	33
2.5.4 Velocidade de corrosão	39
2.5.5 Influência dos principais parâmetros do meio corrosivo na velocidade de corrosão	41
2.6 Diagramas de Pourbaix	44
2.7 Formas e Taxas de Corrosão	49
2.8 Resumo	52
2.9 Leitura Adicional Recomendada	53
3 TIPOS DE CORROSÃO ELETROQUÍMICA	55
3.1 Corrosão Associada à Forma de Desgaste	55
3.1.1 Corrosão uniforme	55
3.1.2 Corrosão localizada alveolar e por pites	56
3.2 Corrosão por Concentração Diferencial	58

3.2.1	Corrosão por concentração iônica diferencial	58
3.2.2	Corrosão por aeração diferencial	58
3.2.3	Corrosão em frestas	59
3.2.4	Corrosão filiforme	60
3.3	Corrosão Galvânica	60
3.4	Corrosão Seletiva	61
3.4.1	Corrosão grafítica	61
3.4.2	Corrosão por dezincificação	62
3.5	Corrosão Associada ao Escoamento de Fluidos	62
3.5.1	Corrosão-erosão	62
3.5.2	Corrosão com cavitação	63
3.5.3	Corrosão por turbulência	63
3.6	Corrosão Intergranular	64
3.6.1	Corrosão intergranular nos aços inoxidáveis	64
3.6.2	Corrosão intergranular de ligas de alumínio	66
3.7	Fissuração por Corrosão	67
3.7.1	Corrosão sob tensão	67
3.7.2	Fissuração induzida pela pressão de hidrogênio	70
3.7.3	Fragilização por metal líquido	72
3.7.4	Corrosão-Fadiga	72
3.8	Resumo	74
3.9	Leitura Adicional Recomendada	78
4	CORROSÃO ELETROQUÍMICA EM ALGUNS MEIOS E SOB CERTAS CONDIÇÕES DE CORROSIVIDADE	79
4.1	Corrosão Atmosférica	79
4.2	Corrosão pelos Solos	82
4.2.1	Fatores que determinam a corrosividade dos solos	82
4.2.2	Avaliação da corrosividade	84
4.2.3	Classificação dos solos quanto à corrosividade	85
4.3	Corrosão pela Água e pelo Vapor	86
4.3.1	Fatores que determinam a corrosividade das águas	86
4.3.2	Classificação das águas quanto à corrosividade	88
4.4	Corrosão por Bactéria ou Bacteriana	88
4.5	Corrosão Eletrolítica	89
4.6	Corrosão em Concreto	90
4.7	Corrosão por Composto de Enxofre	91

4.7.1	Corrosão por condensado ácido	91
4.7.2	Corrosão por compostos de enxofre em unidades de processo	92
4.8	Corrosão pelo Álcool	92
4.9	Resumo	93
4.10	Leitura Adicional Recomendada	95
5	PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CORROSÃO QUÍMICA	97
5.1	Característica da Difusão no Estado Sólido	97
5.2	Velocidade de Crescimento das Películas	98
5.3	Características das Películas Protetoras	100
5.4	Meios Corrosivos	102
5.5	Casos Especiais de Corrosão em Altas Temperaturas	103
5.5.1	Corrosão catastrófica	103
5.5.2	Corrosão por metais líquidos	103
5.5.3	Carbonetação e descarbonetação	104
5.6	Resumo	104
5.7	Leitura Adicional Recomendada	104
6	TÉCNICAS DE AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO OU DE PROTEÇÃO ANTICORROSIVA	105
6.1	Princípios Básicos da Resistência à Corrosão e da Proteção Anticorrosiva	105
6.1.1	Princípios básicos de controle da corrosão eletroquímica	106
6.1.2	Princípios básicos de controle da corrosão em altas temperaturas	106
6.2	Resistência à Corrosão Eletroquímica	107
6.2.1	Resistência própria do material à corrosão	107
6.2.2	Métodos que ampliam a resistência à corrosão	107
6.3	Resistência à Corrosão Química ou Oxidação a Altas Temperaturas. .	110
6.3.1	Metais e ligas metálicas – influência de elementos de liga.	111
6.3.2	Emprego de revestimentos refratários e isolantes	112
6.4	Resumo da Ampliação da Resistência à Corrosão	113
6.5	Principais Meios de Proteção Associados aos Processos Corrosivos . .	114
6.5.1	Proteção à corrosão uniforme	115
6.5.2	Proteção contra a corrosão alveolar e por pites	115
6.5.3	Proteção contra a corrosão por concentração diferencial	115
6.5.4	Proteção contra a corrosão galvânica	116
6.5.5	Proteção contra a corrosão seletiva	116

6.5.6	Proteção contra a corrosão associada ao escoamento de fluidos . . .	117
6.5.7	Proteção contra a corrosão intergranular	118
6.5.8	Proteção contra a fissuração por corrosão	119
6.5.9	Proteção contra a corrosão atmosférica	121
6.5.10	Proteção contra a corrosão pelos solos	121
6.5.11	Proteção contra a corrosão pela água	121
6.5.12	Proteção contra a corrosão por bactérias ou bacteriana	122
6.5.13	Proteção contra a corrosão eletrolítica	122
6.5.14	Proteção contra a corrosão em concretos	123
6.5.15	Proteção contra a corrosão por compostos de enxofre	123
6.5.16	Proteção contra corrosão pelo álcool hidratado	124
6.5.17	Proteção à corrosão química ou oxidação em altas temperaturas .	124
6.5.18	Quadro resumo	124
6.6	Resumo	131
6.7	Leitura Adicional Recomendada	131
7	RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE ALGUNS MATERIAIS METÁLICOS	133
7.1	Resistência à Corrosão de Alguns Materiais Ferrosos	133
7.2	Materiais não Ferrosos	136
7.3	Tratamentos Térmicos	138
7.4	Resumo da Resistência à Corrosão de Materiais	139
7.5	Leitura Adicional Recomendada	141
8	AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO PELO CONTROLE DA CORROSIVIDADE DO MEIO	143
8.1	Controle de Corrosão por Inibidores	143
8.2	Controle de Corrosão por Modificação do Meio	146
8.2.1	Desaeração	146
8.2.2	Controle de pH.	147
8.2.3	Controle de temperatura e velocidade	147
8.2.4	Controle de umidade relativa	147
8.3	Resumo	147
8.4	Leitura Adicional Recomendada	149
9	AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO COM O USO DE REVESTIMENTOS PROTETORES	151
9.1	Mecanismos de Proteção.	152
9.2	Revestimentos Metálicos	153
9.2.1	Cladização	153

9.2.2	Deposição por imersão a quente – galvanização	154
9.2.3	Metalização	155
9.2.4	Eletrodeposição	155
9.2.5	Deposição Química	155
9.3	Revestimentos Não Metálicos Inorgânicos	157
9.3.1	Anodização	157
9.3.2	Cromatização	157
9.3.3	Fosfatização	157
9.3.4	Revestimento com argamassa de cimento	157
9.3.5	Revestimento com vidro	158
9.3.6	Revestimento com esmalte vítreo	158
9.3.7	Revestimento com material cerâmico	158
9.4	Revestimentos Orgânicos	160
9.4.1	Pintura anticorrosiva	160
9.4.2	Revestimento com borrachas	168
9.4.3	Revestimentos com plásticos	168
9.4.4	Revestimentos com plásticos reforçados	168
9.4.5	Revestimentos para tubulações enterradas ou submersas	168
9.5	Revestimentos para Estruturas em Contato com a Atmosfera	169
9.5.1	Para atmosferas altamente agressivas	170
9.5.2	Para atmosferas medianamente agressivas	171
9.5.3	Para atmosferas pouco agressivas	173
9.5.4	Quadro-resumo e quadro comparativo entre os revestimentos por tintas e os revestimentos por galvanização	174
9.6	Revestimentos para Dutos Enterrados – Novos – Reparo e Reabilitação	176
9.6.1	Considerações Gerais	176
9.6.2	Recomendações de campo	182
9.6.3	Interface com a proteção catódica	183
9.6.4	Avaliação do desempenho do revestimento após o lançamento ...	184
9.7	Revestimentos para Estruturas em Contato com a Água	184
9.7.1	Revestimentos para dutos submersos	184
9.7.2	Revestimentos para outras estruturas em contato com a água ...	187
9.8	Revestimentos para Estruturas em Contato com Fluidos Altamente Corrosivos	188
9.9	Resumo	189
9.10	Leitura Adicional Recomendada	189
10	AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO COM O USO DE PROTEÇÃO CATÓDICA E PROTEÇÃO ANÓDICA	191
10.1	Princípios Básicos de Proteção Catódica	191

10.2	Métodos de Aplicação da Proteção Catódica	194
10.2.1	Proteção catódica com anodos galvânicos	195
10.2.2	Proteção catódica por corrente impressa	198
10.3	Corrente Necessária para Proteção Catódica	200
10.4	Seleção do Tipo de Proteção Catódica	201
10.5	Critérios de Proteção Catódica	201
10.6	Monitoração – Inspeção – Manutenção do Sistema de Proteção Catódica	203
10.7	Uso de Proteção Catódica e Revestimentos	204
10.8	Considerações sobre Proteção Anódica	205
10.8.1	Campo de aplicação	206
10.8.2	Requisitos de projeto	206
10.9	Resumo	214
10.10	Leitura Adicional Recomendada	214
11	AMPLIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PROJETO ADEQUADO	215
11.1	Práticas de Projeto	215
11.1.1	Práticas a serem evitadas	216
11.1.2	Práticas que devem ser previstas	216
11.2	Métodos de Proteção Anticorrosiva na Fase de Projeto	219
11.2.1	Tanques metálicos de armazenamento	220
11.2.2	Oleodutos, gasodutos e adutoras	222
11.2.3	Navios, embarcações e plataformas semissubmersíveis e unidades flutuantes de produção e estocagem de petróleo (FPSO)	222
11.2.4	<i>Piers</i> – cais – plataformas	223
11.2.5	Sistemas de água de refrigeração	224
11.2.6	Geradores de vapor	224
11.2.7	Unidades de processo	225
11.2.8	Fornos	226
11.2.9	Permutadores de calor	227
11.2.10	Tubulações industriais	228
11.2.11	Estruturas metálicas	229
11.2.12	Vasos e esferas	229
11.2.13	Máquinas de fluxo	230
11.2.14	Equipamento elétrico e de instrumentação	230
11.2.15	Proteção durante o armazenamento e transporte	230
11.2.16	Sistemas de geração e transmissão de energia	231
11.2.17	Sistemas de ar-condicionado	231
11.2.18	Corrosão em superfícies em contato permanente com extrato do lixo – chorume	232

11.2.19	Sistemas de transporte, tratamento de esgotos e efluentes industriais	232
11.2.20	Sistemas de tratamento, armazenamento e distribuição de água	232
11.3	Resumo	233
11.4	Leitura Adicional Recomendada	240
12	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATRAVÉS DA MONITORAÇÃO	241
12.1	Sistemas de Monitoração de Corrosão Interna em Tempo Real ou de Curto Intervalo de Tempo	242
12.1.1	Resistência de polarização linear	242
12.1.2	Impedância eletroquímica	244
12.1.3	Ruído eletroquímico	245
12.1.4	Correntes galvânicas	246
12.2	Sistemas de Monitoração de Corrosão Interna de Acompanhamento	247
12.2.1	Cupons de perda de massa	247
12.2.2	Resistência elétrica	249
12.2.3	Permeação ou provadores de hidrogênio	251
12.3	Sistema de Monitoração da Corrosão Interna <i>a Posteriori</i>	253
12.3.1	Acompanhamento da espessura	253
12.3.2	Ferramentas instrumentadas	253
12.4	Resumo	254
12.5	Leitura Adicional Recomendada	255
13	ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO – PREVISÃO DE FALHAS POR CORROSÃO	257
13.1	Avaliação de Risco de Corrosão	257
13.1.1	Risco de corrosão atmosférica	257
13.1.2	Risco de corrosão pelo solo	260
13.1.3	Risco de corrosão pelas águas	264
13.1.4	Risco de corrosão em meios muito agressivos	266
13.2	Análise de Falhas	266
13.3	Previsão de Falhas – Diagnóstico de Integridade	269
13.4	Ensaio de Corrosão	269
13.4.1	Ensaio de laboratório	269
13.4.2	Ensaio em instalações ou equipamentos-piloto	271
13.4.3	Ensaio de campo	272
13.4.4	Quadro-resumo dos ensaios de corrosão	273
13.5	Resumo	274

13.6	Leitura Adicional Recomendada	274
14	ASPECTOS ECONÔMICOS DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO	275
I	PROCEDIMENTOS DE REVESTIMENTOS	279
I.1	Revestimento por Galvanização à Quente	279
I.2	Revestimento por Pintura Anticorrosiva	281
II	EXERCÍCIOS E PROBLEMAS DE CORROSÃO	295
III	REVISÃO DE ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS DE QUÍMICA	311
III.1	Elementos Químicos	311
III.2	Ligações Interatômicas para Formação das Substâncias	313
III.3	Substâncias	314
III.4	Oxidação e Redução	314
III.5	Ácidos	315
III.6	Bases ou Hidróxidos – Alcalinidade	315
III.7	Sais	316
III.8	Óxidos	317
III.9	As Substâncias Químicas Inorgânicas na Natureza	317
III.10	Reações Químicas e Cálculo Estequiométrico	318
III.11	Eletrólitos – Soluções Eletrolíticas	319
III.12	Equivalente Grama e Concentração de Soluções	319
III.12.1	Equivalente grama	319
III.12.2	Concentração de soluções	320
III.13	Eletrólise	320
III.14	Equilíbrio Químico	321
III.15	Hidrólise de Sais	322
III.16	Procedimento para Determinação do Índice de Langelier	323
III.17	Funções Orgânicas	324
	Referências	324
	Livros	324
	Artigos Técnicos	326
	RELAÇÃO DE TABELAS	333
	ÍNDICE REMISSIVO	337