

Sumário

<i>Apresentação</i>	VII
<i>Prefácio</i>	IX
<i>Prefácio da 1ª Edição</i>	XI

Capítulo 1

<i>Corrosão em Instalações Metálicas Enterradas ou Submersas</i>	1
1.1 O Processo Corrosivo	1
1.1.1 Pilha Galvânica pelo Contato Elétrico entre Dois Metais Diferentes em um Eletrólito.....	2
1.1.2 Heterogeneidades do Material	9
1.1.3 Heterogeneidades do Meio.....	11
1.1.4 Corrosão Eletrolítica.....	14
1.1.5 Corrosão por Bactérias	16
1.2 Métodos de Proteção contra a Corrosão.....	16
1.2.1 Revestimentos Protetores	17
1.2.2 Proteção Catódica	17
Referências.....	18

Capítulo 2

<i>Proteção Catódica: Princípios Básicos e Métodos de Aplicação</i>	19
2.1 Princípios Básicos.....	20
2.2 Métodos de Aplicação da Proteção Catódica.....	23
2.2.1 Proteção Catódica com Anodos Galvânicos.....	23
2.2.2 Proteção Catódica por Corrente Impressa	28

2.3	Corrente Necessária para Proteção Catódica	31
2.4	CrITÉRIOS de Proteção Catódica	32
2.5	Superproteção Catódica	35
2.6	Manutenção do Sistema de Proteção Catódica	36
2.7	Custo da Proteção Catódica	37
	Referências	38

Capítulo 3

	<i>Revestimentos Protetores para Instalações Metálicas Enterradas ou Submersas</i>	<i>41</i>
3.1	Considerações Gerais	43
3.2	Características Necessárias a um Revestimento Protetor	46
3.3	Revestimentos para Dutos Enterrados e Submersos	50
3.3.1	Sistemas de Revestimento Aplicados em Plantas ou FÁBRICAS de Revestimento de Dutos	50
3.3.2	Sistemas de Revestimentos Aplicados em Campo	59
3.3.3	Eficiência a Considerar para cada Tipo de Revestimentos Aplicado a Dutos Enterrados ou Submersos para Utilização nos Projetos de Proteção Catódica	72
3.3.4	CrITÉRIOS Importantes para a Seleção dos Revestimentos para Dutos Enterrados	73
3.3.5	CrITÉRIOS Importantes para a Seleção de Revestimentos para Dutos Submersos	76
3.3.6	Recomendações para Transporte, Manuseio, Preservação, Armazenamento e Instalação de Dutos Enterrados e Submersos	77
3.3.7	Interface com a Proteção Catódica	79
3.3.8	Avaliação do Desempenho do Revestimento após o Lançamento do Duto	79
3.4	Revestimentos para outras Estruturas Submersas	79
3.4.1	Tipos de Revestimentos para outras Estruturas Submersas ..	79
3.4.2	Seleção dos Revestimentos para outras Estruturas Submersas	81
3.4.3	Interface das Estruturas Submersas com a Proteção Catódica	82

3.5	Revestimentos para Tanques de Armazenamento	82
3.5.1	Revestimento para Tanques de Aço Totalmente Enterrados	82
3.5.2	Revestimentos para Fundo e Base de Tanques	83
3.6	Revestimento para Cascos de Embarcações	83
3.7	Revestimento para Estacas de Aço de Píeres de Atracação . .	84
3.8	Conclusões.	84
	Referências.	84

Capítulo 4

	<i>Medições de Campo para a Elaboração de Projetos de Proteção Catódica.</i>	<i>87</i>
4.1	Informações Levantadas antes dos Trabalhos de Campo	87
4.2	Medições de Campo	88
4.2.1	Resistividade Elétrica	89
4.2.2	Potenciais Estrutura/Eletrólito	92
4.2.3	pH do Solo.	95
4.2.4	Pesquisa de Corrosão por Bactéria ou Corrosão Microbiológica	96
4.2.5	Medições de Corrente	97
4.2.6	Testes para a Determinação da Corrente Necessária para Proteção Catódica e das Condições de Polarização da Estrutura	98
4.2.7	Testes em Travessias.	99
4.2.8	Escolha dos Locais para a Instalação dos Retificadores, Leitões de Anodos, Equipamentos de Drenagem e Pontos de Teste	99
4.2.9	Outros Testes, Medições e Observações	100
4.3	Conclusões.	100
	Referências.	101

Capítulo 5

	<i>Dimensionamento de Sistemas de Proteção Catódica</i>	<i>103</i>
5.1	A Importância dos Levantamentos de Dados	103
5.2	Seleção do Método de Proteção Catódica a ser Usado.	103
5.2.1	Sistemas Galvânicos	104

5.2.2	Sistemas por Corrente Impressa	104
5.3	Cálculo da Corrente de Proteção Catódica	104
5.3.1	Densidade de Corrente de Proteção	105
5.3.2	Fator de Velocidade	107
5.3.3	Eficiência do Revestimento	108
5.3.4	Metodologias de Cálculo	108
5.4	Dimensionamento de Sistemas Galvânicos	108
5.4.1	Instalações Submersas	108
5.4.2	Instalações Enterradas	112
5.5	Dimensionamento de Sistemas por Corrente Impressa	113
5.5.1	Definição do Número de Pontos de Injeção de Corrente	113
5.5.2	Escolha do Material dos Anodos	114
5.5.3	Cálculo da Massa de Anodos	114
5.5.4	Escolha do Número Mínimo de Anodos para Leitos Superficiais	115
5.5.5	Verificação do Número de Anodos	115
5.5.6	Cálculo da Resistência do Circuito	115
5.6	Documentação de Projeto	118
5.7	Conclusões	118
	Referências	119

Capítulo 6

	<i>Leitos de Anodos Superficiais e em Poços Profundos para Estruturas Enterradas</i>	<i>121</i>
6.1	Leitos de Anodos Superficiais	121
6.1.1	Classificação de Leitos de Anodos Superficiais quanto ao Posicionamento	122
6.1.2	Classificação de Leitos de Anodos Superficiais quanto ao Arranjo	123
6.1.3	Classificação de Leitos de Anodos Superficiais quanto à Disposição dos Anodos	125
6.1.4	Materiais	126
6.2	Leitos de Anodos Profundos	126
6.2.1	Estrutura Básica	126
6.2.2	Vantagens dos Leitos em Poços Profundos	127

6.2.3	Sistemas Não Recuperáveis	128
6.2.4	Sistemas Recuperáveis	128
6.2.5	Projeto	130
6.2.6	Montagem	135
6.2.7	Energização	135
6.2.8	Operação e Manutenção	135
6.2.9	Registros	136
6.3	Conclusões	136
	Referências	136

Capítulo 7

	<i>Inspeção e Manutenção de Sistemas de Proteção Catódica</i>	<i>139</i>
7.1	Componentes de um Sistema de Proteção Catódica	139
7.1.1	Para Tubulações Enterradas	139
7.1.2	Para Tubulações Submersas	140
7.1.3	Para Fundos de Tanques de Armazenamento	140
7.1.4	Para Estacas de Aço no Mar	141
7.1.5	Embarcações e Plataformas de Petróleo	141
7.1.6	Armaduras de Aço das Obras de Concreto	141
7.2	Pré-Operação	142
7.3	Orientações para os Serviços de Inspeção e Manutenção	143
7.3.1	Tubulações Enterradas Protegidas com Sistema Galvânico ..	143
7.3.2	Tubulações Enterradas Protegidas com Sistema por Corrente Impressa	143
7.3.3	Fundos de Tanques de Armazenamento, Externamente ..	144
7.3.4	Estacas Metálicas de Píeres de Atracação de Navios com Sistema por Corrente Impressa	145
7.3.5	Navios e Plataformas de Petróleo com Sistema por Anodos Galvânicos	145
7.3.6	Navios e Plataformas de Petróleo com Sistema por Corrente Impressa	146
7.3.7	Armaduras de Aço do Concreto com Sistema Galvânico ..	146
7.3.8	Execução das Inspeções	146
7.4	Conclusões	146
	Referências	147

Capítulo 8

<i>Materiais e Equipamentos Utilizados em Sistemas de Proteção Catódica</i>	149
8.1 Materiais para Sistemas Galvânicos.....	149
8.1.1 Anodos.....	149
8.1.2 Enchimento Condutor (<i>Backfill</i>).....	152
8.1.3 Cabos Elétricos.....	152
8.1.4 Conectores Elétricos.....	153
8.1.5 Caixas de Ligação ou de Passagem.....	153
8.1.6 Resistores Elétricos.....	154
8.1.7 Materiais Diversos.....	154
8.2 Equipamentos e Materiais para Sistemas por Corrente Impressa.....	154
8.2.1 Retificadores de Corrente.....	154
8.2.2 Equipamentos de Drenagem.....	157
8.2.3 Anodos Inertes.....	158
8.2.4 Enchimento Condutor (<i>Backfill</i>) para os Anodos Inertes ...	162
8.2.5 Cabos Elétricos.....	162
8.2.6 Juntas Isolantes.....	163
8.2.7 Dispositivos de Proteção das Juntas Isolantes.....	166
8.2.8 Desacopladores.....	166
8.2.9 Caixas de Medição, Interligação e Pontos de Teste.....	167
8.2.10 Resistores Elétricos.....	169
8.2.11 Materiais Diversos.....	170
8.3 Sistemas de Monitoração Remota.....	170
8.4 Conclusões.....	171
Referências.....	171

Capítulo 9

<i>Instrumentos de Medição Utilizados em Sistemas de Proteção Catódica</i>	173
9.1 Multímetros Digitais.....	173
9.2 Amperímetros.....	174
9.3 Instrumentos para Medições de Resistividades Elétricas.....	175
9.4 Voltímetros Registradores.....	177

9.5	Interruptores Automáticos de Corrente	178
9.6	Localizadores de Tubulação	179
9.7	Equipamentos para Avaliar a Integridade da Tubulação – Revestimento e Nível da Proteção Catódica	180
9.7.1	Detector no Método de Pearson.	180
9.7.2	Instrumento DCVG.	181
9.7.3	Equipamentos para Inspeção de Tubulação por Atenuação de Corrente	182
9.7.4	Equipamentos para Levantamento de Perfil de Potencial – Potencial Passo a Passo	184
9.7.5	Equipamento para Levantamento de Perfil de Potencial – Potencial Passo a Passo Combinado com DCVG.	185
9.8	Acessórios.	185
9.8.1	Eletrodos de Referência	185
9.8.2	Caixa Padrão	186
9.8.3	Fontes para Testes de Corrente	187
9.8.4	Medidor de pH.	187
9.9	Conclusões	188
	Referências.	188
Capítulo 10		
	<i>Interferências Elétricas em Estruturas Enterradas ou Submersas</i>	<i>191</i>
10.1	Interferências por Corrente Contínua	191
10.1.1	Fontes de Interferência	192
10.1.2	Consequências das Correntes de Interferência	194
10.1.3	Pesquisa de Correntes de Interferência	196
10.1.4	Meios de Combate	197
10.1.5	Sistemas de Drenagem	197
10.2	Interferências por Corrente Alternada	200
10.2.1	Análise do Fenômeno Elétrico	201
10.2.2	Interferência por Corrente Alternada de Elevado Potencial	202
10.2.3	Interferências de Baixa Tensão por Corrente Alternada Induzida	206

10.2.4	Interferência por Corrente Alternada de Alta Intensidade e/ou Baixa Frequência	212
10.2.5	Corrosão por Corrente Alternada – Corrosão AC	214
10.3	Conclusões	214
	Referências	214

Capítulo 11

	<i>Técnicas de Inspeção de Revestimentos e Proteção Catódica de Dutos Enterrados</i>	<i>217</i>
11.1	Inspeção de Falhas de Revestimento pelo Método de Mapeamento de Corrente	218
11.1.1	Descrição do Método	218
11.1.2	Interpretação de Sinais	219
11.1.3	Vantagens e Limitações do Método	224
11.2	Inspeção de Falhas no Revestimento pelo Método de Pearson	224
11.2.1	Descrição do Método de Pearson	224
11.2.2	Interpretação dos Sinais	226
11.2.3	Aplicações do Método de Pearson	227
11.2.4	Vantagens e Limitações do Método	227
11.3	Inspeção por Potencial Passo a Passo	227
11.3.1	Considerações Gerais	227
11.3.2	Conceituação de Potencial de Energização (<i>ON POTENTIAL</i>) de Potencial de Polarização (<i>OFF POTENTIAL</i>) e Queda Ôhmica (<i>IR</i>)	228
11.3.3	Descrição do Método	229
11.3.4	Vantagens e Limitações do Método	232
11.4	Inspeção pelo Método Gradiente de Potencial (<i>DCVG</i>)	233
11.4.1	Considerações Gerais	233
11.4.2	Descrição do Método <i>DCVG</i>	233
11.4.3	Procedimentos	234
11.4.4	Vantagens e Limitações do Método	237
11.5	Metodologia de Avaliação Direta da Corrosão Externa (<i>External Corrosion Direct Assessment – ECDA</i>)	237

11.5.1	Primeira Etapa – Levantamentos de Dados e Informações Preliminares	238
11.5.2	Segunda Etapa – Inspeção Indireta	239
11.5.3	Terceira Etapa – Inspeção Direta.	241
11.5.4	Quarta Etapa – Relatório Gerado e Avaliação de Intervenções	242
11.6	Conclusões.	242
	Referências.	243
Capítulo 12		
	<i>Proteção Catódica de Tubulações Enterradas e Submersas</i>	<i>245</i>
12.1	Proteção Catódica para Tubulações Enterradas	245
12.2	Como Saber se a Tubulação está Protegida Catodicamente – Critério de Proteção	251
12.3	Proteção Catódica para Dutos Submarinos, Emissários Submarinos e Tubulações de Pequena Extensão no Mar	252
12.4	Proteção Catódica de Tubos-Camisa para Poços Profundos para Produção de Água e Petróleo	253
12.5	Conclusões	254
	Referências.	254
Capítulo 13		
	<i>Proteção Catódica de Tanques de Armazenamento</i>	<i>257</i>
13.1	Tipos de Tanques de Armazenamento	257
13.2	Proteção Catódica.	259
13.2.1	Proteção Catódica Interna dos Tanques de Petróleo com Lastro de Água e Tanques de Água e Esgotos.	259
13.2.2	Proteção Catódica Externa dos Tanques de Petróleo com Lastro de Água e Tanques de Água e de Tratamento de Esgotos.	260
13.2.3	Proteção Dirigida apenas aos Tanques	263
13.2.4	Proteção Global.	264
13.3	Aterramento de Tanques.	269
13.4	Critérios de Proteção	270

13.5 Distribuição da Corrente em Grupo de Tanques	272
13.6 Conclusões.....	273
Referências.....	273

Capítulo 14

Proteção Catódica de Tubulações e outras Estruturas Enterradas em Unidades

Industriais – Estruturas Complexas e outras Estruturas no Solo.....

14.1 Corrosão pelo Solo	276
14.2 Proteção Catódica.....	282
14.3 Conclusões.....	284
Referências.....	284

Capítulo 15

Proteção Catódica para Pieres de Atracação de Navios e Plataformas Fixas para

Produção de Petróleo e Gás.....

15.1 Características das Estruturas	287
15.2 Características da Água do Mar	289
15.3 Corrosão do Aço pela Água Salgada.....	290
15.4 Sistemas de Proteção Catódica.....	292
15.4.1 Sistema Galvânico.....	293
15.4.2 Sistema por Corrente Impressa.....	295
15.4.3 Comparação entre o Sistema Galvânico e o Sistema por Corrente Impressa	298
15.5 Zona de Variação de Maré e de Respingo	298
15.6 Conclusões	299
Referências.....	299

Capítulo 16

Proteção Catódica de Navios, Embarcações e Plataformas Móveis.....

16.1 Corrosão e Proteção Catódica	301
16.2 Corrente Necessária à Proteção	303
16.3 Proteção Catódica Galvânica.....	304
16.4 Proteção Catódica por Corrente Impressa.....	307

16.5	Comparação entre os Sistemas Galvânicos e por Corrente Impressa.	310
16.6	Influência do Revestimento do Casco sobre as Condições de Operação do Sistema de Proteção Catódica.	311
16.7	Influência das Condições de Operação do Sistema de Proteção Catódica sobre o Revestimento.	311
16.8	Conclusões.	312
	Referências.	312
Capítulo 17		
	<i>Proteção Catódica de Armaduras de Aço de Estruturas de Concreto</i>	<i>313</i>
17.1	Histórico.	314
17.2	Composição do Concreto.	315
17.3	Fatores que Causam a Deterioração do Concreto.	316
17.4	Deterioração Química do Concreto.	316
17.4.1	Deterioração por Ácidos.	316
17.4.2	Deterioração por Bases – Reação Álcali-Agregado.	317
17.4.3	Deterioração por Sais.	317
17.4.4	Lixiviação e Carbonatação.	317
17.5	Mecanismos da Corrosão das Armaduras no Concreto.	318
17.6	Formas de Corrosão do Concreto.	323
17.7	Corrosão Eletrolítica das Armaduras – Correntes de Fuga.	324
17.8	Corrosão das Armaduras do Concreto na Água do Mar.	324
17.8.1	Zonas Enterradas e Zonas Submersas mais Profundas.	324
17.8.2	Zonas de Variação de Marés e de Respingos.	325
17.8.3	Zonas Permanentemente Aéreas.	325
17.9	Porosidade e Permeabilidade do Concreto.	326
17.10	Fissuras e Trincas.	326
17.11	Principais Métodos de Combate à Corrosão em Estruturas de Concreto.	326
17.11.1	Técnicas de Reparo Localizado.	326
17.11.2	Adoção de Procedimentos Corretos durante o Projeto e a Construção.	327

17.11.3	Isolamento da Superfície de Concreto do Meio Ambiente Agressivo	327
17.11.4	Revestimentos Metálicos ou à Base de Epóxi	327
17.11.5	Uso de Inibidores Químicos.	328
17.11.6	Uso de Proteção Catódica	328
17.12	Mecanismo de Funcionamento da Proteção Catódica em Concreto	328
17.12.1	Proteção Catódica Galvânica	329
17.12.2	Proteção por Corrente Impressa	336
17.13	CrITÉRIOS de Proteção Catódica	338
17.14	Medições dos Potenciais Armadura/Concreto	338
17.15	Procedimento Recomendado para Definição de um Sistema de Proteção Catódica.	341
17.16	Projeto de Proteção Catódica	341
17.17	Tipos de Estruturas que Podem ser Protegidas Catodicamente	342
17.18	Conclusões.	342
	Referências.	343
	<i>Índice Remissivo</i>	<i>345</i>