

JOSÉ NOVAIS

AR COMPRIMIDO INDUSTRIAL

PRODUÇÃO, TRATAMENTO
E DISTRIBUIÇÃO

SERVIÇO DE EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN

ÍNDICE

PREFÁCIO	VII
INTRODUÇÃO	1
Capítulo 1	
ENERGIA	5
1.1 — Conceitos: Físico, Operacional e Económico	5
1.2 — Petróleo: Fonte de Energia e de Conflitos	7
1.3 — Electricidade: Energia Primária	10
1.4 — Fusão Nuclear	11
1.5 — Ar Comprimido: Energia na Forma de Pressão	14
1.5.1 — Fugas de Ar Comprimido e seu Custo	15
1.5.2 — Cálculo do Caudal de Fugas	20
Capítulo 2	
O AR ATMOSFÉRICO	23
Capítulo 3	
PROPRIEDADE DOS GASES	27
3.1 — Expansibilidade	27
3.2 — Compressibilidade	27
3.3 — Peso do Ar e dos outros Gases	28
3.4 — Densidade	29
3.5 — Conceito de Pressão	30
3.6 — Transmissão das Pressões pelos Gases	31
3.7 — Pressão Atmosférica	31
3.7.1 — Experiência de Torricelli	32
3.8 — Unidades de Pressão	33
3.8.1 — Índices nas Expressões de Pressão	34
3.9 — Vácuo	35

3.10 — Volume	36
3.11 — Temperatura	37
3.11.1 — Escala Centrígrada (Graus Celcius)	37
3.11.2 — Escala Fahrenheit	38
3.11.3 — Escala Kelvin	38
3.11.4 — Comparação e Conversão das Diferentes Escalas	38
3.11.5 — Temperatura Crítica	39
3.12 — Liquefacção dos Gases	40
3.12.1 — Ar Líquido	41

Capítulo 4

INTRODUÇÃO AO CALOR	43
4.1 — Calor	44
4.2 — Transferência de Calor	45
4.2.1 — Condução	47
4.2.2 — Radiação	48
4.2.3 — Convexão	50

Capítulo 5

OBJECTIVOS DO AR COMPRIMIDO	55
5.1 — Pneumática	55
5.1.1 — Fluídica	58
5.2 — Tecnologia do Ar	58

Capítulo 6

PRODUÇÃO DE AR COMPRIMIDO	59
6.1 — Objectivos da Compressão	59
6.2 — Leis Fundamentais da Termodinâmica	61
6.2.1 — 1. ^a Lei — Conservação da Energia	61
6.2.2 — 2. ^a Lei Energética	62
6.3 — Entropia	62
6.4 — Entalpia	64
6.5 — Gases Perfeitos e Reais	64
6.6 — Leis dos Gases Perfeitos	66
6.6.1 — Lei de Boyle — Mariotte	66
6.6.2 — Lei de Charles	66
6.6.3 — Lei de Amonton	67
6.6.4 — Lei de Dalton	67
6.6.5 — Lei de Amagat	67
6.6.6 — Lei de Avogrado	67

6.6.7 — Lei de Poisson	68
6.6.8 — Fórmula Geral dos Gases	68
6.7 — Factor de Compressibilidade	69
6.8 — A Biologia e a Lei de Boyle — Mariotte	72

Capítulo 7

MÉTODOS DE COMPRESSÃO	75
7.1 — Compressão Dinâmica	76
7.2 — Compressão Volumétrica	76
7.3 — Eficiência Volumétrica	84
7.4 — Ciclos de Compressão	89
7.4.1 — Compressão Isotérmica	89
7.4.2 — Compressão Adiabática ou Isentrópica	90
7.4.3 — Compressão Politrópica	90
7.5 — Vários Andares de Compressão	92

Capítulo 8

COMPRESSORES DINÂMICOS	97
8.1 — Compressores Centrífugos	97
8.2 — Compressores Axiais	99

Capítulo 9

COMPRESSORES VOLUMÉTRICOS	101
9.1 — Compressores Alternativos	101
9.1.1 — Compressores de Simple Efeito	101
9.1.2 — Compressores de Duplo Efeito	102
9.1.3 — Arrefecedor Intermédio	102
9.1.4 — Lubrificação	104
9.1.4.1 — Sistemas de Lubrificação	104
9.1.5 — Controlo de Débito	107
9.1.5.1 — Controlo Pára/Arranca	107
9.1.5.2 — Controlo Carga/Vazio	113
9.1.5.2.1 — Regulação da Válvula Piloto	117
9.1.5.3 — Débito Máximo	117
9.1.6 — Ressonância na Tubagem	118
9.1.7 — Amortecedor de Pulsações	121
9.1.8 — Válvulas de Segurança, Corte e Alívio	122
9.1.9 — Arrefecimento do Compressor	123
9.1.10 — Fundações Especiais de Montagem	123
9.1.11 — Compressor de Pistão Isento de Óleo	123

9.1.12 — Manutenção	125
9.2 — Compressores Rotativos	127
9.2.1 — Compressor Roots	127
9.2.2 — Compressor de Alhetas	130
9.2.3 — Compressor de Espiral	132

Capítulo 10

COMPRESSOR ROTATIVO DE PARAFUSO	137
10.1 — Perfil e Número de Lóbulos	140
10.2 — Princípio de Funcionamento	141
10.3 — Ciclo de Compressão	144
10.4 — Esquema Electropneumático	151
10.5 — Vários Estágios de Compressão	175
10.6 — Compressores Rotativos Isentos de Óleo (oil-free)	180
10.6.1 — Compressor Rotativo por Dentes (rotary tooth)	184
10.6.2 — Compressor de Parafuso Isento de Óleo	188
10.7 — Sistemas de Controlo	194
10.7.1 — Controlo por Modulação	195
10.7.2 — Controlo por Carga/Vazio	195
10.7.3 — Controlo por Variação da Frequência	198
10.7.4 — Controlo por Telemonitorização	200
10.7.5 — Gestão de Consumos	205
10.7.5.1 — Por Diferencial de Pressão	206
10.7.5.2 — Selector de Sequência de Arranque	207
10.7.5.3 — Gestor Energético	209
10.8 — Débito de uma Unidade Compressora	214
10.8.1 — Débito em Ar Livre (Free Air Delivery — F.A.D.)	214
10.8.2 — Débito em Capacidade Actual (ACFM)	217
10.8.3 — Débito em Caudal Admitido (ICFM)	217
10.8.4 — Débito em Capacidade Normal (Nm ³)	219
10.8.5 — Reconversão de Débitos	219
10.9 — Influência da Altitude	221

Capítulo 11

TECNOLOGIA ELÉCTRICA	223
11.1 — Entidades Ligadas à Normalização	224
11.2 — Materiais Condutores	225
11.2.1 — Supercondutores	225
11.2.2 — Cobre Electrolítico	227
11.2.3 — Alumínio	227
11.2.4 — Metais e Ligas para Fusíveis	228
11.2.5 — Semicondutores	229

11.3 — Materiais Isolantes	231
11.4 — Máquinas Eléctricas	235
11.5 — Constituição e Princípios Globais de um Motor Eléctrico	236
11.5.1 — Circuitos Eléctricos	236
11.5.2 — Circuitos Magnéticos	237
11.5.3 — Magnetismo	237
11.5.4 — Indução Electromagnética	238
11.5.5 — Estator e Rotor	238
11.5.5.1 — Núcleo e Armadura	239
11.5.6 — Indutor e Induzido	239
11.5.7 — Correntes de Foucault	239
11.6 — Diferentes Tipos de Motores para Corrente Alterna	240
11.7 — Conceito de Campo Magnético Girante	241

Capítulo 12

MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS	245
12.1 — Rotor em Curto-Circuito	245
12.2 — Rotor Bobinado	246
12.3 — Criação de Binário Motor	248
12.4 — Escorregamento do Motor	248
12.5 — Velocidade do Motor	249
12.6 — Força Electromotriz de Movimento	250
12.7 — Motor Assíncrono de Rotor em Curto-Circuito	250
12.8 — Consumo de Corrente	251
12.8.1 — Pico de Corrente no Arranque	252
12.8.2 — Consumo em Vazio Eléctrico	252
12.8.3 — Consumo em Carga	253
12.8.4 — Consumo no Vazio do Compressor	253
12.8.5 — Consumo em Sobrecarga	254
12.9 — Características Especiais	254
12.10 — Motor Assíncrono de Rotor Bobinado	255
12.11 — Motor Síncrono	256
12.12 — Ligação à Placa de Bornes	257

Capítulo 13

APARELHOS DE MANOBRA DE MOTORES ELÉCTRICOS	261
13.1 — Contactor Magnético de Arranque Directo	263
13.2 — Arrancador Estrela-Triângulo	268
13.2.1 — Princípio de Funcionamento do Arrancador Estrela-Triângulo	272
13.2.2 — Circuitos de Potência e Comando	288
13.3 — Reóstatos de Arranque a Tensão Reduzida	303

Capítulo 14

POTÊNCIA ACTIVA, REACTIVA E APARENTE	307
14.1 — Efeitos da Energia Reactiva	308
14.2 — Determinação do Factor de Potência	310
14.3 — Compensação do Factor de Potência	311
14.3.1 — Cálculo da Potência de Compensação	314
14.3.2 — Meios de Compensação	315
14.3.3 — Compensação por Controlo Automático	318
14.3.4 — Vantagens da Compensação	321
14.4 — Tensão Nominal	321
14.5 — Corrente Nominal	321
14.6 — Capacidade	322
14.7 — Carga	322
14.7.1 — Fracção de Carga	322

Capítulo 15

RENDIMENTOS E PERDAS NOS MOTORES ELÉCTRICOS	323
15.1 — Principais Tipos de Perdas	324
15.2 — Arrefecimento dos Motores Eléctricos	325
15.3 — Motores de Alto Rendimento	327
15.4 — Protecção Contra o Meio Ambiente	328
15.4.1 — Ambiente com Poeiras	328
15.4.2 — Ambiente com Humidade	329
15.4.3 — Ambiente Inflamável	329
15.5 — Índices de Protecção — IP —	330

Capítulo 16

SISTEMAS DE TRANSMISSÃO MOTOR/COMPRESSOR	331
16.1 — Correias de Secção Trapezoidal	331
16.2 — Correias Síncronas	332
16.3 — Acoplamento Directo	332

Capítulo 17

SISTEMAS DE PROTECÇÃO ELÉCTRICA	333
17.1 — Relés	335
17.1.1 — Relés Electromagnéticos	336
17.1.2 — Relés Térmicos	336
17.2 — Corta-Circuitos Fusíveis	336
17.2.1 — Características	338

17.2.2 — Aplicações	339
17.3 — Protecções Destinadas a Electrocompressores	340
17.3.1 — Calibres de Fusíveis	341
17.3.1.1 — Exercício Tipo em Função da Potência	342
17.4 — Protecção de Bens e Pessoas	342
17.4.1 — Condutores de Terra	345
17.4.2 — Electrodo de Terra	345
17.4.3 — Controlador Permanente de Isolamento	346

Capítulo 18

ESQUEMA ELÉCTRICO DE COMPRESSOR ROTATIVO DE PARAFUSO (LUBRIFICADO).....	351
18.1 — Esquema de Potência	352
18.2 — Painel de Controlo	353
18.3 — Esquema de Comando	356
18.3.1 — Arranque e Tempo em Estrela	359
18.3.2 — Passagem a Triângulo	362
18.3.3 — Regime de Carga	364
18.3.4 — Regime de Vazio	364
18.3.5 — Paragem por Excesso de Tempo em Vazio	366

Capítulo 19

SISTEMA TARIFÁRIO DE VENDA DE ENERGIA ELÉCTRICA	369
19.1 — Factores que Influenciam a Facturação	370
19.1.1 — Elementos Intervenientes	370
19.1.2 — Níveis de Tensão	370
19.2 — Fórmula Tarifária	371
19.3 — Estrutura do Sistema Tarifário	371
19.3.1 — BT para Potências $\leq 19,8$ KVA	371
19.3.2 — BT para Potências $> 19,8$ KVA e $\leq 39,6$	372
19.3.3 — BT para Potências $> 39,6$ KVA	372
19.3.4 — Muito Alta Tensão	373
19.3.5 — Tarifas	373
19.3.6 — Períodos Horários	373
19.4 — Energia Reactiva	374
19.5 — Perdas nos Transformadores	374
19.5.1 — Perdas de Energia Activa	374
19.5.2 — Perdas de Energia Reactiva	374
19.6 — Ciclos	374
19.7 — Outros Aspectos	375
19.8 — Sistemas de Gestão na Poupança Energética	375
19.9 — Considerações Mútuas	376

Capítulo 20

RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA	377
20.1 — Influência do Calor	379
20.2 — Recuperação do Calor de Compressão	381
20.2.1 — Recuperação por Ar	384
20.2.2 — Recuperação por Água	385

Capítulo 21

ÁGUA INDUSTRIAL	393
21.1 — Fontes de Água	395
21.1.1 — Água da Chuva	395
21.1.2 — Água dos Rios	396
21.1.3 — Água de Nascente	396
21.1.4 — Água de Poços	396
21.2 — Abastecimento às Indústrias	396
21.3 — Análise da Água	397
21.3.1 — Cór	397
21.3.2 — Dureza	397
21.3.3 — Dureza Temporária	398
21.3.4 — Dureza Permanente	398
21.3.5 — Dureza Total	398
21.3.6 — Variação da Dureza	399
21.3.7 — Classificação Quanto à Dureza	399
21.3.7.1 — Acidez	401
21.3.7.2 — Sais de Ferro	402
21.3.7.3 — Impurezas Sólidas	402
21.3.7.4 — Matérias Biologicamente Activas	402
21.4 — Principais Objectivos no Tratamento de Água de Refrigeração	403
21.4.1 — Incrustação	403
21.4.2 — Corrosão	404
21.4.3 — Formação de Depósitos	405
21.4.4 — Depósitos Microbiológicos	405
21.5 — Principais Processos de Tratamento de Água	406
21.5.1 — Decantação	406
21.5.2 — Coagulação	406
21.5.2.1 — Produtos Químicos Utilizados na Coagulação	407
21.5.3 — Filtragem	407
21.5.4 — Aeração	408
21.5.5 — Permuta Iónica	408
21.5.5.1 — Descalcificação	408

21.5.5.2 — Descalcificador	409
21.5.5.2.1 — Ciclo Normal de Serviço (Descalcificação)	410
21.5.5.2.2 — Regeneração	410
21.5.5.2.3 — Descompressão	410
21.5.5.2.4 — Lavagem	410
21.5.5.2.5 — Introdução de Salmoura	411
21.5.5.2.6 — Controlo Automático de Regeneração	411
21.5.5.3 — Descarbonatação	411
21.5.5.3.1 — Descarbonatação a Quente	412
21.5.5.3.2 — Descarbonatação com Resinas	412
21.5.5.4 — Desmineralização	412
21.5.5.5 — Desgaseificação	413
21.5.6 — Controlo do Tratamento e Manutenção da Água	414
21.5.6.1 — Soluções Tradicionais	415
21.5.6.2 — Índice de Saturação de LANGEIER	415
21.5.6.2.1 — Cálculo do Índice de LANGEIER	416
21.5.6.3 — Índice de Estabilidade de RYZNAR	418
21.5.6.4 — Controlo da Incrustação	419
21.5.6.4.1 — Produtos Químicos (Aditivos) no Controlo da Incrustação	420
21.5.6.4.1.1 — Polifosfatos	420
21.5.6.4.1.2 — Taninos e Lignosulfonatos	420
21.5.6.4.1.3 — Organofosforados	420
21.5.6.4.2 — Valor do ph	420
21.5.6.5 — Controlo da Corrosão	421
21.5.6.5.1 — Inibidores de Corrosão (Aditivos)	421
21.5.6.5.1.1 — Aspectos Ambientais na Utilização de Inibidores de Corrosão	422
21.5.6.6 — Prevenção na Formação de Depósitos	422
21.5.6.7 — Controlo Microbiológico	423
21.6 — Circuitos de Refrigeração	423
21.6.1 — Sistema Aberto	424
21.6.2 — Sistema Semi-Aberto	424
21.6.3 — Sistema Fechado	425
21.7 — Sistemas de Arrefecimento de Água	426
21.7.1 — Piscinas	426
21.7.2 — Torre de Arrefecimento	428
21.7.2.1 — Aspectos Higrométricos	430
21.7.2.1.1 — Temperatura Húmida	431
21.7.2.2 — Aspectos Termodinâmicos	433
21.7.2.3 — Água de Compensação (Make Up)	434
21.7.2.3.1 — Ciclos de Compensação	434
21.7.2.3.1.1 — Ciclos Máximos Teóricos de Concentração	435
21.7.2.3.1.2 — Concentração Permissível	435

21.7.2.3.1.3 — Quantidade de Produtos no Tratamento Químico	435
21.7.3 — Dados Fundamentais para Determinação de uma Torre de Arrefecimento	436
21.7.3.1 — Condições de Montagem	439
21.7.3.2 — Especificações Técnicas	440
21.7.4 — Arrefecedor Evaporativo	441
21.7.5 — Arrefecimento por «Chiller»	442
21.7.6 — Arrefecimento com Permutador Mergulhado no Sub-Solo com Água de Furo	443

Capítulo 22

TRATAMENTO DE AR COMPRIMIDO	449
22.1 — Elementos Poluentes	453
22.2 — Unidades Tradicionais de Tratamento	454
22.3 — Recomendações PNEUROP	456
22.4 — Conceitos Básicos	459
22.4.1 — Ponto de Orvalho ou Temperatura de Condensação...	459
22.4.2 — Ponto de Orvalho Sob Pressão	460
22.4.3 — Ar Comprimido a 7 bar e Ponto de Orvalho a + 2 °C ..	460
22.4.4 — Ponto de Orvalho Atmosférico	460
22.4.5 — Humidade Absoluta	461
22.4.6 — Humidade Relativa	461
22.5 — Quantidade de Água Aspirada em Centrais Compressoras	462
22.6 — Diferentes Processos de Secagem do Ar Comprimido	464
22.6.1 — Sobrepressão: Condensação por Via Mecânica	464
22.6.2 — Arrefecimento	466
22.6.3 — Frio	466
22.6.4 — Refrigeração	466
22.6.5 — Sorção	467

Capítulo 23

SECADORES DE AR COMPRIMIDO	469
23.1 — Secador de Refrigeração	469
23.1.1 — Fluidos Frigorígenos	469
23.1.2 — Ciclo de Refrigeração	473
23.1.3 — Massa Térmica	485
23.1.4 — Selecção de Secadores de Refrigeração	486
23.2 — Secadores de Sorção	492
23.2.1 — Secador de Absorção	493
23.2.2 — Secador de Adsorção	494

23.2.2.1 — Capacidade de Adsorção	496
23.2.2.2 — Regeneração	497
23.2.2.2.1 — Auto-Regeneração	498
23.2.2.2.2 — Regeneração a Quente com Resistências Eléctricas	507
23.2.2.2.3 — Regeneração a Quente com Ar Insuflado do Exterior	508
23.2.2.2.4 — Custo Energético de Regeneração	512
23.2.2.3 — Reposição do Dessecante	513
23.2.2.4 — Selecção de um Secador de Adsorção	514
23.3 — Diagrama Psicrométrico	519

Capítulo 24

TÉCNICA DE FILTRAGEM	523
24.1 — Métodos de Remoção de Elementos Poluentes	527
24.1.1 — Processo Mecânico	528
24.1.2 — Por Superfície	532
24.1.3 — Por Profundidade	536
24.1.3.1 — Microfiltros e Submicrofiltros	536
24.1.3.2 — Filtros de Carvão Activado	541
24.1.3.3 — Filtros de Esterilização	542
24.2 — Perdas de Carga nos Filtros	545
24.3 — Factores de Conversão para Filtros	546
24.4 — Separação dos Condensados	548

Capítulo 25

AR COMPRIMIDO ISENTO DE ÓLEO	551
------------------------------------	-----

Capítulo 26

REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE AR COMPRIMIDO	561
26.1 — Diferentes Tipos de Tubos	561
26.1.1 — Tubo Preto	562
26.1.2 — Tubo Galvanizado	563
26.1.3 — Tubo de Cobre	563
26.1.4 — Tubo de Aço Inoxidável	563
26.1.5 — Tubo de Plástico	564
26.1.5.1 — Tubo ABS — Acrílico Butadieno Estireno	566
26.1.6 — Diâmetros Comerciais para Tubos de Aço-Carbono	568
26.2 — Sistemas de Ligações entre Tubos	568
26.2.1 — Ligações Roscadas	569
26.2.2 — Ligações Soldadas	570
26.2.2.1 — Solda de Topo	571

26.2.2.2 — Solda de Encaixe	572
26.2.3 — Ligações Flangeadas	573
26.2.4 — Acessórios de Tubagem	574
26.2.4.1 — Uniões Rápidas	576
26.2.4.2 — Uniões Instantâneas	579
26.2.5 — Suportes de Tubagem	579
26.3 — Válvulas	581
26.3.1 — Válvulas de Diafragma e de Globo	582
26.3.2 — Válvulas de Macho-Esférico	583
26.3.3 — Válvulas de Retenção	584
26.3.4 — Válvulas de Segurança	586
26.4 — Pintura das Tubagens	587
26.4.1 — Limpeza das Tubagens	589
26.5 — Cálculo dos Diâmetros de Tubos	589
26.5.1 — Estimativa de Consumo de Ar Comprimido	590
26.5.2 — Determinação do Diâmetro da Rede Principal	595
26.5.3 — Rugosidade Interna dos Tubos, Viscosidade do Ar e Tipos de Escoamento	598
26.5.4 — Ábacos de Cálculo	601
26.5.4.1 — Anel Aberto	601
26.5.4.2 — Anel Fechado	607
26.5.4.3 — Capacidade Futura de uma Rede de Distribuição	615

Capítulo 27

CENTRAL COMPRESSORA — MONTAGEM DE EQUIPAMENTO	619
27.1 — Local da Instalação	619
27.2 — Espaço	620
27.3 — Ventilação	621
27.3.1 — Capacidade de Ventilação	622
27.4 — Água de Refrigeração	625
27.5 — Equipamento Eléctrico	625
27.6 — Reservatório para Ar Comprimido	626
27.6.1 — Capacidade do Reservatório	628
27.6.2 — Reservatório Auxiliar	629
27.7 — Disposição dos Equipamentos — Recomendações PNEUROP	630
27.7.1 — Classe 3 — Quanto a Água	630
27.7.2 — Classe 2 ou 1 — Quanto a Água	634

Capítulo 28

MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	637
28.1 — Classes de Manutenção	638
28.1.1 — Manutenção Correctiva (Curativa)	639

	699
28.1.2 — Manutenção Preventiva	639
28.1.3 — Manutenção Condicionada (Predictiva)	640
28.2 — Manutenção Total	643

Capítulo 29

MANUTENÇÃO DE ELECTROCOMPRESSORES	645
29.1 — Manutenção Mecânica	645
29.1.1 — Filtro de Admissão do Ar	646
29.1.2 — Filtro de Óleo	647
29.1.3 — Elemento Separador Ar/Óleo	647
29.1.4 — Mudança de Óleo	648
29.1.5 — Conceitos Fundamentais de Tribologia	648
29.1.5.1 — Domínios da Tribologia	649
29.1.5.2 — Lubrificação	651
29.1.5.3 — Tipos de Lubrificantes	651
29.1.5.4 — Aditivos	652
29.1.5.5 — Principais Funções dos Aditivos nos Lubrificantes para Compressores	653
29.1.5.6 — Massas Lubrificantes	654
29.1.5.7 — Viscosidade	655
29.1.5.7.1 — Lei de Newton do Escoamento Viscoso	655
29.1.5.7.2 — Viscosidade Cinemática	656
29.1.5.7.3 — Índice de Viscosidade	657
29.1.5.8 — Principais Características do Óleo para Compressores Rotativos	657
29.1.5.9 — Óleos Minerais e Sintéticos	659
29.1.5.9.1 — Valores Típicos num Óleo Mineral	660
29.1.6 — Mudança de Rolamentos	661
29.1.6.1 — Tipos de Rolamentos	661
29.1.6.2 — Características dos Rolamentos	663
29.1.6.3 — Vida Nominal	665
29.1.6.4 — Desmontagem e Montagem	666
29.2 — Manutenção Eléctrica	667
29.2.1 — Meio Ambiente	667
29.2.2 — Vibrações	668
29.2.3 — Alinhamento	668
29.2.4 — Transmissão por Correias	669
29.2.5 — Terminais de Ligação à Terra	669
29.2.6 — Ligação à Rede	669
29.2.7 — Esquema de Ligações	670
29.2.8 — Motores com Rolamentos Lubrificados a Massa	670
29.2.9 — Enrolamentos, Terminais e Colector	671

700

29.2.10 — Resistência de Isolamento	671
29.2.10.1 — Secagem das Bobinas	672
29.2.11 — Progressivo Envelhecimento dos Isolantes	674
29.2.12 — Avarias Evolutivas nos Motores Eléctricos	675
29.3 — Detecção e Reparação de Avarias	676

Capítulo 30

CONSIDERAÇÕES FINAIS	681
----------------------------	-----