

5.ª Edição Atualizada

Autómatos Programáveis

António Francisco



• Programação • Grafcet • Aplicações

ETEP

Índice Geral

Agradecimentos.....	XIX
Sobre o Livro	XXI
Capítulo 1 – O Autó mat o	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 ARQUITETURA DO AUTÓ MATO	3
1.2.1 CPU.....	3
1.2.2 Memória do Autó mat o	3
1.2.3 Entradas/Saídas (E/S)	4
1.2.4 Alimentação.....	4
1.2.5 Periféric os.....	4
1.3 VANTAGENS DO AUTÓ MATO PROGRAMÁVEL.....	5
1.4 CLASSIFICAÇÃO DOS AUTÓ MATOS.....	5
1.5 FUNCIONAMENTO DO AUTÓ MATO	5
1.5.1 Fases do Funcionamento do Autó mat o	6
1.5.1.1 Fase 1: Leitura do Estado das Variáveis de Entrada	7
1.5.1.2 Fase 2: Execução do Programa	7
1.5.1.3 Fase 3: Atualização das Variáveis de Saída	7
1.5.2 Tempo de Ciclo	7
1.6 PROGRAMAÇÃO DE AUTÓ MATOS.....	8
1.6.1 Linguagens de Programação	9
1.6.1.1 Lista de Instruções (<i>Instruction List – IL</i>).....	10
1.6.1.2 Diagrama de Contactos (<i>Ladder Diagram – LD</i>).....	12
1.6.2 Notas sobre Programação	14
Capítulo 2 – Autó mat os Twido	15
2.1 MEMÓRIA DOS AUTÓ MATOS TWIDO	18
2.1.1 Salvaguarda da Memória	19
2.1.2 Endereçamento da Memória	19
2.1.2.1 Acesso em Formato de <i>Bit</i>	19
2.1.2.2 Acesso em Formato de Palavra (16 <i>Bits</i>).....	21
2.1.3 Endereços dos <i>Bits</i>	22
2.1.3.1 Modelo Compacto	22
2.1.3.2 Modelo Modular.....	23

2.1.4 Endereços dos Principais <i>Bits</i> do Sistema	24
2.2 PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DO SAUTÓMATO S7-200	25
2.3 PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DAS E/S.....	27
2.3.1 Entradas Digitais	27
2.3.2 Saídas Digitais e Relé	27
2.3.3 Ligações das E/S.....	28
2.4 INSTRUÇÕES BÁSICAS	30
2.4.1 Símbolos das Instruções Básicas.....	31
2.5 PROGRAMAR O AUTÓMATO	32
2.6 MODOS DE OPERAÇÃO DO AUTÓMATO	33
2.6.1 Alteração do Modo de Operação	33
2.6.1.1 Alteração através do PC com <i>Twido Soft</i>	33
2.6.1.2 Alteração através de uma Entrada do Autómatos	33
2.7 INICIALIZAÇÃO DO AUTÓMATO	33
2.8 EXEMPLOS DE PROGRAMAÇÃO	34
2.8.1 Instruções Lógicas com <i>Bits</i>	35
2.8.2 Instruções Lógicas com Parêntesis (Blocos Lógicos)	37
2.8.3 Instruções MPS, MRD e MPP.....	40
2.8.4 Instruções <i>Set/Reset</i>	41
2.8.5 Blocos Função	42
2.8.6 Temporizadores	43
2.8.6.1 Características.....	43
2.8.6.2 Funcionamento dos Temporizadores	44
2.8.6.3 Configuração dos Temporizadores com o <i>Software Twido Soft</i>	46
2.8.7 Contadores.....	49
2.8.7.1 Características.....	49
2.8.7.2 Entradas.....	50
2.8.7.3 Configuração dos Contadores com o <i>Software Twido Soft</i>	50
2.8.7.4 Funcionamento dos Contadores.....	51
2.8.8 Instruções de Comparação	57
2.8.9 Regulação Analógica	59
2.8.10 Programadores de Tambor.....	62
2.8.11 Horodatadores	63
Capítulo 3 – Autómatos S7-200	65
3.1 MEMÓRIA DO SAUTÓMATO S7-200	66
3.1.1 Salvaguarda da Memória	67
3.1.2 Endereçamento da Memória	68
3.1.2.1 Acesso em Formato de <i>Bit</i>	68

3.1.2.2 Acesso em Formato de <i>Byte</i>	69
3.1.2.3 Acesso em Formato de Palavra (<i>Word</i>)	69
3.1.2.4 Acesso em Formato de Palavra Dupla (<i>Double Word</i>)	70
3.1.2.5 Acesso a Temporizadores e Contadores	70
3.1.3 Endereços dos <i>Bits</i>	71
3.1.4 Endereços das Principais Marcas Especiais	72
3.2 PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS AUTÔMATOS S7-200	72
3.3 PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DAS E/S	73
3.3.1 Entradas Digitais	73
3.3.2 Saídas Digitais e Relé	74
3.3.3 Ligações das E/S	74
3.4 INSTRUÇÕES BÁSICAS	77
3.4.1 Símbolos das Instruções Básicas	78
3.5 PROGRAMAR O AUTÔMATO	79
3.6 MODOS DE OPERAÇÃO DO AUTÔMATO	80
3.6.1 Alteração do Modo de Operação	81
3.6.1.1 Alteração através de Seletor	81
3.6.1.2 Alteração através do PC com <i>Step 7-Micro/Win</i>	81
3.6.1.3 Alteração através do Programa	81
3.7 INICIALIZAÇÃO DO AUTÔMATO	81
3.8 EXEMPLOS DE PROGRAMAÇÃO	82
3.8.1 Instruções Lógicas com <i>Bits</i>	83
3.8.2 Blocos Lógicos	86
3.8.3 Instruções IPS, IRD e IPP	89
3.8.4 Instruções <i>Set/Reset</i>	90
3.8.5 Temporizadores	92
3.8.5.1 Características	92
3.8.5.2 Funcionamento dos Temporizadores	94
3.8.6 Contadores	98
3.8.6.1 Características	99
3.8.6.2 Funcionamento dos Contadores (Norma IEC)	100
3.8.7 Instrução de Transferência	104
3.8.8 Instruções de Comparação	105
3.8.9 Regulação Analógica	107
Capítulo 4 – Autômatos CPM1A/2A	111
4.1 MEMÓRIA DOS AUTÔMATOS CPM1A/2A	112
4.1.1 Salvaguarda da Memória	114
4.1.2 Endereçamento da Memória	114

4.1.3	Endereços dos <i>Bits</i>	115
4.1.3.1	Autómatos CPM1A	115
4.1.3.2	Autómatos CPM2A	116
4.1.4	Endereços dos Terminais de E/S.....	117
4.1.5	Endereços dos Principais <i>Bits</i> / Palavras Especiais (Área SR)	118
4.2	PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS AUTÓMATOS CPM1A/ 2A.....	118
4.3	PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DAS E/S.....	119
4.3.1	Entradas Digitais	119
4.3.2	Saídas Digitais a Relé	120
4.3.3	Ligações das E/S.....	120
4.3.3.1	Ligação da Alimentação e das Entradas.....	120
4.3.3.2	Ligações das Saídas a Relé	121
4.4	INSTRUÇÕES BÁSICAS.....	124
4.4.1	Símbolos das Instruções Básicas.....	125
4.5	CONSOIA DE PROGRAMAÇÃO CQM1.....	126
4.5.1	Modos de Operação	126
4.5.2	Funções das Teclas.....	127
4.6	PROGRAMAR O AUTÓMATO COM A CONSOIA.....	128
4.6.1	Colocar sob Tensão (Qualquer Modo).....	128
4.6.2	<i>Password</i> (Qualquer Modo)	128
4.6.3	Apito (Qualquer Modo).....	128
4.6.4	Limpar a Memória (Modo PROGRAM)	128
4.6.5	Escrever o Programa (Modo PROGRAM)	129
4.6.6	Ir para uma Linha do Programa (Qualquer Modo)	129
4.6.7	Inserir Instruções (Modo PROGRAM)	129
4.6.8	Apagar Instruções (Modo PROGRAM)	129
4.6.9	Procurar Instruções (Qualquer Modo)	129
4.6.10	Visualizar Estados ou Valores de Variáveis (Qualquer Modo)	130
4.6.11	Verificar o Programa (Modo PROGRAM)	130
4.6.12	Ler/ Apagar Mensagens de Erro (Qualquer Modo).....	130
4.6.13	Testar e Afinar o Programa (Modo MONITOR).....	131
4.7	PROGRAMAR O AUTÓMATO COM O COMPUTADOR.....	131
4.7.1	<i>Software CX-One</i>	131
4.7.1.1	<i>CX-Programmer</i>	131
4.7.1.2	<i>CX-Simulator</i>	132
4.7.1.3	<i>CX-Designer</i>	132
4.8	INICIALIZAÇÃO DO AUTÓMATO	133
4.9	EXEMPLOS DE PROGRAMAÇÃO	133
4.9.1	Instruções Lógicas com <i>Bits</i>	134

4.9.2	Blocos Lógicos	136
4.9.3	Bits Temporários (TR)	139
4.9.4	Instruções Set/Reset e Keep	140
4.9.5	Temporizadores – TIM e TIMH (Fun 15)	142
4.9.6	Contadores – CNTe CNTR (Fun 12)	146
4.9.7	Instrução de Transferência – MOV (Fun 21)	150
4.9.8	Instruções de Comparação – CMP (Fun 20)	151
4.9.9	Regulação Analógica	154
4.10	CORRESPONDÊNCIA DE ENDEREÇOS ENTRE OS AUTÓMATOS CPM1A/2A E CPL	155
Capítulo 5 – Método GRAFCET		157
5.1	INTRODUÇÃO	157
5.2	ELEMENTOS DO GRAFCET	158
5.2.1	Etapas	159
5.2.1.1	Etapas Iniciais	161
5.2.2	Transições	162
5.2.2.1	Recektividades	163
5.2.3	Ligações Orientadas	164
5.3	REGRAS DE EVOLUÇÃO DO GRAFCET	165
5.4	TIPOS DE LIGAÇÕES ENTRE ETAPAS	165
5.4.1	Sequência Única	165
5.4.2	Sequências Alternativas	166
5.4.2.1	Divergência OU	166
5.4.2.2	Convergência OU	167
5.4.3	Sequências Simultâneas	168
5.4.3.1	Divergência E	168
5.4.3.2	Convergência E	169
5.4.4	Salto de Etapas	170
5.4.5	Repetição de Etapas	170
5.4.6	Outras Estruturas	171
5.4.6.1	Diagramas Ligados	171
5.4.6.2	Sub-rotinas	173
5.4.6.3	Macroetapas	175
5.4.7	Síntese das Ligações	176
5.4.8	Simplificação de Sequências	177
5.5	TIPOS DE RECEATIVIDADES	178
5.5.1	Recektividades Prioritárias	178
5.5.1.1	Sequência Única	178

5.5.1.2 Sequências Alternativas	179
5.5.2 Recetividades Exclusivas	180
5.5.3 Recetividades Simultâneas	181
5.5.4 Recetividades Dependentes de Flancos	182
5.5.4.1 Recetividades Tipo Flanco Ascendente	183
5.5.4.2 Recetividades Tipo Flanco Descendente	183
5.6 TIPOS DE AÇÕES	184
5.6.1 Ações Não Memorizadas	185
5.6.2 Ações Memorizadas	185
5.6.2.1 Outras Formas de Memorização	186
5.6.3 Ações Dependentes do Tempo	188
5.6.4 Ações Condicionadas	189
5.6.5 Ações Impulso	190
5.7 NÍVEIS DE GRAFCET	191
Capítulo 6 – Programar o GRAFCET	193
6.1 INTRODUÇÃO	193
6.2 MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO DO GRAFCET	193
6.2.1 Aplicação do Método de Programação	195
6.2.1.1 Programar Sequências Únicas	195
6.2.1.2 Programar Sequências Alternativas	196
6.2.1.3 Programar Sequências Simultâneas	197
6.2.1.4 Programar a Etapa Inicial	198
6.3 PROGRAMAR AS AÇÕES	199
6.3.1 Situações Especiais	199
6.4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	200
6.4.1 Descrição da Aplicação	201
6.4.2 Diagrama Funcional da Aplicação	201
6.4.2.1 Funcionamento	202
6.4.3 Resolução do Exemplo com o Autómato Twido	203
6.4.3.1 Bits Utilizados	203
6.4.3.2 Equações para Programar o Autómato	204
6.4.3.3 Programa em Diagrama de Contactos	205
6.4.3.4 Programa em Lista de Instruções	206
6.4.4 Resolução do Exemplo com o Autómato S7-200	207
6.4.4.1 Bits Utilizados	207
6.4.4.2 Equações para Programar o Autómato	208
6.4.4.3 Programa em Diagrama de Contactos	209
6.4.4.4 Programa em Lista de Instruções	211

6.4.5	Resolução do Exemplo com o Autómatos CPM1A/2A	211
6.4.5.1	Bits Utilizados.....	211
6.4.5.2	Equações para Programar o Autómatos	212
6.4.5.3	Programa em Diagrama de Contactos.....	213
6.4.5.4	Programa em Lista de Instruções.....	214
6.4.6	Esquema de Ligação do Autómatos	215
6.4.7	Ensaio da Montagem	217
Capítulo 7	Exemplos de Aplicação	219
PARTE I	APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS TÍPIDO	220
7.1	EXEMPLO 1: INVERSÃO DE MARCHA DE MOTOR TRIFÁSICO	220
7.1.1	Descrição do Processo	220
7.1.2	Gráfico de Nível 1.....	221
7.1.3	Gráfico de Nível 2.....	222
7.1.3.1	Funcionamento	222
7.1.4	Bits Utilizados	223
7.1.4.1	Etapas.....	223
7.1.4.2	Recetividades.....	223
7.1.4.3	Ações.....	223
7.1.5	Equações das Etapas.....	224
7.1.5.1	Programar o Autómatos	224
7.1.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	225
7.1.7	Programa em Lista de Instruções.....	226
7.1.8	Ligação do Autómatos	227
7.2	EXEMPLO 2: REGA AUTOMÁTICA	228
7.2.1	Descrição do Processo	228
7.2.2	Gráfico de Nível 2.....	229
7.2.3	Funcionamento	230
7.2.4	Gráfico de Funcionamento do Automatismo.....	231
7.2.5	Bits Utilizados	232
7.2.5.1	Etapas.....	232
7.2.5.2	Recetividades.....	232
7.2.5.3	Ações.....	233
7.2.6	Equações das Etapas.....	234
7.2.6.1	Programar o Autómatos	234
7.2.7	Programa em Diagrama de Contactos.....	235
7.2.8	Programa em Lista de Instruções.....	238
7.2.9	Ligação do Autómatos	239
7.2.10	Gráfico de Nível 2.....	240

7.2.10.1	Funcionamento	240
7.2.11	<i>Bits</i> Utilizados	241
7.2.11.1	Etapas.....	241
7.2.11.2	Recetividades.....	241
7.2.11.3	Ações.....	242
7.2.12	Equações das Etapas.....	242
7.2.12.1	Contador.....	243
7.2.12.2	Programar o Autómatos	243
7.2.13	Programa em Diagrama de Contactos.....	243
7.2.14	Programa em Lista de Instruções.....	244
7.2.15	Ligação do Autómatos	245
7.3	EXEMPLO 3: SEMÁFOROS.....	246
7.3.1	Descrição do Processo	246
7.3.2	Grafico Nível 1.....	247
7.3.3	Grafico Nível 2.....	248
7.3.3.1	Funcionamento	249
7.3.4	<i>Bits</i> Utilizados	250
7.3.4.1	Etapas.....	250
7.3.4.2	Recetividades.....	250
7.3.4.3	Ações.....	251
7.3.5	Equações das Etapas.....	252
7.3.5.1	Programar o Autómatos	253
7.3.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	254
7.3.7	Programa em Lista de Instruções.....	257
7.3.8	Ligação do Autómatos	258
7.4	EXEMPLO 4: PARQUE DE ESTACIONAMENTO	258
7.4.1	Descrição do Processo	258
7.4.2	Barreira 1 (Entrada).....	260
7.4.2.1	Grafico Nível 1.....	260
7.4.2.2	Grafico Nível 2.....	261
7.4.3	Barreira 2 (Saída).....	262
7.4.3.1	Grafico Nível 1.....	262
7.4.3.2	Grafico Nível 2.....	263
7.4.4	<i>Bits</i> Utilizados	264
7.4.4.1	Etapas.....	264
7.4.4.2	Recetividades.....	264
7.4.4.3	Ações.....	265
7.4.5	Equações das Etapas.....	265
7.4.5.1	Programar o Autómatos	266

7.4.6 Programa em Diagrama de Contactos.....	267
7.4.7 Programa em Lista de Instruções.....	269
7.4.8 Ligação do Autómato	270
PARTE II – APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS S7-200	271
7.5 EXEMPLO 5: ARRANQUE DIRETO DE MOTOR TRIFÁSICO	271
7.5.1 Descrição do Processo	271
7.5.2 Grafset Nível 1.....	272
7.5.3 Grafset Nível 2.....	272
7.5.3.1 Funcionamento	273
7.5.4 Bits Utilizados	274
7.5.4.1 Etapas.....	274
7.5.4.2 Recetividades.....	274
7.5.4.3 Ações.....	275
7.5.5 Equações das Etapas.....	275
7.5.5.1 Temporizador.....	276
7.5.5.2 Programar o Autómato	276
7.5.6 Programa em Diagrama de Contactos.....	276
7.5.7 Ligação do Autómato	278
7.6 EXEMPLO 6: PORTÃO AUTOMÁTICO	278
7.6.1 Descrição do Processo	278
7.6.2 Grafset Nível 1.....	279
7.6.3 Grafset Nível 2.....	280
7.6.3.1 Funcionamento	280
7.6.4 Bits Utilizados	281
7.6.4.1 Etapas.....	281
7.6.4.2 Recetividades.....	282
7.6.4.3 Ações.....	282
7.6.5 Equações das Etapas.....	283
7.6.5.1 Temporizadores	283
7.6.5.2 Programar o Autómato	283
7.6.6 Programa em Diagrama de Contactos.....	284
7.6.7 Ligação do Autómato	286
7.7 EXEMPLO 7: SELEÇÃO DE CAIXAS.....	286
7.7.1 Descrição do Processo	286
7.7.2 Memorização da Altura das Caixas.....	288
7.7.3 Paragem no Final do Ciclo	288
7.7.4 Paragem de Emergência	288
7.7.5 Grafset Nível 1.....	289

7.7.6	Graficet Nível 2.....	290
7.7.6.1	Funcionamento	291
7.7.7	<i>Bits</i> Utilizados	292
7.7.7.1	Etapas.....	292
7.7.7.2	Recetividades.....	292
7.7.7.3	Ações.....	293
7.7.8	Equações das Etapas.....	294
7.7.8.1	Programar o Autómatos	294
7.7.9	Programa em Diagrama de Contactos.....	295
7.7.10	Ligação do Autómatos	298
7.8	EXEMPLO 8: BRTIAGEM DE PEDRA	299
7.8.1	Descrição do Processo	299
7.8.2	Graficet Nível 1.....	301
7.8.3	Graficet Nível 2.....	302
7.8.3.1	Funcionamento	302
7.8.3.2	Paragem de Emergência	303
7.8.4	<i>Bits</i> Utilizados.....	304
7.8.4.1	Etapas.....	304
7.8.4.2	Recetividades.....	304
7.8.4.3	Ações.....	305
7.8.5	Equações das Etapas.....	306
7.8.5.1	Programar o Autómatos	306
7.8.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	307
7.8.7	Ligação do Autómatos	310
PARTE III – APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS CPM1A/2A.....		311
7.9	EXEMPLO 9: MONTA-CARGAS	311
7.9.1	Descrição do Processo	311
7.9.2	Graficet Nível 1.....	312
7.9.3	Graficet Nível 2.....	312
7.9.3.1	Funcionamento	313
7.9.4	<i>Bits</i> Utilizados	314
7.9.4.1	Etapas.....	314
7.9.4.2	Recetividades.....	314
7.9.4.3	Ações.....	314
7.9.5	Equações das Etapas.....	315
7.9.5.1	Programar o Autómatos	315
7.9.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	316
7.9.7	Programa em Lista de Instruções.....	318

7.9.8	Ligação do Autómato	319
7.10	EXEMPLO 10: ARRANQUE ESTRELA-TRIÂNGULO	319
7.10.1	Descrição do Processo	319
7.10.2	Grafet Nível 1.....	320
7.10.3	Grafet Nível 2.....	321
7.10.3.1	Funcionamento	323
7.10.4	Bits Utilizados	324
7.10.4.1	Etapas.....	324
7.10.4.2	Recetividades.....	325
7.10.4.3	Ações.....	325
7.10.5	Equações das Etapas.....	326
7.10.5.1	Temporizador.....	327
7.10.5.2	Programar o Autómato	327
7.10.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	328
7.10.7	Programa em Lista de Instruções.....	330
7.10.8	Ligação do Autómato	331
7.11	EXEMPLO 11: GUILHOTINA.....	332
7.11.1	Descrição do Processo	332
7.11.2	Grafet Nível 1.....	333
7.11.3	Grafet Nível 2.....	334
7.11.3.1	Funcionamento	334
7.11.4	Bits Utilizados	335
7.11.4.1	Etapas.....	335
7.11.4.2	Recetividades.....	335
7.11.4.3	Ações.....	336
7.11.5	Equações das Etapas.....	336
7.11.5.1	Programar o Autómato	337
7.11.6	Programa em Diagrama de Contactos.....	338
7.11.7	Programa em Lista de Instruções.....	340
7.11.8	Ligação do Autómato	341
7.12	EXEMPLO 12: ELEVADOR.....	341
7.12.1	Descrição do Processo	341
7.12.2	Grafet Nível 1.....	344
7.12.2.1	Grafet da Subida	345
7.12.2.2	Grafet da Descida	346
7.12.3	Grafet Nível 2.....	347
7.12.3.1	Grafet da Subida	348
7.12.3.2	Grafet da Descida	349
7.12.4	Bits Utilizados	350

7.12.4.1	Etapas.....	350
7.12.4.2	Recektividades.....	351
7.12.4.3	Ações.....	352
7.12.5	Equações das Etapas.....	353
7.12.5.1	Memórias.....	356
7.12.5.2	Botões de Chamada	356
7.12.5.3	Temporizadores	356
7.12.5.4	Paragem de Emergência	356
7.12.5.5	Programar o Autómatos	357
7.12.6	Programa em Lista de Instruções.....	357
7.12.7	Ligação do Autómatos	358
Anexo 1 –	Montagem e Cablagem de Autómatos.....	361
A1.1	MONTAGEM.....	361
A1.2	CABLAGEM	362
A1.2.1	Auxiliares de Cablagem	362
A1.2.1.1	Términais	362
A1.2.1.2	Liras e Calhas de Cablagem	362
A1.2.2	Distribuição da Aparelhagem	363
A1.2.3	Distâncias Mínimas	364
A1.2.4	Regras de Cablagem	365
A1.2.5	Cores/Secções dos Condutores.....	366
A1.3	CORES.....	366
A1.3.1	Alimentação do Autómatos	366
A1.3.2	Entradas do Autómatos (<i>Inputs</i>)	366
A1.3.3	Saídas do Autómatos (<i>Outputs</i>).....	367
A1.3.4	Circuitos Trifásicos (400 VAC)	367
A1.3.5	Código das Cores	367
Anexo 2 –	Sensores e Atuadores.....	368
A2.1	SENSORES.....	368
A2.1.1	Sensores Passivos e Ativos.....	368
A2.1.1.1	Contactos dos Sensores.....	368
A2.2	ATUADORES.....	369
A2.2.1	Motores Eléctricos.....	369
A2.2.1.1	Símbolos	370
A2.2.2	Cilindros.....	370
A2.2.2.1	Símbolos.....	370
A2.2.2.2	Cilindros de Simple Efeito	371

A2.2.2.3 Cilindros de Duplo Efeito	371
A2.3 REFERENCIAÇÃO DE SENSO RES E ATUADORES.....	372
A2.4 PROTEÇÕES.....	373
A2.4.1 Entradas do Autómato	373
A2.4.2 Saídas do Autómato	373
Glossário	375
Endereços Internet.....	377
Bibliografia	379
Índice Remissivo	381
Glossário de Termos – Português Europeu e Português do Brasil.....	385

Sobre o Livro

Esta quinta edição da obra persegue os mesmos objetivos que as anteriores: preencher a lacuna existente na bibliografia em língua portuguesa no que respeita a autómatos programáveis e sua programação.

Esta nova edição atualizada inclui autómatos dos principais fabricantes, continuando os assuntos a serem tratados numa linguagem acessível, estruturados de forma pedagógica e tendo em conta as necessárias informações de carácter técnico.

Tal como nas edições anteriores, o livro destina-se aos alunos dos cursos de engenharia, cursos tecnológicos, cursos profissionais, técnicos de automatismos e, de uma maneira geral, a todos aqueles que se interessam por automação.

Espera-se que esta nova edição continue a ser um livro fundamental para a aprendizagem de autómatos, uma ferramenta necessária ao professor/formador no desempenho da sua profissão e que contribua para uma melhor formação numa das áreas mais relevantes e promissoras da atualidade.

Esta edição consta de sete capítulos e de dois anexos.

O **Capítulo 1** analisa em traços gerais a constituição, funcionamento e linguagens de programação dos autómatos. Destina-se este capítulo a fornecer conhecimentos básicos sobre autómatos programáveis.

Nos **Capítulos 2, 3 e 4**, estudam-se três autómatos com grande implantação no ensino e na indústria, terminando cada capítulo com exemplos de programação em que se utilizam as principais instruções desses autómatos.

No **Capítulo 5**, descrevem-se as regras referentes a este método de acordo com as normas internacionais que o regulamentam:

- IEC 60848 (GRAFCET *specification language for sequential function chart* – SFC): linguagem de especificação Grafcet para diagramas funcionais sequenciais;
- IEC 61131-3 (*Programmable Controllers Part 3: Programming Languages*): Autómatos Programáveis Parte 3: Linguagens de Programação.

O método Grafcet é abordado de forma ampla, apresentando-se vários exemplos para uma melhor compreensão.

No **Capítulo 6**, estuda-se um método de programação que permite programar os automatismos descritos em Grafcet, através da linguagem em lista de instruções e em diagrama de contactos, linguagens simples e fáceis de utilizar em qualquer tipo de autómato.

No **Capítulo 7** são estudados e resolvidos vários exemplos de automatismos, de forma a possibilitar uma combinação harmoniosa entre teoria e prática.

Finaliza-se o livro com dois anexos: um para abordar aspetos práticos da montagem e cablagem dos autómatos e outro com informações importantes relativas a sensores e a atuadores.

1.1 INTRODUÇÃO

O AutómatO Programável (AP) ou Controlador Lógico Programável (*Programmable Logic Controller* – PLC) utiliza-se, por excelência, no comando de circuitos de automatismos (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Exemplo de um autómatO programável.

Trata-se de um equipamento eletrônico, programado pelo utilizador, com funcionamento cíclico assegurado por um programa que, devido à facilidade de uso e preço cada vez mais atrativo, entrou definitivamente na automatização dos pequenos e grandes sistemas.

O autómatO pode ser considerado como um computador cuja arquitetura, sistema operativo, linguagem de programação, entradas/saídas e forma construtiva estão especialmente adaptados para aplicações de controlo industrial. Está concebido para funcionar em ambientes industriais agressivos (temperatura, vibrações, microcortes na tensão, ruído elétrico, etc.), por isso, é também um equipamento muito robusto.

Os automatismos, sistemas que permitem a realização automática de operações, podem ser implementados através de:

Os autómatos Twido (Figuras 2.1 e 2.2), da empresa Schneider Electric, encontram-se disponíveis em modelo compacto e modular. Os dois modelos permitem a ligação de módulos de expansão de entradas, de saídas ou mistos de E/S, cartucho de memória EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*), cartucho com relógio de tempo real (RTC), módulo de visualização do operador (HMI – interface homem-máquina), etc.

A programação dos autómatos, através de computador, pode ser efetuada em diagrama de contactos ou em lista de instruções.

Modelo Compacto

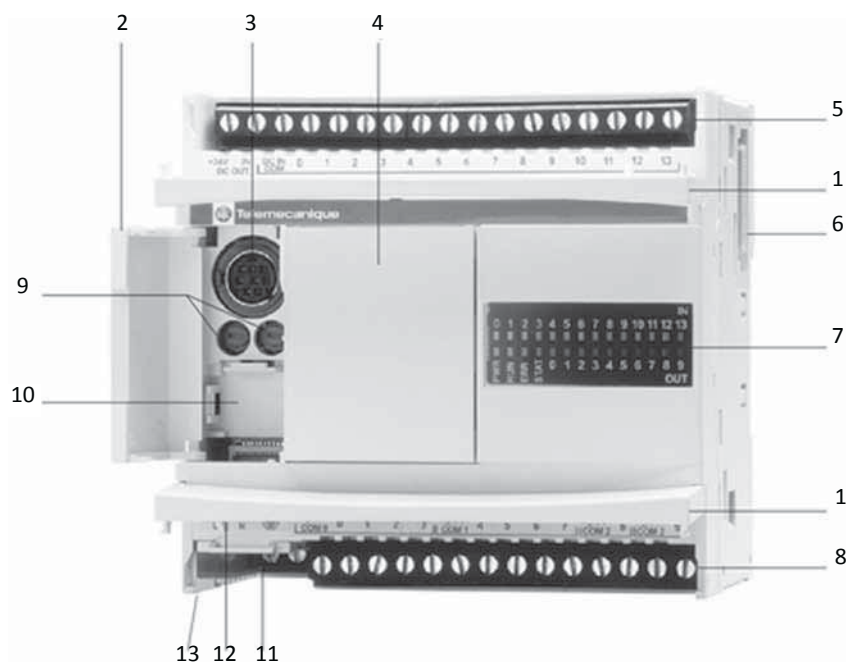


Figura 2.1 – Autómat o Twido compacto.

Descrição dos elementos:

1. Tampa superior e inferior; acesso aos terminais.
2. Tampa frontal; acesso à ficha RS-485 e potenciômetros.

Os autômatos S7-200, da empresa Siemens, são do tipo compacto, incorporam a CPU, a fonte de alimentação, as entradas e as saídas digitais. Estão disponíveis com diferentes CPU, às quais se podem ligar diferentes módulos de expansão.

A programação dos autômatos, através de computador, pode ser efetuada em diagrama de contactos ou em lista de instruções.

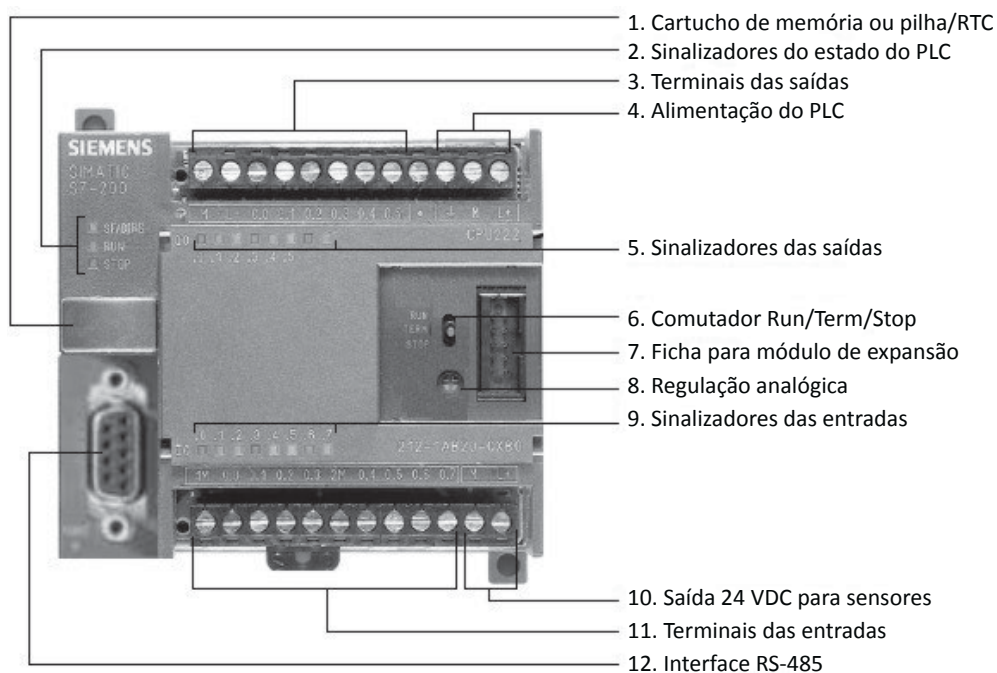


Figura 3.1 – Autômatos S7-200, CPU 222.

Descrição dos elementos:

1. Local para colocação do cartucho de memória EEPROM, colocação do cartucho de pilha ou cartucho combinado de pilha e relógio (RTC).
2. Sinalizadores que informam sobre o modo de operação do autômatos: SF/DIAG, RUN e STOP.
(SF/DIAG = *System Fault/Diagnostic* – Falha no sistema/Diagnóstico).
3. Terminais das saídas digitais.

4

Autómatos CPM1A/2A

Modelos de autómatos fabricados pela empresa Omron, que podem ser programados através de:

- Consola em linguagem lista de instruções;
- Computador em linguagem de contactos ou em linguagem lista de instruções.

Cada autómato base pode ser expandido por módulos de expansão, de forma a aumentar o número de E/S controladas.

Esta gama de autómatos é do tipo compacto, com saídas a relé ou transístor, apresentando o modelo CPM1A, alimentado a 230 VAC com saídas a relé, o painel frontal representado na Figura 4.1.

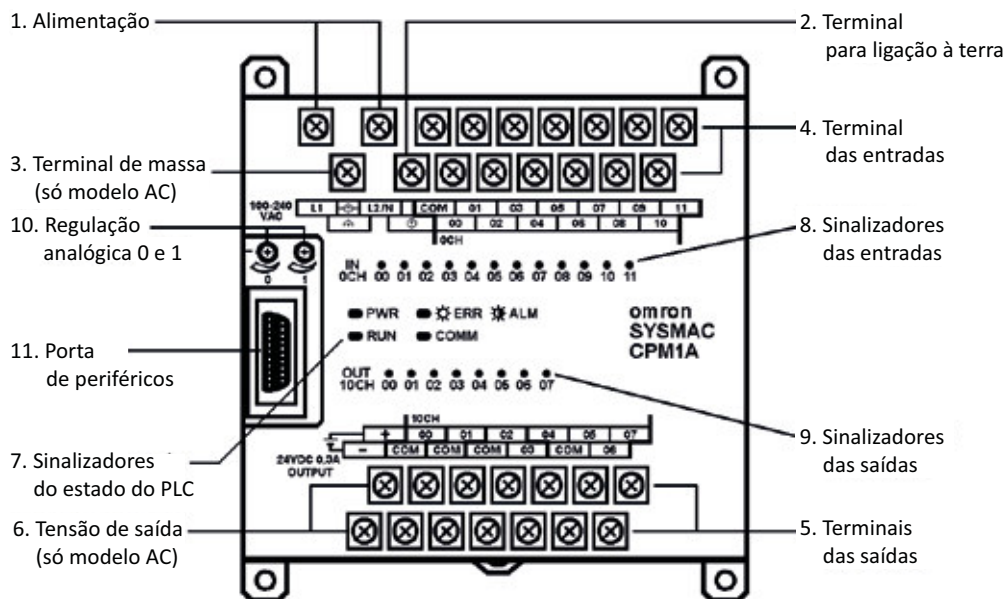


Figura 4.1 – Autómato CPM1A – 20 E/S.

Descrição dos elementos:

1. Terminais para ligação da alimentação do autómato; em AC tensão de 230 V (L1 e N) e em DC tensão de 24 V (+ e -).

5.1 INTRODUÇÃO

Os primeiros métodos para o desenvolvimento de projetos de automatismos eram puramente intuitivos e elaborados por técnicos com uma larga experiência em automação.

Na atualidade, com a complexidade que um sistema automatizado pode atingir, só a utilização de métodos dedicados e do computador torna possível o desenvolvimento de projetos complexos.

Contudo, nem todos os métodos, apresentados ao longo dos anos, têm sido de aplicação simples em processos industriais. Por isso, para que este estudo se tornasse acessível, em França, em meados dos anos 70 do século XX, encetou-se uma colaboração entre fabricantes de autómatos e organismos oficiais, da qual resultou um método designado por **GRAFCET** (**GRÁfico Funcional de Comando Etapa Transição**), que mostrou ser o método que melhor se adapta à resolução de problemas de automação de processos sequenciais.

À época, esse método foi homologado pela França e, posteriormente, pela Comissão Eletrotécnica Internacional, norma IEC 848 do ano de 1988, atual IEC 60848 [*GRAFCET specification language for sequential function charts* – Linguagem de especificação GRAFCET para diagramas funcionais sequenciais (SFC)].

Mais tarde, no ano de 1993, a norma IEC 1131-3, atual IEC 61131-3 (*Programmable Controllers Part 3: Programming Languages* – Autómatos Programáveis Parte 3: Linguagens de Programação), vem estabelecer as regras para as linguagens de programação de autómatos, de acordo com um padrão internacional.

O GRAFCET é um método gráfico que permite descrever, em forma de diagrama, as fases de funcionamento de um automatismo. Adapta-se perfeitamente aos autómatos programáveis e tem aplicação nas diferentes tecnologias utilizadas em automatismos: tecnologia eletromecânica, tecnologia pneumática, tecnologia hidráulica e tecnologia eletrónica.

O Grafcet descreve, através de um diagrama funcional, o comportamento de um automatismo sequencial de uma forma clara, simples e de fácil compreensão, por isso, é uma ferramenta imprescindível para a resolução de problemas relativos a processos sequenciais.

A utilização do Grafcet também facilita o diálogo entre pessoas com formação diferente, tanto no momento de análise do processo a automatizar, como, posteriormente, nas operações de manutenção e de reparação de avarias.

A programação dos automatismos descritos em Grafcet pode ser feita em linguagem lista de instruções ou, de forma gráfica, através da linguagem de diagrama de contacto. Também

6.1 INTRODUÇÃO

A programação dos automatismos descritos em Grafcet, dependendo do fabricante e do tipo de autômato, pode ser feita através de instruções específicas, diferentes nos vários fabricantes de autômatos, ou de *software* dedicado, que também depende do fabricante, através da programação direta, a partir do diagrama funcional do Grafcet.

Neste capítulo, não vão ser seguidas estas possibilidades, mas, sim, um método de programação que permite programar, através das linguagens de programação mais utilizadas – lista de instruções e diagrama de contactos – os automatismos desenvolvidos em Grafcet.

Aplicando-se este método, obtêm-se as equações lógicas que descrevem matematicamente o diagrama funcional do Grafcet.

O método, para além de ser de aplicação simples, tem a vantagem de utilizar apenas instruções básicas. Como estas instruções possuem mnemónicas semelhantes nos diferentes fabricantes de autômatos, pode-se considerar este método de aplicação universal.

Para converter o diagrama funcional do Grafcet num programa em diagrama de contactos ou em lista de instruções, é necessário, como veremos mais à frente, além de se estabelecerem as equações lógicas correspondentes a cada etapa do Grafcet, atribuir às etapas, recetividades e ações um *bit* do mapa de memória do autômato utilizado.

De acordo com as regras do Grafcet, uma transição é transposta, quando a mesma é válida e a respetiva recetividade verdadeira, ou seja, para que o Grafcet evolua de uma etapa para a seguinte, é necessário que a etapa anterior esteja ativa e que a recetividade associada seja verdadeira.

Ainda de acordo com as regras do Grafcet, a transposição de uma transição implica a ativação da(s) etapa(s), unidas à transição, que está(ão) imediatamente a seguir e a desativação simultânea das etapas, que estavam ativas, imediatamente anteriores à transição.

Com o método que vai ser analisado neste capítulo, é possível, a partir do diagrama funcional do Grafcet, obterem-se as equações lógicas para as etapas, que permitem, depois, facilmente, escrever um programa em diagrama de contactos ou em lista de instruções.

6.2 MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO DO GRAFCET

No Grafcet, para que ocorra a ativação de uma etapa (E_n), é necessário que a etapa anterior esteja ativa ($E_{n-1} = 1$) e que a respetiva recetividade seja verdadeira ($r_{n-1} = 1$). Nestas con-

Neste capítulo, utilizando-se o Grafcet e o método de programação estudado no Capítulo 6, são apresentados exemplos de automatismos e respetivas soluções.

As aplicações abordam situações comuns ou conhecidas, de forma a serem facilmente entendidas. O elemento de comando é o autómato programável e os dispositivos de potência, motores elétricos e/ou cilindros pneumáticos/hidráulicos.

O estudo destes exemplos tem por finalidade aprofundar os conhecimentos adquiridos nos capítulos anteriores e, ao mesmo tempo, possibilitar a prática da experimentação com o autómato.

Compreendidos os exemplos propostos, adquirem-se os conhecimentos necessários para se abordarem situações mais complexas; ou seja, a porta fica aberta para que se torne possível enfrentar a conceção, realização, manutenção e exploração de automatismos programáveis.

Como se pretende que o livro alie o saber ao saber fazer, os exemplos analisados neste capítulo foram escritos para os autómatos estudados nos Capítulos 2, 3 e 4 – autómatos Twido, S7-200 e CPM1A/2A.

O primeiro autómato é utilizado nos exemplos da Parte I do capítulo, o segundo nos exemplos da Parte II e o terceiro nos exemplos da Parte III.

Os exemplos da Parte I também podem ser utilizados nos autómatos TSX 07 (Nano) e os exemplos da Parte III nos autómatos CPM1 e CPM2C.

Todos os exemplos foram estruturados de modo a que possam facilmente ser aplicados noutras marcas/modelos de autómatos.

Nota:

Para ligação dos automatismos constantes nos exemplos deste capítulo, deve ter-se também em conta o esquema apresentado na Figura 6.9, no Capítulo 6, secção 6.4.6.

Atenção!

Os exemplos de programação que constam do livro foram escritos a título didático, por isso, podem não estar previstas todas as situações de funcionamento real. Deste modo, o seu uso em programas de aplicação industrial pode necessitar de adaptações que assegurem todas as possibilidades de utilização e o respeito pelas normas de segurança em vigor no setor de atividade onde vão ser utilizados.

PARTE I: APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS TWIDO⁴⁰

Notas:

- A linguagem de programação utilizada nos autómatos Twido está de acordo com a norma internacional e, por isso, utiliza o símbolo “%” no código dos endereços. Contudo, para facilitar a escrita, a leitura e a interpretação, omitiu-se este símbolo no texto;
- No ensaio dos exemplos, que se apresentam para o autómato Twido, utilizou-se o modelo compacto de **16 E/S**.

7.1 EXEMPLO 1: INVERSÃO DE MARCHA DE MOTOR TRIFÁSICO

7.1.1 Descrição do Processo

Automatismo que possibilita o arranque direto, com inversão do sentido de marcha, de um motor assíncrono trifásico.

A marcha à direita ocorre quando se pressiona um botão s1, com deteção do flanco ascendente, e a marcha à esquerda quando se pressiona um botão s2, também com deteção do flanco ascendente.

A paragem do motor verifica-se quando se pressionar um botão s0 ou o contacto auxiliar f1 do relé de proteção térmica, que protege o motor contra sobrecargas, fechar.

Os botões são do tipo pressão e o automatismo possui ainda dois sinalizadores luminosos – um para indicar marcha à direita e outro para indicar marcha à esquerda.

Nota:

A inversão do sentido de rotação de um motor assíncrono trifásico é realizada através da troca de duas das fases que alimentam o motor. Para efetuar esta operação, são necessários dois contactores – um que liga o motor com as fases numa determinada sequência e outro que liga com uma sequência com duas fases trocadas relativamente à primeira sequência (Figura 7.1).

⁴⁰ Os exemplos também podem ser aplicados nos autómatos TSX 07 (Nano).

PARTE II: APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS S7-200

Notas:

- A programação dos autômatos S7-200 pode ser efetuada de acordo com a norma internacional (IEC 61131-3) ou de acordo com norma Siemens (*Simatic*). De acordo com a norma internacional, utilizada nos exemplos seguintes, o símbolo “%” faz parte do código dos endereços. Contudo, para facilitar a escrita, a leitura e a interpretação, omitiu-se este símbolo no texto;
- No ensaio dos exemplos que se seguem, utilizou-se a **CPU 224**.

7.5 EXEMPLO 5: ARRANQUE DIRETO DE MOTOR TRIFÁSICO

7.5.1 Descrição do Processo

Aplicação idêntica à estudada no Capítulo 6, mas, neste exemplo, além de se efetuar o arranque direto de um motor assíncrono trifásico com rotor em curto-circuito, o tempo de funcionamento do motor é determinado por um temporizador e o automatismo possui sinalização – L1 para indicar a marcha do motor e L2 intermitente para indicar a paragem provocada pela atuação do relé de proteção térmica.

A colocação do motor em marcha é feita por um contacto s1, tipo botão de pressão, com deteção do flanco ascendente, e a paragem manual por um contacto s0 do mesmo tipo.

Caso a proteção térmica seja atuada, é ligado um contacto f1, que também provoca a paragem do motor.

PARTE III: APLICAÇÕES EM AUTÓMATOS CPM1A/2A⁴³

7.9 EXEMPLO 9: MONTA-CARGAS

7.9.1 Descrição do Processo

Um cilindro hidráulico telescópico de duplo efeito, comandado por eletroválvula, aciona um monta-cargas (Figura 7.41) que faz o transporte de mercadorias entre dois pisos de uma fábrica.

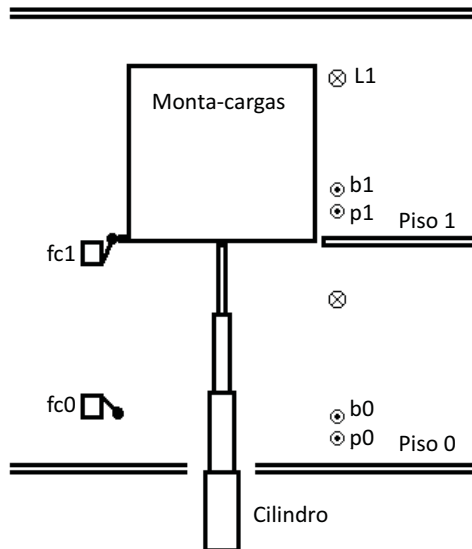


Figura 7.41 – Desenho da aplicação.

No piso inferior, está colocado um botão tipo pressão b0, através do qual se dá a ordem para o monta-cargas subir. No piso superior, um botão b1, do mesmo tipo, dá a ordem para o monta-cargas descer. Também existe em cada piso um interruptor – p0 no piso 0 e p1 no piso 1 –, que, ligado, provoca a paragem do monta-cargas.

Em cada piso, existe ainda uma lâmpada sinalizadora – L0 no piso 0, que pisca quando o monta-cargas está a descer, e L1 no piso 1, que pisca quando o monta-cargas está a subir.

A cabina do monta-cargas atua dois interruptores fim de curso – fc0 e fc1, que correspondem, respetivamente, ao final da descida e da subida.

⁴³ Os exemplos também podem ser aplicados, diretamente, nos autómatos CPM1 e CPM2C.

Autómatos Programáveis

Na sequência das anteriores edições, esta 5.ª edição atualizada da obra persegue os mesmos objetivos: preencher a lacuna existente na bibliografia em língua portuguesa no que respeita a autómatos programáveis e sua programação.

Esta nova edição atualizada estuda os modelos de autómatos dos principais fabricantes e apresenta diferentes exemplos de programação. Os assuntos continuam a ser tratados numa linguagem simples, estruturados de forma pedagógica e tendo em conta as necessárias informações de caráter técnico.

O livro destina-se aos alunos dos cursos de engenharia, cursos tecnológicos, cursos profissionais, técnicos de automatismos e, de uma maneira geral, a todos aqueles que se interessam por automação.

Trata-se de um livro fundamental para a aprendizagem de autómatos e de uma ferramenta necessária ao professor/formador no desempenho da sua profissão, que contribui para uma melhor formação numa das áreas mais relevantes e promissoras da atualidade.



António Francisco

Bacharelato e Licenciatura em Engenharia. O primeiro pelo Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e a segunda pela Escola Náutica Infante D. Henrique.

Professor com mais de 30 anos de prática letiva e estatuto de formador, atribuído pelo Conselho Científico-Pedagógico da Formação Contínua de Professores, na área de Autómatos Programáveis e Didáticas Específicas (Eletrónica/Eletrotecnia/Eletromecânica). Autor do livro *Motores Elétricos*, publicado pela mesma Editora.

A obra trata os seguintes temas:

O AUTÓMATO PROGRAMÁVEL
ESPECIFICAÇÕES E PROGRAMAÇÃO DE
AUTÓMATOS
MÉTODO GRAFCET
PROGRAMAR O GRAFCET
EXEMPLOS DE APLICAÇÃO
MONTAGEM E CABLAGEM DE AUTÓMATOS
SENSORES E ATUADORES



Os programas, para os exemplos de aplicação referidos no livro, estão disponíveis na página Web da Lidel em: www.lidel.pt.

ETEP

ISBN 978-972-8480-33-2



www.lidel.pt