

Nota final
8,4 (oitos e quatro)

CESAR JUN YAMASHITA

FRANCISCO SERRA CORRÊA PORTO

22/01/04

**DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS DIDÁTICOS DE
AUTOMAÇÃO BASEADOS EM SISTEMAS FLUIDO-
MECÂNICOS E CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Eigi Miyagi

Co-orientadora:
Emília Villani

São Paulo

2003

Aos nossos pais e familiares, cuja
dedicação e apoio sempre nos
estimulou, conferindo-nos os alicerces
para quem somos hoje.

Agradecimentos

Resumo

O presente trabalho visa complementar o ensino acadêmico do curso de Engenharia Mecatrônica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, principalmente no que se refere aos tópicos relacionados com sistemas fluido-mecânicos e controladores programáveis. A estratégia para esse fim se baseia na integração desses dois temas em um ambiente tecnológico com recursos que permitam o desenvolvimento de experiências didáticas abordando a simulação de processos produtivos industriais. A preocupação do texto está centrada na transmissão dos conceitos referentes às tecnologias empregadas nas experiências e na descrição dos métodos e técnicas utilizadas em cada simulação. O trabalho reserva ainda um espaço importante para a descrição dos equipamentos utilizados e para a documentação dos resultados alcançados com a resolução de cada estudo de caso proposto. Um fator relevante na condução dos temas abordados está no traçado de uma meta que permita avaliar a validade de todo esforço empregado ao longo do desenvolvimento dos experimentos. Para o caso particular deste trabalho, tomou-se como base para a seleção das atividades, o funcionamento da Mini-CIM.

Abstract

This report aims to complement the academic education of the Mechatronics Engineer course at the Polytechnic School of the University of São Paulo, referring mainly to the topics related to fluid-mechanics systems and programmable controller. The strategy is based on the integration of both subjects in a technological environment equipped with resources that allow the development of didactic experiments approaching the simulation of industrial productive processes. This text cares with the transmission of concepts referred to the technologies used on the experiments and with the description of methods and techniques used in each simulation. This work still keeps an important part to the description of all used equipment and the documentation of reached results related to the solutions found for each case suggested. A relevant aspect in the conducting of themes approached in this work is related to the definition of a reaching point that turns available an evaluation of all efforts concentrated during the development of the experiments. For this particular work, the basis for the themes' selection is focused on the Mini-CIM's operation.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	V
LISTA DE TABELAS.....	XXIII
LISTA DE ABREVIATURAS	XXVI
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXVII
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 PNEUMÁTICA.....	5
2.1.1 Definição	5
2.1.2 Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido	5
2.1.2.1 Qualidade do Ar Comprimido	5
2.1.2.2 Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido.....	6
2.1.2.3 Compressores	7
2.1.2.4 Secagem do Ar Comprimido	13
2.1.2.5 Distribuição de Ar Comprimido	15
2.1.2.6 Tratamento de Ar Comprimido	16
2.1.3 Características dos Sistemas Pneumáticos	20
2.1.4 Atuadores Pneumáticos.....	21
2.1.4.1 Atuadores Lineares.....	22
2.1.4.2 Atuadores Rotativos	26
2.1.5 Princípios construtivos de um Cilindro Pneumático	27
2.1.6 Cálculo dos Atuadores	28
2.1.7 Válvulas Pneumáticas	30
2.1.7.1 Válvulas Direcionais	32
2.1.7.2 Válvulas de Bloqueio	38
2.1.7.3 Válvulas de Fluxo.....	40
2.1.7.4 Válvulas de Pressão.....	40
2.1.8 Temporizadores Pneumáticos	41
2.1.9 Circuitos Pneumáticos	42
2.1.9.1 Sequência de Movimento dos Pistões	45
2.1.9.2 Métodos de Projeto de Circuitos Pneumáticos	46

2.2	ELETROPNEUMÁTICA.....	55
2.2.1	<i>Definição</i>	55
2.2.2	<i>Principais componentes</i>	55
2.2.2.1	Válvulas Direcionais	55
2.2.2.2	Relé	56
2.2.2.3	Botão	57
2.2.3	<i>Circuitos Eletropneumáticos</i>	57
2.2.3.1	Principais Características.....	57
2.2.3.2	Projeto de circuito eletropneumático.....	59
2.3	HIDRÁULICA.....	61
2.3.1	<i>Definição de um Sistema Hidráulico</i>	61
2.3.2	<i>Características dos Sistemas Hidráulicos</i>	62
2.3.3	<i>Conservação de Energia</i>	64
2.3.3.1	Bombas e Motores Hidrostáticos.....	65
2.3.3.2	Motores Lineares (Cilindros Hidráulicos).....	72
2.3.4	<i>Limitação e Controle de Energia</i>	76
2.3.4.1	Controle de Pressão	77
2.3.4.2	Controle de Vazão	82
2.4	CONTROLE DE SISTEMAS A EVENTOS DISCRETOS (SEDs).....	84
2.4.1	<i>Introdução</i>	84
2.4.2	<i>Modelagem do Objeto de Controle</i>	85
2.4.3	<i>Modelagem do Dispositivo de Controle</i>	86
2.4.4	<i>Modelagem das Tarefas de Controle</i>	87
2.4.5	<i>Representação de SED por Redes de Petri</i>	90
2.4.5.1	Redes de Petri.....	91
2.4.5.2	PFS (Production Flow Schema)	94
2.4.5.3	MFG (Mark Flow Graph).....	95
2.4.5.4	Metodologia PFS/MFG	97
2.4.6	<i>Metodologia de Projeto de Sistemas de Controle</i>	99
3	LEVANTAMENTO E DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E COMPONENTES.....	101
3.1	EQUIPAMENTOS E COMPONENTES PNEUMÁTICOS.....	101
3.2	EQUIPAMENTOS E COMPONENTES HIDRÁULICOS.....	107

3.3	EQUIPAMENTOS E COMPONENTES ELETROPNEUMÁTICOS	111
3.4	CONTROLADORES PROGRAMÁVEIS E EQUIPAMENTOS E COMPONENTES RELACIONADOS	114
3.5	DISPOSIÇÃO DO LABORATÓRIO E EQUIPAMENTOS RELACIONADOS	116
4	ANTE-PROJETO	118
4.1	PNEUMÁTICA	119
4.2	HIDRÁULICA	120
4.3	ELETROPNEUMÁTICA (SEM A UTILIZAÇÃO DE CPS)	120
4.4	ELETROPNEUMÁTICA (COM A UTILIZAÇÃO DE CPS)	121
4.5	ESTRUTURA PADRÃO DE EXPERIMENTO	122
5	DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS	124
5.1	PNEUMÁTICA	124
5.1.1	<i>Experimento 1</i>	124
5.1.2	<i>Experimento 2</i>	133
5.1.3	<i>Experimento 3</i>	139
5.1.4	<i>Experimento 4</i>	148
5.1.5	<i>Experimento 5</i>	168
5.1.6	<i>Experimento 6</i>	180
5.2	HIDRÁULICA	188
5.2.1	<i>Experimento 1</i>	188
5.2.2	<i>Experimento 2</i>	193
5.2.3	<i>Experimento 3</i>	198
5.2.4	<i>Experimento 4</i>	203
5.3	ELETROPNEUMÁTICA (SEM CPS)	208
5.3.1	<i>Experimento 1</i>	208
5.3.2	<i>Experimento 2</i>	214
5.3.3	<i>Experimento 3</i>	223
5.3.4	<i>Experimento 4</i>	233
5.4	ELETROPNEUMÁTICA (COM CPS)	243
5.4.1	<i>Experimento 1</i>	243

5.4.2	<i>Experimento 2</i>	262
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	286
7	CONCLUSÕES	290
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	292

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Geração, tratamento e distribuição do ar comprimido	6
Figura 2.2 - Classificação dos compressores existentes.....	8
Figura 2.3 - Compressor de êmbolo monoestágio.....	8
Figura 2.4 - Compressor de Membrana.....	9
Figura 2.5 – Compressor de Palhetas	10
Figura 2.6 - Compressor de parafuso	11
Figura 2.7 - Compressor Roots.....	11
Figura 2.8 - Compressor Axial	12
Figura 2.9 - Compressor radial.....	13
Figura 2.10 - Rede em circuito aberto	15
Figura 2.11 - Rede em circuito fechado	16
Figura 2.12 - Rede combinada	16
Figura 2.13 - Unidade de tratamento e seus símbolos.....	17
Figura 2.14 - Filtro e seus símbolos	18
Figura 2.15 - Válvula de segurança.....	18
Figura 2.16 - Princípio de Venturi.....	19
Figura 2.17 – Lubrificador	20
Figura 2.18 - Cilindro de simples ação.....	23
Figura 2.19 - Cilindro de dupla ação	24
Figura 2.20 - Cilindro sem haste com tubo fendido	25
Figura 2.21 - Cilindro sem haste com imã	25
Figura 2.22 - Cilindro sem haste com cabo ou fita	25
Figura 2.23 - Atuador Rotativo	26

Figura 2.24 - Componentes de um cilindro de dupla ação	27
Figura 2.25 - Simbologia de comutação da válvula	30
Figura 2.26 - Tipos de válvulas direcionais	31
Figura 2.27 - Simbologia com descrição das conexões.....	32
Figura 2.28 - Funcionamento de uma válvula de 3/2 vias acionada manualmente e com retorno por mola	33
Figura 2.29 - Tipos de acionamento	33
Figura 2.30 - Execução em assento	34
Figura 2.31 - Execução em êmbolo.....	35
Figura 2.32 - Válvula 3/2 vias com acionamento pneumático e retorno por mola	36
Figura 2.33 - Válvula 5/2 vias bi-estável	37
Figura 2.34 - Válvula 3/2 vias servo comandada acionada por rolete	38
Figura 2.35 - Válvula 3/2 vias servo comandada acionada por botão.....	38
Figura 2.36 - Válvula de Retenção	38
Figura 2.37 - Válvula Alternadora ("OU").....	39
Figura 2.38 - Válvula de Duas Pressões ("E")	39
Figura 2.39 - Válvula Reguladora de Fluxo Unidirecional	40
Figura 2.40 - Válvula Limitadora de Pressão	41
Figura 2.41 - Válvula temporizadora que retarda a emissão do sinal	41
Figura 2.42 - Válvula temporizadora que retarda a interrupção do sinal	42
Figura 2.43 - Circuito Pneumático Real	43
Figura 2.44 - Representação Simbólica.....	43
Figura 2.45 - Numeração de um circuito pneumático	44
Figura 2.46 - Diagramas de trajeto-tempo (esquerda) e trajeto-passo (direita).....	45

Figura 2.47 - exemplos de seqüências diretas e indiretas.....	45
Figura 2.48 - Elementos de Trabalho	46
Figura 2.49 - Elementos de Comando	46
Figura 2.50 - Elementos de Sinal	47
Figura 2.51 - Elementos de Alimentação linhas de trabalho.....	47
Figura 2.52 - Acionamento do circuito através de um botão	48
Figura 2.53 - Acionamento do segundo elemento de sinal	48
Figura 2.54 - Acionamento do terceiro elemento de sinal.....	49
Figura 2.55 - Acionamento do último elemento de sinal	49
Figura 2.56 - Esquema final do circuito pneumático resultante.....	49
Figura 2.57 - Seqüência de movimentos divididos em grupos.....	50
Figura 2.58 - Inclusão dos elementos de trabalho e das válvulas de comando	50
Figura 2.59 - Inclusão dos grupos de alimentação de ar	51
Figura 2.60 - Início da seqüência através do acionamento do botão de partida.....	52
Figura 2.61 - Acionamento da alimentação de ar referente ao grupo II.....	52
Figura 2.62 - Acionamento da alimentação de ar referente ao grupo IV	53
Figura 2.63 - Circuito pneumático resultante	54
Figura 2.64 -Esquema final do circuito pneumático resultante.....	54
Figura 2.65 - Válvula 3/2 vias acionada por solenóide	56
Figura 2.66 - Princípio de Funcionamento e exemplo de atuação de um relé.....	56
Figura 2.67 - Botões fechador, abridor e comutador e respectivos símbolos.....	57
Figura 2.68 - Circuito pneumático simples	58
Figura 2.69 - Circuito de controle e de potência	58
Figura 2.70 - Circuitos ligar e desligar dominante	59

Figura 2.71 – Sub-circuito responsável por um evento da sequência no método passo-a-passo	59
Figura 2.72 - Circuito eletropneumático referente à sequência A+B+C+C-A-B-	60
Figura 2.73 – Sistema hidráulico genérico. Fluxos de energia, matéria e informação 61	
Figura 2.74 – Bomba (ou motor) de engrenagens externas.....	66
Figura 2.75– Bombas de engrenagens internas	67
Figura 2.76 – Bomba de parafusos	68
Figura 2.77 – Bomba de palhetas	68
Figura 2.78 – Tipos de máquinas de prato inclinado. (a) motor fixo e símbolo; (b) bomba fixa e símbolo	70
Figura 2.79 – Esquema de máquina de pistões axiais de eixo inclinado.....	70
Figura 2.80 – Bomba de pistões radiais com compensação de pressão, acesso interno de fluido e articulação externa dos pistões	71
Figura 2.81 – Motor de pistões radiais em estrela, com acesso externo e articulação interna	72
Figura 2.82 – Cilindros hidráulicos de simples ação.....	73
Figura 2.83 – Cilindros hidráulicos de dupla ação	73
Figura 2.84 – Cilindro diferencial com tirantes.....	74
Figura 2.85 – Cilindro diferencial com flanges aparafusadas	75
Figura 2.86 – Formas de fixação rígida.....	75
Figura 2.87 – Formas de fixação articulada	76
Figura 2.88 - Tipos de válvulas limitadoras de pressão de simples estágio	77
Figura 2.89 - Válvula limitadora de pressão de duplo estágio	79
Figura 2.90 -Válvula redutora de pressão de simples estágio	80

Figura 2.91 -Válvula redutora de pressão de simples estágio com piloto interno e dreno externo	81
Figura 2.92 - Válvula redutora de pressão de duplo estágio	81
Figura 2.93 - Válvula de controle de vazão de duas vias com compensação de pressão em serie a montante	82
Figura 2.94 – Válvula de controle de vazão de três vias com compensação em paralelo	83
Figura 2.95 - Diagrama conceitual do sistema de controle de SED	85
Figura 2.96 - Diagrama de blocos do CP	86
Figura 2.97 - Regras do diagrama de relés	88
Figura 2.98 - Memória.....	89
Figura 2.99 - Representação gráfica da estrutura de Redes de Petri	91
Figura 2.100 - Exemplo de “disparo” de uma <i>transição</i>	92
Figura 2.101 - Exemplo de “Paralelismo” e de uma situação de conflito gerado pela simultaneidade.....	93
Figura 2.102 - Capacidade dos lugares.....	93
Figura 2.103 - Exemplos de “peso” de arcos	94
Figura 2.104 - Exemplo de PFS	95
Figura 2.105 - Elementos básicos do MFG	96
Figura 2.106 - MFG com conceito de tempo	97
Figura 2.107 - Ciclo de vida do sistema de controle.....	99
Figura 3.1 – Um dos módulos disponíveis no laboratório de CPs do ITBA.....	116
Figura 3.2 - Fábrica Modelo (Mini-CIM)	117
Figura 3.3 – Bancadas didáticas disponíveis no ITBA	117
Figura 5.1 – Projeto do circuito pneumático 1	126

Figura 5.2 – Botão desacionado	126
Figura 5.3 - Botão acionado e pressionado	126
Figura 5.4 - Projeto do Circuito Pneumático 2.....	127
Figura 5.5 – Botão desacionado	127
Figura 5.6 - Botão acionado e pressionado	127
Figura 5.7 - Projeto do Circuito Pneumático 3.....	128
Figura 5.8 – Botão desacionado	128
Figura 5.9 - Botão acionado e pressionado	128
Figura 5.10 - Projeto do Circuito Pneumático 4.....	129
Figura 5.11 – Botão 2 acionado.....	129
Figura 5.12 - Botão 1 acionado	129
Figura 5.13 - Projeto do Circuito Pneumático 5.....	130
Figura 5.14 – Botão 2 acionado.....	130
Figura 5.15 – Botão 1 acionado.....	130
Figura 5.16 - Diagrama trajeto-passo	134
Figura 5.17 - Projeto do circuito pneumático.....	135
Figura 5.18 – Montagem	135
Figura 5.19 – Posicionamento da garra sobre o objeto	136
Figura 5.20 – Acionamento da garra	136
Figura 5.21 – Elevação do objeto fixado pela garra.....	136
Figura 5.22 – Transporte horizontal ao ponto de destino	136
Figura 5.23 – Posicionamento do objeto no ponto de destino.....	136
Figura 5.24 – Desacionamento da garra.....	136
Figura 5.25 – Elevação da garra desacionada	137

Figura 5.26 – Retorno horizontal ao ponto de origem.....	137
Figura 5.27 - Projeto do circuito pneumático	141
Figura 5.28 – Montagem	142
Figura 5.29 – Circuito em funcionamento.....	142
Figura 5.30 - Diagrama trajeto-passo	143
Figura 5.31 - Projeto do circuito pneumático	143
Figura 5.32 – Montagem	144
Figura 5.33 – Fixação da primeira face	144
Figura 5.34 – Fixação da segunda face	144
Figura 5.35 – Início da primeira camada de verniz	144
Figura 5.36 – Fim da última camada de verniz	144
Figura 5.37 – Liberação da porta envernizada	145
Figura 5.38 - Diagrama trajeto-passo	148
Figura 5.39 - Projeto do circuito pneumático	151
Figura 5.40 - Projeto do circuito pneumático	152
Figura 5.41 – Montagem	153
Figura 5.42 – Avanço do primeiro cilindro e liberação de pulso de sinal pelo rolete escamuteável	153
Figura 5.43 – Avanço do segundo cilindro sem acionar o rolete escamuteável.....	153
Figura 5.44 – Acionamento do fim-de-curso do segundo cilindro permite o próprio recoo	154
Figura 5.45 – Recuo do primeiro cilindro	154
Figura 5.46 – Detalhe do funcionamento do rolete escamuteável	154
Figura 5.47 - Projeto do circuito pneumático.....	155
Figura 5.48 – Montagem	156

Figura 5.49 – Acionamento do primeiro cilindro	156
Figura 5.50 – Acionamento do segundo cilindro	156
Figura 5.51 – Recuo do segundo cilindro.....	156
Figura 5.52 – Recuo do primeiro cilindro	156
Figura 5.53 - Projeto do circuito pneumático.....	157
Figura 5.54 – Montagem	158
Figura 5.55 – Avanço do primeiro cilindro	158
Figura 5.56 – Avanço do segundo cilindro	158
Figura 5.57 – Recuo do segundo cilindro.....	158
Figura 5.58 – Retorno do primeiro cilindro.....	158
Figura 5.59 - Projeto do circuito pneumático.....	159
Figura 5.60 – Montagem	160
Figura 5.61 – Avanço do primeiro cilindro	160
Figura 5.62 – Avanço do segundo cilindro	160
Figura 5.63 – Recuo do segundo cilindro.....	160
Figura 5.64 – Recuo do primeiro cilindro	160
Figura 5.65 - Projeto do circuito pneumático.....	161
Figura 5.66 – Montagem	162
Figura 5.67 – Avanço do primeiro cilindro.....	162
Figura 5.68 – Avanço do segundo cilindro	162
Figura 5.69 – Recuo do segundo cilindro.....	162
Figura 5.70 – Recuo do primeiro cilindro	162
Figura 5.71 - Mini-CIM.....	168
Figura 5.72 - Estação de Distribuição	170

Figura 5.73 - Diagrama trajeto-passo	171
Figura 5.74 - Projeto do circuito pneumático	172
Figura 5.75 – Montagem	172
Figura 5.76 – Botões de acionamento e botão com trava indicativo de peça.....	173
Figura 5.77 – Posição inicial	173
Figura 5.78 – Posiciona peça para o transporte.....	173
Figura 5.79 – Chegada do atuador rotativo juntamente com o recuo do pistão para o armazém	173
Figura 5.80 - Acionamento do vácuo	173
Figura 5.81 – Transporte da peça com vácuo acionado	173
Figura 5.82 – Desacionamento do vácuo e retorno a posição inicial	174
Figura 5.83 - Projeto do circuito pneumático.....	175
Figura 5.84 – Montagem	175
Figura 5.85 – Posiciona peça para o transporte.....	176
Figura 5.86 – Chegada do atuador rotativo juntamente com o recuo do pistão para o armazém	176
Figura 5.87 – Acionamento do vácuo	176
Figura 5.88 – Transporte da peça com vácuo acionado	176
Figura 5.89 – Desacionamento do vácuo e retorno a posição inicial	176
Figura 5.90 - Diagrama trajeto-passo	182
Figura 5.91 - Projeto do circuito pneumático	183
Figura 5.92 – Montagem	184
Figura 5.93 – Montagem	184
Figura 5.94 – Destravamento do botão de emergência	184
Figura 5.95 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit)	184

Figura 5.96 – Seleção do modo de operação automático	184
Figura 5.97 – Acionamento do botão de Reset para retornar os cilindros à posição inicial	185
Figura 5.98 – Acionamento do último passo como pré-requisito para o funcionamento da válvula industrial	185
Figura 5.99 – Início do processo através do acionamento do botão Start	185
Figura 5.100 – Avanço do cilindro de transporte do bracket e da tela metálica	185
Figura 5.101 – Avanço do segundo cilindro realizando o contato dos eletrodos com as peças metálicas (soldagem)	185
Figura 5.102 – Recuo do cilindro de acionamento dos eletrodos após a realização do ponto de solda	185
Figura 5.103 - Projeto do circuito pneumático	189
Figura 5.104 – Montagem	190
Figura 5.105 – Avanço do cilindro para o processo de parafusagem	190
Figura 5.106 – Contato com o parafuso e conseqüente acionamento do motor hidráulico	190
Figura 5.107 – Fim do processo de parafusagem e comando para recuo do cilindro	190
Figura 5.108 – Fim do processo	190
Figura 5.109 - Projeto do circuito hidráulico	194
Figura 5.110 - Montagem	195
Figura 5.111 - Avanço com velocidade elevada e força reduzida	195
Figura 5.112 - Contato com a peça a ser prensada	195
Figura 5.113 - Avanço com força elevada e velocidade reduzida	195
Figura 5.114 - Fim do processo de prensa e recuo do cilindro	195
Figura 5.115 - Projeto do circuito hidráulico	199

Figura 5.116 - Montagem.....	200
Figura 5.117 - Avanço sem a atuação de força externa.....	200
Figura 5.118 - Acréscimo de força externa ao sistema	200
Figura 5.119 - Avanço com a atuação de força externa	201
Figura 5.120 - Recuo dos cilindros hidráulicos.....	201
Figura 5.121 - Projeto do circuito hidráulico	204
Figura 5.122 – Montagem	205
Figura 5.123 – Avanço parcial do cilindro e motor em funcionamento.....	205
Figura 5.124 – Avanço em processo com conseqüente parada do funcionamento do motor	205
Figura 5.125 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	205
Figura 5.126 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	205
Figura 5.127 - Projeto do circuito eletropneumático.....	210
Figura 5.128 – Montagem	210
Figura 5.129 – Início do processo com o botão de Start	211
Figura 5.130 – Avanço do cilindro.....	211
Figura 5.131 – Recuo do cilindro finalizando o primeiro ciclo	211
Figura 5.132 – Fim do processo após a execução do número programado de ciclos	211
Figura 5.133 – Diagrama trajeto-passo para peça prata	216
Figura 5.134 – Diagrama trajeto-passo para peça vermelha	216
Figura 5.135 - Projeto do circuito eletropneumático.....	216
Figura 5.136 – Montagem	217
Figura 5.137 – Avanço parcial do cilindro e motor em funcionamento.....	217

Figura 5.138 – Avanço em processo com conseqüente parada do funcionamento do motor	217
Figura 5.139 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	218
Figura 5.140 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	218
Figura 5.141 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	218
Figura 5.142 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	218
Figura 5.143 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	218
Figura 5.144 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	218
Figura 5.145 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	219
Figura 5.146 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	219
Figura 5.147 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	219
Figura 5.148 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	219
Figura 5.149 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	219
Figura 5.150 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	219
Figura 5.151 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	220
Figura 5.152 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	220
Figura 5.153 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	220
Figura 5.154 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento	220

Figura 5.155 – Recuo do cilindro em processo e motor parado	220
Figura 5.156 - Mini-CIM.....	223
Figura 5.157 - Estação de Teste.....	225
Figura 5.158 – Diagrama trajeto-passo para peça aprovada.....	227
Figura 5.159 – Diagrama trajeto-passo para peça reprovada.....	227
Figura 5.160 - Projeto do circuito eletropneumático	227
Figura 5.161 – Montagem.....	228
Figura 5.162 – Detecção de peça vermelha com respectiva indicação luminosa	228
Figura 5.163 – Detecção de peça preta com respectiva indicação luminosa.....	228
Figura 5.164 – Detecção de peça prata com respectiva indicação luminosa.....	228
Figura 5.165 – Acionamento do botão Start.....	228
Figura 5.166 – Elevador transporta peça para a posição de teste de detecção de altura adequada	229
Figura 5.167 – Sensor de altura avança para realização de teste de detecção de altura adequada	229
Figura 5.168 – Retorno do sensor de altura após a realização do teste	229
Figura 5.169 – Peça aprovada é expulsa do elevador em direção ao carro de transporte	229
Figura 5.170 – Retorno do cilindro de expulsão de peça.....	229
Figura 5.171 – Retorno do elevador para a posição inicial	229
Figura 5.172 – Elevador transporta peça para a posição de teste de detecção de altura adequada	230
Figura 5.173 – Sensor de altura avança para realização de teste de detecção de altura adequada	230
Figura 5.174 - Retorno do sensor de altura após a realização do teste	230

Figura 5.175 – Peça reprovada é transportada de volta para a posição inicial pelo elevador.....	230
Figura 5.176 - Peça reprovada é expulsa do elevador	230
Figura 5.177 – Retorno do cilindro de expulsão de peça.....	230
Figura 5.178 - Diagrama trajeto-passo	236
Figura 5.179 - Projeto do circuito eletropneumático	236
Figura 5.180 – Montagem.....	237
Figura 5.181 – Destravamento do botão de emergência.....	237
Figura 5.182 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit).....	237
Figura 5.183 – Luz de emergência se apaga e botão Reset começa a piscar.....	237
Figura 5.184 – Acionamento do botão Reset.....	237
Figura 5.185 – Recuo dos cilindros para a posição inicial	238
Figura 5.186 – Botão Reset fica aceso e botão de Start começa a piscar	238
Figura 5.187 – Seleção do modo de operação manual com Reset aceso e Start piscando	238
Figura 5.188 – Acionamento do botão Start dando início ao processo	238
Figura 5.189 – Avanço do cilindro de transporte com botão Start permanentemente aceso.....	238
Figura 5.190 – Fim do primeiro passo faz botão Start voltar a piscar.....	238
Figura 5.191 – Acionamento do botão Start dando início ao segundo passo	239
Figura 5.192 – Avanço do cilindro de movimentação dos eletrodos e botão de Start aceso.....	239
Figura 5.193 – Fim do segundo passo faz botão Start voltar a piscar	239
Figura 5.194 – Acionamento do botão Start dando início ao terceiro passo	239

Figura 5.195 – Recuo do cilindro de movimentação dos eletrodos e botão de Start aceso.....	239
Figura 5.196 – Fim do terceiro passo faz botão Start voltar a piscar	239
Figura 5.197 – Acionamento do botão Start dando início ao quarto passo	240
Figura 5.198 – Recuo do cilindro de transporte das peças e botão Start aceso	240
Figura 5.199 – Fim do ultimo passo faz botão de Start voltar a piscar e botão Reset ficar aceso	240
Figura 5.200- Mini-CIM	244
Figura 5.201- Estação de Alimentação e seus componentes	246
Figura 5.202 - Diagrama trajeto-passo	247
Figura 5.203 - Estrutura grosseira do sistema.....	247
Figura 5.204 - Identificação dos macro-eventos da atividade "Alimentacao de peças" (PFS)	248
Figura 5.205 - MFG do sub-sistema "Posiciona peça para transporte"	248
Figura 5.206 - MFG do sub-sistema "Transporte de peça"	248
Figura 5.207 - MFG do sub-sistema "Retrono a posição original"	248
Figura 5.208 – Circuito da Estação de Alimentação	249
Figura 5.209 - Diagrama identificando as entradas e saídas do CP (Dispositivo de Realização de Controle).....	249
Figura.5.210 – Montagem.....	255
Figura 5.211 – Início do processo com o botão de Emergência acionado.....	255
Figura 5.212 – Destravamento do botão de Emergência	255
Figura 5.213 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit).....	255
Figura 5.214 – Botão Reset começa a piscar e é selecionado o modo de operação manual.....	255

Figura 5.215 – Acionamento do botão Reset e recuo do braço para a posição inicial	256
Figura 5.216 – Botão Reset fica aceso e botão de Start começa a piscar	256
Figura 5.217 – Acionamento do botão Start dando início ao processo (durante o processo a luz de Start permanece acesa)	256
Figura 5.218 – Avanço do braço (pistão C) (ao fim de uma etapa a luz de Start fica piscando).....	256
Figura 5.219 – Recuo do pistão A posicionando a peça para a posição de transporte	256
Figura 5.220 – Retorno do braço (pistão C)	256
Figura 5.221 – Acionamento do vácuo.....	257
Figura 5.222 – Recuo do pistão A	257
Figura 5.223 – Avanço do braço (pistão C) transportando a peça.....	257
Figura 5.224 – Desacionamento do vácuo.....	257
Figura 5.225 – Com a liberação da peça, o braço (pistão C) pode retornar	257
Figura 5.226 – Recuo do braço (pistão C) para a posição inicial (Luz de Reset volta a ficar acesa ao fim do ciclo).....	257
Figura 5.227 – Acusação de magazine vazio.....	259
Figura 5.228 – Reabastecimento do magazine	259
Figura 5.229 – Confirmação do abastecimento	259
Figura 5.230 – Confirmado o abastecimento a luz de Start volta a piscar indicando a possibilidade de continuidade do processo.....	259
Figura 5.231 - Mini-CIM.....	263
Figura 5.232 - Estação de Teste e seus componentes	265
Figura 5.233 – Diagrama trajeto-passo para peça aprovada.....	266
Figura 5.234 – Diagrama trajeto-passo para peça reprovada.....	266

Figura 5.235 - Estrutura grosseira do sistema.....	266
Figura 5.236 - Identificação dos macro-eventos da atividade "Teste de peças" (PFS)	267
Figura 5.237 - MFG do sub-sistema "Identificação da cor da peça"	267
Figura 5.238 - MFG do sub-sistema "Teste de altura"	267
Figura 5.239 - MFG do sub-sistema "Movimentação para peça aprovada"	268
Figura 5.240 - Movimentação para peça reprovada	268
Figura 5.241 – Circuito da Estação de Alimentação	268
Figura 5.242 - Diagrama identificando as entradas e saídas do CP (Dispositivo de Realização de Controle).....	269
Figura 5.243 – Montagem.....	278
Figura 5.244 – Destravamento do botão de Emergência.....	278
Figura 5.245 – Confirmação do destravamento do botão de Emergência (Quit), apagando a luz de emergência	278
Figura 5.246 – Acionamento do botão Reset com luz de Reset piscando	278
Figura 5.247 – Luz de Reset fica acesa, luz de Start começa a piscar e peça é abastecida na estação	278
Figura 5.248 – Seleção do modo de operação manual	279
Figura 5.249 – Acionamento do botão Start para execução do primeiro passo.....	279
Figura 5.250 – Execução do primeiro passo - subida do elevador	279
Figura 5.251 – Execução do segundo passo – descida e leitura do sensor de altura – após novo acionamento de Start	279
Figura 5.252 – Execução do terceiro passo – recuo do sensor de altura	279
Figura 5.253 – Execução do quarto passo com peça aprovada – expulsão da peça do elevador.....	279
Figura 5.254 – Execução do quinto passo – recuo do pistão para expulsão de peça.....	280

Figura 5.255 – Execução do sexto passo – recuo do elevador para a posição inicial	280
Figura 5.256 – Acionamento do botão de emergência parando o funcionamento do dispositivo no passo em execução	281
Figura 5.257 – Destravamento do botão de Emergência e confirmação da ação através do botão Quit	281
Figura 5.258 – Com a luz de Reset piscando, o botão Reset é acionado fazendo o elevador descer e o pistão expulsar a peça	281
Figura 5.259 – Luz de Reset volta a ficar aceso e luz de Start começa a piscar permitindo o início de novo ciclo	281
Figura 5.260 – Depois da operação de Reset, modo de operação manual deve ser selecionado.....	282
Figura 5.261 – Acionando o botão Stop, luz de Start é apagada e luz de Adjust começa a piscar.....	282
Figura 5.262 – Peça é inserida no sistema.....	282
Figura 5.263 – Acionamento do botão Adjust.....	282
Figura 5.264 – Elevador transporta a peça para cima e sensor de altura avança para permitir o ajuste do mesmo (luz de Adjust fica aceso).....	282
Figura 5.265 – Novo acionamento do botão Adjust faz o sensor e elevador recuarem para as respectivas posições iniciais.....	282
Figura 5.266 – Luz de Reset e de Adjust ficam piscando indicando a possibilidade de novo ajuste ou retorno para operação normal.....	283
Figura 5.267 – Acionamento do Reset faz o pistão expulsar a peça, deixando o sistema pronto para nova operação.....	283
Figura 6.1 - Cronograma planejado para execução do trabalho	286

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Nomenclatura das conexões [Festo, 2001 (a)].....	32
Tabela 2.2 – Classificação de bombas e motores hidrostáticos	66
Tabela 3.1 - Componentes e equipamentos disponíveis para a pneumática.....	101
Tabela 3.2 - Componentes e equipamentos disponíveis para a hidráulica	107
Tabela 3.3 - Componentes e equipamentos disponíveis para eletropneumática.....	111
Tabela 3.4 – Equipamentos e componentes relacionados a CPs	114
Tabela 4.1 – Tópicos e respectiva descrição, a serem utilizados na apresentação dos experimentos.....	122
Tabela 5.1 – Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	131
Tabela 5.2 - Carga horária da experiência	131
Tabela 5.3 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	137
Tabela 5.4 - Carga horária da experiência	138
Tabela 5.5 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	145
Tabela 5.6 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	146
Tabela 5.7 - Carga horária da experiência	146
Tabela 5.8 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	163
Tabela 5.9 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	163
Tabela 5.10 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	164
Tabela 5.11 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	164
Tabela 5.12 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	165
Tabela 5.13 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	165
Tabela 5.14 - Carga horária da experiência	166
Tabela 5.15 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	177

Tabela 5.16 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	177
Tabela 5.17 - Carga horária da experiência	178
Tabela 5.18 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados.....	186
Tabela 5.19 – Carga horária da experiência	186
Tabela 5.20 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados	191
Tabela 5.21 – Carga horária do experimento.....	191
Tabela 5.22 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados	196
Tabela 5.23 – Carga horária do experimento.....	196
Tabela 5.24 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados	201
Tabela 5.25 – Carga horária necessária	202
Tabela 5.26 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados	206
Tabela 5.27 – Carga horária do experimento.....	206
Tabela 5.28 - Lista de componentes e equipamentos eletropneumáticos utilizados	211
Tabela 5.29 – Carga horária do experimento.....	212
Tabela 5.30 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados.....	221
Tabela 5.31 – Carga horária do experimento.....	221
Tabela 5.32 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletro- pneumáticos utilizados.....	231
Tabela 5.33 – Carga horária do experimento.....	231
Tabela 5.34 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados.....	241
Tabela 5.35 – Carga horária do experimento.....	241
Tabela 5.36 - Tabela de classificação e descrição dos componentes da Estação de Alimentação	250

Tabela 5.37 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados.....	259
Tabela 5.38 – Carga horária do experimento.....	260
Tabela 5.39 - Tabela de classificação e descrição dos componentes da Estação de Teste.....	269
Tabela 5.40 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados.....	283
Tabela 5.41 – Carga horária do experimento.....	284

Lista de Abreviaturas

EE	Energia Elétrica
ET	Energia Térmica
EH	Energia Hidráulica
EM	Energia Mecânica
ILC	Informação de Limitação e Controle
HH	Óleos minerais refinados não inibidos (sem aditivos)
HL	Óleos minerais refinados com aditivos antiferrugem e antioxidação
HM	Óleos tipo HL, com aditivos antidesgastantes
HR	Óleos tipo HL, com ampliadores do Índice de Viscosidade
HV	Óleos tipo HM, com ampliadores do Índice de Viscosidade
HG	Óleos tipo HM, possuindo propriedades antiaderentes
HFA	Emulsões de óleo em água (HFAE) e soluções químicas aquosas (HFAS)
HFB	Emulsões de água em óleo
HFC	Soluções aquosas de polímeros
HFD	Fluidos sintéticos sem água
CP	Controlador Programável
CPs	Controladores Programáveis
SED	Sistema a Evento Discreto
V.C.	Volume de Controle
S.C.	Superfície de Controle

Lista de Símbolos

P	Pressão
P_0	Pressão atmosférica
P_{abs}	Pressão absoluta
P_e	Pressão Efetiva
V	Volume
m	Massa
R	Constante do gás
T	Temperatura
ρ	Massa Específica
F	Força
A	Área
D	Diâmetro do Êmbolo
d_e	Diâmetro da Haste do Êmbolo
g	Aceleração Gravidade
γ	Peso Específico
h	Altura da Coluna de Água
y	Deslocamento do Êmbolo
W	Trabalho
v	Velocidade
Q	Vazão
\dot{m}	Fluxo de Massa

Pot	Potência
η	Eficiência
s	Linha de Corrente
z	Posição da Partícula Fluida sobre uma Linha de Corrente
E	Energia Total do Sistema
Q_c	Quantidade de Calor Transferida pela Fronteira
e	Energia Total Específica
u	Energia Interna Específica
h	Entalpia Específica
\dot{Q}_c	Fluxo de Calor pela Superfície de Controle
\dot{P}	Potência transferida pela Superfície de Controle
c_l	Calor Específico Genérico
c_v	Calor Específicos a Volume Constante
c_p	Calor Específicos a Pressão Constante
γ	Peso Específico
d	Densidade
ν	Viscosidade
μ	Viscosidade Dinâmica
μ_0	Viscosidade Dinâmica a Pressão Atmosférica
Cte	Constante dependente do Tipo de Fluido Hidráulico
κ	Coefficiente de Compressibilidade Isotérmica
α	Coefficiente de Expansão Térmica Isobárica

β_l	Módulo de Compressibilidade
S	Constante de Solubilidade
c	Calor Específico
K	Condutividade Térmica

1 Introdução e Objetivos

Recursos que possibilitem ao estudante do curso de Engenharia Mecatrônica assimilar conceitos e visualizar na prática os métodos e técnicas apresentadas em disciplinas que abordam temas como sistemas fluido-mecânicos e controle de sistemas discretos são fundamentais para a sua formação. Tendo isso em vista, este projeto tem como foco o desenvolvimento de experimentos didáticos visando a integração da tecnologia de automação fluido-mecânica com o controle por meio da programação de controladores programáveis (CPs), de forma a permitir ao estudante desenvolver modelos e simular processos produtivos industriais.

Dentro desse contexto, a estratégia adotada para o desenvolvimento dos experimentos tem como base a divisão do assunto em quatro tópicos específicos, de modo a focalizar a abordagem para as particularidades inerentes a cada item. São eles:

1. Pneumática;
2. Hidráulica;
3. Eletropneumática sem CPs;
4. Eletropneumática com CPs;

Para cada área, é aplicada uma metodologia baseada na definição de uma sequência que garanta um desenvolvimento estruturado das atividades planejadas, mantendo a qualidade da didática aplicada no trabalho. Dessa forma, o conjunto de experimentos didáticos desenvolvidos em cada área, ao longo do projeto, passaram necessariamente por etapas que envolveram:

- Fundamentação teórica dos conceitos abordados;
- Levantamento e descrição dos equipamentos e componentes utilizados;
- Planejamento e divisão dos assuntos relevantes entre os experimentos;

- Definição dos objetivos em cada experimento;
- Análise de estudos de caso envolvendo sistemas produtivos industriais;
- Elaboração de enunciados detalhados;
- Projeto dos circuitos fluido-mecânicos;
- Seleção dos equipamentos e componentes necessários;
- Montagem do dispositivo projetado;
- Análise dos resultados conquistados;

Por fim, para conduzir a execução dos experimentos de forma orientada, estabeleceu-se como meta para os experimentos da pneumática e da eletropneumática, a simulação do funcionamento das estações de Alimentação e Teste da Mini-CIM. Os benefícios diretos da definição de um modelo real como meta são refletidos na forma de um meio de validação da metodologia empregada ao longo da elaboração do presente trabalho, e na forma de um incentivo para o aluno que acaba de iniciar o desenvolvimento dos experimentos e vê na Mini-CIM, o resultado da execução do conjunto dos experimentos propostos no trabalho.

Os experimentos da hidráulica, por sua vez, assumem um papel importante dentro dos sistemas produtivos industriais de carga pesada, atuando de forma a complementar os conceitos referentes à automação fluido-mecânica e servindo como meio de comparação com os circuitos com base na tecnologia do ar comprimido.

2 Revisão Bibliográfica

O desenvolvimento de modelos de processos produtivos reais em conjunto com a sua simulação em bancadas experimentais pode ser realizado utilizando-se conceitos de automação fluido-mecânica e conceitos como modelagem de sistemas discretos.

Os circuitos projetados com base na automação fluido-mecânica podem assumir diferentes configurações, variando conforme o tipo de tecnologia escolhido como base para o funcionamento do processo analisado [Festo Didatic, 2001 (a)].

Os tipos de tecnologia existentes para este fim são listados abaixo:

- Pneumática;
- Elétrica;
- Hidráulica;

Cada tipo citado apresenta características próprias de aplicação, sendo o campo de atuação de cada um deles extremamente vasto. Em linhas gerais, atuadores pneumáticos são utilizados quando estão envolvidas cargas de ordem de até uma tonelada em situações que exigem movimentos de duas posições (início e fim) limitadas por batentes mecânicos. Também são indicados para dispositivos com funcionamento à base de altas rotações.

Já atuadores hidráulicos são recomendados para situações que envolvem cargas da ordem de até centenas de toneladas. Para situações que exigem alta precisão de posicionamento utilizam-se também esses tipos de atuadores.

Eventualmente, serão encontrados também equipamentos em que ocorre uma combinação do uso das energias acima, como em sistemas com base na tecnologia eletro-pneumática. No entanto, independentemente do tipo de energia em questão, seu uso é destinado basicamente à implementação de três tipos básicos de dispositivos que constituem um sistema de automação industrial [Silva, 2002]:

- Dispositivos de detecção;
- Dispositivos de atuação;
- Dispositivos de realização do controle;

Estes dispositivos podem ser identificados em qualquer tipo de sistema diferindo em cada um deles quanto à forma construtiva, que varia de acordo com o tipo de energia em questão. Cabe destacar que o nível de aprofundamento ao longo do trabalho vai ser limitado pelos assuntos mais relevantes para o escopo deste Projeto de Formatura, não sendo portanto, um guia completo para cada tópico aqui mencionado.

2.1 Pneumática

2.1.1 Definição

Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento de elementos presentes em sistemas de automação industrial. O texto a seguir é baseado no trabalho de [Silva, 2002].

2.1.2 Produção, Preparação e Distribuição de Ar Comprimido

2.1.2.1 Qualidade do Ar Comprimido

Determinadas exigências com respeito à qualidade do ar comprimido devem ser asseguradas de modo a garantir o funcionamento confiável e o bom rendimento dos dispositivos pneumáticos (principalmente as válvulas). Tais componentes são constituídos de mecanismos muito delicados e sensíveis sendo necessário a verificação dos seguintes parâmetros referentes à qualidade do ar comprimido:

- Pressão;
- Vazão;
- Teor de água;
- Teor de partículas sólidas;
- Teor de óleo;

As grandezas de pressão e vazão estão relacionadas diretamente com a força e a velocidade, respectivamente, do atuador pneumático. Cada componente pneumático tem sua especificação própria de pressão e vazão de operação. Para atender a essas especificações é necessária uma vazão suficiente no compressor, pressão correta na rede e tubulação de distribuição corretamente dimensionada em função da vazão e pressão.

Já água, óleo e impurezas têm grande influência sobre durabilidade e confiabilidade de componentes pneumáticos, sendo portanto de grande importância,

a utilização de elementos adicionais como filtros, secadores e lubrificadores antes do ar comprimido ser liberado para utilização.

2.1.2.2 Sistema de Produção e Preparação do Ar Comprimido

Como mencionado anteriormente, para a correta utilização do ar comprimido são necessárias uma série de etapas desde a sua geração até a sua distribuição. Essas etapas são mostradas na Figura 2.1:

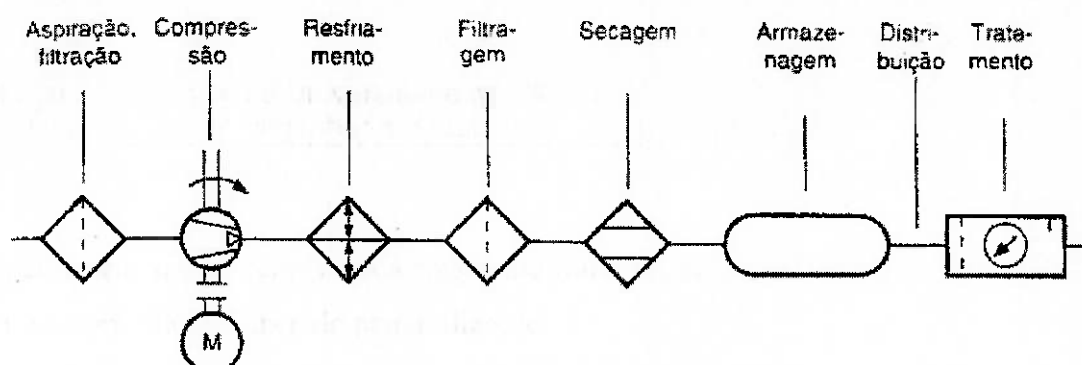


Figura 2.1 - Geração, tratamento e distribuição do ar comprimido

Em geral, o ar comprimido é produzido de forma centralizada para posterior distribuição na fábrica, e o seu tratamento é realizado após a compressão. Esse tratamento envolve:

- Filtragem;
- Resfriamento;
- Secagem;
- Separação de impurezas sólida e líquidas (inclusive vapor d'água);

Na Figura 2.1 tem-se como primeira etapa a aspiração do ar pelo compressor, que é a máquina responsável por comprimir o ar. A taxa de compressão é em geral 1:7, o que indica que o ar atmosférico à 1 bar é comprimido para 7 bar. Na entrada do compressor existe um filtro para reter partículas sólidas do ar do meio ambiente.

Ao ser comprimido, o ar aquece, sendo portanto necessário um processo de resfriamento uma vez que altas temperaturas podem danificar a tubulação. Ao término deste processo, o ar passa por uma etapa de secagem para remover a água do ar que está sob a forma de vapor, além de sofrer uma filtragem com o intuito de eliminar partículas sólidas introduzidos pelo compressor. O ar é então armazenado num reservatório que deve possuir as seguintes características:

- Garantir uma reserva de ar de maneira a assegurar a manutenção da pressão da rede constante, evitando que o compressor tenha que ser ligado e desligado várias vezes ao longo do período de funcionamento, pois o consumo de ar é em geral variável ao longo do tempo.
- Evitar a transmissão de pulsos de pressão para a rede pneumática em questão, existentes em alguns tipos de compressores;

Do reservatório, o ar é distribuído na rede e em cada dispositivo consumidor existe uma unidade de tratamento de ar (descrita adiante no item 2.1.2.6) que ajusta as características do ar comprimido de acordo com as necessidades específicas do equipamento. Ao fim desse processo o ar comprimido está preparado para ser convertido em trabalho mecânico pelos atuadores pneumáticos.

2.1.2.3 Compressores

O compressor é uma máquina responsável por transformar energia eletromecânica em energia pneumática (ar comprimido), através da compressão do ar atmosférico. A Figura 2.2 mostra a classificação dos compressores existentes no mercado:

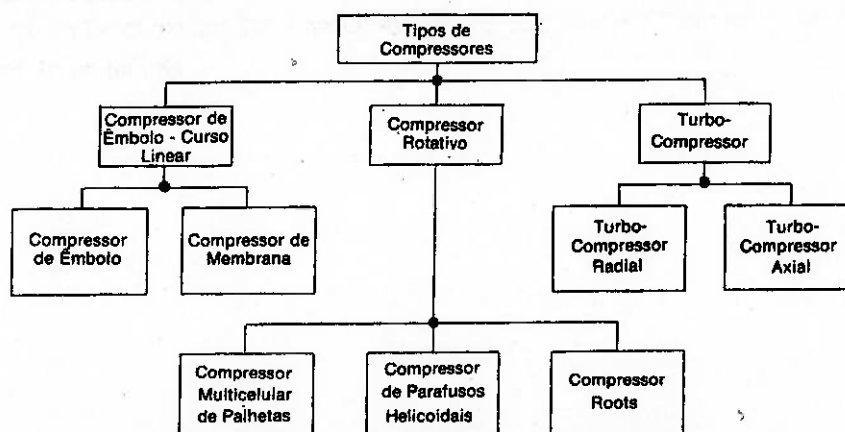


Figura 2.2 - Classificação dos compressores existentes

2.1.2.3.1 Compressor de Êmbolo

Consiste num mecanismo biela-manivela (semelhante ao existente em motores de automóveis) acionado por um motor elétrico ou de combustão, como mostrado na Figura 2.3:

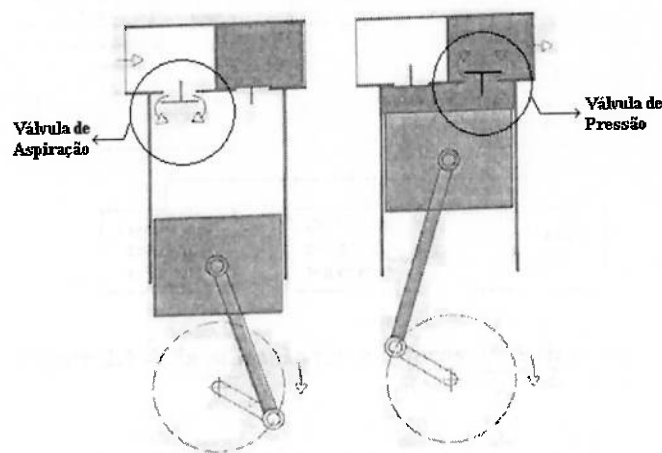


Figura 2.3 - Compressor de êmbolo monoestágio

Seu funcionamento é relativamente simples, consistindo basicamente na aspiração do ar pelo pistão através da válvula de aspiração e conseqüente compressão no curso até atingir a pressão desejada, no momento em que a válvula de pressão abre.

São recomendados para uma faixa de pressão de 8 a 10 bar, uma vez que para razões de compressão muito altas há também a ocorrência de perdas térmicas muito altas.

Esse compressor apresenta como desvantagem a geração de oscilações de pressão além de um fluxo de ar pulsante.

Quando é desejado isolar o ar a ser comprimido das peças do compressor evitando resíduos de óleo, utiliza-se uma variação do compressor de êmbolo: o compressor de membrana. Possui uma membrana ao invés de um pistão, sendo muito utilizado nas indústrias alimentícias e farmacêuticas, por exemplo. A Figura 2.4 ilustra esse tipo de compressor:

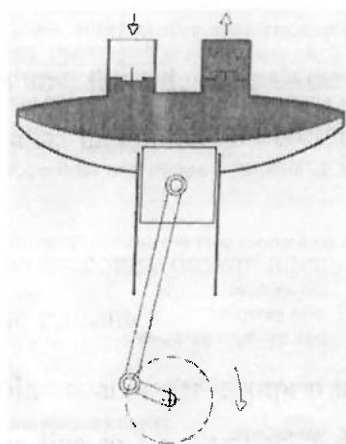


Figura 2.4 - Compressor de Membrana

2.1.2.3.2 Compressores Rotativos

- **Compressor de Palhetas**

Trata-se um compressor equipado com um rotor que gira no interior de uma carcaça acionado por um motor elétrico ou de combustão. O rotor está excêntrico à carcaça e apresenta palhetas ao seu redor que podem deslizar em guias como mostrado na Figura 2.5:

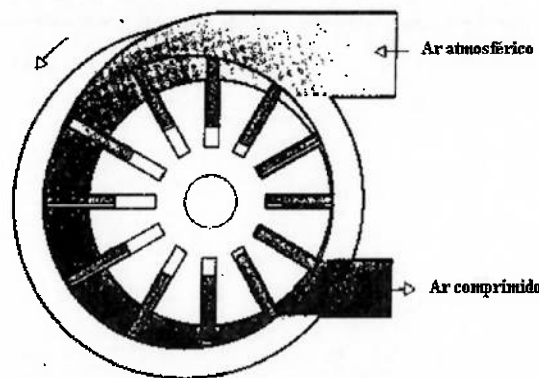


Figura 2.5 – Compressor de Palhetas

Pela Figura 2.5 é possível observar o volume do ar aspirado sendo ligeiramente comprimido ao longo do percurso do rotor gerando assim, um fluxo pouco pulsante, porém operando em faixas de pressão menores do que a do compressor de êmbolo. A lubrificação é feita por injeção de óleo.

- ***Compressor Duplo-Parafuso (Helicoidal)***

Consiste em dois parafusos, cada um ligado a um eixo de rotação acionado por um motor elétrico ou de combustão. Na Figura 2.6 é possível observar o ar sendo deslocado continuamente entre os parafusos, evitando assim golpes e oscilações de pressão. Apresenta como características o tamanho reduzido em comparação com os outros tipos e a capacidade para trabalhar em altas rotações, apresentando um alto consumo de potência. Embora sejam relativamente caros são os mais preferidos no mercado por fornecer um fluxo contínuo de ar. A restrição de uso é quanto à operação a seco com ar comprimido isento de óleo.

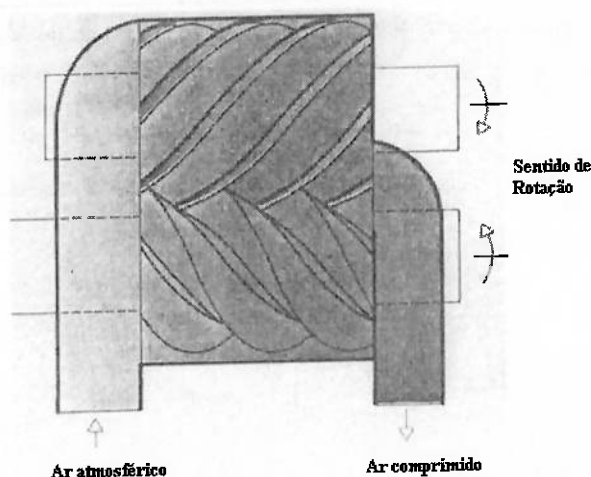


Figura 2.6 - Compressor de parafuso

- **Compressor Roots**

Compressor equipado com duas “engrenagens” que se movimentam acionadas por um motor elétrico ou de combustão. Funciona sem compressão interna sendo usado apenas para o transporte pneumático gerando baixas pressões. A pressão é decorrente apenas da resistência oferecida ao fluxo. A Figura 2.7 ilustra esse tipo de compressor:

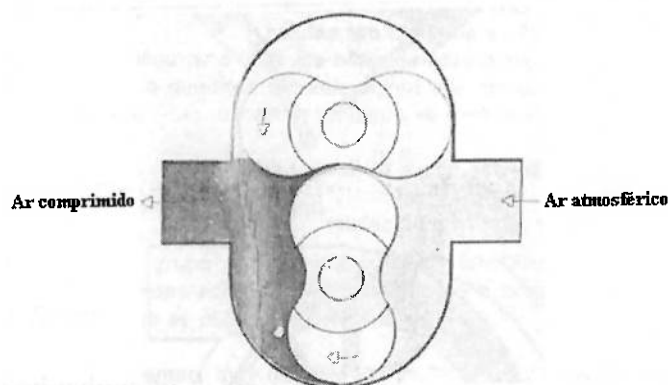


Figura 2.7 - Compressor Roots

2.1.2.3.3 Turbo-Compressores

- ***Turbo-Compressor Axial***

O princípio de funcionamento deste compressor se baseia na passagem de ar por rodas girantes que imprimem no fluido altas velocidades. No último estágio, através de um difusor, a energia cinética do fluxo de ar é convertida em pressão. Este compressor é mostrado na Figura 2.8 e tem como característica a geração de altas vazões de ar. Porém, devido ao fato de em cada estágio a pressão ser muito baixa, faz-se necessário a montagem de muitos estágios para alcançar pressões maiores.

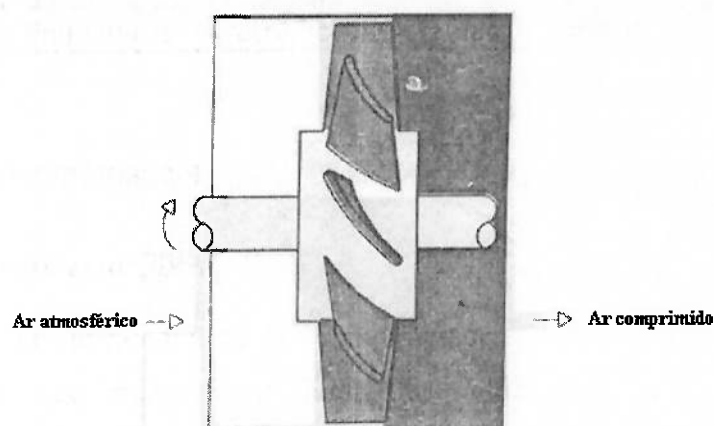


Figura 2.8 - Compressor Axial

- ***Turbo-Compressor Radial***

A aspiração do ar neste tipo de compressor ocorre no sentido axial, sendo o mesmo conduzido no sentido radial até a saída. Este tipo de compressor é mostrado na Figura 2.9 e apresenta as mesmas características dos compressores axiais, ou seja, altas vazões e baixas pressões.

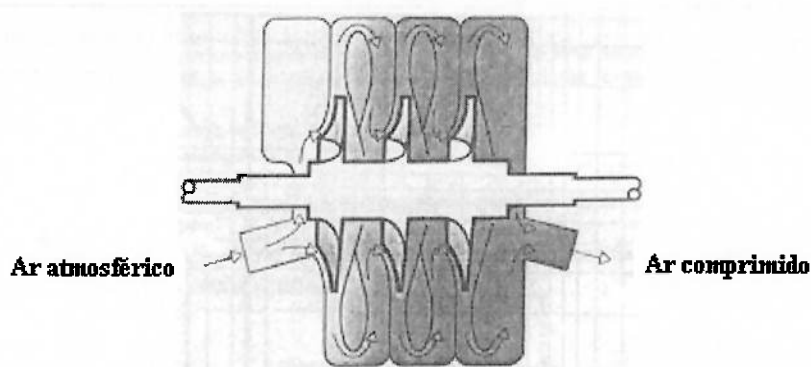


Figura 2.9 - Compressor radial

2.1.2.4 Secagem do Ar Comprimido

O ar utilizado como fluido nos dispositivos pneumáticos não está isento da presença de partículas de água na forma de vapor, que serão aspirados em conjunto pelo compressor. Dependendo da pressão e temperatura presentes no interior das tubulações e compartimentos de armazenamento, o vapor pode se condensar ao longo da linha. Esse problema é resolvido através do uso de filtros separadores de água e de drenos que serão responsáveis pela eliminação da água acumulada. No entanto, um filtro não pode eliminar o vapor de água, sendo necessário neste caso o uso de secadores.

Para uma melhor compreensão do princípio envolvido neste processo, é feita uma analogia com uma esponja. Da mesma forma que uma esponja não absorve mais água quando estiver saturada, não há absorção de vapor de água quando a umidade do ar atinge seu valor máximo. Comprimindo uma esponja não-saturada, diminuimos sua quantidade de água, o que é equivalente a aumentar a pressão do ar e ocorrer condensação do vapor de água. Ao resfriar a esponja, seus poros diminuem de volume, eliminando água, o que é equivalente a aumentar a temperatura do ar e ocorre assim a condensação.

Com base nesta analogia são apresentados quatro métodos de secagem para retirar o vapor de água do ar:

- **Resfriamento:** consiste em se resfriar o ar, o que reduz o seu ponto de orvalho, pela passagem do mesmo por um trocador de calor (serpentina com fluido refrigerante);
- **Adsorção:** faz uso de substâncias secadoras que por vias físicas (efeito capilar) adsorvem o vapor de água do ar, as quais podem ser regeneradas através de ar quente. Em geral, o elemento secador é um material granulado com arestas ou formato esférico. A substância usada é o Dióxido de Silício, mais conhecido como “Sílica Gel”. É o sistema mais eficiente neste quesito, porém, o mais caro;
- **Absorção:** trata-se de um processo químico. Uma camada solta de elemento secador é disposta no caminho do ar comprimido que, ao entrar em contato, faz com que a água ou vapor de água combine quimicamente com ele e se dilua formando uma mistura do elemento secador e água. Este composto deve ser removido periodicamente e o elemento secador, reabastecido quando necessário. Ao contrário do método anterior, este em questão é mais barato e menos eficiente;
- **Sobrepresão:** consiste no aumento da pressão até ocorrência de condensação e posterior dreno da água acumulada;

2.1.2.5 Distribuição de Ar Comprimido

O ar comprimido é geralmente utilizado através de três tipos diferentes de redes (linhas) de distribuição de pressão principais:

- **Rede em circuito aberto**

É o tipo de rede mais simples e deve ser montada com um declive de 1% a 2 % na direção do fluxo para garantir a eliminação da água que condensa no interior da linha. É feita essa recomendação para este tipo de rede uma vez que existe a possibilidade do ar ficar parado no interior da linha quando não há consumo. A Figura 2.10 ilustra o circuito desse tipo de rede.

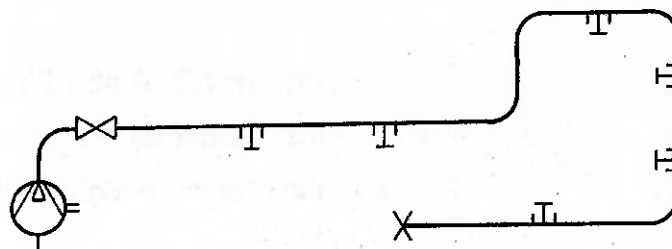


Figura 2.10 - Rede em circuito aberto

- **Rede em circuito fechado**

Neste tipo de rede, diferentemente do caso anterior, o ar flui nas duas direções e fica circulando na linha, o que reduz significativamente o problema de condensação verificado em outros casos. Uma rede em circuito fechado pode ser observada na Figura 2.11:

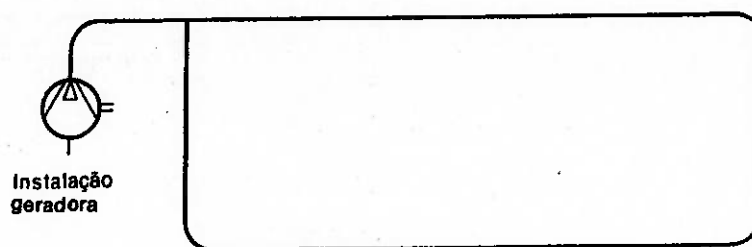


Figura 2.11 - Rede em circuito fechado

• *Redes Combinadas*

Trata-se também de instalações de circuito fechado. No entanto, mediante as válvulas de fechamento existe a possibilidade de bloquear determinadas linhas de ar comprimido quando a mesma não for usada ou quando for necessário colocá-las fora de serviço por razões de manutenção. Pode-se dizer portanto que existe uma estanqueidade da rede, o que pode ser observado na Figura 2.12:

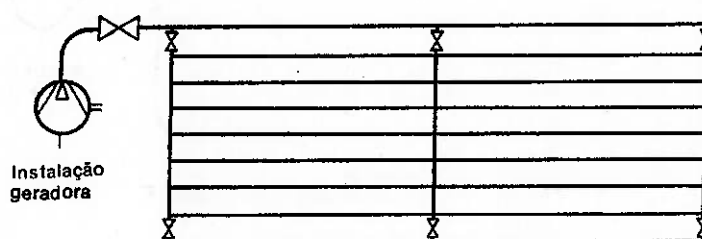
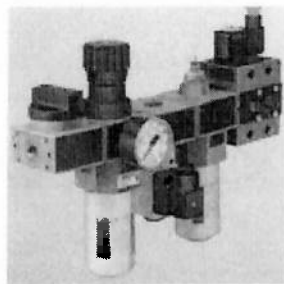


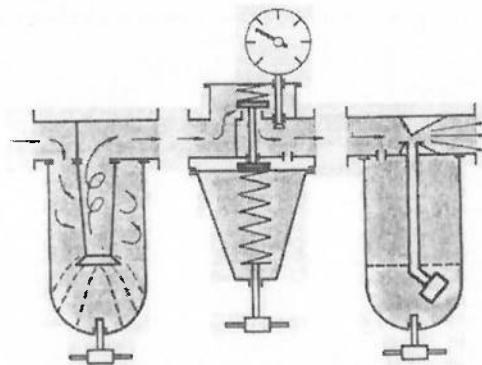
Figura 2.12 - Rede combinada

2.1.2.6 Tratamento de Ar Comprimido

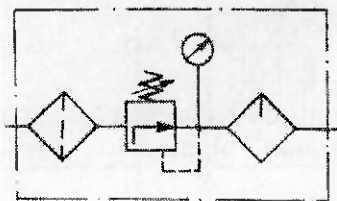
Cada máquina ou dispositivo pneumático é especificado de acordo com certas características do ar que vai alimentar o mesmo. Como meio de realizar esses ajustes são instalados em cada componente do sistema, unidades de tratamento de ar comprimido, composta por um filtro, uma válvula reguladora e um lubrificador, como mostrado na Figura 2.13.



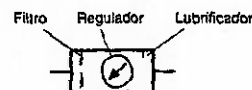
(a) foto



(b) desenho simplificado



(c) simbologia conforme DIN/ISO 1219



(d) simbologia referente a unidade de conservação

Figura 2.13 - Unidade de tratamento e seus símbolos

2.1.2.6.1 Filtro

A função do filtro é eliminar partículas sólidas e líquidas. A filtragem ocorre em duas fases, sendo a primeira referente à pré-eliminação feita pela rotação do ar gerando uma ciclone que separa as partículas sólidas, conforme ilustrado na Figura 2.14. A segunda fase se trata da eliminação fina feita por um elemento filtrante com porosidade da ordem de 30 a 70 μm . O filtro possui ainda um dreno (manual ou automático) para a eliminação de água.

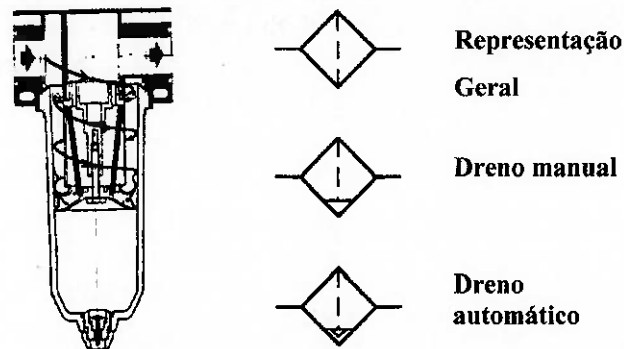


Figura 2.14 - Filtro e seus símbolos

2.1.2.6.2 Válvula Reguladora de Pressão

A válvula reguladora de pressão tem a função de manter a pressão do equipamento constante. No entanto, ela somente funcionará quando a pressão a ser regulada (pressão secundária) for inferior que a pressão de alimentação da rede (pressão primária). Dessa forma, essa válvula é capaz de reduzir a pressão, mas jamais aumentá-la. A válvula de segurança, mostrada na Figura 2.15, é um tipo de válvula reguladora de pressão.

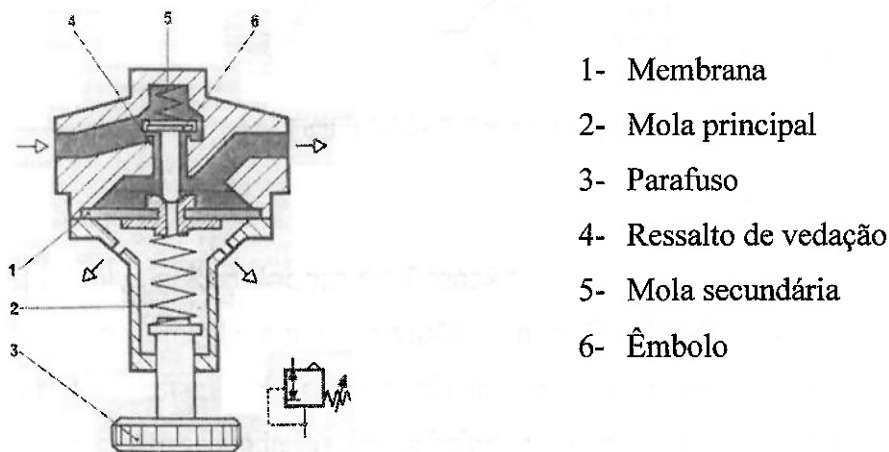


Figura 2.15 - Válvula de segurança

Seu funcionamento pode ser descrito da seguinte forma: se a pressão a ser regulada (pressão secundária) diminui em relação a um valor especificado, a mola 2

(ver Figura 2.15) empurra o êmbolo 6, que abre a comunicação com a pressão de alimentação da rede (pressão primária). Caso a pressão secundária aumente em relação a um valor especificado, então a membrana 1 é atuada pressionando a mola 2, fazendo com que o êmbolo 6 feche a comunicação até que a pressão secundária diminua. Uma pressão secundária excessiva resultará na ocorrência da situação anterior somada ao fato da membrana 1 se separar do êmbolo 6, abrindo a comunicação com os furos de exaustão, ocorrendo o escape de ar, o que reduz a pressão secundária. O parafuso 3 é responsável pela regulagem da rigidez da mola 2 e, portanto, atua diretamente no controle da pressão secundária.

2.1.2.6.3 Lubrificador

A função do lubrificador é de manter os aparelhos pneumáticos de trabalho e de comando lubrificados, o que é realizado graças à ação do Princípio de Venturi, ilustrado na Figura 2.16:

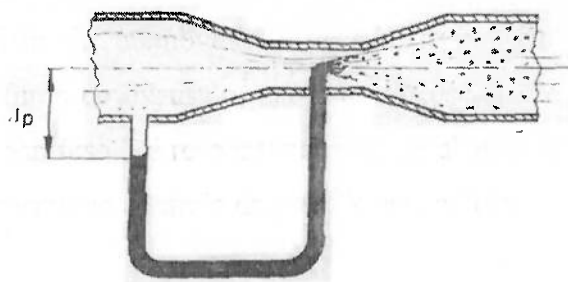


Figura 2.16 - Princípio de Venturi

Uma menor área para uma mesma quantidade de fluido passante acarreta num aumento da velocidade e conseqüente redução da pressão, fazendo com que o óleo contido no tubo seja pulverizado no ar. A Figura 2.17 ilustra um lubrificador:

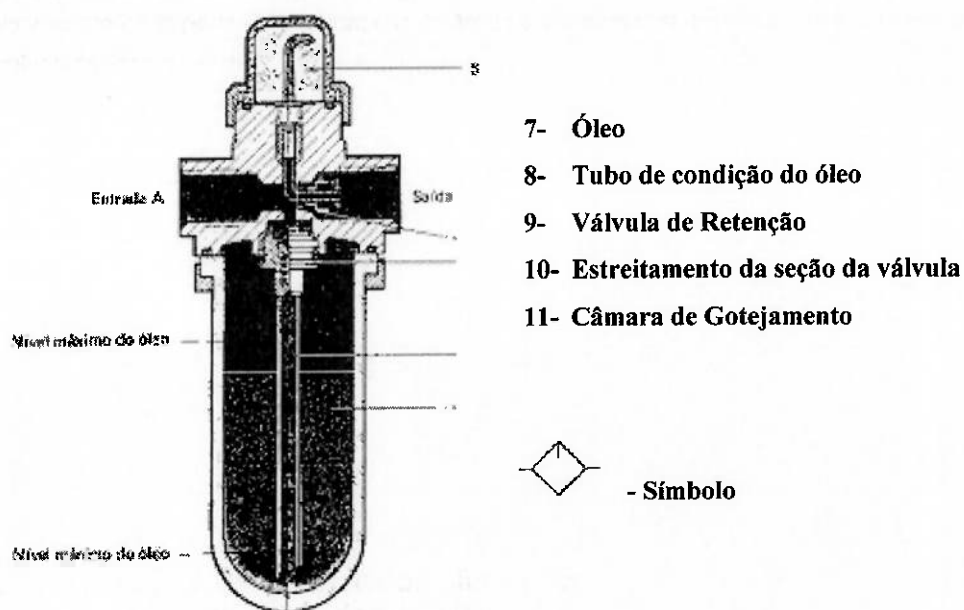


Figura 2.17 – Lubrificador

2.1.3 Características dos Sistemas Pneumáticos

O uso da tecnologia pneumática é muito comum no ramo da automação industrial atendendo o quesito de eficiência no que se refere ao custo e segurança. Analisando as características do ar comprimido apresentada anteriormente é possível entender as características principais dos sistemas pneumáticos e listar as seguintes vantagens na sua utilização:

- Facilidade de obtenção (volume ilimitado);
- Isento de riscos de faísca em atmosfera explosiva;
- Fácil armazenamento;
- Não contamina o ambiente (limpo e atóxico);
- Não necessita de linhas de retorno (escape direto para a atmosfera);
- Acionamentos podem ser sobrecarregados até a parada;

No entanto, o ar apresenta como desvantagens a presença de vapor de água e a baixa viscosidade. O vapor de água pode se condensar ao longo da linha pneumática dependendo das condições de pressão e temperatura a que estiver submetida, o que pode causar corrosão das tubulações caso não haja um sistema eficaz para retirar a água acumulada. Já a baixa viscosidade indica a facilidade de escoamento do ar por pequenos orifícios favorecendo a ocorrência de vazamentos.

Outro ponto importante é a compressibilidade do ar, que impede a parada dos pistões dos atuadores pneumáticos em posições intermediárias. É por esse motivo que os atuadores pneumáticos possuem apenas duas posições limitadas por batentes, fato não observado no caso de um atuador hidráulico que trabalha com fluido incompressível. Assim, para equipamentos que exigem alta precisão de posicionamento não é recomendado o uso de atuadores pneumáticos. Outra característica desfavorável da compressibilidade do ar é a dificuldade de controle e da estabilidade da velocidade dos atuadores.

2.1.4 Atuadores Pneumáticos

A energia pneumática é transformada por atuadores pneumáticos lineares em movimentos retilíneos e pelos atuadores rotativos em movimentos rotativos. É possível listar as seguintes características referentes aos atuadores pneumáticos:

- Baixa resistência a forças externas contrárias ao movimento;
- Baixa relação peso/potência;
- Dimensões reduzidas;
- Segurança à sobrecarga;
- Facilidade de inversão de movimento;
- Proteção à explosão;
- Imprecisão na parada em posições intermediárias;

Os elementos pneumáticos que produzem movimentos estão divididos em dois grupos:

a. Movimento linear:

- atuadores de ação simples;
- atuadores de dupla ação;

b. Movimento rotativo:

- atuadores rotativos;
- motores a ar comprimido;

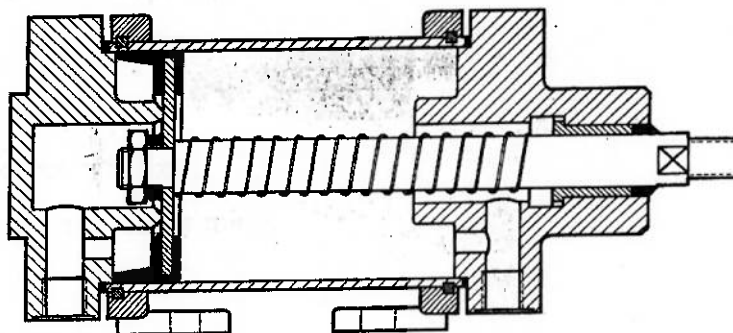
2.1.4.1 Atuadores Lineares

2.1.4.1.1 Cilindro de Ação Simples

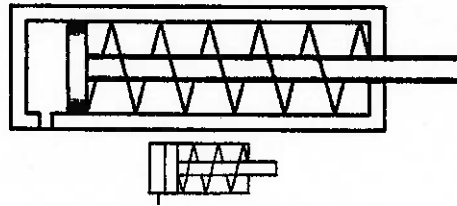
Consiste de um cilindro equipado com um pistão e uma mola responsável por exercer o seu retorno quando da redução da pressão. Seu princípio construtivo juntamente com seu símbolo é mostrado na Figura 2.18:



(a) foto



(b) esquema construtivo simplificado



(c) simbologia normalizada referente a um cilindro de simples ação

Figura 2.18 - Cilindro de simples ação

Entre suas características pode-se citar:

- Consumo de ar num só sentido;
- Forças de avanço reduzidas devido à mola;
- Maior comprimento e cursos limitados;
- Baixa força de retorno (devido à mola);

Quanto às suas aplicações, podem-se citar em especial situações de segurança, como no caso de freios. Neste dispositivo os freios ficam normalmente fechados sob a ação da mola, abrindo somente quando o motor equipamento está funcionando e fornecendo pressão. Portanto, em caso de falha do equipamento, os freios são acionados.

2.1.4.1.2 Cilindro de Dupla Ação

Consiste de um cilindro equipado com um pistão em que a força exercida pelo ar comprimido o movimenta nos dois sentidos. É o mais utilizado possuindo como principal característica a atuação de forças por meio de ar comprimido nos dois sentidos de movimento (força de avanço maior que a de retorno).

Esse tipo de atuador é utilizado onde é necessária a realização de controle de velocidade não só no avanço, como também no retorno. Assim como no cilindro de simples ação, o curso é limitado, sendo importante levar em consideração a eventual deformação por flambagem e flexão da haste. Seu princípio construtivo juntamente com seu símbolo é mostrado Figura 2.19:

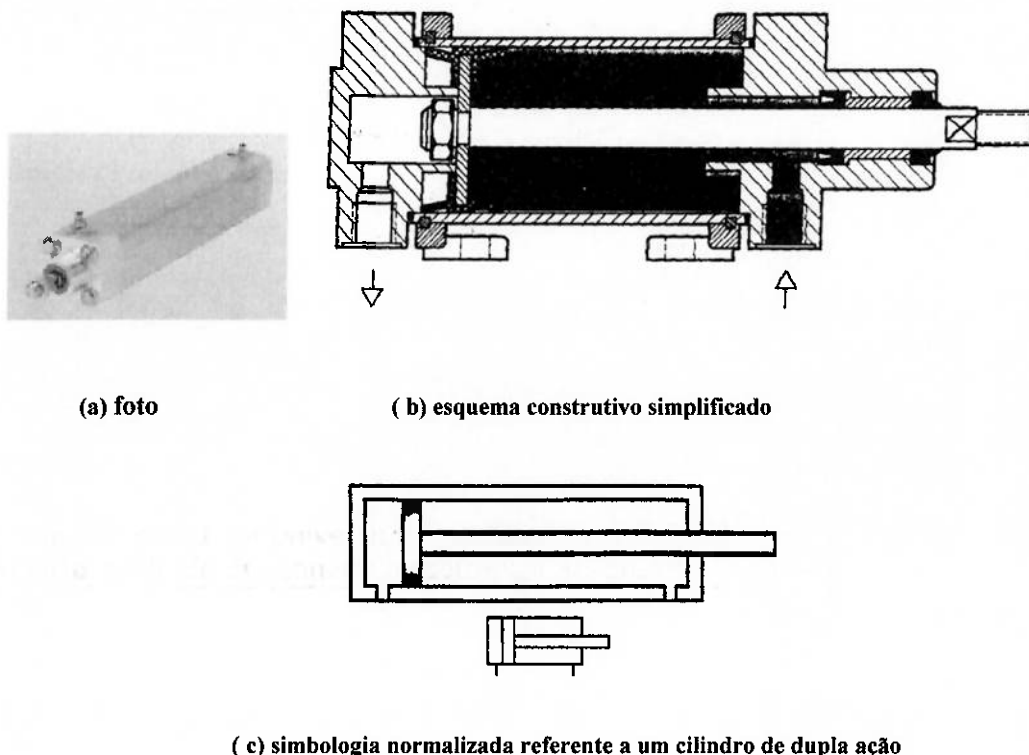


Figura 2.19 - Cilindro de dupla ação

2.1.4.1.3 Cilindro Sem Haste

Consiste de um cilindro equipado com um êmbolo que está acoplado ao elemento atuante e é responsável pela sua movimentação. São aplicados onde são necessários cursos muito grandes que podem gerar problemas de flambagem na haste de um cilindro comum. Apresenta ainda como característica a atuação de uma mesma força tanto no avanço quanto no retorno uma vez que a área em ambos os lados do êmbolo são iguais. São classificados em três tipos em função da forma de acoplamento do êmbolo com o elemento atuante:

- *Com tubo fendido*

Descrito na Figura 2.20, esse tipo de cilindro permite absorver elevados momentos e forças transversais, sendo a vedação um ponto crítico.

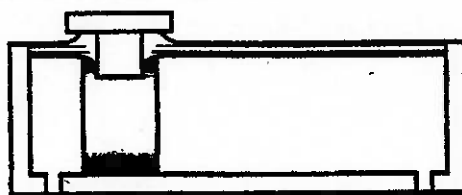
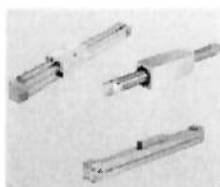


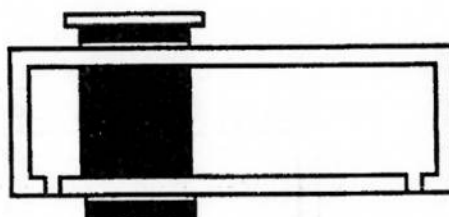
Figura 2.20 - Cilindro sem haste com tubo fendido

- **Com imã permanente**

Já esse cilindro, mostrado na Figura 2.21, não apresenta problemas de vedação, tendo como ponto desfavorável a limitação da força pelo imã. É amplamente utilizado em robôs cartesianos.



(a) foto



(b) esquema simplificado

Figura 2.21 - Cilindro sem haste com ímã

- **Com cabo ou fita**

Neste tipo de cilindro, mostrado na Figura 2.22, o efeito da tração sobre as fitas evita o problema de flambagem. É comumente utilizado no acionamento de portas.

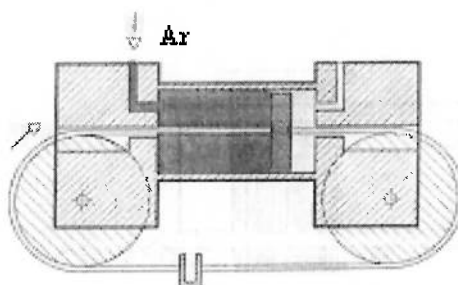


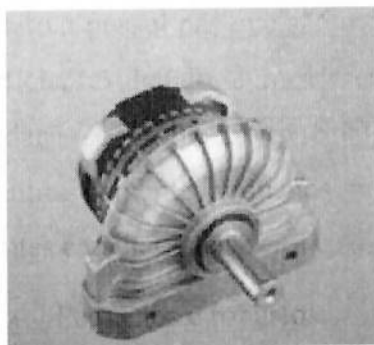
Figura 2.22 - Cilindro sem haste com cabo ou fita

2.1.4.2 Atuadores Rotativos

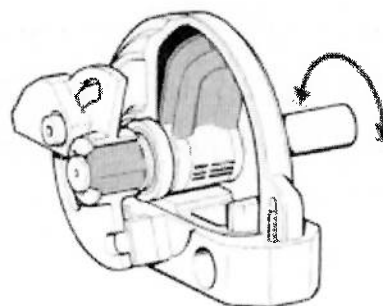
Tem como característica transformar o movimento linear do cilindro de dupla ação num movimento rotativo com ângulo limitado de rotação. Este tipo de dispositivo possui pás que são movimentadas pela ação do ar comprimido sobre sua superfície, resultando no movimento de rotação do eixo onde estas pás estão fixadas. A vedação é problemática e o diâmetro em relação à largura em muitos casos possibilita somente pequenos momentos de torção. Estes atuadores possuem as seguintes características:

- Pequenos e robustos;
- Usinados com precisão, sendo, portanto muito eficientes;
- Ajuste de deslocamento angular;
- Construídos em material de baixo peso específico;
- Fácil instalação;

A Figura 2.23 mostra o tipo mais comum:



(a) foto



(b) esquema simplificado

Figura 2.23 - Atuador Rotativo

2.1.5 Princípios construtivos de um Cilindro Pneumático

A Figura 2.24 mostra os principais componentes presentes num cilindro pneumático de dupla-ação:

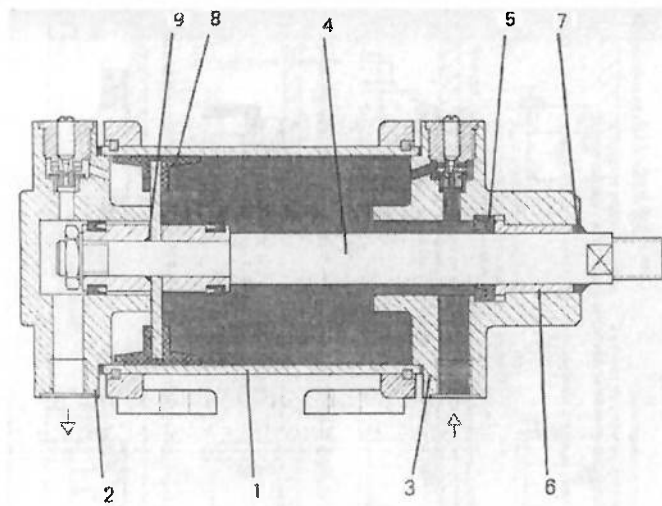


Figura 2.24 - Componentes de um cilindro de dupla ação

- 1- Camisa: feita de um tubo de aço trefilado a frio sem costura;
- 2 e 3 - Tampas de alumínio fundido;
- 4 - haste do êmbolo: feita de aço e pode ter proteção anticorrosiva. As roscas são laminadas reduzindo o risco de ruptura;
- 5 - anel circular: responsável pela vedação da haste;
- 6 - bucha de guia: guia a haste;
- 7 - anel limpador: evita a entrada de impurezas;
- 8 - guarnição duplo lábio: vedam ambos os lados do pistão;
- 9 - juntas tóricas ou "O-ring": atua como vedação.

Nesta figura é possível observar o movimento de retorno do atuador, devido à entrada de ar comprimido na câmara dianteira à direita do cilindro. Isso resulta no aumento de pressão nesta região, fazendo a haste se movimentar no momento em que

esta pressão supere à da câmara traseira. Com o movimento, ar comprimido é expelido através da saída presente na parte traseira do pistão.

2.1.6 Cálculo dos Atuadores

• Força do Êmbolo

A força realizada pelo atuador depende da pressão do ar, do diâmetro do êmbolo e da resistência de atrito dos elementos da vedação. A força exercida pelo atuador é calculada segundo a fórmula (2-1):

$$F = P \times A \quad (2-1)$$

sendo,

F – Força de ação do êmbolo (N);

A – Superfície útil do êmbolo (cm²);

P – Pressão de trabalho (kPa, 10⁵ N/m², bar);

Dessa forma, para cada situação abaixo, tem-se:

- Atuador de Ação Simples

$$F_{av} = A \cdot P - (F_r + F_t) \quad (2-2)$$

- Atuador de Dupla Ação (avanço)

$$F_{av} = P \times A - F_r \quad \text{ou} \quad F_{av} = P \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} - F_r \quad (2-3)$$

- *Atuador de Dupla Ação (retorno)*

$$F_{ret} = P \times A_2 - F_r \quad \text{ou} \quad F_{ret} = P \times \frac{\pi \cdot (D^2 - d_e^2)}{4} - F_r \quad (2-4)$$

Onde:

F_{av} - Força de Avanço do êmbolo (N);

F_{ret} - Força de Retorno do êmbolo (N);

P - Pressão de trabalho (kPa, 10^5 N/m^2 , bar);

A - Superfície útil do êmbolo no avanço (cm^2);

A_2 - Superfície útil do êmbolo no retorno (cm^2);

F_r - Força de resistência por atrito (N) (de 3 a 20% de F_t);

F_t - Força da mola de retrocesso (N);

D - Diâmetro do êmbolo (cm);

d_e - Diâmetro da haste do êmbolo (cm);

Na prática, a força de trabalho é a força teórica menos as resistências internas do atuador. Em condições normais de trabalho (faixa de pressão de 400 a 800 kPa/ 4-8 bar), esta resistência pode absorver de 3% a 20% da força calculada.

2.1.7 Válvulas Pneumáticas

Os circuitos pneumáticos são constituídos por elementos de sinal de atuação e de trabalho. Os elementos emissores de sinais de atuação influenciam no processo dos trabalhos, modificando o fluxo de ar comprimido, seja mudando a sua direção, seja bloqueando a sua passagem. Estes elementos são denominadas “válvulas”.

Em linhas gerais, válvulas são elementos de atuação para partida, parada, direção e regulação do fluxo de ar comprimido. São responsáveis também por atuar na pressão ou na vazão do ar armazenado em um reservatório.

Segundo suas funções, as válvulas estão divididas em 5 grupos:

- **Válvulas Direcionais:** atuam na partida, parada e sentido de movimento do atuador;
- **Válvulas de Bloqueio:** atuam no bloqueio do fluxo de ar preferencialmente num sentido e o liberam no sentido oposto;
- **Válvulas de Fluxo:** atuam na vazão de ar comprimido;
- **Válvulas de Pressão:** atuam na pressão do ar comprimido ou são acionadas pela pressão;
- **Combinações de válvulas:** exercem funções combinadas;

As válvulas possuem símbolos gráficos. A Figura 2.25 ilustra como o símbolo é usado para representar a comutação de uma válvula direcional. O símbolo é formado por dois “quadrados”, cada um representando uma posição da válvula. Assim na posição de “retorno” a câmara do pistão está ligada na atmosfera enquanto que na posição de avanço a rede está alimentando o pistão.

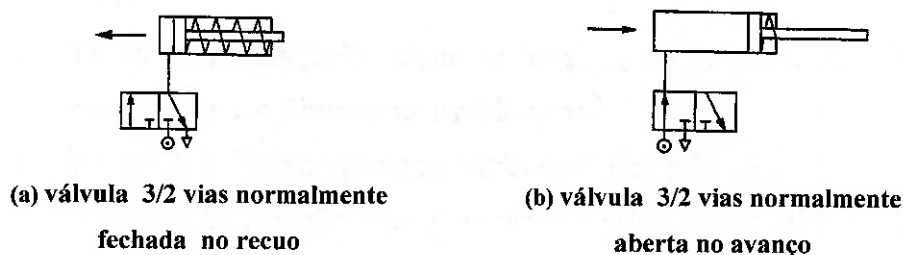


Figura 2.25 - Simbologia de comutação da válvula

A válvula mostrada acima possui duas posições de comutação e 3 conexões, sendo por isso, chamada válvula de 3/2 vias. A regra geral para a nomenclatura das válvulas é: uma válvula de m/n vias é uma válvula que possui m conexões e n posições de comutação. A Figura 2.26 ilustra diversos tipos de válvulas direcionais:

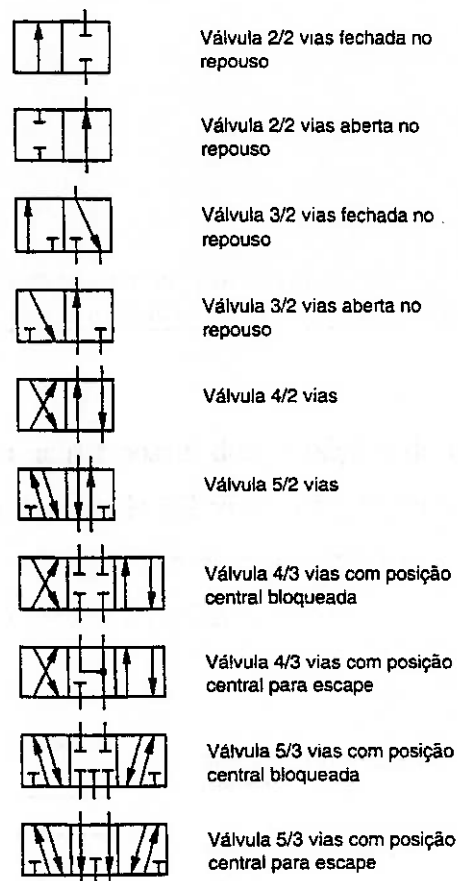


Figura 2.26 - Tipos de válvulas direcionais

A Figura 2.27, juntamente com a Tabela 2.1, descreve o sistema de numeração usado para designar as conexões das válvulas direcionais, estando a mesma de acordo com a norma DIN/ISO 5599:

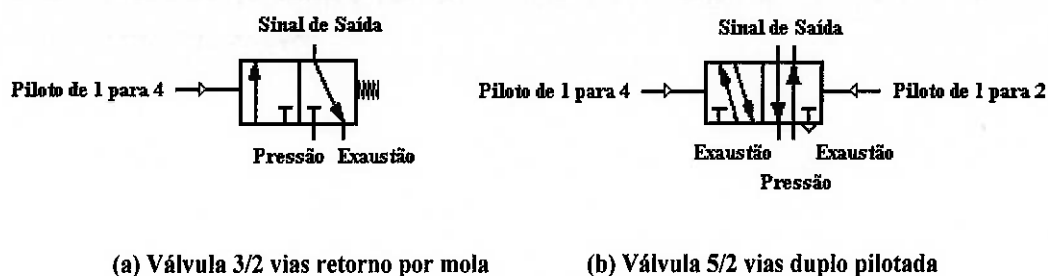


Figura 2.27 - Simbologia com descrição das conexões

Tabela 2.1 - Nomenclatura das conexões [Festo, 2001 (a)]

Conexão	DIN/ISO 5599	Letra
Pressão	1	P
Exaustão	3	R (3/2 vias)
Exaustão	5, 3	R, S (5/2 vias)
Sinal de Saída	4, 2	A,B
Piloto de 1 para 2	12	Z (3/2 vias)
Piloto de 1 para 2	12	Y (5/2 vias)
Piloto de 1 para 4	14	Z (5/2 vias)

2.1.7.1 Válvulas Direcionais

São elementos que atuam no trajeto do fluxo de ar, principalmente nas partidas, paradas e direção de fluxo do ar comprimido.

2.1.7.1.1 Princípio de Funcionamento

O funcionamento de uma válvula de 3/2 vias acionada manualmente e com retorno por mola, é mostrada na Figura 2.28. É possível observar a válvula na posição de repouso e na posição acionada.

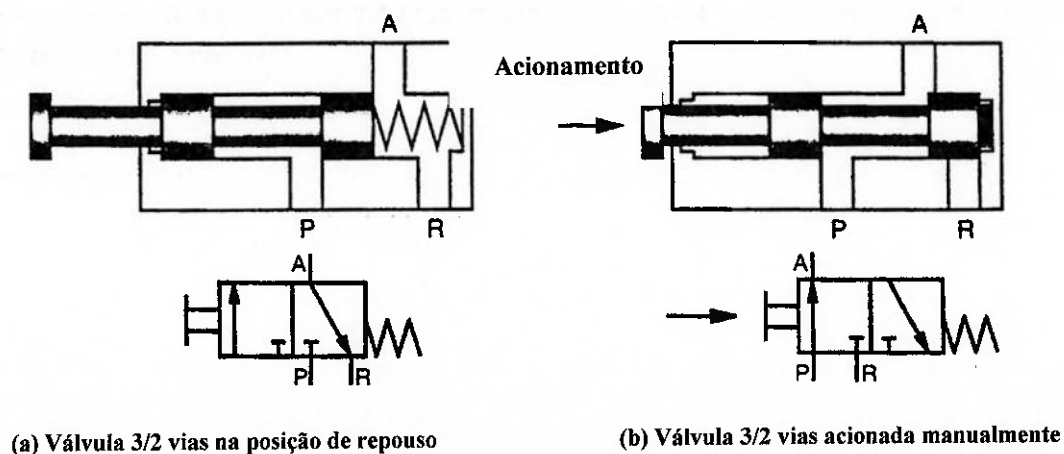


Figura 2.28 - Funcionamento de uma válvula de 3/2 vias acionada manualmente e com retorno por mola

2.1.7.1.2 Acionamento das Válvulas Direcionais

As válvulas direcionais podem ser acionadas de forma manual, mecânica, pneumática e elétrica como mostrado na Figura 2.29.

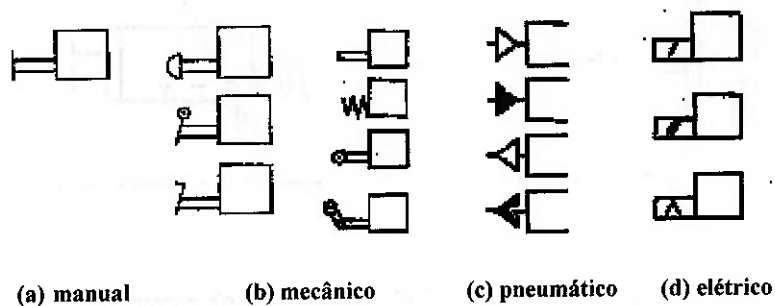


Figura 2.29 - Tipos de acionamento

As válvulas com acionamento elétrico são usadas em eletropneumática.

2.1.7.1.3 Forma Construtiva das Válvulas Direcionais

Quanto à forma construtiva, as válvulas direcionais podem ser de dois tipos:

- válvulas de assento;
- válvulas de êmbolo deslizante;

• *Válvulas de assento*

A Figura 2.30 mostra a forma construtiva de uma válvula de assento:

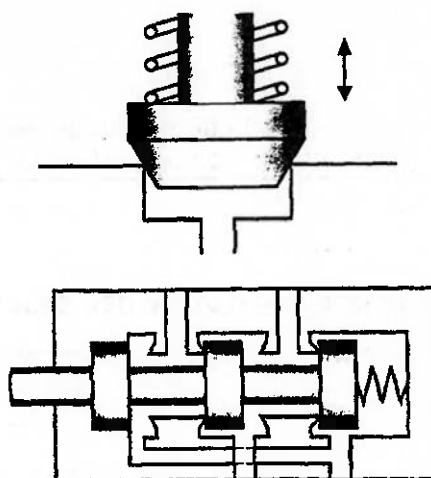


Figura 2.30 - Execução em assento

Entre as características da execução em assento temos:

- Estanqueidade praticamente perfeita;
- Requerem elevadas forças de acionamento devido ao diâmetro do seu êmbolo;
- Comutam rapidamente com curso reduzido;
- Praticamente insensíveis à impureza;
- Comutam de modo brusco (devido à variação brusca de área do êmbolo).

- ***Válvulas de êmbolo deslizante***

O funcionamento de válvulas baseado no êmbolo deslizante é mostrado na Figura 2.31:

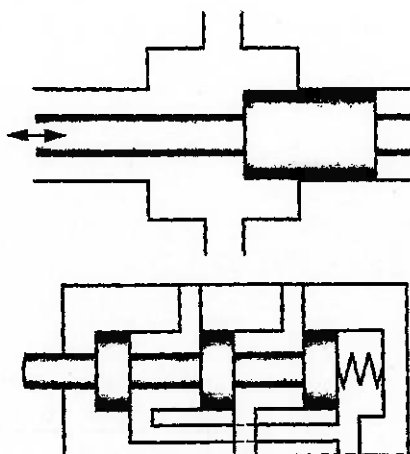


Figura 2.31 - Execução em êmbolo

Entre as características da execução em êmbolo temos:

- Construção relativamente simples e pequeno volume construtivo;
- Estanqueidade condicional (depende da pressão);
- Requer pequena força de acionamento devido ao diâmetro do seu êmbolo;
- Curso de comutação longo;
- Sensíveis à impureza;

2.1.7.1.4 Tipos de Válvulas direcionais

Válvulas Pneumáticas com acionamento por piloto

São válvulas pré-operadas pneumaticamente, em que o impulso de comando não é efetuado diretamente sobre a válvula principal, mas sobre uma válvula de pilotagem adicional. Esta, por sua vez, aciona a válvula principal através da pressão

do ar, reduzindo a força de acionamento necessária. A Figura 2.32 ilustra esse tipo de válvula na execução de assento:

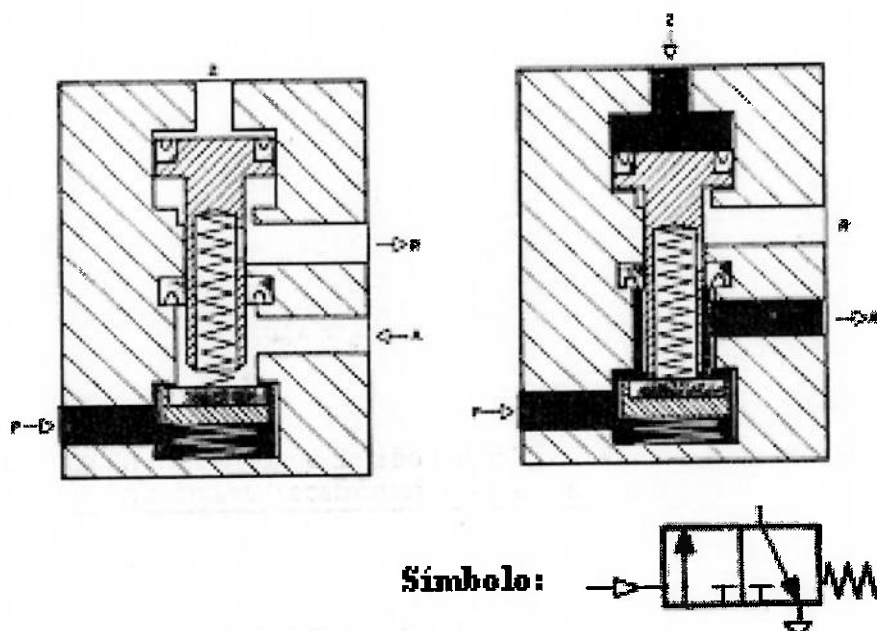


Figura 2.32 - Válvula 3/2 vias com acionamento pneumático e retorno por mola

Válvula Pneumática Bi-estável (duplo piloto)

Esse tipo de válvula tem funcionamento semelhante ao anteriormente citado, diferindo do mesmo no sentido em que esta não trabalha com retorno por mola. Construtivamente, esta válvula trabalha segundo o princípio de assento flutuante, sendo comutada alternadamente por meio de impulsos pneumáticos. A posição é mantida até receber um novo impulso em sentido oposto (bi-estável). O pistão se desloca no sistema de correção. A Figura 2.33 ilustra esse tipo de válvula:

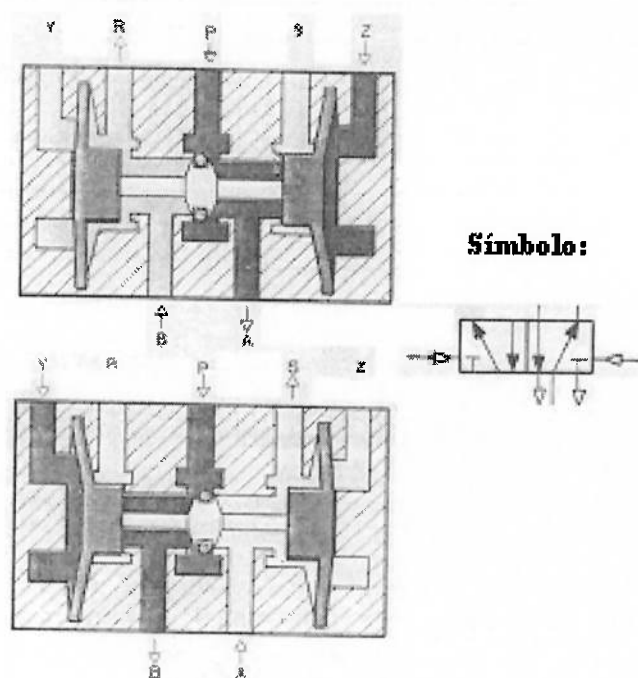


Figura 2.33 - Válvula 5/2 vias bi-estável

Válvula Direcional 3/2 vias servo-comandada

Consiste num sistema mecânico do tipo rolete que ao ser acionada, abre a válvula de servo-comando. O ar comprimido flui para a membrana e movimenta o prato da válvula principal para baixo. A comutação da válvula se efetua em duas etapas. Primeiro, fecha-se a passagem de A para R, depois abre-se a passagem de P para A. O retorno é efetuado pelo desacionamento do rolete, provocando o fechamento da passagem do ar para a membrana e posterior exaustão. Semelhante funcionamento ocorre com uma válvula 3/2 vias servo-comandada acionada por botão. A Figura 2.34 e a Figura 2.35 ilustram, respectivamente, esses tipos de válvula:

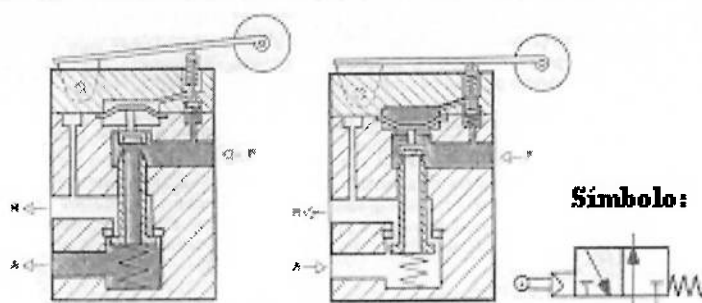


Figura 2.34 - Válvula 3/2 vias servo comandada acionada por rolete

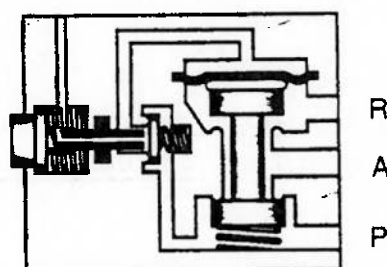


Figura 2.35 - Válvula 3/2 vias servo comandada acionada por botão

2.1.7.2 Válvulas de Bloqueio

2.1.7.2.1 Válvula de Retenção

São válvulas que permitem o fluxo livre num sentido e bloqueiam completamente o fluxo no sentido oposto. São construídas na execução de assento com mola com ilustra a Figura 2.36

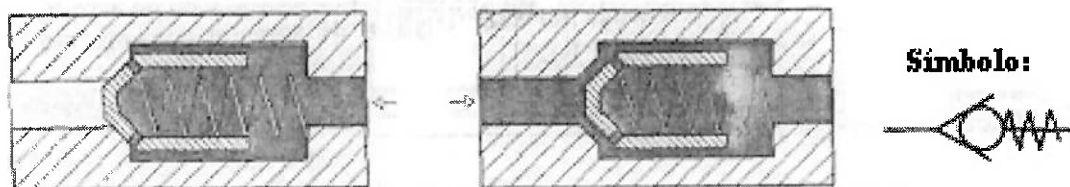


Figura 2.36 - Válvula de Retenção

2.1.7.2 Válvula Alternadora ("OU")

Tem função equivalente ao elemento lógico "OU" da eletrônica digital, fornecendo sinal de saída somente quando houver pelo menos um sinal de pressão em uma das conexões de entrada. A Figura 2.37 ilustra esse tipo de válvula:

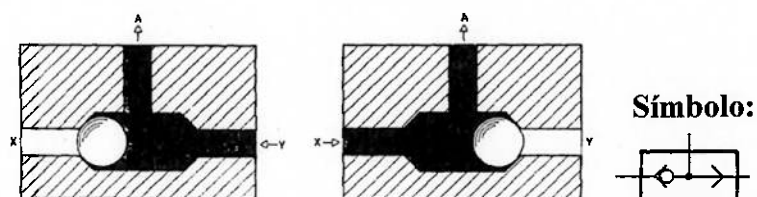


Figura 2.37 - Válvula Alternadora ("OU")

2.1.7.2.3 Válvula de Duas Pressões ("E")

Tem função equivalente ao elemento lógico "E" da eletrônica digital, fornecendo sinal de saída em A quando existirem dois sinais de entrada simultâneos e de mesmo valor. Comumente utilizado em sistemas de segurança em que é desejado o acionamento somente quando duas válvulas são pressionadas simultaneamente. A Figura 2.38 ilustra esse tipo de válvula:

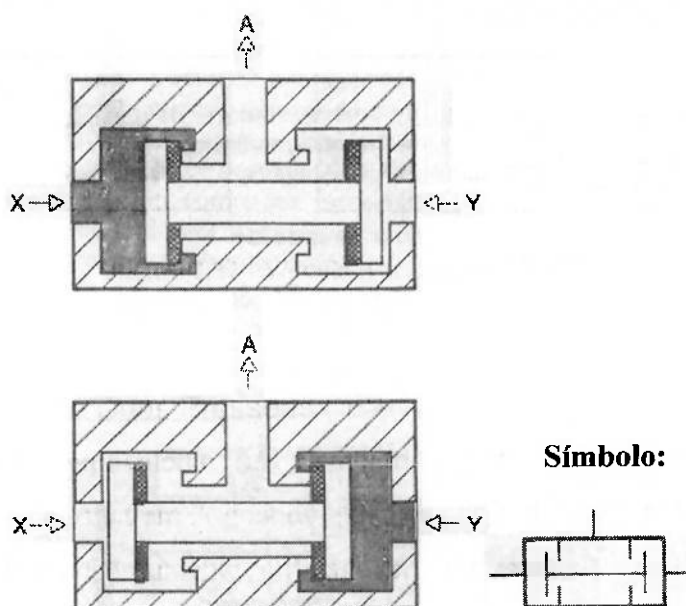


Figura 2.38 - Válvula de Duas Pressões ("E")

2.1.7.3 Válvulas de Fluxo

Esse tipo de válvula tem a função de reduzir a seção de passagem de modo a modificar a vazão do ar comprimido e assim controlar a velocidade dos atuadores. O principal componente desse grupo diz respeito à válvula reguladora unidirecional.

Trata-se da combinação em paralelo de uma válvula estranguladora variável e uma válvula de retenção. É usada quando se deseja regular o fluxo num único sentido. A Figura 2.39 ilustra essa válvula e o respectivo símbolo:

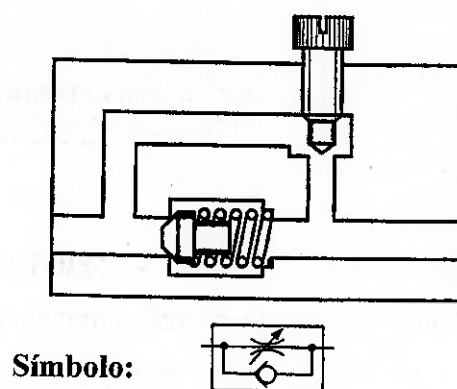


Figura 2.39 - Válvula Reguladora de Fluxo Unidirecional

2.1.7.4 Válvulas de Pressão

2.1.7.4.1 Válvula Reguladora de Pressão

Esse tipo de válvula é utilizada para limitar a pressão que alimenta um equipamento pneumático. Seu funcionamento foi descrito na seção 2.1.3.6.2

2.1.7.4.2 Válvula Limitadora de Pressão

O uso desse tipo de válvula é destinado à segurança do equipamento, atuando como alívio contra sobrepressões. No instante em que um valor de pressão pré-estabelecido é superado, abre-se uma passagem no interior da válvula contra a pressão de uma mola e o ar comprimido é exaurido para a atmosfera. A Figura 2.40 ilustra esse dispositivo, bem como o símbolo equivalente:

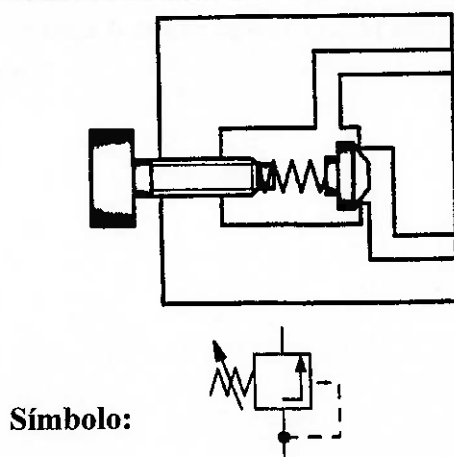


Figura 2.40 - Válvula Limitadora de Pressão

2.1.8 Temporizadores Pneumáticos

Os temporizadores pneumáticos são dispositivos criados para gerar um retardo no envio ou na recepção de um sinal de comando. O princípio construtivo, a simbologia e um gráfico comparativo do sinal de saída com o de entrada referente a um temporizador que retarda a emissão do sinal são ilustrados na Figura 2.41:

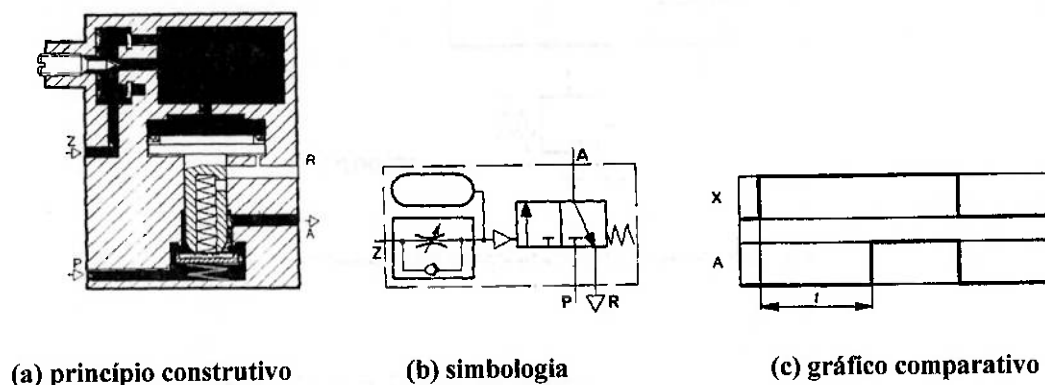


Figura 2.41 - Válvula temporizadora que retarda a emissão do sinal

Observando a figura, é possível concluir que o sinal de saída A só é liberado após um tempo de retardo aplicado sobre o sinal de entrada X. A temporização é obtida através de um progressivo aumento da pressão no pequeno reservatório provocado pela entrada do sinal X, que por sua vez, passa através de um

estrangulamento regulável. A pressão necessária para acionar a válvula 3/2 vias só é obtida após um tempo t . Como decorrência da comutação da válvula, as conexões P e A são interligadas. Ao cessar o sinal em X, o ar do reservatório sai pela membrana de retenção do estrangulamento, retornando à posição de início.

Já a Figura 2.42 ilustra uma válvula temporizadora que retarda a interrupção do sinal, juntamente com a sua simbologia e com o gráfico comparativo do sinal de entrada com o de saída. Seu funcionamento é semelhante à citada anteriormente.

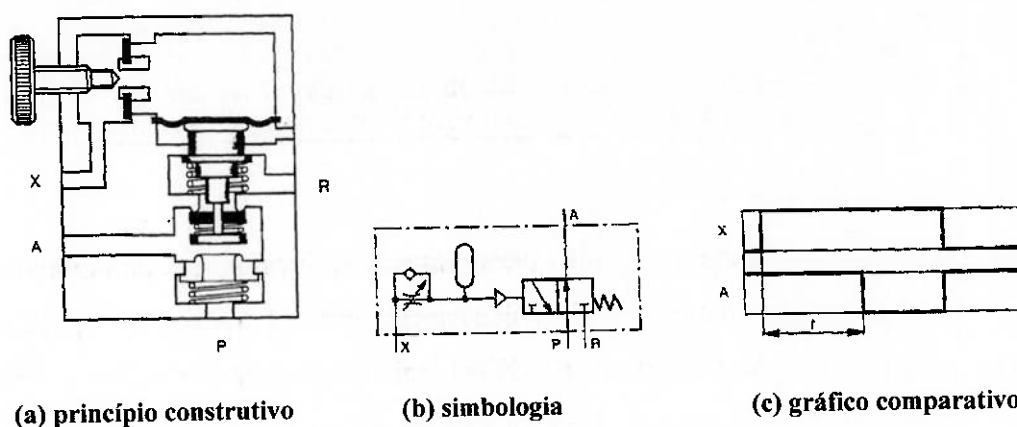


Figura 2.42 - Válvula temporizadora que retarda a interrupção do sinal

2.1.9 Circuitos Pneumáticos

Circuitos Pneumáticos é o nome dado à montagem de um conjunto de válvulas e atuadores conectadas de forma a realizar uma ação conjunta para um mesmo fim [2]. A Figura 2.43 e a Figura 2.44 ilustram, respectivamente, uma montagem real de um circuito pneumático que controla o avanço de um pistão de dupla ação e sua representação simbólica:

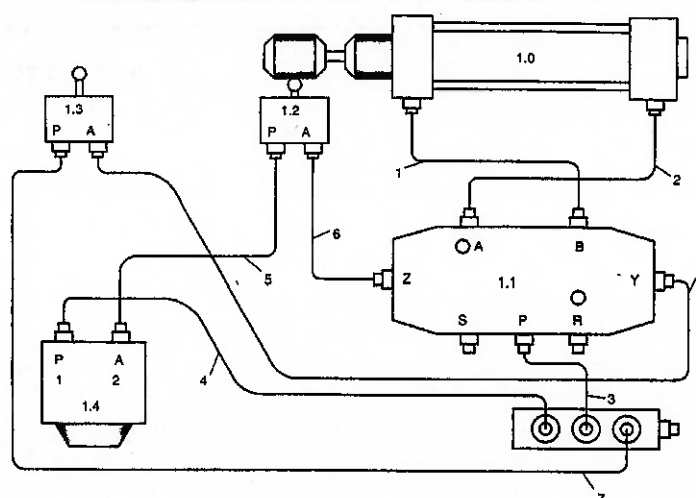


Figura 2.43 - Circuito Pneumático Real

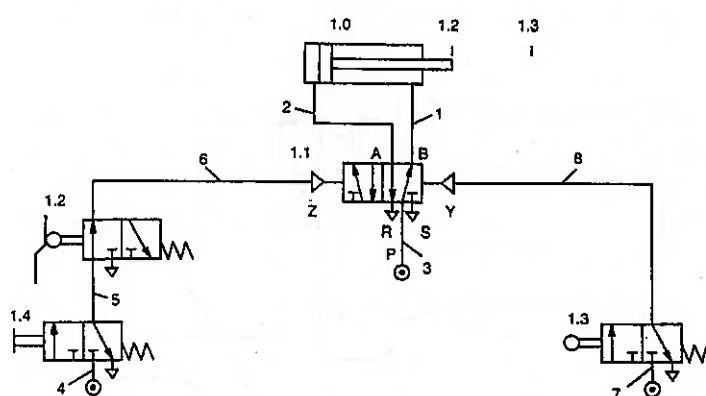


Figura 2.44 - Representação Simbólica

A válvula 1.4 inicia o processo quando o botão é pressionado. Em seguida, a válvula 1.1 comuta movendo o pistão. Ao final do curso a haste aciona a válvula 1.3, comutando novamente a válvula 1.1, que faz o pistão retornar. Caso a válvula 1.4 seja mantida pressionada, o pistão fica num ciclo de ida e volta até que o botão seja liberado.

É importante destacar a forma como os elementos de um circuito pneumático podem ser divididos em grupos:

- Elementos de trabalho: cilindros e motores pneumáticos;

- Elementos de comando e de sinais: válvulas direcionais;
- Elementos de alimentação: unidade de tratamento, válvulas de fechamento e de segurança;

A numeração dos elementos de trabalho é simples, seguindo apenas o padrão 1.0, 2.0, etc. Já para as válvulas, o primeiro número está relacionado a qual elemento de trabalho elas influem. O segundo número varia de acordo com o tipo de válvula. Para as válvulas de comando, responsáveis pelo acionamento direto do pistão, o número é 1. Para as válvulas de sinais, por sua vez, o número é par se a válvula é responsável pelo avanço do elemento de trabalho e ímpar se a válvula é responsável pelo retorno do mesmo. Para os elementos de regulação (válvulas de fluxo), o número à direita do ponto é o "0" seguido de um número par se a válvula afeta o avanço e ímpar se a válvula afeta o retorno.

Para os elementos de alimentação, o primeiro número é "0" e o número depois do ponto corresponde à seqüência com que eles aparecem. A figura ilustra um circuito pneumático completo com as respectivas numerações:

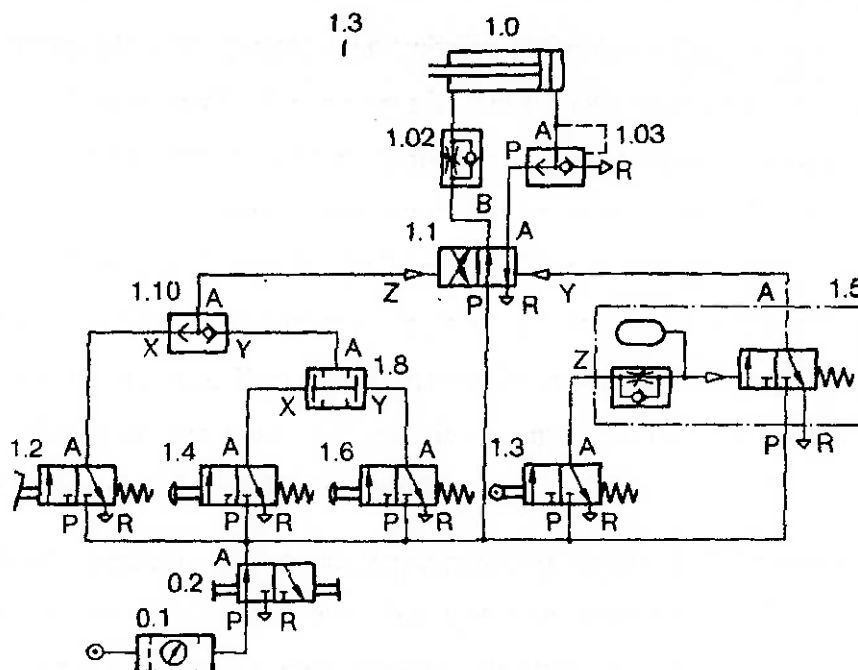


Figura 2.45 - Numeração de um circuito pneumático

2.1.9.1 Seqüência de Movimento dos Pistões

Existem diversas formas de se especificar a seqüência de acionamento dos pistões de forma a permitir o projeto do circuito pneumático: gráficos trajeto-passo, gráfico trajeto-tempo, ou letras com os sinais + (avançar) ou –(retornar), como ilustra a Figura 2.46:

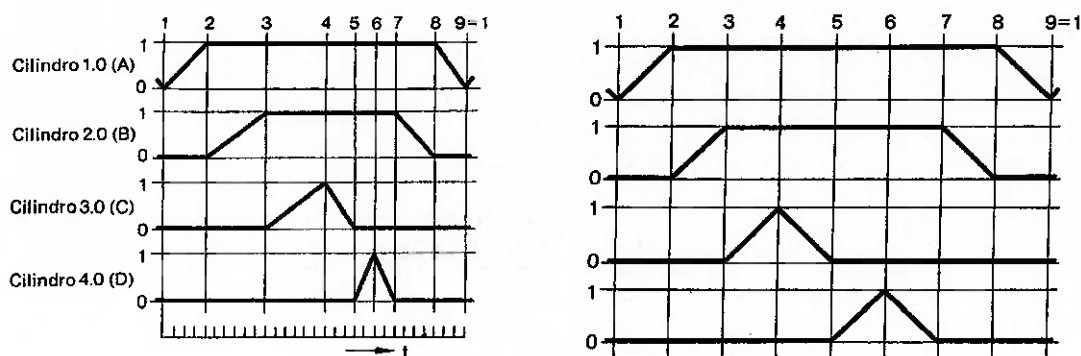


Figura 2.46 - Diagramas de trajeto-tempo (esquerda) e trajeto-passo (direita)

Na estratégia do projeto de um circuito pneumático é de fundamental importância identificar se a seqüência é direta ou indireta. Para isso, divide-se a seqüência ao meio como mostrado na Figura 2.47. Caso as letras estejam na mesma ordem da seqüência trata-se de uma seqüência direta. Caso contrário, é uma seqüência indireta.

A + B + A - B -	(seqüência direta)
A + B + B - A -	(seqüência indireta)
A + C + B - A - C - B +	(seqüência direta)
A + B + C + A - D + B - D - C -	(seqüência indireta)
A + B - B + A - B - B +	(seqüência indireta)
A + A - B + B -	(seqüência indireta)

Figura 2.47 - exemplos de seqüências diretas e indiretas

2.1.9.2 Métodos de Projeto de Circuitos Pneumáticos

O projeto de circuitos pneumáticos pode ser realizado segundo alguns métodos que visam facilitar a sua concepção bem como evitam a ocorrência de travamentos decorrente de sobreposições de sinais. Os métodos mais conhecidos são o método intuitivo, utilizado quando a seqüência de acionamento for direta, e o método passo-a-passo, quando da necessidade de se evitar o problema de sobreposição de sinais, comuns em circuitos em seqüência indireta.

2.1.9.2.1 Método Intuitivo:

O método intuitivo segue a lógica de incorporar ao sistema os elementos segundo a ordem: elemento de trabalho, elemento de comando, elemento de sinais e elementos de alimentação, para então realizar as conexões entre eles.

Considerando o projeto de um circuito pneumático que execute a seqüência direta $A+B+A-B-$, tem-se as seguintes etapas:

1ª Etapa: inclusão dos elementos de trabalho



Figura 2.48 - Elementos de Trabalho

2ª Etapa: inclusão das válvulas de comando principal

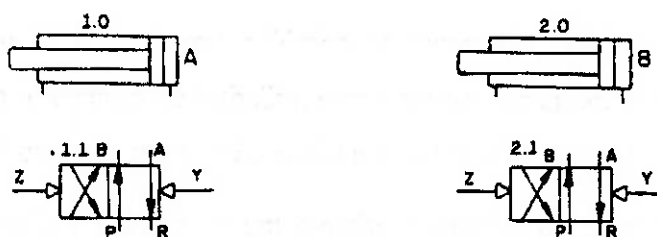


Figura 2.49 - Elementos de Comando

3ª Etapa: inclusão dos elementos de sinal

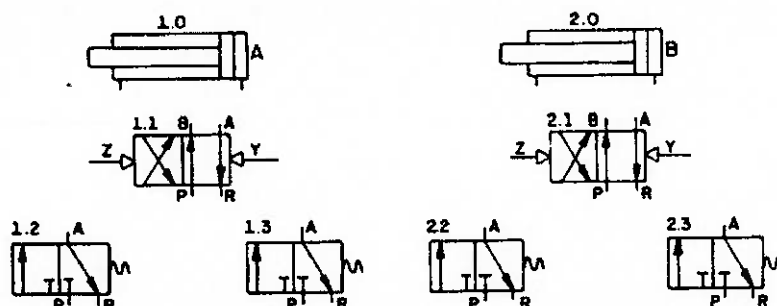


Figura 2.50 - Elementos de Sinal

4ª Etapa: inclusão de todas as linhas de trabalho, pilotagem, alimentação de ar e exaustão

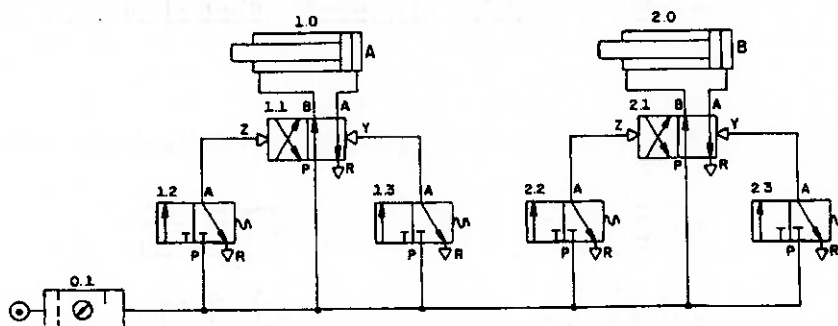


Figura 2.51 - Elementos de Alimentação linhas de trabalho

5ª Etapa: incluir os acionadores dos elementos de sinal e representar a posição de cada uma das válvulas piloto entre os cilindros, de acordo com os passos da seqüência de movimento.

1º passo: o acionamento do botão de partida, acarreta no avanço do cilindro A. Este é o primeiro passo da seqüência de movimentos.

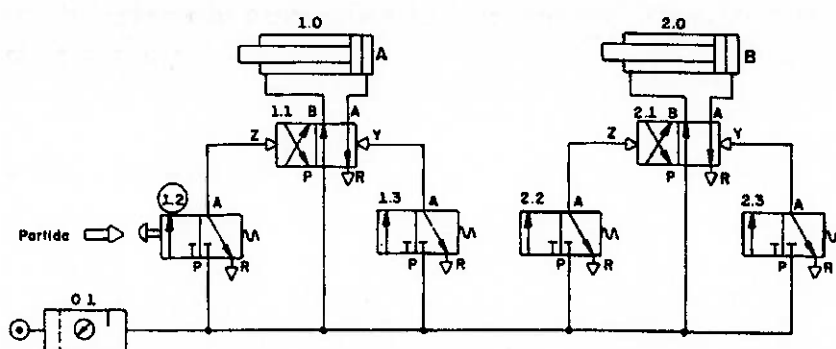


Figura 2.52 - Acionamento do circuito através de um botão

2º passo: no instante em que o cilindro A alcançar o final do curso de avanço, resultará no acionamento do rolete de outro elemento de sinal cuja função é pilotar o avanço do cilindro B. Este é o segundo passo da seqüência de movimentos.

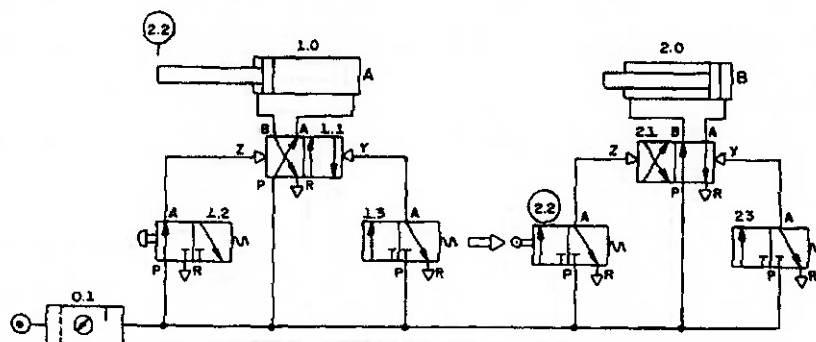


Figura 2.53 - Acionamento do segundo elemento de sinal

3º passo: quando o cilindro B alcançar o final do curso de avanço, será acionado o rolete de outro elemento de sinal cuja função é pilotar o retorno do cilindro A. Este é o terceiro passo da seqüência de movimentos.

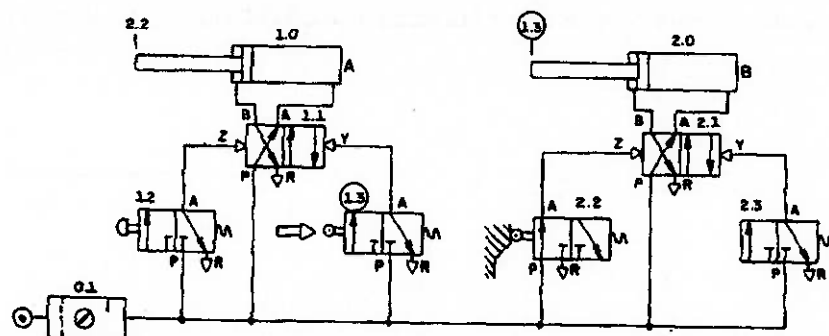


Figura 2.54 - Acionamento do terceiro elemento de sinal

4º passo: assim que o cilindro A alcançar o final do curso de retorno, acionará o rolê do último elemento de sinal cuja função é pilotar o retorno do cilindro B. Este é o último passo da sequência de movimentos.

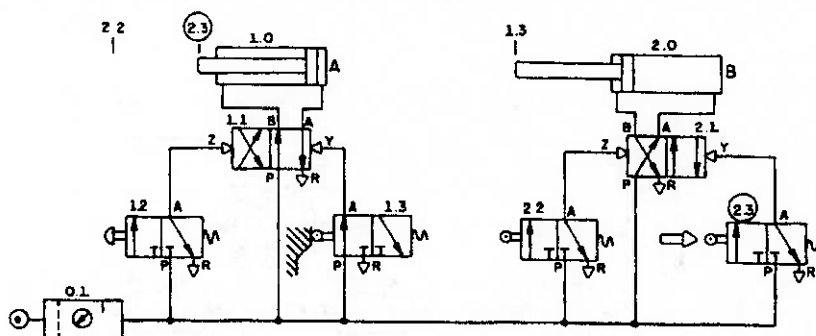


Figura 2.55 - Acionamento do último elemento de sinal

6ª Etapa (Fim do ciclo): esquema final para A+B+A-B-

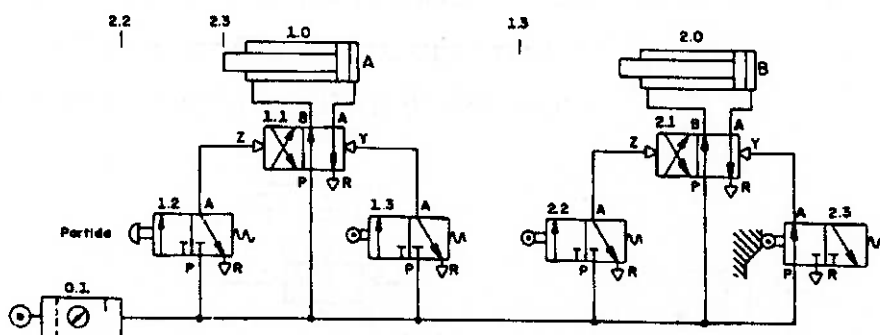


Figura 2.56 - Esquema final do circuito pneumático resultante

2.1.9.2.2 Método passo-a-passo:

Este método, ao contrário do método intuitivo, segue uma seqüência não tão lógica e inclui formas de abordagens que à primeira vista possam parecer um pouco complicadas, mas que no fim se mostram adequadas para o projeto de circuitos a que são propostos.

Considerando a seqüência indireta A+B+B-A-, seguem-se abaixo a descrição das etapas para o projeto desse circuito com base no método passo-a-passo.

1ª Etapa: Nesta etapa as seqüências de movimentos do circuito são divididas em grupos observando que cada movimento (passo) da seqüência corresponde a um grupo. De uma forma geral, tem-se um número par de grupos de alimentação de ar. No caso de seqüências com movimentos simultâneos, pode-se ter um número par ou ímpar de grupos.

$$\begin{array}{c|c|c|c} A + & B + & B - & A - \\ \hline I & II & III & IV \end{array}$$

Figura 2.57 - Seqüência de movimentos divididos em grupos

2ª Etapa: incluir os elementos de trabalho do circuito ligados às suas respectivas válvulas de comando de duplo piloto.

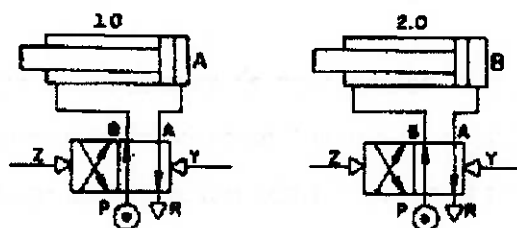


Figura 2.58 - Inclusão dos elementos de trabalho e das válvulas de comando

3ª Etapa: Nesta etapa são incluídos os grupos de alimentação de ar quantos forem os grupos encontrados na primeira etapa. O número de válvulas necessárias para controlar as linhas de alimentação de ar é igual ao número de grupos encontrados na divisão da seqüência. Para quatro grupos tem-se:

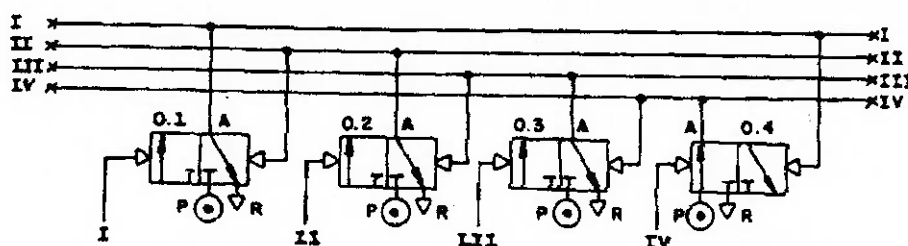


Figura 2.59 - Inclusão dos grupos de alimentação de ar

Cada válvula é responsável pela pressurização da linha correspondente e pela depressurização da linha anterior. Assim, pilotando-se a válvula 0.1 do lado esquerdo a linha I será pressurizada ao mesmo tempo em que a linha IV é descarregada para atmosfera com o acionamento da válvula 0.4. As linhas são pressurizadas uma a uma de forma a garantir a correta seqüência de movimentos. Por convenção, a última linha sempre deve estar pressurizada na partida do circuito.

4ª Etapa: nesta etapa os pilotos das válvulas de comando dos cilindros são conectadas às linhas de alimentação de ar de acordo com os grupos determinados na divisão da seqüência de movimentos do circuito. Assim, de acordo com a Figura 2.57, deve-se conectar os pilotos de avanço dos cilindros A e B às linhas I e II, respectivamente, e os pilotos de retorno dos cilindros B e A às linhas III e IV, respectivamente.

5ª Etapa: inclusão dos elementos de sinal responsáveis pela pilotagem das válvulas do comando passo-a-passo de acordo com a seqüência de movimentos do circuito. Os elementos de sinal devem ser acionados por meio de rolete mecânico, com exceção daqueles que são responsáveis pela partida, geralmente acionados por botão. Os elementos de sinal são alimentados pelas linhas referentes aos grupos do comando passo a passo, enquanto o ar da linha atuante é utilizado para pilotar a linha posterior. Assim, a seqüência indireta em questão é projetada da seguinte forma:

1º passo: o botão de partida é pressionado para permitir a mudança da alimentação de ar do grupo IV para o grupo I a fim de possibilitar o avanço do cilindro A.

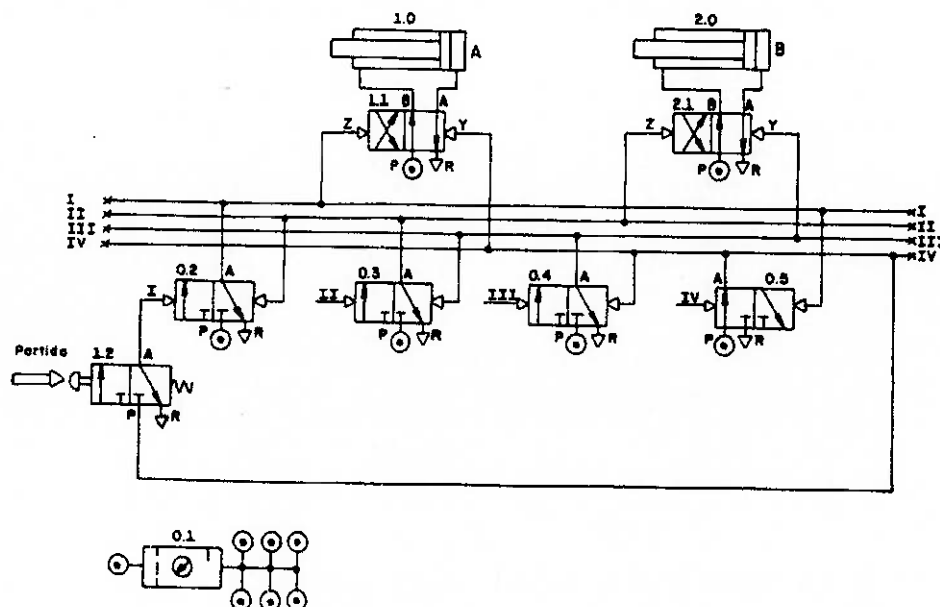


Figura 2.60 - Início da sequência através do acionamento do botão de partida

2º passo: o fim de curso (válvula 2.2) do cilindro A acarreta na mudança da alimentação de ar do grupo I para o grupo II para que o cilindro B avance.

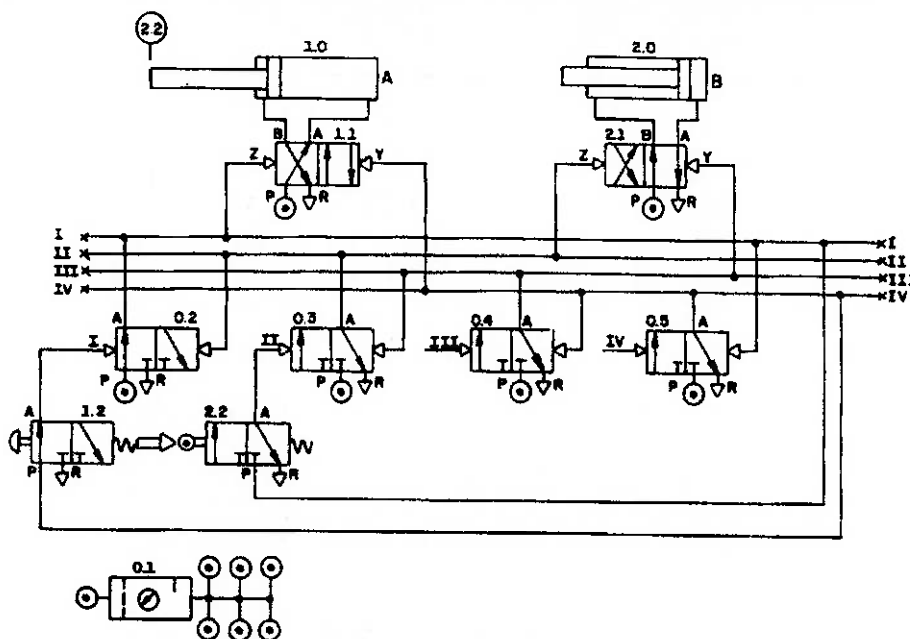


Figura 2.61 - Acionamento da alimentação de ar referente ao grupo II

3º passo: a mudança da alimentação de ar do grupo II para o grupo III faz com que o cilindro B retorne.

4º passo: o ultimo passo corresponde à mudança da alimentação de ar do grupo III para o grupo IV a fim de que o cilindro A retorne.

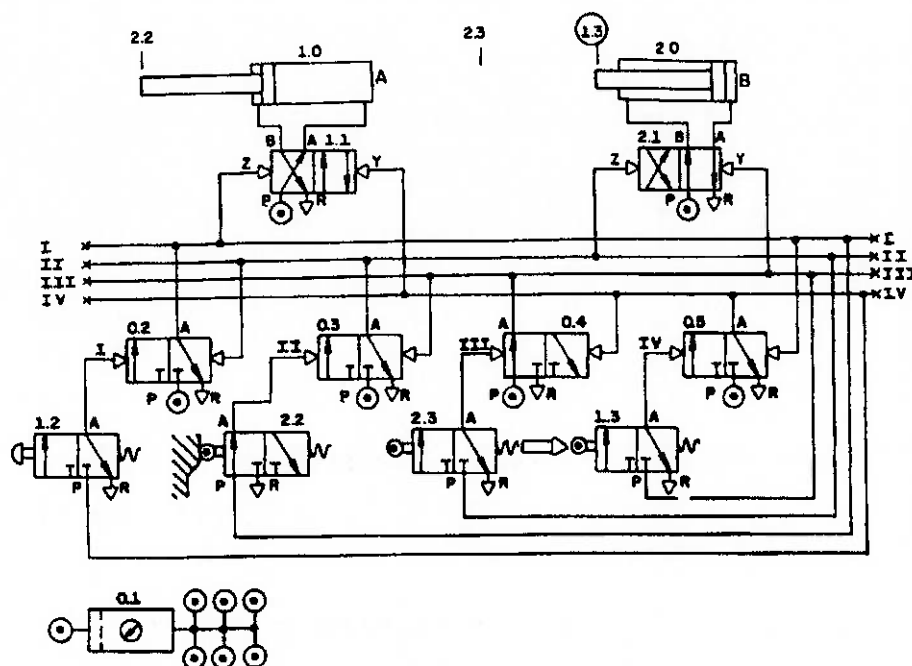


Figura 2.62 - Acionamento da alimentação de ar referente ao grupo IV

6ª Etapa (Fim do ciclo): No instante em que o cilindro A atinge o sensor de final de curso referente ao retorno, encerra-se a seqüência do ciclo. Uma nova partida é obtida pressionando-se o botão 1.2.

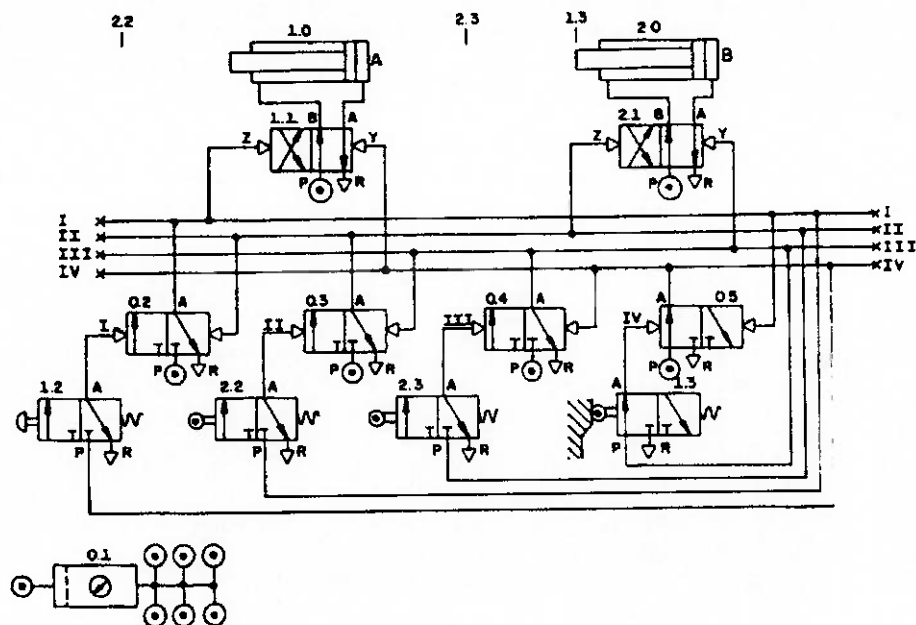


Figura 2.63 - Circuito pneumático resultante

7ª Etapa: Terminado o processo de projeto do circuito pneumático é preciso eliminar as extremidades das linhas de alimentação de ar comprimido referentes a todos os grupos do comando passo-a-passo a fim de obter o esquema final do circuito projetado.

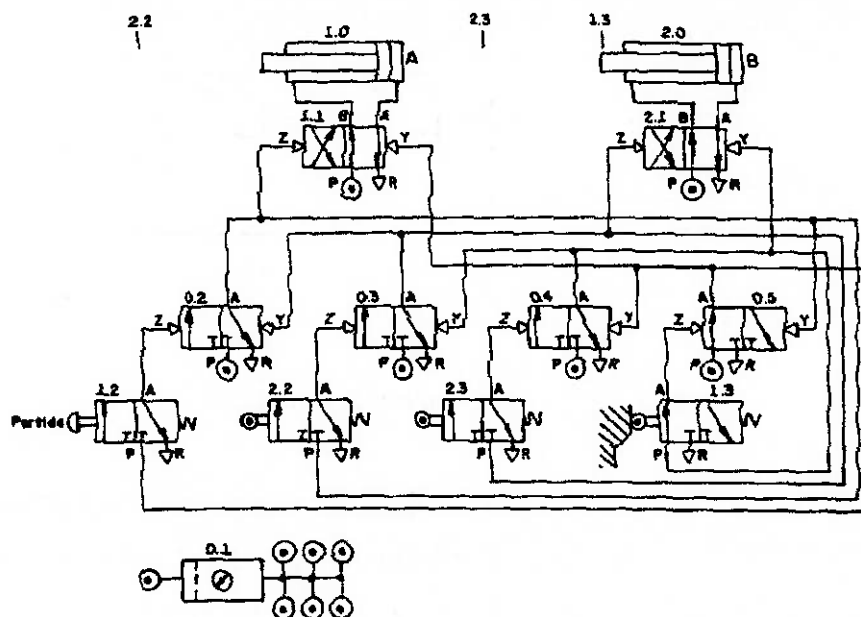


Figura 2.64 - Esquema final do circuito pneumático resultante

2.2 Eletropneumática

2.2.1 Definição

A eletropneumática segue os mesmos fundamentos da pneumática diferindo da mesma quanto à execução do comando, que neste caso é realizado por meio de um circuito elétrico. O presente texto também é baseado no trabalho de [Silva, 2002]. Este circuito pode ser executado através de um Controlador Programável ou mesmo via microcomputador. No entanto, para circuitos eletropneumáticos de pequeno porte é comum a construção do circuito elétrico diretamente com uso de relés, comutadores de potência, interruptores, pressostatos e sensores elétricos conectados diretamente entre si e com os componentes que fazem parte da pneumática.

Os componentes pneumáticos propriamente ditos representam pequena parcela em um circuito eletropneumático. A parcela pneumática fica reservada aos atuadores pneumáticos e às válvulas pneumáticas direcionais responsáveis pela sua atuação. A diferença entre esta válvula direcional para a válvula utilizada comumente nos circuitos puramente pneumáticos está na forma de acionamento, que no caso da eletropneumática é realizado por meio de solenóides.

Cabe destacar que os circuitos eletropneumáticos são muitas vezes mais viáveis economicamente, porém são somente recomendados para ambientes em que não haja riscos de explosão.

2.2.2 Principais componentes

2.2.2.1 Válvulas Direcionais

As válvulas direcionais utilizadas em circuitos eletropneumáticos seguem o mesmo princípio descrito na seção 2.1.7.1. Porém, neste caso, o acionamento é realizado por meio da energização de um solenóide. A energia elétrica que flui através do solenóide gera um campo magnético que atrai um pistão metálico responsável pelo fechamento da passagem de ar comprimido. O movimento do pistão

libera a passagem, permitindo o escoamento do ar comprimido. A Figura 2.65 ilustra uma válvula 3/2 vias acionada por solenóide e o seu respectivo símbolo:

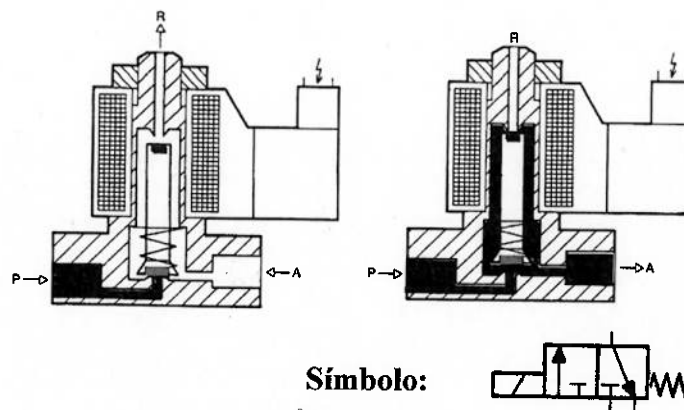


Figura 2.65 - Válvula 3/2 vias acionada por solenóide

2.2.2.2 Relé

O relé consiste num elemento de comutação acionado eletromagneticamente, podendo ligar e desligar vários circuitos conectados ao mesmo. A Figura 2.66 ilustra seu princípio de funcionamento bem como uma parte de um circuito onde é possível notar o relé funcionando como chave liga/desliga de vários circuitos.

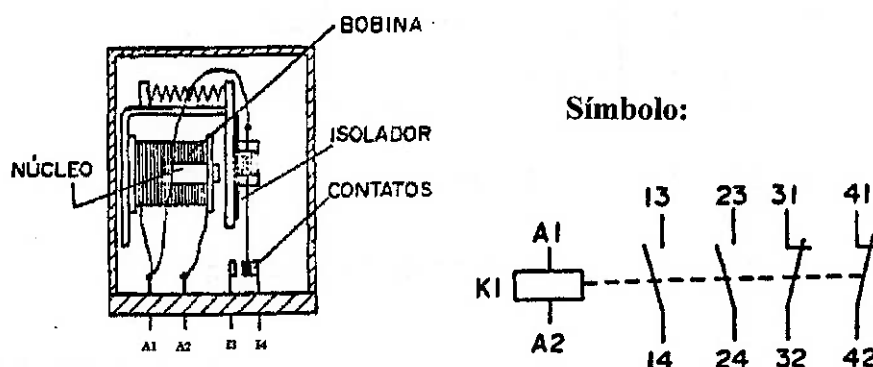


Figura 2.66 - Princípio de Funcionamento e exemplo de atuação de um relé

2.2.2.3 Botão

Outro elemento muito comumente utilizado é o botão. É denominado botão fechador quando está normalmente aberto e botão abridor na situação oposta. Recebe o nome de comutador quando o botão possui a capacidade de abrir e fechar contatos. A Figura 2.67 ilustra o princípio construtivo desses elementos bem como os respectivos símbolos.

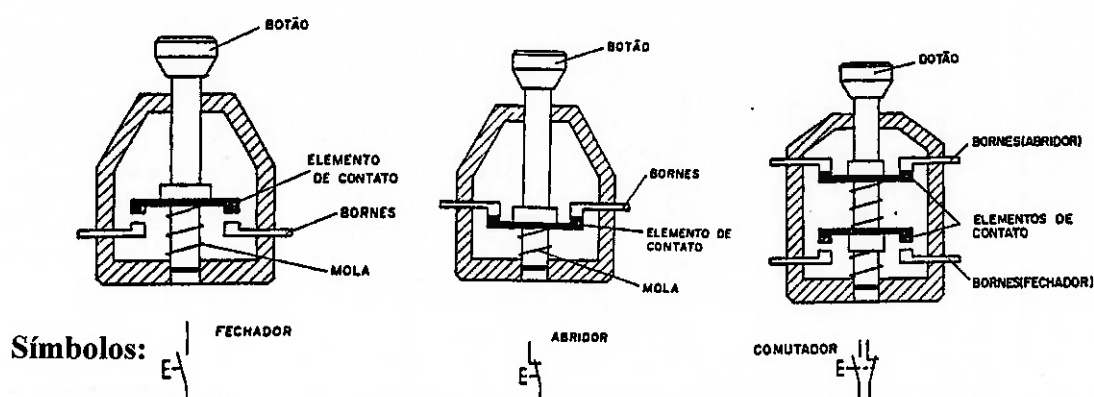


Figura 2.67 - Botões fechador, abridor e comutador e respectivos símbolos

2.2.3 Circuitos Eletropneumáticos

2.2.3.1 Principais Características

A Figura 2.68 ilustra um circuito eletropneumático típico, em que estão presentes os principais elementos presentes em todos os circuitos. Trata-se de um circuito eletropneumático simples em que o interruptor S1 aciona o solenóide Y1 da válvula do pistão. Cabe destacar que a ilustração à esquerda corresponde à parte pneumática do circuito ao passo que a ilustração à direita representa o esquema simbólico do circuito elétrico, e não a representação tipicamente empregada na linguagem *Ladder Diagram* (LD), a ser descrita na seção 2.4.4. Os pólos + e - representam os pólos da rede elétrica.

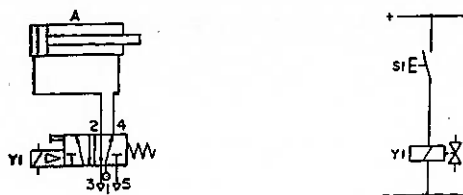


Figura 2.68 - Circuito pneumático simples

O modelo utilizado no circuito eletropneumático simples é utilizado, porém não deve ser aplicado quando são necessárias altas correntes para acionar a válvula. Neste caso, é comum separar o circuito de acionamento do circuito de controle. Assim, o interruptor S1 aciona um relé de baixa corrente K1 que, por sua vez, aciona o solenóide, como mostrado na Figura 2.69:

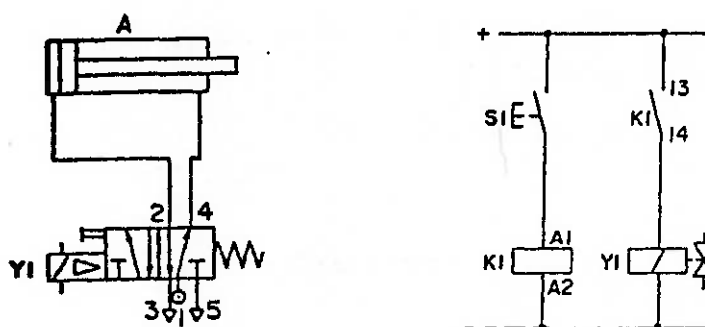


Figura 2.69 - Circuito de controle e de potência

Uma forma muito comumente encontrada nos circuitos eletropneumáticos é o chamado “ligar dominante” ou “desligar dominante”. Em ambos, o relé se mantém ligado ao ser acionado, somente desligando quando o botão desliga é acionado. Porém, no primeiro caso, quando os botões liga e desliga são pressionados simultaneamente o circuito liga ao passo que, no segundo caso, ocorre o oposto. A Figura 2.70 ilustra esses tipos de circuito:

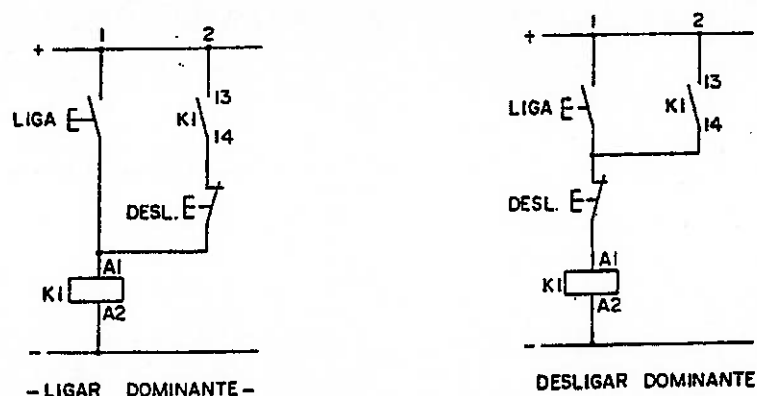


Figura 2.70 - Circuitos ligar e desligar dominante

2.2.3.2 Projeto de circuito eletropneumático

O projeto dos circuitos eletropneumáticos segue o mesmo processo que os circuitos pneumáticos, sendo comumente empregado tanto o método intuitivo quanto o passo-a-passo. No entanto, no caso do método passo-a-passo cada evento do circuito é realizado pelo sub-circuito ilustrado na Figura 2.71:

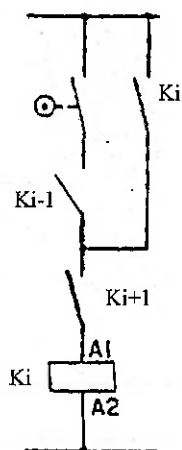


Figura 2.71 – Sub-circuito responsável por um evento da sequência no método passo-a-passo

Este sub-circuito tem como função manter a linha energizada através do acionamento do relé K_i , que é mantido armado até que o próximo sub-circuito o desarme. A Figura 2.72 ilustra um circuito eletropneumático que comanda a sequência indireta $A+B+C+C-A-B-$, projetado segundo o método passo-a-passo.

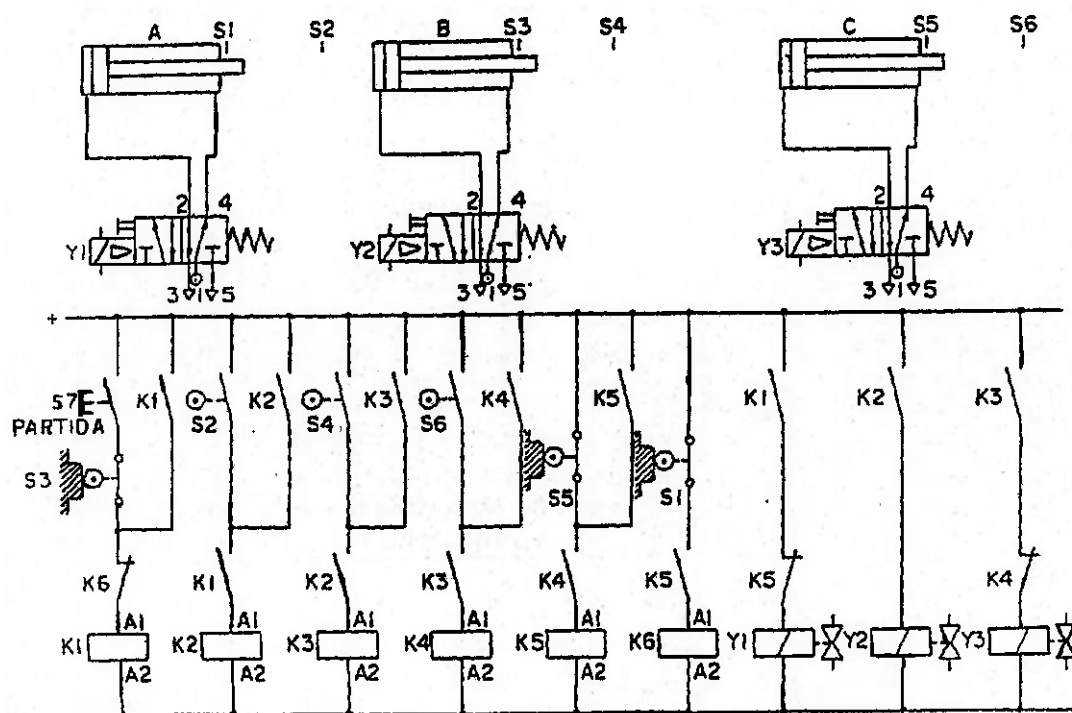


Figura 2.72 - Circuito eletropneumático referente à sequência A+B+C+C-A-B-

2.3 Hidráulica

2.3.1 Definição de um Sistema Hidráulico

A hidráulica é a ciência das forças e movimentos transmitidos através de líquidos. Nesse contexto, um sistema hidráulico consiste em um conjunto de elementos físicos associados de forma a permitir a transmissão e controle de forças e movimentos, utilizando um fluido como meio de transferência de energia. O texto a seguir é baseado no trabalho de [Von Linsingen, 2001].

A combinação apropriada desses elementos físicos, cada um com suas características operacionais próprias, permite o tratamento do sistema como grupos de componentes com funções definidas de conversão, controle e limitação de energia. A Figura 2.73 esquematiza um sistema hidráulico genérico.

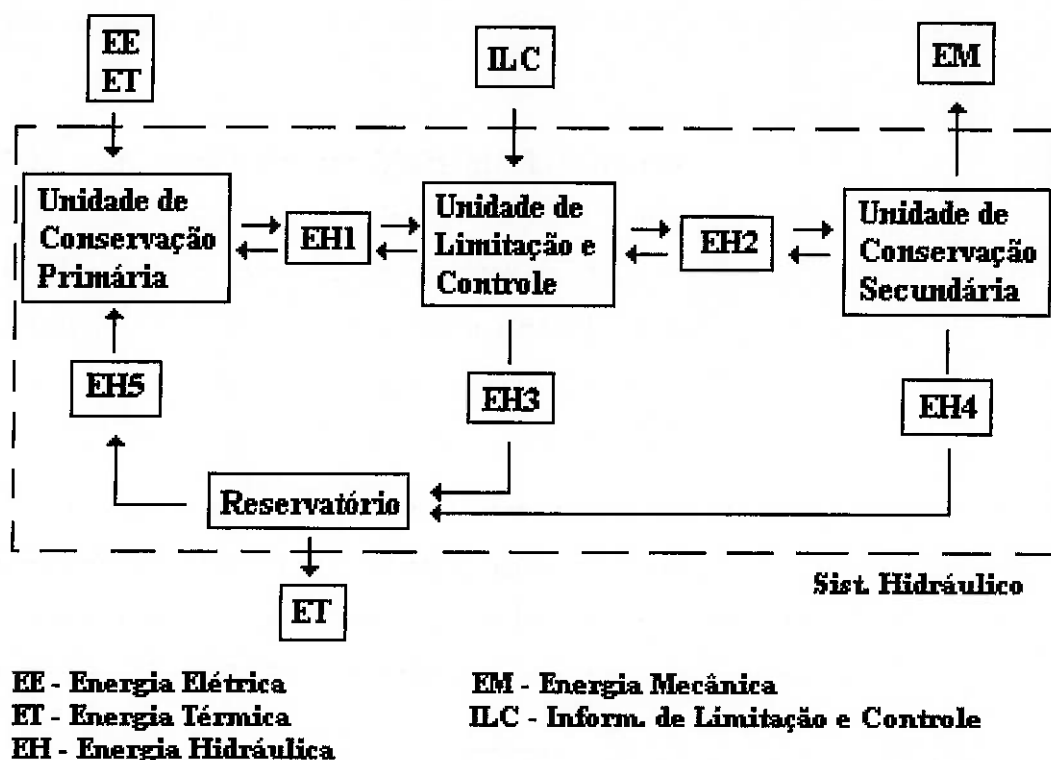


Figura 2.73 – Sistema hidráulico genérico. Fluxos de energia, matéria e informação

Devido às características físicas dos componentes e ao comportamento do fluido, ocorre dissipação de energia em todas as transformações que acontecem no sistema, sobretudo na unidade de limitação e controle que envolvem os processos mais dissipativos. A energia dissipada que é convertida em energia térmica, e transferida ao meio e ao fluido, é verificada através do aumento de temperatura. Como a manutenção das características do fluido hidráulico é de extrema importância para bom desempenho do sistema hidráulico, são utilizados dispositivos adicionais de controle de temperatura e contaminação.

2.3.2 Características dos Sistemas Hidráulicos

Os sistemas hidráulicos apresentam tanto características vantajosas, que os tornam especialmente recomendados para uma série de aplicações, como também características desvantajosas, as quais limitam sua utilização em determinadas aplicações.

Suas principais vantagens são descritas a seguir:

- baixa relação peso/potência, ou seja, transmissão de grandes forças e torques elevados com dimensões relativamente reduzidas;
- bom comportamento em relação ao tempo, isto é, resposta relativamente rápida à partida e inversão de movimento sob carga, devido aos baixos momentos de inércia;
- adaptação automática de força e torque;
- possibilidade de variação contínua de força e velocidade nos atuadores lineares e de torque e rotação nos atuadores rotativos, por meio de controle ou ajustes;
- sistemas adequados tanto para a atuação em processos de movimentos rápidos, assim como para movimentos de precisão extremamente lentos;
- segurança eficaz contra sobrecargas através do uso de válvulas limitadoras de pressão, evitando danos ao sistema;
- lubrificação dos componentes pelo próprio fluido de trabalho;

- capacidade de armazenagem de energia de forma relativamente simples, por meio de acumuladores hidropneumáticos;
- possível combinação com sistemas mecânicos, elétricos e pneumáticos;
- possibilidade de utilização de sistemas em condições ambientais adversas, desde que tomados os devidos cuidados construtivos;

Por outro lado, suas principais desvantagens são:

- custo elevado em relação aos sistemas mecânicos e elétricos compatíveis;
- baixo rendimento devido à dissipação de energia por atrito viscoso, isto é, perdas de carga nas canalizações e componentes, o que limita a velocidade do fluido e conseqüentemente a velocidade dos atuadores hidráulicos;
- possibilidade de perdas por vazamentos internos e vazamentos externos, devido às folgas, diminuindo a eficiência e comprometendo a precisão dos movimentos;
- a compressibilidade do fluido hidráulico, mesmo que pequena, da mesma forma que os vazamentos variáveis, exigem a utilização de sistemas especiais para a sincronização de movimento de dois ou mais atuadores;
- a presença de ar no sistema, na forma de ar livre, provoca movimentação não uniforme e pulsante dos atuadores, devido a grande compressibilidade do ar. Ar livre no sistema é resultante da desaeração incompleta, absorção ou liberação de bolhas de ar retidas nas cavidades dos componentes;
- elevada dependência da temperatura. Alterações na temperatura do fluido, devido às condições ambientais e/ou dissipação de energia, provocam alteração da viscosidade e conseqüentemente alteram-se as perdas por vazamentos e as condições operacionais do sistema.

2.3.3 Conservação de Energia

Em um sistema hidráulico, a conversão de energia é realizada por meio de bombas e motores hidráulicos. Genericamente, a energia mecânica é convertida em energia hidráulica, a qual é transmitida pelo fluido para então ser reconvertida em energia mecânica para a produção de trabalho útil. Aplicando-se o princípio da conservação de energia para volume de controle e considerando regime permanente e escoamento incompressível e uniforme, obtém-se a equação (2-5)

$$\dot{Q}_c - \dot{W} = \dot{m} \left(u_2 - u_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) \quad (2-5)$$

onde, $\dot{m} = \rho \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho \cdot v_2 \cdot A_2 = \rho \cdot Q$ é o fluxo de massa;

\dot{Q}_c é o fluxo de calor pela superfície de controle;

\dot{W} é a potencia transferida pela superfície de controle;

$\Delta u = u_2 - u_1$ é a variação de energia interna específica;

$\Delta P / \rho = (P_2 - P_1) / \rho$ é a variação de energia de pressão;

$(v_2^2 - v_1^2) / 2$ é a variação de energia cinética;

Admitindo-se que a transferência de calor para o meio é desprezível e que não ocorre variação significativa da energia interna, a equação (2-5) se reduz a:

$$\pm \dot{W} = \dot{m} \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) \quad (2-6)$$

A equação (2-6) indica que a energia mecânica é transferida ao/do fluido nas formas de energia de pressão e energia cinética. Dependendo das características construtivas das bombas e motores, essa transformação pode ser mais significativa de

uma ou outra forma, classificando as máquinas hidráulicas em dois grandes grupos: **máquinas hidrodinâmicas e máquinas hidrostáticas.**

Nas máquinas hidrodinâmicas, como por exemplo bombas centrífugas, ventiladores e turbinas, a energia transferida é basicamente cinética, através da variação da velocidade do fluido entre as pás, desde a entrada até a saída do rotor, a baixa pressão. Já nas máquinas hidrostáticas, chamadas também de máquinas de deslocamento positivo, a energia transmitida ocorre basicamente na forma de energia de pressão. Máquinas hidrostáticas, diferentemente de máquinas hidrodinâmicas, podem desenvolver altas pressões com vazões relativamente baixas, tornando-as por esse motivo as mais largamente utilizadas em sistemas hidráulicos.

2.3.3.1 Bombas e Motores Hidrostáticos

2.3.3.1.1 Classificação segundo Princípio de Deslocamento

Existem diversos tipos de bombas e motores hidráulicos, cujas características principais são definidas segundo o princípio de deslocamento utilizado, ou seja, pela forma como o fluido é transportado na máquina. Existem basicamente os princípios de deslocamento por engrenagens, palhetas, pistões e parafusos. Além disso, as bombas e motores hidráulicos, a partir da forma construtiva, podem ou não permitir a variação de vazão a uma rotação constante. Máquinas que permitem essa variação são chamadas de máquinas de deslocamento variável, enquanto que as que não permitem são chamadas de máquinas de deslocamento fixo.

Dessa maneira, bombas e motores hidrostáticos podem ser classificados da segundo a Tabela 2.2:

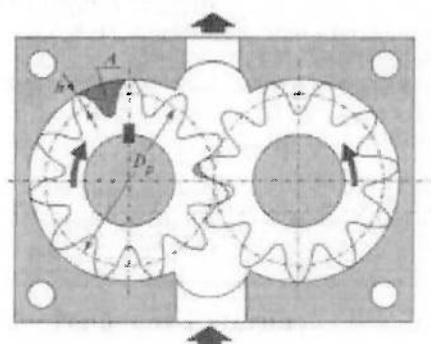
Tabela 2.2 – Classificação de bombas e motores hidrostáticos

Variação do Deslocamento	Princípio de Deslocamento
Deslocamento Fixo	Engrenagens
	Parafusos
	Palhetas
	Pistões
Deslocamento Variável	Palhetas
	Pistões

2.3.3.1.2 Princípio de Deslocamento por Engrenagens

Bomba e Motor de Engrenagens Externas

Esse tipo de máquina consiste de um par de engrenagens iguais montadas em uma carcaça (estator) de forma apropriada, possuindo uma entrada e uma saída. Uma das engrenagens é motora e portanto responsável pelo movimento, enquanto a outra é movida. Conforme pode ser visto pela Figura 2.74, com o movimento rotativo, formam-se células de transporte de fluido a cada dois dentes consecutivos de cada engrenagem e o estator.



(a) Esquema construtivo simplificado



(b) Símbolo

Figura 2.74 – Bomba (ou motor) de engrenagens externas

As principais vantagens desse tipo de máquina são robustez, adaptação a grandes variações de viscosidade, insensibilidade à presença de partículas sólidas normalmente presentes no fluido, facilidade de montagem em qualquer posição e elevada gama de rotações em regime contínuo de operação (500 a 5000 *rpm*).

Bomba de Engrenagens Internas

Apresenta princípio de operação semelhante às máquinas de engrenagens externas, porém construtivamente consistindo basicamente de um pinhão (motora) e uma coroa (movida), os quais giram no mesmo sentido, montados excentricamente em uma carcaça, conforme mostrado na Figura 2.75.

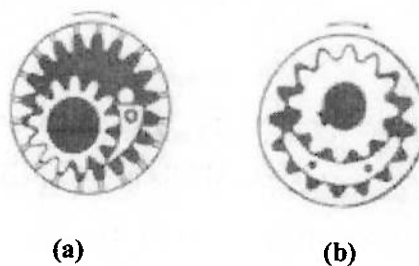


Figura 2.75– Bombas de engrenagens internas

Em relação às máquinas de engrenagens externas, a bomba de engrenagem interna apresenta as vantagens de obtenção de melhor rendimento volumétrico e menor perda de carga, menor pulsação na vazão, além de um menor nível de ruído.

2.3.3.1.3 Princípio de Deslocamento por Parafusos

Bomba de Parafusos

Consistindo de dois ou mais fusos helicoidais montados de forma apropriada em uma carcaça, conforme pode ser visto na Figura 2.76, cada célula de transporte de fluido é delimitada pela linha de engrenamento formada pelos flancos e depressões

dos fusos com a carcaça. Com o movimento rotativo, a célula se movimenta em direção axial sem variação volumétrica.

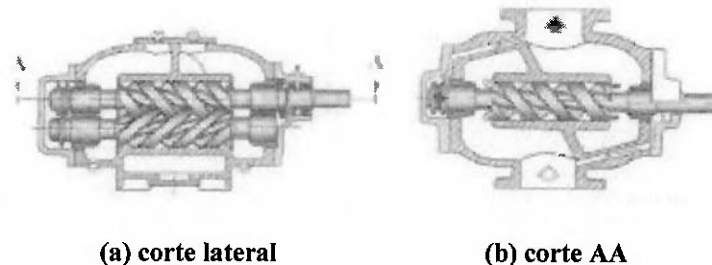


Figura 2.76 – Bomba de parafusos

As principais características desse tipo de bomba são escoamento praticamente isento de pulsação, operação para rotações elevadas e pressão de até 200 *bar*, além da possibilidade de construção de unidades com vazão de 2 até 800 cm^3/rot . As maiores desvantagens estão relacionadas ao elevado atrito e conseqüentemente baixo rendimento, e a exigência da utilização de fluidos de elevada viscosidade devido a existência de pequenas fugas.

2.3.3.1.4 Princípio de Deslocamento por Palhetas

As máquinas de palhetas, conforme apresentado na Figura 2.77, são constituídas basicamente de um rotor cilíndrico com ranhuras onde se alojam palhetas retangulares móveis, sendo o conjunto montado no interior de um anel estator.

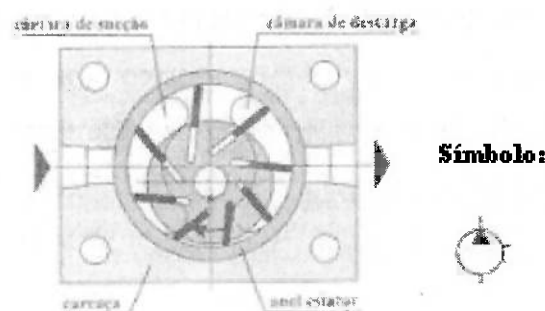


Figura 2.77 – Bomba de palhetas

Através do movimento rotativo, as palhetas são projetadas contra a superfície interna do anel estator, seja por forças centrípeta (caso de bombas), seja por forças de molas montadas na base das palhetas (caso de motores), formando portanto células de transporte de fluido a cada duas palhetas consecutivas, rotor e anel estator. Diferentemente das máquinas de engrenagens e parafusos, o volume das células pode ser variável dependendo das geometrias do estator e da carcaça, e portanto esse tipo de máquina pode ser de deslocamento fixo ou variável.

2.3.3.1.5 Princípio de Deslocamento por Pistões

As principais características desse tipo de máquina são:

- altas pressões de operação de até 700 *bar*;
- rotação normal entre 1500 e 3000 *rpm*, e máximo de 6000 *rpm*;
- deslocamentos na faixa de 0,4 a 15000 cm^3/rot ;
- altos rendimentos volumétricos de até 98 %;
- possibilidade de deslocamento fixo e variável;
- baixo nível de pulsação;

Considerando as suas características geométricas e a forma de atuação dos pistões, as máquinas de pistões são classificadas em máquinas de pistões axiais e máquinas de pistões radiais.

Máquinas de Pistões Axiais

Caracterizado pela disposição dos pistões ajustados em furos cilíndricos localizados em um tambor também cilíndrico, o movimento alternativo dos pistões é obtido através do movimento rotativo de um plano inclinado. Este, dependendo do tipo construtivo, pode ser em **prato inclinado** ou em **eixo inclinado**.

As máquinas de prato inclinado, conforme pode ser visto na Figura 2.78, podem ser de prato rotativo ou de tambor rotativo. Nas primeiras, o prato é fixo ao

eixo de acionamento, e considerando o funcionamento de um motor, o movimento rotativo do eixo é produzido pelo comportamento oscilatório do prato, em decorrência do movimento alternativo dos pistões nos cilindros do tambor fixado a carcaça. Já nas máquinas de tambor rotativo, o funcionamento é semelhante, porém o prato é estático e o tambor é fixo ao eixo de acionamento.

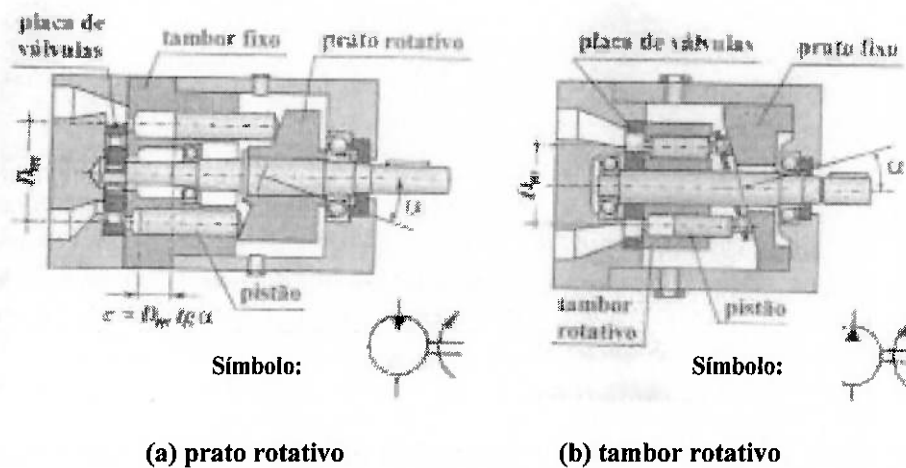


Figura 2.78 – Tipos de máquinas de prato inclinado. (a) motor fixo e símbolo; (b) bomba fixa e símbolo

Nas máquinas de eixo inclinado, o tambor contendo os cilindros é montado inclinado em relação ao eixo de acionamento. Conforme mostrado na Figura 2.79, as hastes dos pistões são fixadas ao flange de acionamento por meio de articulações esféricas e, desse modo, o movimento rotativo do conjunto produz o movimento alternativo dos pistões em seus cilindros.

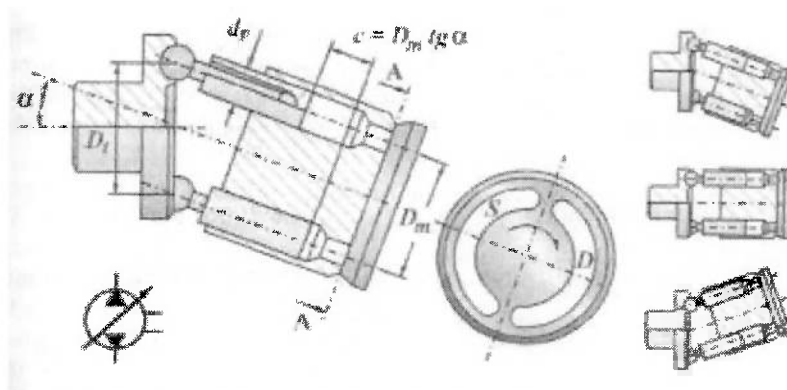


Figura 2.79 – Esquema de máquina de pistões axiais de eixo inclinado

Em relação às máquinas de prato inclinado, as máquinas de eixo inclinado têm a desvantagem de ocupar maior volume, possuir momento de inércia mais elevado e não permitir a construção de um eixo passante. Contudo, possuem melhores rendimentos e menor sensibilidade a presença de partículas sólidas no fluido.

Máquinas de Pistões Radiais

Nesse tipo de máquinas, como o próprio nome indica, os pistões estão dispostos radialmente em relação ao eixo de acionamento. Dependendo da forma de acionamento dos pistões e da posição dos pórticos de entrada e saída do fluido, elas são classificadas em máquinas com acesso interno de fluido e articulação externa de pistões e máquinas com acesso externo de fluido e articulação interna dos pistões.

O primeiro tipo é composto de um anel estator montado excentricamente em relação a um rotor onde os pistões são alojados. O movimento alternativo dos pistões é gerado através do movimento rotativo do rotor por intermédio da articulação das sapatas das hastes dos pistões em um trilho guia fixado no anel estator (articulação externa dos pistões), conforme pode ser visto na Figura 2.80. A entrada e a saída do fluido são realizadas através de pórticos semicirculares e dutos existentes em um eixo estacionário interno, sobre o qual é montado o rotor (acesso interno do fluido). Considerando o mesmo volume construtivo, esse tipo de máquina apresenta maior deslocamento volumétrico do que máquinas axiais.

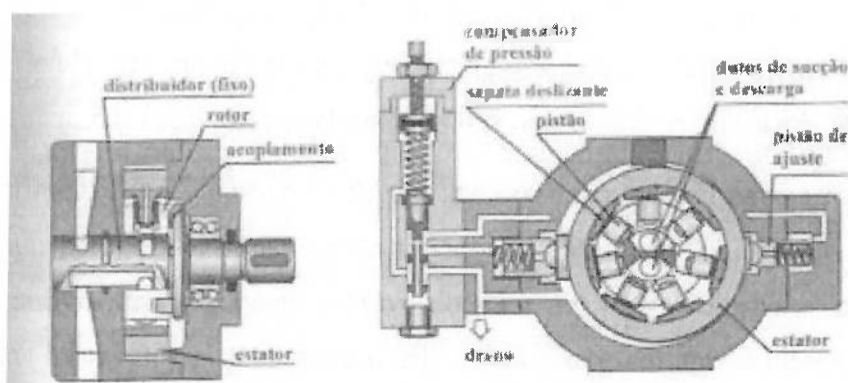


Figura 2.80 – Bomba de pistões radiais com compensação de pressão, acesso interno de fluido e articulação externa dos pistões

Nas máquinas com acesso externo e articulação interna, o bloco de pistões é fixo e portanto o movimento alternativo dos pistões é obtido, no caso de pistões montados em estrela, através de um excêntrico e, no caso de pistões montados em linha, por meio de um virabrequim. A Figura 2.81 mostra uma máquina tipo pistões estrela de deslocamento fixo, através da qual pode-se notar que o movimento alternativo dos pistões é promovido pela articulação das sapatas das hastes dos pistões sobre o excêntrico acoplado ao eixo de acionamento (articulação interna dos pistões). Por sua vez, os pórticos de entrada e saída de fluido estão localizados externamente (acesso externo de fluido) .

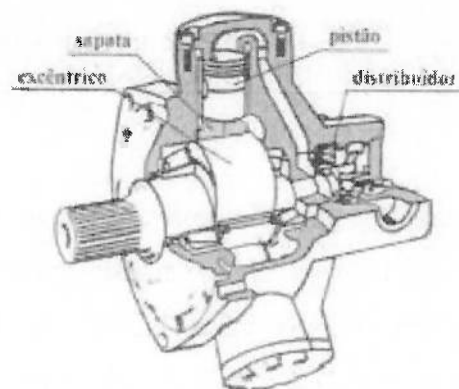


Figura 2.81 – Motor de pistões radiais em estrela, com acesso externo e articulação interna

2.3.3.2 Motores Lineares (Cilindros Hidráulicos)

Atualmente existem os mais variados tipos de atuadores hidráulicos para as mais variadas aplicações. No entanto, de maneira geral, eles podem ser agrupados segundo alguns critérios específicos, destacando-se a forma de ação, o tipo construtivo e o modo de fixação.

2.3.3.2.1 Classificação segundo a Ação

Nesse tipo de classificação, os cilindros são divididos em cilindros de simples e de dupla ação. Nos últimos, a potência hidráulica é efetiva em ambos os sentidos do movimento, enquanto que nos primeiros, é efetiva apenas em um dos sentidos, de forma que o movimento no sentido oposto ocorre pela ação da gravidade, de uma força externa ou da força de uma mola inserida no cilindro.

A Figura 2.82 e a Figura 2.83 apresentam os principais tipos de cilindros de simples e de dupla ação respectivamente.

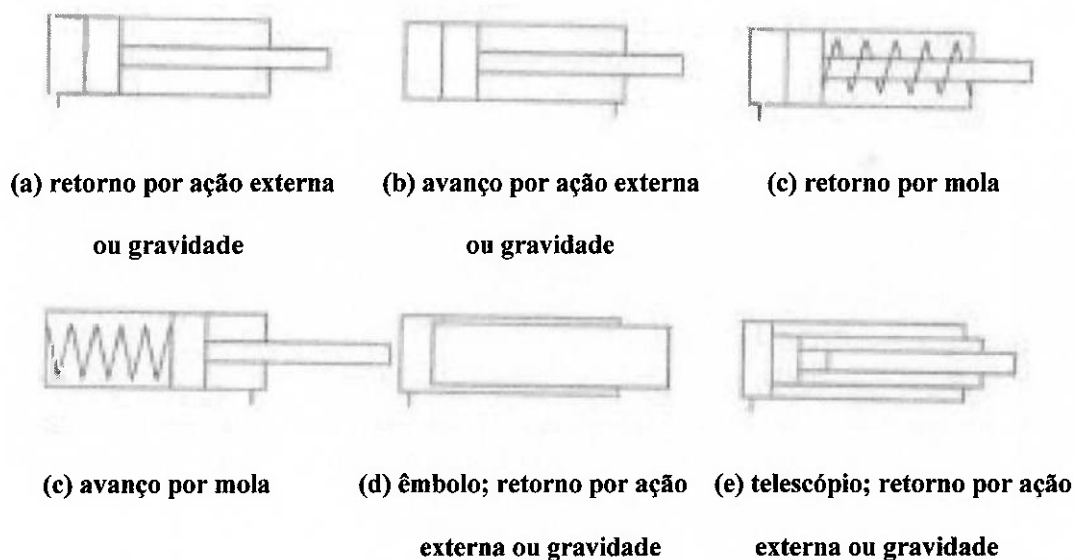


Figura 2.82 – Cilindros hidráulicos de simples ação

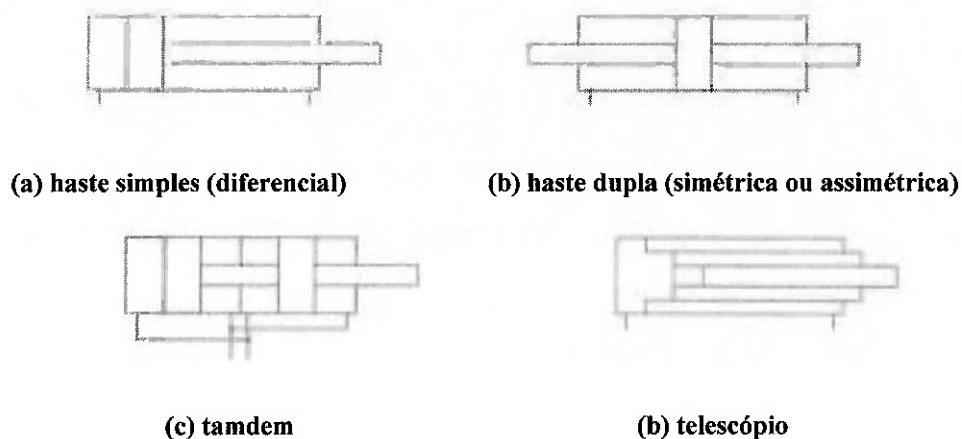


Figura 2.83 – Cilindros hidráulicos de dupla ação

Dentre os tipos apresentados, vale destacar um dos mais comuns, o cilindro de dupla ação de haste simples, mostrado na Figura 2.83 (a). Devido à diferença entre as áreas do pistão no lado da câmara da haste e da câmara de fundo, esse cilindro apresenta força de avanço maior que a força de retorno, porém velocidade de avanço

menor do que a velocidade de retorno. Já o cilindro de pistão duplo ou tandem, Figura 2.83 (c), amplia a força disponível para o mesmo diâmetro de cilindro, em função da aplicação de pressão simultaneamente sobre as áreas dos dois pistões.

2.3.3.2.2 Classificação segundo o Tipo Construtivo

Segundo essa classificação, os dois principais tipos são os cilindros com tirantes e os cilindros com flanges aparafusadas ou soldadas.

O primeiro tipo é muito utilizado para pressões máximas de até 210 *bar*, devido à facilidade de construção e manutenção e a disponibilidade de diferentes diâmetros e cursos. Podendo chegar uma força máxima de 700 *kN*, a Figura 2.84 apresenta seus principais componentes:

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1- Cabeçote e tampa de fundo; | 5- Tirantes; |
| 2- Camisa do cilindro; | 6- Guia da haste; |
| 3- Haste; | 7- Flange de fixação da guia da haste; |
| 4- Pistão; | 8- Vedações estáticas (O-ring); |

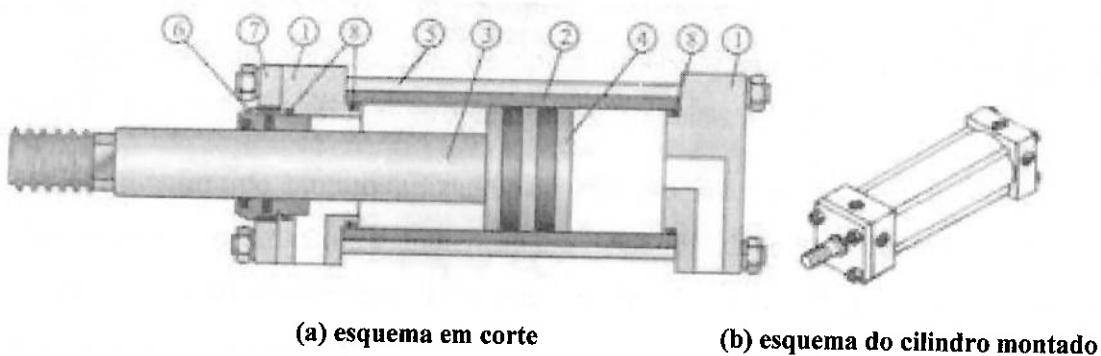


Figura 2.84 – Cilindro diferencial com tirantes

Os cilindros com flanges são mais robustos, suportando pressões de até 350 *bar* e exercendo forças máximas de 800 *kN*. Podem ser divididos em flanges aparafusadas, conforme mostrado na Figura 2.85, e flanges soldados na camisa, no qual o cabeçote e a tampa de fundo são fixados por parafusos.

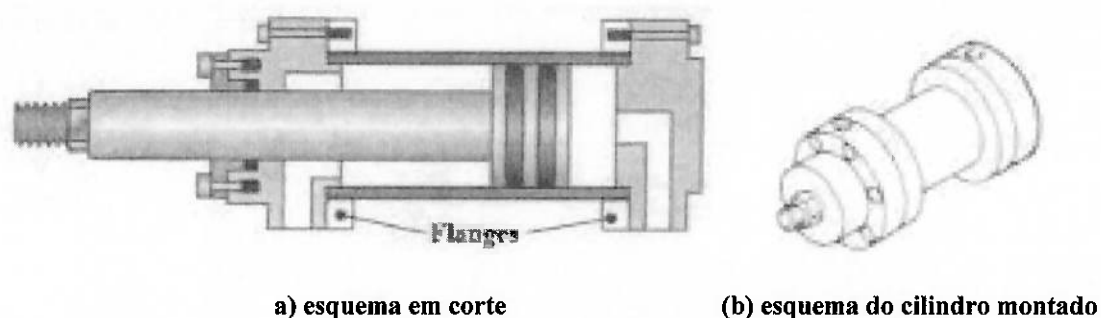


Figura 2.85 – Cilindro diferencial com flanges aparafusadas

2.3.3.2.3 Classificação segundo a Forma de Fixação

As formas mais usuais de montagem dos cilindros hidráulicos são a fixação rígida e a fixação articulada, cujos tipos mais comuns são apresentados na Figura 2.86 e na Figura 2.87.

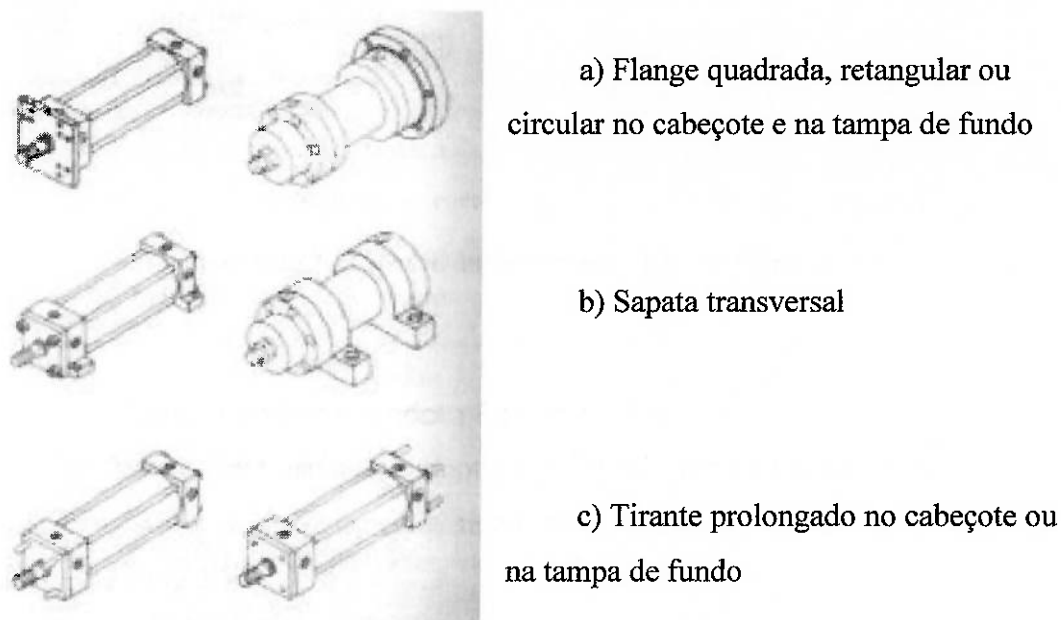
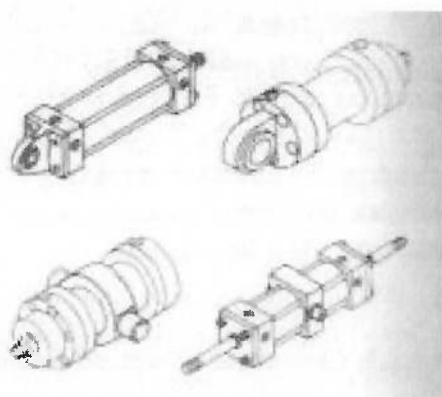


Figura 2.86 – Formas de fixação rígida



a) Orelha ou garfo na articulação
na tampa de fundo

b) Eixo basculante no corpo do
cilindro, no cabeçote ou na tampa de
fundo

Figura 2.87 – Formas de fixação articulada

2.3.4 Limitação e Controle de Energia

A limitação e o controle de energia em sistemas hidráulicos consiste na alteração dos valores de pressão e/ou vazão de partes do sistema, os quais são realizados basicamente de duas maneiras: controle resistivo (associado a dissipação de energia) e controle conservativo (realizado com pequena dissipação de energia).

O controle conservativo é realizado por meio de bombas e motores de deslocamento variável, de forma que condição operacional possa ser ajustada no sentido de reduzir o conteúdo de energia no fluido até um nível adequado para uma dada aplicação, garantindo portanto que apenas a energia necessária é consumida. Por sua vez, o controle resistivo é realizado praticamente por válvulas, componentes essencialmente dissipativos, que disponibilizam energia em qualquer nível desejado (desde que menor que a potência disponível) através da transformação do excedente em energia térmica.

Comparativamente, o controle conservativo, por ser mais lento, é utilizado preferencialmente em sistema de elevadas potências, enquanto que o controle resistivo, por possibilitar variações mais rápidas de pressão e vazão, é mais adequado para sistemas de maior precisão e de pequenas e médias potências.

Para a elaboração do presente projeto, é realizado um detalhamento dos componentes envolvidos no controle resistivo.

2.3.4.1 Controle de Pressão

A importância do controle de pressão não está apenas na segurança contra sobrecarga, mas também na limitação e controle das forças e torques das unidades de conversão secundária do sistema. Esse controle pode ser realizado tanto pela limitação, como também pela redução da pressão em partes do sistema, classificando as válvulas de controle de pressão em limitadoras de pressão e redutoras de pressão.

2.3.4.1.1 Válvulas Limitadoras de Pressão

As válvulas limitadoras de pressão podem ser de simples ou duplo estágio, sendo que em ambos os casos existem diferentes concepções geométricas possíveis.

A Figura 2.88 apresenta três concepções diferentes de uma limitadora de pressão de simples estágio. Nessas válvulas, a pressão do sistema (P_s), agindo sobre a área do obturador, produz uma força de pressão que se opõe diretamente a força de compressão da mola.

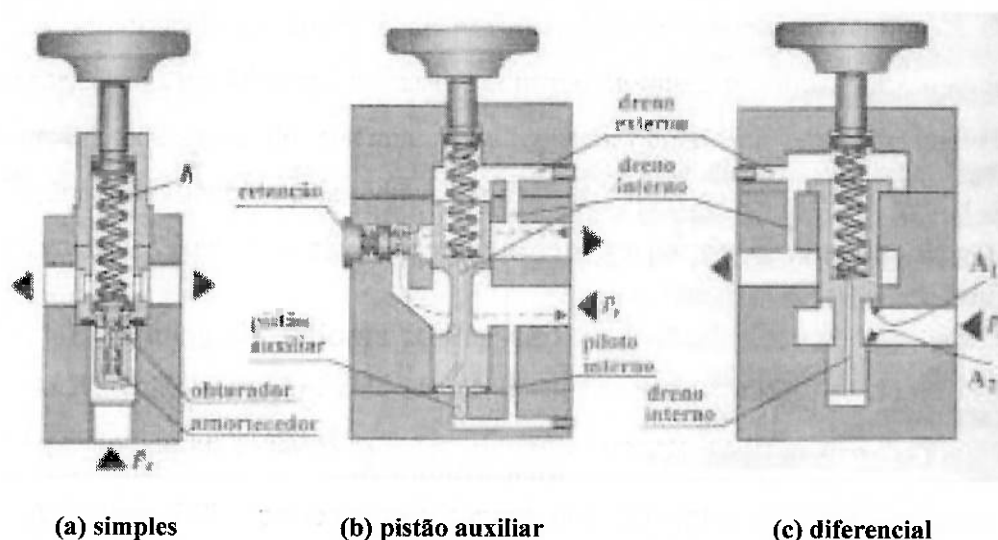


Figura 2.88 - Tipos de válvulas limitadoras de pressão de simples estágio

A válvula da Figura 2.88 (a), devido a suas características geométricas, deve ser sempre usada com descarga diretamente ao reservatório (baixa pressão na saída), uma vez que uma pressão elevada na câmara da mola provoca o surgimento de uma força adicional que é somada a força da mola, alterando portanto a pressão controlada. Além disso, em caso de operação com elevadas pressões e vazões, a força de pressão também se torna elevada, exigindo a utilização de molas de alta rigidez e prejudicando a estabilidade. Essa limitação funcional é solucionada na válvula da Figura 2.88 (b), para a qual a força de pressão pode ser bastante reduzida, através da utilização de um piloto atuante sobre um pistão auxiliar conectado a mola do parafuso de ajuste. Dessa maneira, quando a pressão de pilotagem supera a pressão da mola, o pistão se desloca, estabelecendo a ligação entre os pórticos de entrada e saída. Por fim a válvula limitadora de pressão diferencial da Figura 2.88 (c) destaca-se por associar num único elemento um baixo valor de força de pressão de pilotagem, devido ao diferencial das áreas do rebaixo ($A_1 - A_2$), com um ganho de área elevado para o escoamento.

Para sistemas que operam com elevadas vazões, como forma de garantir um correto funcionamento, torna-se necessário a utilização de válvulas de duplo estágio, sendo que umas das configurações possíveis é apresentado na Figura 2.89. Nessa configuração, o estágio piloto é constituído por uma válvula de simples estágio e operação direta como o da Figura 2.88 (a) e o estágio principal por um pistão hidráulicamente balanceado, por uma restrição fixa (gicleur) e por uma mola de baixa rigidez.

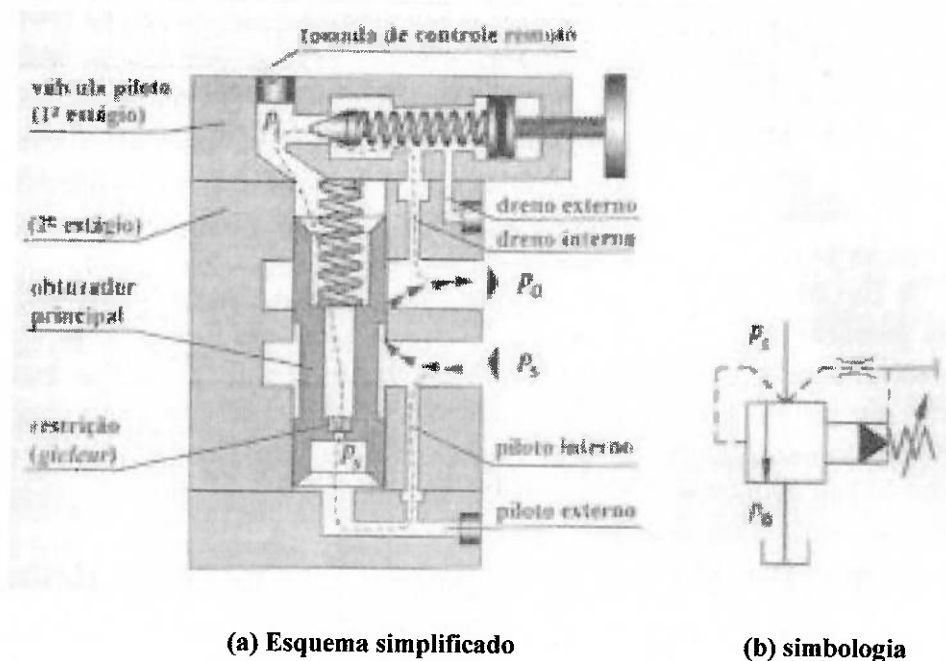


Figura 2.89 - Válvula limitadora de pressão de duplo estágio

Resumindo o funcionamento, com a válvula fechada, a pressão de entrada age sobre o obturador da válvula piloto e as duas câmaras formadas pela restrição no pistão principal. Quando essa pressão supera a pressão da mola piloto, esta abre, estabelecendo um escoamento e conseqüentemente gerando uma diferença de pressão entre as câmaras. Isso produz uma força resultante suficiente para vencer a mola principal, abrindo então o segundo estágio. Da mesma forma, quando a pressão no sistema torna-se inferior à pressão ajustada, a restrição do estágio piloto fecha, igualando novamente as pressões entre as duas câmaras e conseqüentemente fechando a válvula principal. Destaca-se nessa configuração o fato da restrição fixa funcionar também como um amortecimento, estabilizando o movimento do pistão principal.

Para finalizar, é importante salientar que as válvulas limitadoras de pressão podem atuar de diferentes maneiras que não exclusivamente como válvulas de segurança. Elas podem atuar no controle de pressão de partes do sistema e, dependendo da sua função específica, assumem as denominações de *válvula de alívio*, *válvula de descarga*, *válvula de contrapressão* e *válvula de seqüência*.

2.3.4.1.2 Válvulas Redutoras de Pressão

A redução de pressão nesse tipo de válvulas é obtida através da perda de carga em um orifício de controle, realimentado sempre pela pressão de saída que é o parâmetro que se deseja controlar. Podem ser de simples (operação direta) ou duplo estágio (pré-operada), sendo esta última utilizada principalmente em sistemas com elevadas pressões e vazões.

Através da Figura 2.90, que apresenta uma válvula redutora de pressão de simples estágio, percebe-se que a pressão existente na saída da válvula atua também sobre a área da A do obturador por meio de um piloto com restrição, gerando uma força de pressão que se opõe à força da mola. Dessa maneira, se a pressão de saída (pressão reduzida) tende a crescer, o obturador desloca-se contra a mola, reduzindo a área do orifício de controle, aumentando perda de carga e conseqüentemente inibindo a tendência de aumento de pressão. Analogamente ocorre o inverso, garantindo assim que a pressão na saída permaneça constante.

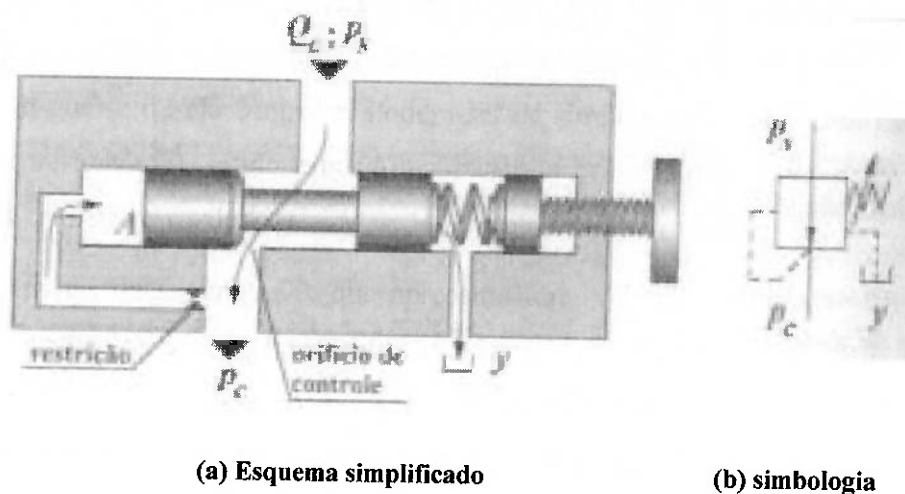
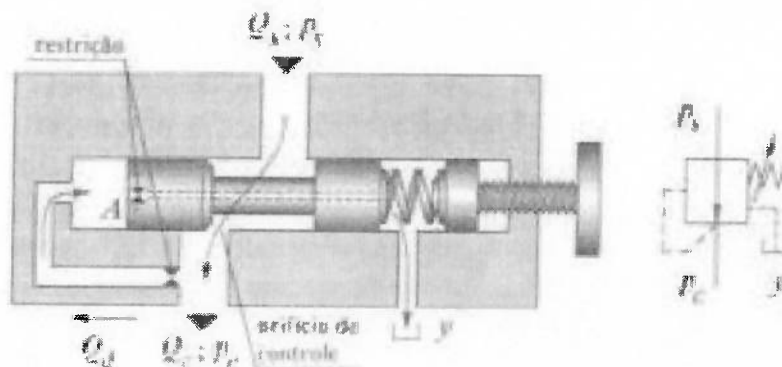


Figura 2.90 -Válvula redutora de pressão de simples estágio

Uma limitação da válvula da Figura 2.90 ocorre na manutenção por longos períodos da pressão de saída constante para o caso de solicitação nula em vazão pelo sistema. Devido a inevitável existência de vazamentos entre o obturador e o corpo da válvula, a pressão de saída tende a aumentar. Para solucionar esse problema, utiliza-

se a válvula apresentada na Figura 2.91, cujo obturador possui um canal de ligação com restrição entre câmara de pilotagem e a câmara da mola.

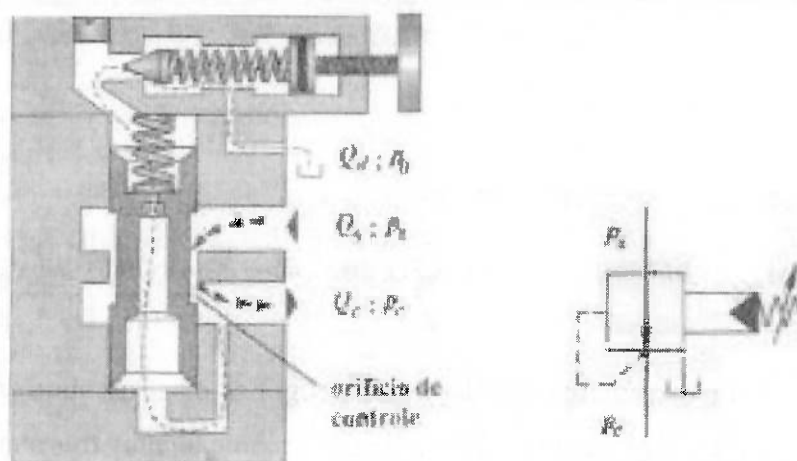


(a) Esquema simplificado

(b) simbologia

Figura 2.91 -Válvula redutora de pressão de simples estágio com piloto interno e dreno externo

Conforme pode ser visto na Figura 2.92, a válvula redutora de pressão de duplo estágio apresenta um funcionamento semelhante à limitadora de pressão de duplo estágio. As principais diferenças são: a redutora de duplo estágio é normalmente aberta e realiza o controle a partir da pressão de saída (o estágio piloto está ligado a pressão de saída), enquanto que a limitadora é normalmente fechada e realiza o controle a partir da pressão de entrada.



(a) Esquema simplificado

(b) simbologia

Figura 2.92 - Válvula redutora de pressão de duplo estágio

2.3.4.2 Controle de Vazão

O controle de vazão baseia-se no controle da resistência ao escoamento (ou perda de carga) obtido através de orifícios de seção fixa e variável. Sua importância principal está no fato de proporcionar um controle da velocidade de cilindros e motores hidráulicos. A equação da vazão em orifício apresentada pela expressão (2-6) indica que a vazão é função da área do orifício e da queda pressão entre a montante e a jusante deste.

$$Q = C_d A_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2-6)$$

Dessa maneira, para a existência de controle de vazão, é necessário que a queda de pressão no orifício de controle permaneça constante, de forma que a vazão seja função apenas da área do orifício, ajustável por um mecanismo qualquer.

2.3.4.2.1 Válvula de Controle de Vazão de Duas Vias

A queda de pressão no orifício de controle da vazão pode ser controlada através de uma válvula compensadora de pressão, chamada de balança de pressão, montada em série antes ou depois da redutora de vazão.

A Figura 2.93 apresenta uma válvula redutora de vazão de duas vias, com compensação de pressão a montante da redutora.

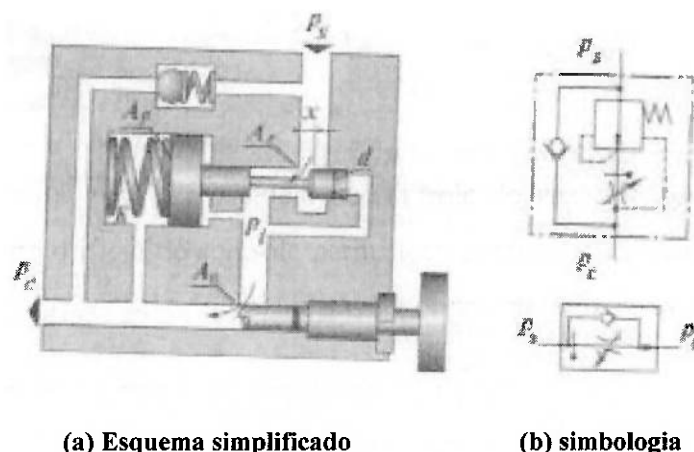


Figura 2.93 - Válvula de controle de vazão de duas vias com compensação de pressão em série a montante

A balança de pressão atua na realidade como uma redutora de pressão, de forma que a diferença de pressão na redutora de vazão ($P_i - P_c$) é sempre constante para cada valor de vazão ajustada através do orifício A_o . Esse tipo de válvula, por normalmente apresentar controle unidirecional, são equipadas com uma válvula de retenção para o escoamento inverso livre.

2.3.4.2.2 Válvula de Controle de Vazão de Três Vias

Conforme apresentado na Figura 2.94, essa válvula se caracteriza por apresentar o compensador de pressão montado em paralelo com a redutora de vazão, desviando dessa forma o excedente de vazão diretamente ao reservatório.

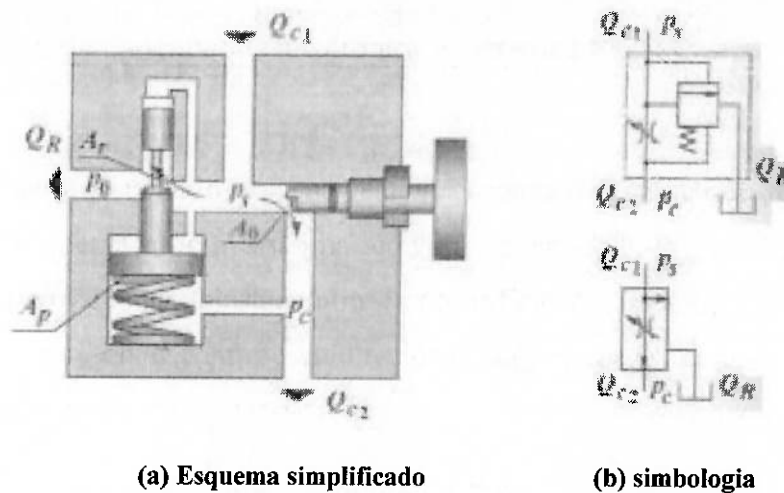


Figura 2.94 – Válvula de controle de vazão de três vias com compensação em paralelo

Nesse caso o compensador de pressão atua como uma válvula de alívio, porém não a substitui, pois no caso de solicitação nula de vazão, as pressões se igualam ($P_c = P_s$), mantendo o compensador fechado por ação da mola. Diferentemente do que na válvula de duas vias, nessa válvula a pressão de suprimento é função da pressão de carga. Portanto, se a carga diminui, o compensador abre mais o orifício, diminuindo a perda de carga e conseqüentemente diminuindo a pressão na entrada.

2.4 Controle de Sistemas a Eventos Discretos (SEDs)

2.4.1 Introdução

O controle é definido como um conjunto de ações pré-planejadas com o intuito de conduzir as ações do objeto de controle para determinados objetivos. Os elementos considerados neste trabalho, bem como os objetos de análise presentes no mesmo compõem sistemas classificados como Sistemas a Eventos Discretos (SEDs). O texto a seguir é baseado no trabalho de [Miyagi, 1996].

Essa classe de sistema é caracterizada por uma dinâmica decorrente da ocorrência de eventos e são atualmente objetos de controle de dispositivos como os controladores programáveis. Uma característica importante dos SEDs está no fato dos objetos de controle (instalações e equipamentos) consistirem em uma estrutura resultantes da composição de muitos elementos independentes agregados à interação resultante da interface com o ser humano. A combinação desses fatores origina diferentes maneiras de se atingir um mesmo objetivo, o que implica na necessidade de uma correta compreensão tanto do problema proposto como do objeto a ser controlado a fim de atingir resultados esperados para o sistema projetado.

Dessa forma, num sistema baseado na ocorrência de eventos instantâneos e estados discretos, torna-se de fundamental importância uma etapa relacionada à modelagem do sistema de controle para posterior implementação nos dispositivos que realizarão o controle de fato (Controladores Programáveis).

A Figura 2.95 apresenta um diagrama conceitual do sistema de controle de SED:

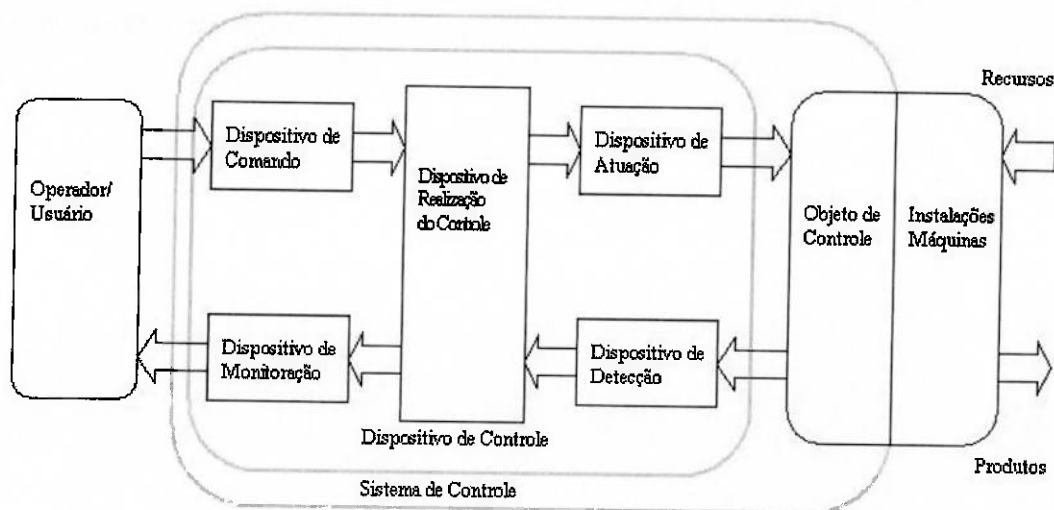


Figura 2.95 - Diagrama conceitual do sistema de controle de SED

2.4.2 Modelagem do Objeto de Controle

Dentro de um processo de modelagem, um modelo deve conter apenas os detalhes estritamente necessários que descrevem o sistema de forma simples e completa, dentro dos propósitos para o qual foi concebido. Em outras palavras, não se deve prender a detalhes desnecessários.

Dessa forma, a modelagem do objeto de controle a ser considerado é uma etapa de síntese muito importante na seleção das informações úteis ao projeto de controle e tem como primeiro passo, a identificação dos objetos que de fato serão controlados dentro do sistema analisado. Em seguida, é realizada a escolha das variáveis de estado de acordo com os objetos de controle selecionados, identificando os estados possíveis para cada variável. O conjunto de todas as seqüências de estados possíveis definem o comportamento de um sistema a eventos discretos (SED). Uma característica importante dos SEDs se deve ao fato de a ocorrência de um evento em um estado corrente implicar em um próximo estado unicamente determinado. Isso faz com que este sistema seja caracterizado como sistema determinístico [Kumar & Garg, 1995].

2.4.3 Modelagem do Dispositivo de Controle

O controle de SED é baseado em operações fundamentais, tais como operações lógicas, aritméticas e temporizações, que podem ser realizadas tanto por dispositivos com essas características quanto por dispositivos como os Controladores Programáveis (CP).

O CP é um dispositivo com base na tecnologia de computadores, cuja estratégia de controle está baseada na execução de um programa que define a evolução dos processos. Constitui-se uma unidade central de processamento, unidades de entradas/saídas para o processo e um dispositivo de programação. Apresenta a grande vantagem de realizar alterações dos procedimentos de controle via software, uma vez que o programa fica armazenado na memória interna do controlador.

A operação dos Controladores Programáveis se baseia num processamento cíclico envolvendo uma etapa de aquisição das entradas, uma de processamento e uma de saídas. Os valores de entrada $u(k)$ são compostos pelos sinais provenientes da saída do dispositivo de comando e do dispositivo de detecção, enquanto os valores de saída $y(k)$ são formados pelos sinais de entrada do dispositivo de atuação e do dispositivo de monitoração. A variável $y(k)$ pode, por exemplo, representar o deslocamento dos êmbolos dos circuitos fluido-mecânicos. O diagrama de blocos da Figura 2.96 ilustra a composição desses sinais:

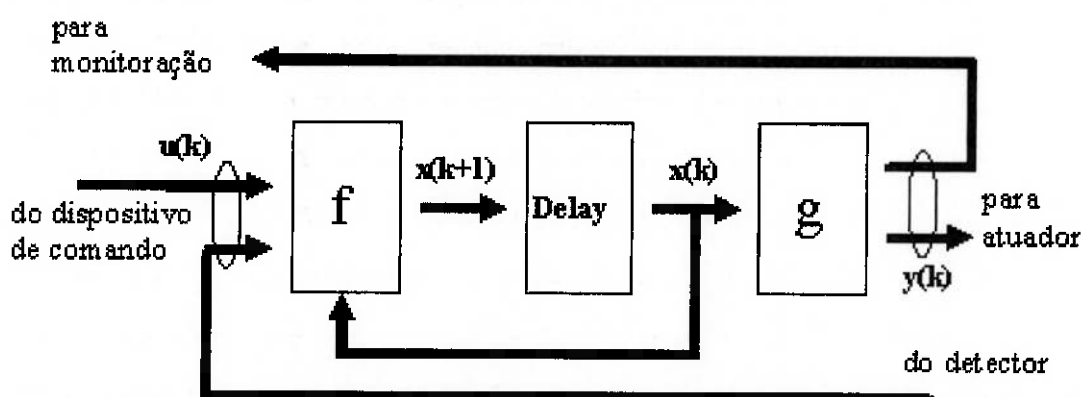


Figura 2.96 - Diagrama de blocos do CP

Analisando o diagrama de blocos da Figura 2.96, é possível verificar que as funções de entrada e saída são definidas pelos seguintes dispositivos:

- Dispositivo de comando;
- Dispositivo de atuação;
- Dispositivo de detecção;
- Dispositivo de monitoração;

Assim, no processo de modelagem do dispositivo de controle são definidos os tipos de dispositivos (válvulas, lâmpadas, botão, etc.) que serão utilizados para cada função listada acima bem como as respectivas variáveis de estado.

2.4.4 Modelagem das Tarefas de Controle

Esta etapa da modelagem é referente à definição da linguagem para o controle do SED. A linguagem de programação representa a interface entre o homem e o dispositivo de controle de SED e tem a função de descrever os comandos necessários para que o dispositivo de controle execute o controle do sistema de acordo com as características desejadas ao mesmo.

Para este presente trabalho, foi escolhido como linguagem predominante para programação o Diagrama de Relés para CP (ou LD: *Ladder Diagram*). Esta linguagem é regulamentada de acordo com o IEC (*International Electrotechnical Committee*), de forma a estabelecer algumas regras para posicionar e conectar elementos além de regulamentar o fluxo e o processamento de sinais. Assim, têm-se como regras para o Diagrama de Relés:

- Os contatos e as bobinas devem ficar na intersecção das linhas e colunas de uma matriz e as bobinas devem ocupar somente a última coluna à direita;

- As linhas verticais das extremidades à direita e à esquerda são chamadas de linhas mãe; na da esquerda são conectados os contactos e na direita, as bobinas;
- Os contactos e as bobinas são conectados através de linhas horizontais e não é permitida mais de uma linha em uma única “linha” da matriz; as linhas horizontais são interligadas através de linhas verticais, não sendo permitidas várias linhas em uma única coluna;

A Figura 2.97 ilustra um diagrama juntamente com as regras citadas:

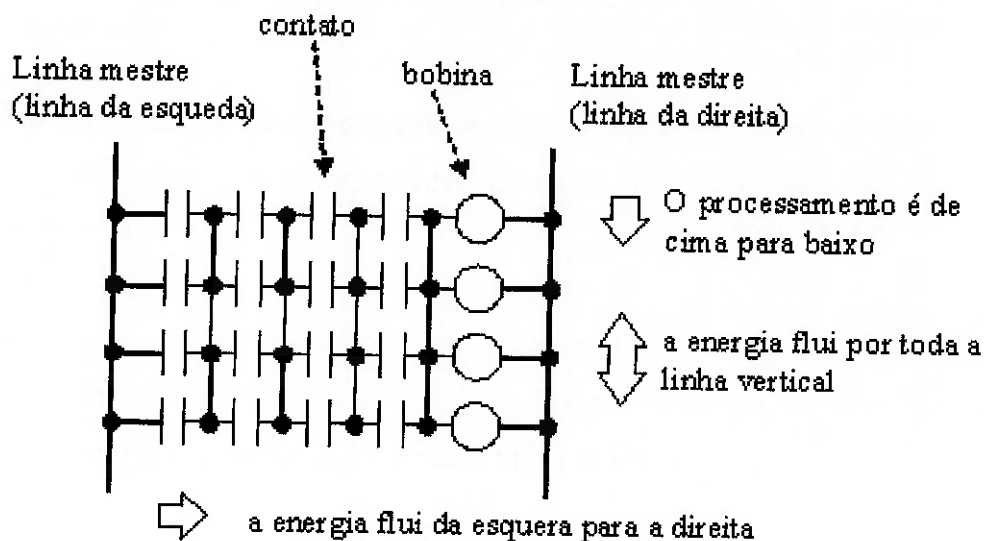


Figura 2.97 - Regras do diagrama de relés

Já para o fluxo e processamento de sinais, têm-se as seguintes regras:

- A energia flui através das linhas horizontais no sentido da esquerda para a direita e de acordo com os estados dos contactos;
- A energia flui através das linhas verticais no sentido de cima para baixo;
- O acionamento das bobinas depende da existência de fluxo de energia na linha horizontal à sua esquerda;

Quanto às funções básicas de controle executadas pelo *Ladder Diagram* podem ser citadas:

- **Operações lógicas:** são executadas operações como o AND lógico, representado no diagrama pela conexão horizontal (em série) de contactos, OR lógico, representado por conexões verticais (em paralelo) de contactos, inversão (NOT), entre outros;
- **Memorização:** presente quando é considerado um sistema dinâmico, em que as saídas são determinadas não só pelas entradas atuais, mas também pelas entradas anteriores. É comum a utilização de circuito de auto-retenção com base no uso de bobinas normais e contatos de operação (manutenção do funcionamento) e de parada (Figura 2.98 a), ou então, utilizando-se de bobinas SET e RESET (Figura 2.98 b);

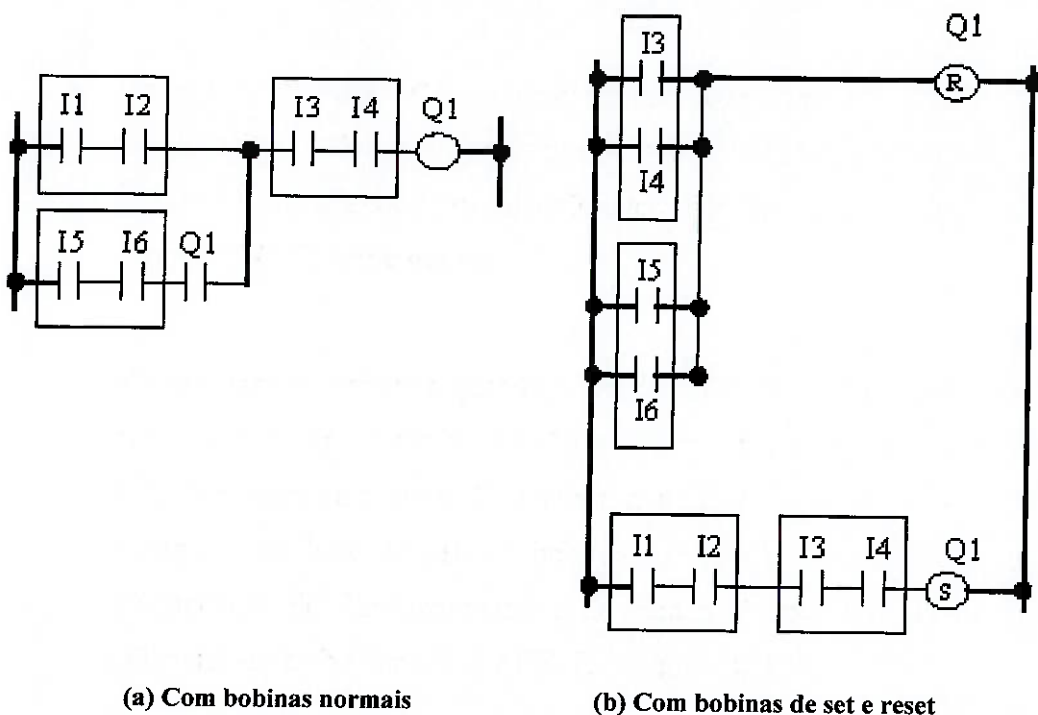


Figura 2.98 - Memória

- **Temporização:** são realizadas operações de temporização que introduzem atrasos nos sinais de controle do sistema. Os temporizadores são implementados via software através da contagem dos pulsos gerados pelo cristal oscilador, e possui os seguintes componentes: entrada, saída, valor de ajuste (set point) e valor atual. A função do valor de ajuste é o de estabelecer o valor do limite de tempo a ser considerado, enquanto a do valor atual representa o tempo decorrido desde a ativação até o presente momento. Os tipos existentes mais comuns são apresentados em seguida:
 - **On-delay timer:** o sinal de saída torna-se ON após o término do tempo de ajuste previamente definido da ativação do temporizador;
 - **Off-delay timer:** no instante em que é setada ON na entrada, a saída também assume ON. Após decorrido o tempo de ajuste previamente definido da desativação do temporizador, a saída retorna para valor OFF;
 - **Pulse:** funcionamento similar ao Off-delay timer, diferindo da mesma pelo fato de o tempo de duração do pulso poder ser regulado;

2.4.5 Representação de SED por Redes de Petri

Uma importante ferramenta de descrição do procedimento de controle de sistemas a eventos discretos (SED) diz respeito à teoria das Redes de Petri e suas variações. O desenvolvimento da teoria das Redes de Petri é baseado na aplicação destas na modelagem de SEDs [Peterson, 1981] e sua representação permite o desenvolvimento de poderosas técnicas e ferramentas de análise e síntese das estratégias de controle do sistema em estudo possibilitando a posterior verificação da modelagem resultante através da sua simulação. Por se tratar de uma ferramenta gráfica, as Redes de Petri facilitam ainda o processo de identificação de erros na modelagem, podendo revelar também importantes informações sobre a estrutura e o comportamento dinâmico do sistema modelado. Estas informações podem então ser usadas para avaliar o sistema modelado e sugerir melhorias ou alterações.

As variações das Redes de Petri conhecidas como PFS (*Production Flow Schema*) e MFG (*Mark Flow Graph*), bem como a metodologia PFS/MFG, são

ferramentas próprias para aplicação em diferentes níveis de modelagem, análise e controle de SEDs, sendo de grande importância para a etapa de programação da linguagem de controle do CP. A seguir, são fornecidas uma breve descrição destas ferramentas de modelagem.

2.4.5.1 Redes de Petri

Os grafos de Redes de Petri representam uma maneira efetiva de se representar os SEDs [Bruni, et al., 2001]. Esta ferramenta possui dois componentes básicos além de um terceiro componente que indica a dinâmica do processo:

- **Lugar:** componentes passivos, representados por círculos;
- **Transição:** componentes ativos, representados por retângulos;
- **Marcas:** são representações por pontos no interior dos círculos (lugares);

A Figura 2.99 descreve esses elementos dentro de uma estrutura de Redes de Petri:

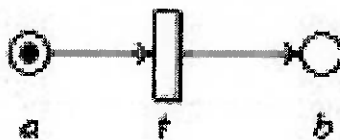


Figura 2.99 - Representação gráfica da estrutura de Redes de Petri

Os arcos orientados conectam os *lugares* e as *transições* (nós do grafo), sendo alguns destes arcos orientados de *lugares* para *transições* e outros de *transições* para *lugares*.

A execução de uma rede de Petri é controlada pelo número e pela distribuição das *marcas* nesta rede. As *marcas* residem nos *lugares* e controlam a execução das *transições* da rede. A execução se dá através de *disparo* de *transições*, que remove as *marcas* de seus *lugares* de entrada e cria novas *marcas* que são distribuídas para seus

lugares de saída. Entretanto, uma *transição* somente será *disparada* se ela estiver habilitada, isto é, cada uma de suas entradas tem pelo menos o mesmo número de *marcas* que o de arcos orientados de *lugares* para a *transição* em questão. Isso equivale a dizer que as “pré-condições” estão satisfeitas. Outra condição para o *disparo* desta *transição* é a de que os seus *lugares* de saída não estejam marcados, ou suas “pós-condições” estejam não satisfeitas. O número de *marcas* criadas a partir do *disparo* de uma *transição* é o mesmo do número de arcos orientados da *transição* para os *lugares* de saída, cada um destes recebendo uma *marca*. A Figura 2.100 apresenta um exemplo de *disparo* de *transição*.

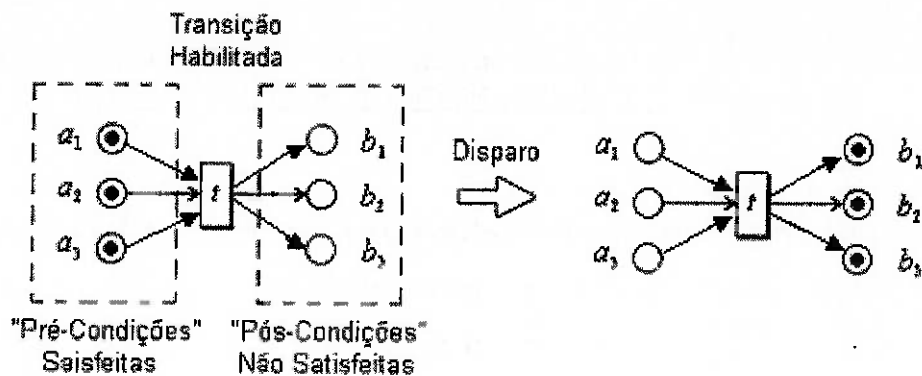


Figura 2.100 - Exemplo de “disparo” de uma *transição*

No exemplo apresentado, observa-se que todos os *lugares* de entrada estão marcados, assim como todos os *lugares* de saída não estão. Estas são as condições para que um *disparo* ocorra, como indicado. Cabe destacar que o *disparo* de *transições* é dependente da existência de pelo menos uma *transição habilitada*. No momento em que uma transição não estiver *habilitada*, a execução se encerra até que as condições para que o *disparo* ocorra estejam satisfeitas.

Nas redes de Petri, dois *eventos habilitados* e que não interagem entre si podem ocorrer independentemente, tendo em vista a característica referente ao paralelismo (ou concorrência). Outra característica importante é a carência da necessidade da sincronização de *eventos*, a menos que seja inerente ao sistema a ser modelado. Em uma abordagem assíncrona, a evolução da rede de Petri não é

controlada pelo tempo, mas é considerada como uma seqüência de *eventos* instantâneos. A Figura 2.101 apresenta um exemplo de “paralelismo”, em que ambas as *transições* podem ser disparadas em qualquer ordem e, ao lado, um exemplo em que a simultaneidade pode gerar conflito devido a duas *transições* habilitadas:

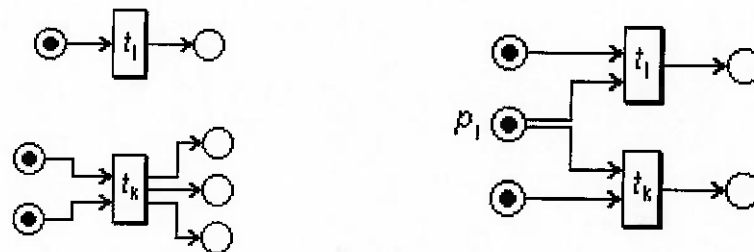


Figura 2.101 - Exemplo de “Paralelismo” e de uma situação de conflito gerado pela simultaneidade

No segundo caso, apenas uma das *transições* pode *disparar*, tendo em vista que, no *disparo*, é removida a *marca* do *lugar* de entrada em comum, desabilitando a outra *transição*. Neste caso, a simultaneidade deve ser tratada definindo-se *eventos* para ocorrência não-simultânea.

Existe uma propriedade dos *lugares* associada ao número de *marcas* em seus interiores, a *capacidade* (C). A *capacidade* de um *lugar* é definida por um número posicionado próximo ao *lugar* e indica o número máximo de *marcas* que o *lugar* correspondente comporta (Figura 2.102).

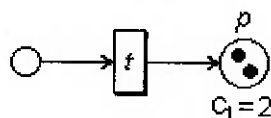


Figura 2.102 - Capacidade dos lugares

Os arcos também possuem um atributo associado ao número de *marcas* identificado como *peso*. O *peso* é representado por um número (n) posicionado acima

do arco a que se refere e indica o número de *arcos* entre os *lugares* e as *transições*. Este atributo é exemplificado na Figura 2.103:

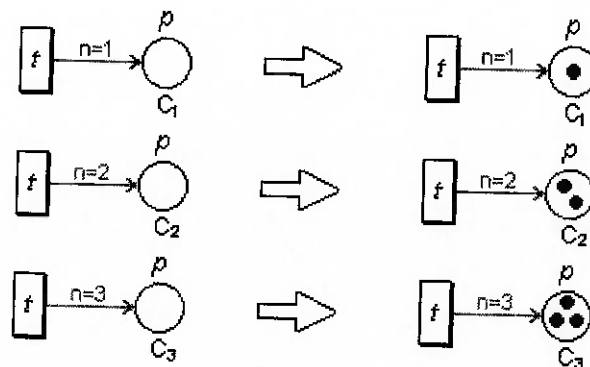


Figura 2.103 - Exemplos de “peso” de arcos

2.4.5.2 PFS (Production Flow Schema)

Esse tipo de representação apresenta utilidade na descrição de atividades que incluam vários outros eventos e estados organizados hierarquicamente. Ou seja, tratam-se da descrição de macro-eventos. Desta forma, o PFS é uma ferramenta de representação muito eficiente numa abordagem top-down, em que o conceito de macro-eventos se faz presente para tratar o sistema de forma hierárquica.

A metodologia de projeto de PFS consiste na divisão do sistema em um pequeno número de partes discretas, facilitando a compreensão do sistema. Essas partes discretas devem então ser decompostos em três elementos básicos:

- **Elementos ativos:** correspondentes a atividades, representa a realização de um conjunto de operações como processamento, montagem, etc. É identificada entre colchetes (“[” e “]”);
- **Elementos passivos:** correspondentes a distribuição (distribuidores), representam os lugares onde itens entram e saem, ficando temporariamente armazenados;

- **Arcos:** indicam a direção do fluxo. Arcos conectadas na parte externa da atividade indicam o fluxo principal, enquanto os arcos conectados na parte interna indicam fluxo secundário;

Um exemplo simples é mostrado na Figura 2.104, em que uma máquina recebe peças (IN), entra em operação (OPER) e libera a peça (OUT):

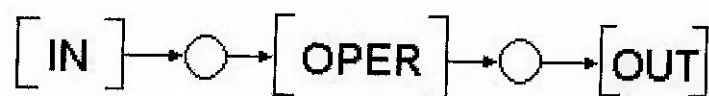


Figura 2.104 - Exemplo de PFS

2.4.5.3 MFG (Mark Flow Graph)

O MFG, ao contrário do PFS, tem a função descrever o sistema mais detalhadamente, baseando seu comportamento dinâmico na satisfação de condições. O MFG é uma interpretação das Redes de Petri, própria para a modelagem de sistemas de controle. Ao invés do elemento *Lugar*, é utilizado o elemento *Box*, que representa uma condição. A *Transição*, por sua vez, indica um evento. Uma nova função diz respeito às *Portas*, cujas funções são referentes à habilitação e à inibição de *transições*. Assim, elas podem ser classificadas como: *portas habilitadores* e *portas inibidores*. As *portas habilitadores* permitem a execução de *disparo* da *transição* ao qual se refere, desde que todas as outras condições para sua execução estejam satisfeitas. Já as *portas inibidores* impedem a execução do *disparo* da *transição* ao qual se refere, independente da satisfação de todas as outras condições. Estes elementos estão orientados de *boxes* para *transições*, sendo os primeiros representados por um arco e ponto cheio e os últimos por um arco e ponto vazado. Por fim, existem os *Arcos de sinal de saída*, os quais enviam um sinal binário do *Box* para os dispositivos externos do grafo. Cabe destacar que as *Portas* e os *Arcos de sinal de saída* são formas de representação explícita das condições de controle.

Esses elementos são ilustrados na Figura 2.105:

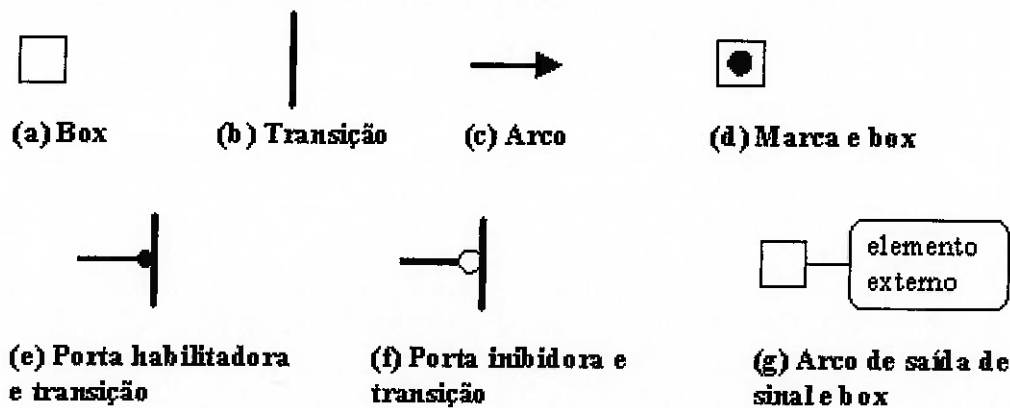


Figura 2.105 - Elementos básicos do MFG

Quanto à marcação e ao seu comportamento dinâmico, existem considerações importantes a serem descritas:

- **Marcação:** quando se trata do arranjo do sistema no estado inicial (marcação inicial), apenas uma marca pode estar no interior de cada Box;
- **Habilitação de disparo:** uma transição está habilitada para disparo desde que certas condições estejam satisfeitas:
 - Não há nenhum Box do lado de saídas com marcas;
 - Não há nenhum Box no lado de entradas sem marcas;
 - Não há arco habilitador no estado de desabilitação;
 - Não há arco inibidor no estado de inibição;
- **Disparo:** no disparo, as marcas no interior de todos os boxes no lado de entrada das transições disparáveis desaparecem e, imediatamente, surgem marcas no interior de todos os boxes no lado de saída;
- **Safeness:** com relação à marcação inicial, não é admitida que mais de uma marca seja colocada no interior de um Box. Além disso, as condições de disparo e as regras de disparo impedem o surgimento de novas marcas nos boxes que já estejam marcados;

Introduzindo o conceito de tempo, têm-se os seguintes elementos, cujas representações são mostradas na Figura 2.106:

- **Box temporizado:** quando existe marcação neste tipo de Box, a transição conectada a sua saída fica disparável somente após decorrido o intervalo de tempo (T_b) programado no Box;
- **Transição temporizada:** estando todas as condições satisfeitas, inicia-se a contagem de tempo (T_t) programada para a transição temporizada, resultando no disparo ao fim da contagem;

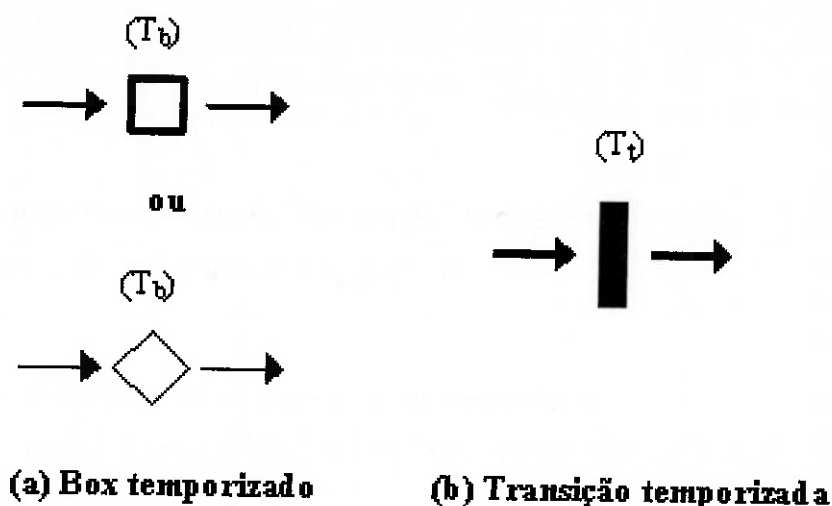


Figura 2.106 - MFG com conceito de tempo

2.4.5.4 Metodologia PFS/MFG

Esta metodologia tem como base o refinamento gradativo (abordagem *top-down*) de um PFS referente a um macro-evento, substituindo uma atividade ou um distribuidor por uma rede (outra PFS ou um MFG). Esse processo é repetido tantas vezes forem necessárias, até que se atinja o grau de detalhamento desejado. A garantia do correto refinamento é obtida caso a interpretação das sub-redes que substituem atividades ou distribuidores resultem na rede original.

Baseado no conceito de refinamentos sucessivos e de um tratamento sistematizado para o projeto de sistemas de controle, apresenta-se a seguir as etapas para a construção do modelo detalhado (MFG) a partir do modelo conceitual (PFS) das estratégias de controle especificada para SED:

- **Passo 1:** Identificação dos principais fluxos de atividades;
- **Passo 2:** Detalhamento dos fluxos;
- **Passo 3:** Detalhamento das atividades;
- **Passo 4:** Introdução dos elementos de controle de recursos;
- **Passo 5:** Indicação dos sinais de controle com a planta;

O *passo 1* corresponde a identificação do propósito geral do problema e do conjunto de atividades necessárias para realizá-las. Corresponde a um nível macro, sendo utilizado a representação por PFS. No *passo 2*, ainda utilizando a representação PFS, cada conjunto de atividades sofre um primeiro refinamento, sendo possível identificar os fluxos de atividades presentes em cada conjunto citado anteriormente. Já no *passo 3*, cada atividade é detalhada. Neste ponto são inseridos os elementos da representação por MFG. No entanto, é comum a presença de algumas atividades ainda na representação PFS, que serão transformadas em MFG numa posterior etapa de detalhamento. A seguir, no *passo 4*, são inseridos os elementos responsáveis pela modelagem e controle dos recursos disponíveis ao longo da realização das atividades. Essa etapa garante a modelagem dos recursos que executam o conjunto de todas as atividades do processo produtivo. Por fim, no *passo 5*, identificam-se os sinais de controle destinados ao controle efetivo da planta, bem como são recebidos os sinais dos dispositivos de comando ou de detecção da mesma.

Ao fim desse processo é possível compreender todas as etapas envolvidas no processo de controle de uma planta facilitando não só a detecção e correções de erros e a otimização do processo de controle da mesma, como também facilita o processo de programação do dispositivo que realizam o controle efetivamente (Controladores Programáveis).

2.4.6 Metodologia de Projeto de Sistemas de Controle

Finalizada a descrição da metodologia de modelagem utilizando o método PFS/MFG, parte-se para o projeto completo de sistemas de controle, aplicando a metodologia de projeto segundo Miyagi [1996].

Esta metodologia propõe uma série de atividades, divididas em dois grandes grupos: fase de projeto (desenvolvimento) e fase de implementação / operação / manutenção. Esses grupos, bem como os passos de desenvolvimento estão descritos na Figura 2.107:

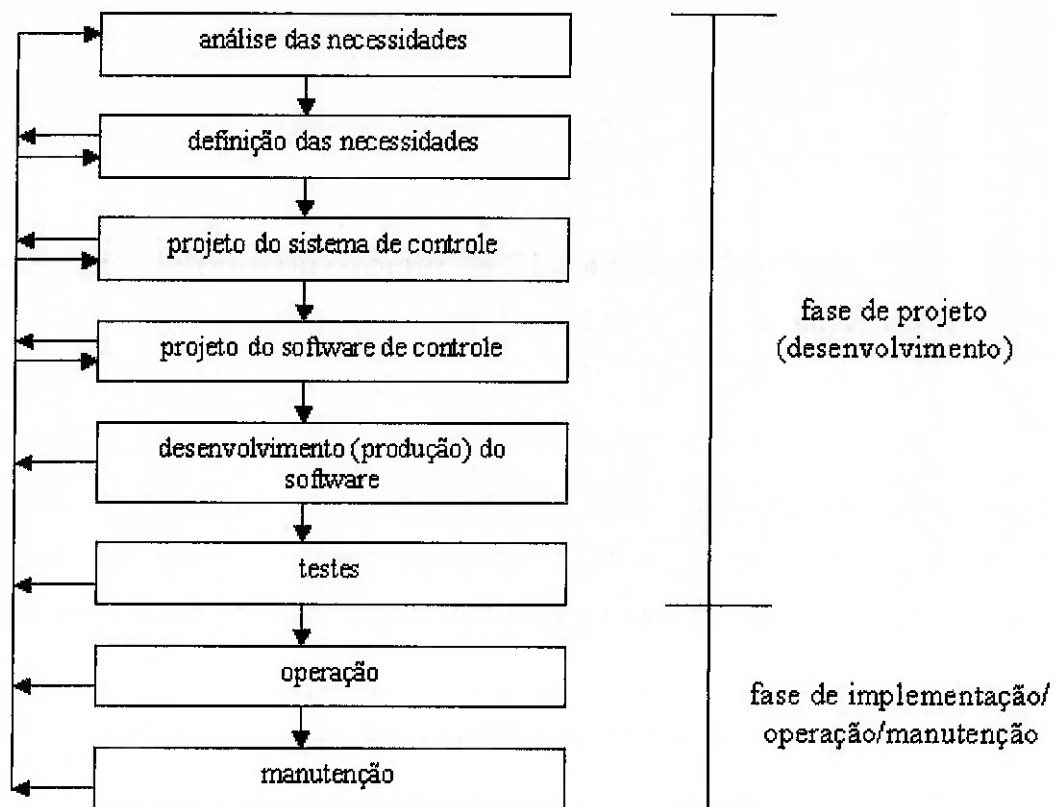


Figura 2.107 - Ciclo de vida do sistema de controle

Juntamente com o ciclo de vida de controle, é necessário ter conhecimento do conteúdo dos procedimentos de controle necessários para atender as etapas do ciclo mencionado. Este conteúdo envolve as seguintes atividades:

- 1) Identificação do objeto final de controle;
- 2) Compreensão do objeto de controle, instalações e equipamentos;
- 3) Organizações dos conhecimentos sobre o sistema de controle (dispositivos de controle, equipamentos periférico, etc.);
- 4) Abstração e análise das funções de controle (modos de operação e monitorações das instalações e equipamentos);
- 5) Definição das funções de controle;
- 6) Definição do fluxo das funções de controle;
- 7) Divisão das funções e definição das interfaces;
- 8) Definição e alocação dos sinais de entrada e saída;
- 9) Definição da estrutura do programa de controle;
- 10) Projeto de reutilização;
- 11) Projeto do programa;
- 12) Projeto de programas não padronizados;
- 13) Desenvolvimento do programa e seu carregamento nas máquinas;
- 14) Teste por unidade;
- 15) Teste do sistema;

É possível relacionar esses conteúdos com o ciclo de vida de controle da seguinte forma:

- | | |
|----------|---------------------------------|
| 1 a 4: | análise das necessidades |
| 5 e 6: | definição das necessidades |
| 7 a 9: | projeto do sistema de controle |
| 10 a 12: | projeto do software de controle |
| 13: | desenvolvimento de software |
| 14 e 15: | testes |

3 Levantamento e Descrição dos Equipamentos e Componentes



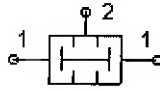

Para a elaboração dos experimentos didáticos desenvolvidos nesse projeto de formatura, é necessário, além de uma fundamentação teórica adequada, realizar o levantamento e a descrição dos equipamentos e componentes disponíveis nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mecatrônica da EPUSP (PMR – EPUSP) cujas aplicações possam ser utilizadas para alcançar o objetivo final do projeto.

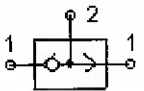

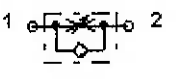

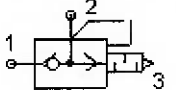

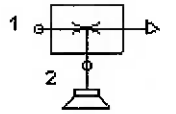

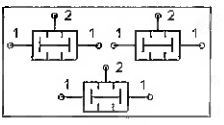
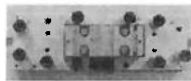
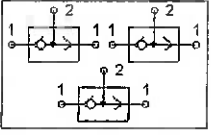

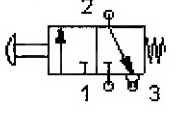
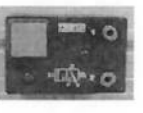
Dessa maneira, os equipamentos e componentes encontrados foram quantificados e divididos em 4 grupos: Pneumática, Hidráulica e Eletropneumática e Controladores Programáveis.

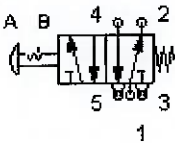

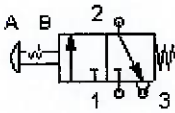

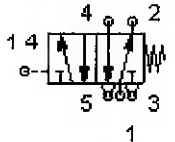

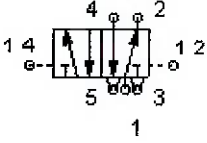

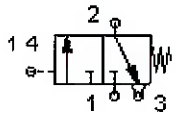

3.1 Equipamentos e Componentes Pneumáticos

São listados na Tabela 3.1 os componentes encontrados à disposição para a elaboração de circuitos pneumáticos. Para cada componente, além do nome, do símbolo e de uma foto ilustrativa, são apresentadas também uma descrição funcional, a especificação quanto à pressão e a quantidade disponível no laboratório de automação do PMR - EPUSP.

Tabela 3.1 - Componentes e equipamentos disponíveis para a pneumática

Nome	Símbolo	Foto	Especif.	Qte
Manômetro			máx. 10 bar	4
Descrição Funcional : Mede a pressão quando conectado a linha pneumática				
Válvula “E”			1-10 bar	2
Descrição Funcional : Havendo pressão em ambas as vias de entrada (1), a via de saída (2) é liberada				

Válvula "OU"			1-10 bar	2	Descrição Funcional : Havendo pressão em uma ou em ambas as vias de entrada (1), a via de saída (2) é liberada
Válvula reguladora de fluxo unidirecional			1-10 bar	8	Descrição Funcional : Reduz o fluxo de ar em apenas um dos sentidos de escoamento (da via 1 para a via 2)
Válvula unidirecional com escape rápido no retorno			0,5 – 10 bar	2	Descrição Funcional : Havendo pressão na via 1, a via 2 é liberada. Porém, havendo pressão na via 2, o ar "escapa" (para atmosfera) mais rapidamente através da via 3
Válvula de vácuo com ventosa			1,5 – 10 bar	2	Descrição Funcional : Introduzindo-se pressão na válvula (via 1), é produzido vácuo na via da ventosa (2)
Modulo com 3 válvulas "E"			1,6 – 8 bar	4	Descrição Funcional : Idêntico a válvula "E"
Modulo com 3 válvulas "OU"			1,6 – 8 bar	4	Descrição Funcional : Idêntico a válvula "OU"
Válvula 3/2 vias NF acionada por botão e retorno por mola			1- 10 bar	12	Descrição Funcional : Pressionando-se o botão, a via 1 é conectada à via 2. Caso contrário, a via 2 fica conectada para escape (3) e a via 1 fica travada

<p>Válvula 5/2 vias acionada por botão com trava e retorno por mola</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <p>0,9 – 10 bar</p> <p>2</p> </div> </div> <p>Descrição Funcional : Com o botão na posição A (esquerda), a via 1 está conectada à via 2 e a via 4 está para escape (5). Já na posição B (direita), a via 1 está conectada à via 4 e a via 2 está para escape (3)</p>
<p>Válvula 3/2 vias NF acionada por botão com trava e retorno por mola</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <p>0,9 – 10 bar</p> <p>2</p> </div> </div> <p>Descrição Funcional : Com o botão na posição A (esquerda), a via 2 fica conectada para escape (3) e a via 1 fica travada. Já na posição B (direita), a via 1 é conectada à via 2</p>
<p>Válvula 5/2 vias acionada por piloto e retorno por mola</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <p>0,9 – 10 bar</p> <p>6</p> </div> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se o piloto (via 14), a via 1 fica conectada à via 4 e a via 2 fica para escape (3). Sem pressão no piloto, a via 1 está conectada à via 2 e a via 4 fica para escape (5)</p>
<p>Válvula 5/2 vias bipilotada</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <p>0,9 – 10 bar</p> <p>12</p> </div> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se a via 14 (piloto direito), a via 1 fica conectada à via 4 e a via 2 fica para escape (3). Já pressurizando-se a via 12 (piloto esquerdo), a via 1 fica conectada à via 2 e a via 4 fica para escape (5)</p>
<p>Válvula 3/2 vias NF acionada por piloto e retorno por mola</p>	<div style="display: flex; align-items: center;">   <div style="margin-left: 20px;"> <p>0,9 – 10 bar</p> <p>4</p> </div> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se o piloto (via 14), a via 1 fica conectada à via 2. Caso contrário, a via 1 fica travada e a via 2 fica para escape (3)</p>

Válvula de emergência	<p>0,9 – 10 bar 2</p> <p>Descrição Funcional : Pressionado-se o botão de emergência (posição B), a via 1 fica travada e a via 2 fica conectada para escape (3). Destravando-se o botão (posição A), a via 1 fica conectada à via 2</p>
Válvula 3/2 vias NF acionada por rolete e retorno por mola	<p>0,9 – 10 bar 8</p> <p>Descrição Funcional : Pressionando-se mecanicamente o rolete, a via 1 fica conectada à via 2. Caso contrário, a via 1 fica travada e a via 2 fica conectada para escape (3)</p>
Válvula 3/2 vias NF acionada por rolete escamuteável e retorno por mola	<p>0,9 – 10 bar 2</p> <p>Descrição Funcional : Pressionando-se o rolete escamuteável, a via 1 fica conectada à via 2. Caso contrário, a via 1 fica travada e a via 2 fica conectada para escape (3). Contudo, dependendo da forma de montagem, ao pressionar o rolete, obtém-se apenas um pulso de ar na via 2</p>
Válvula reguladora de pressão com manômetro	<p>máx. 16 bar 2</p> <p>Descrição Funcional : A pressão na via de saída (2) é mantida constante através do ajuste da mola, desde que a pressão na via de entrada (1) seja superior a de ajuste</p>
Válvula 3/2 vias NF acionada por sinal de vácuo e retorno por mola	<p>0 – 10 bar 2</p> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se negativamente (vácuo) o piloto, a via 1 fica conectada à via 2. Caso contrário, a via 1 fica travada e a via 2 fica conectada para escape (3)</p>



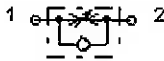

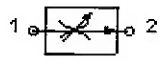

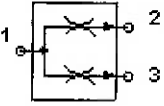

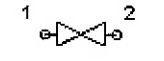

<p>Contador pneumático</p>	<div data-bbox="478 302 670 425"> </div> <div data-bbox="742 280 885 459"> </div> <div data-bbox="981 347 1236 392"> <p>0,9 – 10 bar 2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Cada pulso de pressão na via Z (12) faz o contador decrementar uma unidade. Quando o contador atingir o zero, a saída A (2) é conectada a entrada P (1). Um pulso na via Y (10) faz o contador voltar à posição inicial e desconecta as vias (1) e (2)</p>
<p>Válvula temporizadora NA</p>	<div data-bbox="478 660 694 761"> </div> <div data-bbox="726 683 917 761"> </div> <div data-bbox="981 705 1236 750"> <p>2,5 – 8 bar 4</p> </div> <p>Descrição Funcional : Inicialmente a vias 1 e 2 estão conectadas. Decorrido um tempo ajustável após a pressurização do piloto (via 10), a via 1 é travada e a via 2 fica conectada para escape (3)</p>
<p>Válvula de Sequência</p>	<div data-bbox="478 963 694 1108"> </div> <div data-bbox="726 1008 917 1086"> </div> <div data-bbox="981 1030 1236 1075"> <p>1,8 – 8 bar 2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Inicialmente a via 1 é travada e a via 2 fica conectada para escape (3)..Assim que a pressão no piloto (via 12) superar a pressão ajustada na mola, as vias 1 e 2 ficam conectadas</p>
<p>Cilindro de simples ação e retorno por mola</p>	<div data-bbox="502 1310 654 1400"> </div> <div data-bbox="726 1321 917 1377"> </div> <div data-bbox="1204 1332 1236 1377"> <p>2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se a via de conexão (1), o pistão avança. Caso contrario, o pistão recua por ação da mola</p>
<p>Cilindro de dupla ação</p>	<div data-bbox="502 1534 662 1624"> </div> <div data-bbox="710 1556 933 1601"> </div> <div data-bbox="1204 1556 1236 1601"> <p>4</p> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se a via 1, o pistão avança. Já pressurizando-se a via 2, o pistão recua</p>

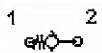

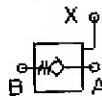

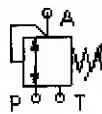

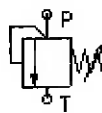

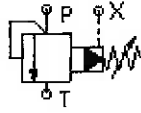

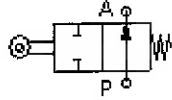
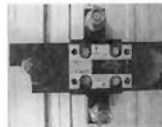
<p>Dois cilindros de dupla ação sem haste acoplados</p>	<div data-bbox="518 286 662 510"> </div> <div data-bbox="746 309 906 488"> </div> <div data-bbox="997 387 1093 409"> <p>máx. 7 bar</p> </div> <div data-bbox="1212 380 1236 414"> <p>2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Funcionamento idêntico ao cilindro de dupla ação</p>
<p>Módulo Passo a Passo Tipo A de 4 passos (cada passo formado por um elem. memória, um elem. "OU" e um elem. "E" (3/2vias NF))</p>	<div data-bbox="486 611 702 790"> </div> <div data-bbox="738 633 922 768"> </div> <div data-bbox="1212 683 1236 716"> <p>3</p> </div> <p>Descrição Funcional : A via Yn consiste no sinal de partida, comutando a válvula memória alimentada de pressão pela via P, ativando a via de saída A para a realização do passo, repondo a memória do passo anterior através da conexão Zn e alimentando o elem. "E". Chegando através da via X um sinal de confirmação do passo realizado, o elem. "E" comuta a válvula de memória do passo seguinte através da via Yn+1. Nesse momento, um sinal do passo seguinte através da via Zn+1 repõe a memória do passo. Por fim, a via L permite o reset do módulo</p>
<p>Unidade de conservação</p>	<div data-bbox="470 1216 686 1317"> </div> <div data-bbox="754 1171 890 1361"> </div> <div data-bbox="1212 1249 1236 1283"> <p>2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Quando conectada a linha de pressão através da via 1, filtra o ar e mede e regula a pressão de saída (via 2)</p>
<p>Unidade de distribuição</p>	<div data-bbox="502 1496 654 1563"> </div> <div data-bbox="750 1485 885 1585"> </div> <div data-bbox="1212 1518 1236 1552"> <p>2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Disponibiliza 8 pontos para conexão de pressão</p>

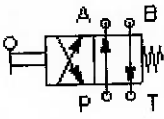

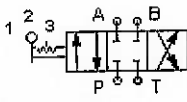

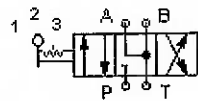

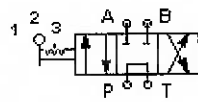



3.2 Equipamentos e Componentes Hidráulicos

Da mesma forma que realizado anteriormente, a Tabela 3.2 apresenta os componentes e equipamentos hidráulicos disponíveis.

Tabela 3.2 - Componentes e equipamentos disponíveis para a hidráulica

Nome	Símbolo	Foto	Especif.	Qte
Manômetro			máx. 100 bar	6
	Descrição Funcional :	Mede a pressão quando conectado a linha		
Válvula redutora de vazão unidirecional			120 bar	6
	Descrição Funcional :	Reduz a vazão de óleo em apenas um dos sentidos de escoamento (da via 1 para a via 2)		
Válvula redutora de vazão bidirecional			120 bar	2
	Descrição Funcional :	Reduz a vazão de óleo em ambos os sentidos de escoamento, (da via 1 para a via 2 e vice-versa)		
Válvula divisora de vazão			120 bar	4
	Descrição Funcional :	Divide a vazão da via de entrada (1) entre as vias de saída (2 e 3)		
Válvula redutora de vazão bidirecional regulada por alavanca			120 bar	2
	Descrição Funcional :	Reduz a vazão de óleo em ambos os sentidos de escoamento, regulada pela abertura de uma alavanca		

Válvula de retenção simples	  <p>120 bar 6</p> <p>Descrição Funcional : Impede o escoamento de óleo da via 1 para a via 2 e permite no sentido oposto</p>
Válvula de retenção pilotada	  <p>120 bar 4</p> <p>Descrição Funcional : Permite o escoamento de óleo da via A para a via B e impede no sentido oposto, a não ser que a via piloto X seja pressurizada</p>
Válvula redutora de pressão	  <p>120 bar 4</p> <p>Descrição Funcional : A pressão na via de saída (A) é mantida constante através do ajuste da mola, desde que a pressão na entrada (P) seja superior a de ajuste. Nesse caso, o excedente de óleo é transferido a via T</p>
Válvula limitadora de pressão	  <p>120 bar 6</p> <p>Descrição Funcional : Caso a pressão na via de entrada (P) se iguale ou seja superior a pressão ajustada na mola, o excedente de óleo é transferido a via T</p>
Válvula limitadora de pressão com piloto de resistência	  <p>120 bar 4</p> <p>Descrição Funcional : Quando a via X não está pressurizada, apresenta funcionamento idêntico à válvula de limitadora de pressão. Contudo, estando a via X pressurizada, é adicionado uma pressão de resistência à pressão da mola</p>
Válvula 2/2 vias NA acionada por rolete e retorno por mola	  <p>120 bar 2</p> <p>Pressionando-se o rolete, as vias de entrada (P) e saída (A) ficam travadas. Caso contrário, a via P fica conectada a via A</p>

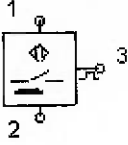

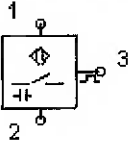

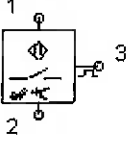

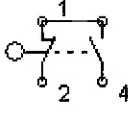

Válvula 4/2 vias acionada por alavanca e retorno por mola			120 bar	2	Descrição Funcional : Acionando-se a alavanca, a via P conecta-se a via B e a via A conecta-se a via T. Caso contrário, a via P fica conectada a via A e a via B à T
Válvula 4/3 vias acionada por alavanca com trava com posição intermediária fechada			120 bar	2	Descrição Funcional : Com a alavanca na posição 1, a via P fica conectada a via A e a via B à T. Com a alavanca na posição 3, a via P fica conectada a via B e a via A à T. Já na posição intermediária (2) todas as vias estão fechadas
Válvula 4/3 vias acionada por alavanca com trava com posição intermediária com saídas em retorno			120 bar	2	Descrição Funcional : Funcionamento idêntico à válvula anterior, diferindo apenas na posição intermediária (2), na qual a via P fica fechada e as vias A, B e T ficam conectadas
Válvula 4/3 vias acionada por alavanca com trava com posição intermediária em desvio			120 bar	2	Descrição Funcional : Funcionamento idêntico à válvula anterior, diferindo apenas na posição intermediária (2), na qual a via P fica conectada a via T e as vias A e B ficam fechadas
Motor Hidráulico			Max. 120 bar Max. 8 cm ³	2	Descrição Funcional : Quando conectado a linha hidráulica, obtém-se torque e rotação no eixo de saída

<p>Conjunto Acumulador</p>	<div data-bbox="485 322 667 454"> </div> <div data-bbox="759 282 876 483"> </div> <div data-bbox="1002 365 1070 389"> <p>120 bar</p> </div> <div data-bbox="1209 360 1225 387"> <p>4</p> </div> <p>Descrição Funcional : Conjunto composto por uma válvula limitadora de pressão, um manômetro, uma válvula 3/3 vias acionada por alavanca com trava, além do próprio acumulador, cuja função consiste em diminuir as oscilações no fluxo de óleo gerado pela bomba</p>
<p>Unidade Hidráulica (motor, bomba, reservatório, manômetro e válvula limitadora de pressão)</p>	<div data-bbox="475 712 667 837"> </div> <div data-bbox="762 678 879 875"> </div> <div data-bbox="1002 734 1070 759"> <p>2 l/min</p> </div> <div data-bbox="1209 754 1225 781"> <p>2</p> </div> <p>Descrição Funcional : Fornece, através da linha P, pressão e vazão de óleo a linha hidráulica. O óleo retorna ao reservatório através da linha T</p>
<p>Cilindro de dupla ação</p>	<div data-bbox="496 1025 667 1115"> </div> <div data-bbox="743 1055 903 1084"> </div> <div data-bbox="1002 1059 1070 1084"> <p>120 bar</p> </div> <div data-bbox="1209 1055 1225 1081"> <p>7</p> </div> <p>Descrição Funcional : Pressurizando-se a via 1 o pistão avança, enquanto que pressurizando-se a via 2 o pistão recua</p>

3.3 Equipamentos e Componentes Eletropneumáticos

Por fim, a Tabela 3.3 apresenta os componentes e equipamentos eletropneumáticos disponíveis no laboratório de automação.

Tabela 3.3 - Componentes e equipamentos disponíveis para eletropneumática

Nome	Símbolo	Foto	Especif.	Qte
Sensor Indutivo			-	4
	Descrição Funcional :	Desde que as conexões de entrada (1 e 2) estejam energizadas, a conexão de saída (3) é ligada à conexão 1 apenas quando o sensor detecta a presença de objeto		
Sensor capacitivo			-	6
	Descrição Funcional :	Funcionamento idêntico ao sensor indutivo		
Sensor óptico			-	6
	Descrição Funcional :	Funcionamento idêntico ao sensor indutivo		
Comutador por rolete			-	17
	Descrição Funcional :	Pressionando-se mecanicamente o rolete conexões 1 e 2 são desconectadas e as conexões 1 e 4 são conectadas. Caso contrário, conexões 1 e 2 estão conectadas, enquanto as conexões 1 e 4 estão desconectadas		

<p>Botão de emergência</p>	<div data-bbox="459 297 671 409"> </div> <div data-bbox="707 286 906 427"> </div> <div data-bbox="1203 331 1222 360"> <p>3</p> </div> <p>Pressionado-se o botão de emergência (posição B), as conexões 1 e 2 são desconectadas e as conexões 1 e 4 são conectadas. Destravando-se o botão (posição A), as conexões 1 e 2 estão conectadas, enquanto as conexões 1 e 4 estão desconectadas. Além disso, há uma indicação luminosa disponível (conexões 5 e 6)</p> <p>Descrição Funcional :</p>
<p>Válvula 3/2 vias NF acionada por solenóide e retorno por mola</p>	<div data-bbox="475 667 659 779"> </div> <div data-bbox="711 678 911 768"> </div> <div data-bbox="983 707 1070 736"> <p>1,5 - 8 bar</p> </div> <div data-bbox="1203 701 1222 730"> <p>3</p> </div> <p>Energizando-se o solenóide (conexão y), a via 1 fica conectada à via 2. Caso contrário, a via 1 fica travada e a via 2 fica para escape (3)</p> <p>Descrição Funcional :</p>
<p>Válvula 5/2 vias acionada por solenóide e retorno por mola</p>	<div data-bbox="475 913 659 1055"> </div> <div data-bbox="711 943 911 1032"> </div> <div data-bbox="983 972 1070 1001"> <p>1,5 - 8 bar</p> </div> <div data-bbox="1203 965 1222 994"> <p>4</p> </div> <p>Energizando-se o solenóide (conexão y), a via 1 fica conectada à via 4 e a via 2 fica para escape (3). Sem a energização do solenóide, a via 1 está conectada à via 2 e a via 4 fica para escape (5)</p> <p>Descrição Funcional :</p>
<p>Válvula 5/2 vias comandada por duplo solenóide</p>	<div data-bbox="464 1227 675 1361"> </div> <div data-bbox="711 1256 911 1335"> </div> <div data-bbox="983 1285 1070 1314"> <p>1,5 - 8 bar</p> </div> <div data-bbox="1203 1279 1222 1308"> <p>6</p> </div> <p>Energizando-se o solenóide y, a via 1 fica conectada à via 4 e a via 2 fica para escape (3). Já energizando-se o solenóide x, a via 1 fica conectada à via 2 e a via 4 fica para escape (5)</p> <p>Descrição Funcional :</p>
<p>Quadro de relés</p>	<div data-bbox="499 1585 643 1664"> </div> <div data-bbox="746 1529 879 1720"> </div> <div data-bbox="1203 1603 1238 1632"> <p>24</p> </div> <p>Energizando-se o rele através das conexões 1 e 2, o interruptor comuta, desconectando as conexões 3 e 4 (NF) e conectando as conexões 3 e 5 (NA)</p> <p>Descrição Funcional :</p>





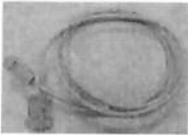
<p>Quadro de botões</p>	<div data-bbox="507 293 603 450"> </div> <div data-bbox="730 271 863 461"> </div> <div data-bbox="1193 338 1214 371"> <p>6</p> </div> <div data-bbox="464 483 1286 551"> <p>Descrição Funcional : Botões com e sem trava que permitem a comutação de interruptores tanto NA quanto NF</p> </div>
<p>Quadro de indicação luminosa e sonora</p>	<div data-bbox="523 629 608 730"> </div> <div data-bbox="735 584 871 775"> </div> <div data-bbox="1198 651 1219 685"> <p>8</p> </div> <div data-bbox="464 797 1198 842"> <p>Descrição Funcional : Disponibiliza conexões para indicação luminosa e sonora</p> </div>
<p>Relé contador</p>	<div data-bbox="499 898 624 1010"> </div> <div data-bbox="740 853 876 1055"> </div> <div data-bbox="1203 931 1224 965"> <p>4</p> </div> <div data-bbox="464 1077 1294 1223"> <p>Descrição Funcional : Cada pulso elétrico entre as conexões A1 e A2 faz o contador decrementar uma unidade. Quando o contador atingir o zero, o relé é energizado. Um pulso elétrico entre as conexões R1 e R2 faz o contador voltar à posição inicial e desenergiza o relé</p> </div>
<p>Quadro de relés temporizados</p>	<div data-bbox="464 1256 695 1435"> </div> <div data-bbox="746 1245 879 1435"> </div> <div data-bbox="1209 1323 1230 1357"> <p>6</p> </div> <div data-bbox="464 1469 1294 1682"> <p>Descrição Funcional : Os relés temporizados na ativação (A), quando energizados, comutam os interruptores NA e NF após o tempo ajustado. Já quando desenergizados, descomutam automaticamente. Por outro lado, os relés temporizados na desativação, comutam automaticamente quando energizados e descomutam após o tempo ajustado quando desenergizados</p> </div>
<p>Fonte de alimentação</p>	<div data-bbox="475 1715 671 1861"> </div> <div data-bbox="719 1715 919 1850"> </div> <div data-bbox="1007 1749 1062 1827"> <p>24 V 4,5 A</p> </div> <div data-bbox="1214 1760 1235 1794"> <p>4</p> </div> <div data-bbox="464 1895 1270 1928"> <p>Descrição Funcional : Permite conexões de 24V e 0V para alimentar o circuito elétrico</p> </div>





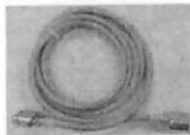
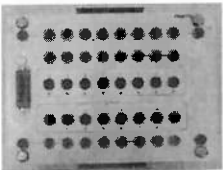
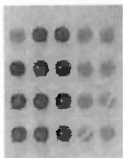
3.4 Controladores Programáveis e Equipamentos e Componentes relacionados

No laboratório de CPs, estão disponíveis cinco módulos contendo, além dos controladores programáveis, equipamentos e componentes auxiliares necessários para a utilização didática desse tipo de equipamento.

Os componentes de cada um dos módulos são apresentados na Tabela 3.4:

Tabela 3.4 – Equipamentos e componentes relacionados a CPs

Descrição	Foto
<ul style="list-style-type: none">• Microcomputador Siemens Nixdorf com processador Pentium I 133 MHz, 32 MB de memória RAM, 1 GB de HD, sistema operacional Microsoft Windows Workstation NT Versão 4.0 com mouse, teclado, filtro de linha, monitor de 17", drive para disquete e drive para CD-ROM (este último disponível em apenas um dos computadores);	
<ul style="list-style-type: none">• Software Siemens Simatic STEP 7 v3.2 instalado, necessário para a programação do CP;	
<ul style="list-style-type: none">• Controlador Programável Siemens Simatic S7-300 com CPU 314-IFM, 16 entradas e 16 saídas digitais de 24 V DC;	
<ul style="list-style-type: none">• PC Adapter Siemens Simatic S7, necessário para a comunicação entre o microcomputador e o CP (download e upload);	
<ul style="list-style-type: none">• Cabo serial RS232 Fêmea – Fêmea para a ligação do PC Adapter com o microcomputador (faltando em um dos módulos);	

<ul style="list-style-type: none">• Cabo para comunicação do CP com as Estações de Alimentação e Teste da MiniCIM;	
<ul style="list-style-type: none">• PLC sim Festo Didatic, simulador de CPs;	
<ul style="list-style-type: none">• EasyPort D16 Festo, que faz a interface entre o microcomputador e o PLC sim;	
<ul style="list-style-type: none">• Cabo serial RS232 Fêmea – Macho para a ligação do microcomputador com a EasyPort;	
<ul style="list-style-type: none">• Cabo de ligação entre a EasyPort e o PLC sim;	
<ul style="list-style-type: none">• Borneira Festo Didatic, a qual facilita a conexão das entradas e saídas do CP com o circuito eletropneumático (apenas uma unidade disponível);	
<ul style="list-style-type: none">• Painel de comando e monitoração contendo 8 entradas (botões) e 8 saídas (lâmpadas);	

A Figura 3.1 apresenta um dos módulos presente no laboratório.

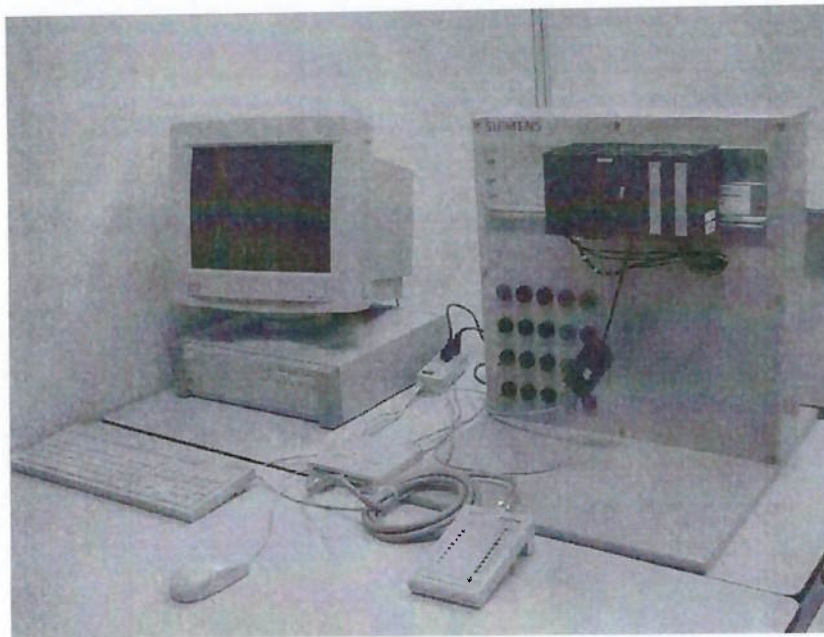


Figura 3.1 – Um dos módulos disponíveis no laboratório de CPs do ITBA

3.5 Disposição do Laboratório e Equipamentos relacionados

O laboratório tecnológico do PMR-USP é composto por 4 salas para temas específicos e uma área principal, onde estão instaladas as principais máquinas de automação do departamento. Como exemplos, são possíveis destacar um Centro de Usinagem CNC da empresa Deckel Maho, um Torno CNC da empresa Mazak, um Robô da empresa Kuka e uma Fábrica Modelo (Mini-CIM) da empresa Festo. Cabe destacar que dentre os equipamentos citados, apenas o último está envolvido diretamente com o desenvolvimento do presente trabalho, estando o mesmo representado Figura 3.2:



Figura 3.2 - Fábrica Modelo (Mini-CIM)

Com relação às salas do laboratório, tem-se o Laboratório de CPs, o Laboratório de Automação e dois laboratórios para pesquisa. Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas as duas primeiras instalações, estando as 4 bancadas didáticas (duas a duas) que compõe o Laboratório de Automação apresentadas na Figura 3.3:

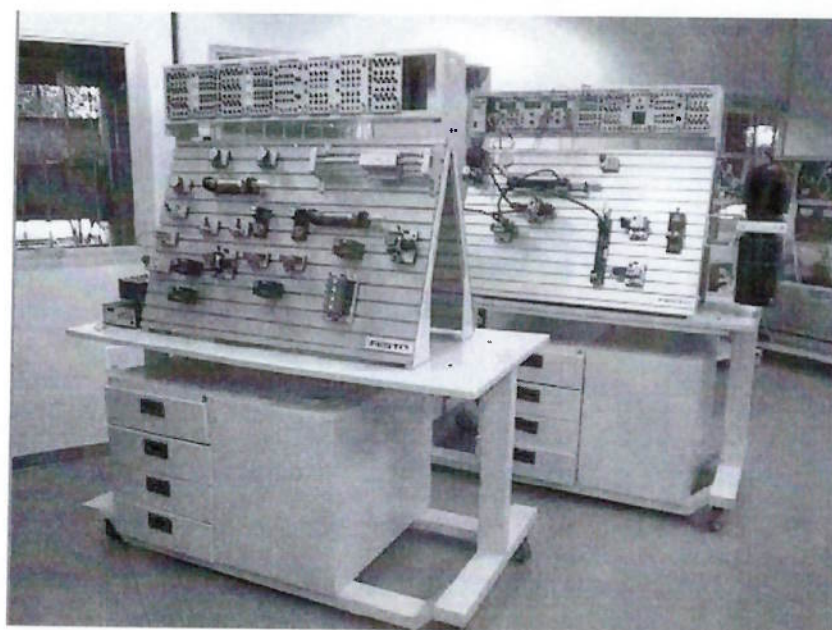


Figura 3.3 – Bancadas didáticas disponíveis no ITBA

4 Ante-Projeto

Antes de iniciar a elaboração propriamente dita das experiências, é importante a realização de um ante-projeto. Estabelecendo-se alguns parâmetros e metas iniciais, pode-se não só direcionar e facilitar a elaboração dos próprios experimentos, como também antecipar e prever possíveis problemas futuros, garantindo portanto que ações corretivas possam ser tomadas.

Dessa maneira, este capítulo visa apresentar informações iniciais sobre os experimentos, os quais estarão divididos em quatro áreas: Pneumática, Hidráulica, Eletropneumática (sem a utilização de CPs) e Eletropneumática (com a utilização de CPs). Para cada área são apresentadas as seguintes informações:

- Temas e principais conceitos que devem ser abordados;
- Número de exercícios previstos;
- Grau de dificuldade dos exercícios (simples, intermediário e avançado);
- Meta;

Os temas e conceitos abordados em cada área foram definidos considerando-se não só a disponibilidade de recursos (componentes e equipamentos) em cada área, como também as principais necessidades verificadas para o projeto, conforme estudado na fundamentação teórica. Por sua vez, o número de exercícios previstos e o grau de dificuldade de cada um foram estimados levando-se inicialmente em consideração um número total de 18 experimentos, os quais seriam utilizados nas aulas de laboratório semanais ou quinzenais divididas em um único semestre ou em dois semestres sequenciais. Neste caso, o primeiro envolveria os temas de Pneumática e Hidráulica, enquanto o segundo, os de Eletropneumática e CPs.

A princípio a intenção é de apresentar aos estudantes o enunciado e o estudo de caso dos experimentos antecipadamente a montagem experimental, ou seja, apresentar com uma aula de antecedência o experimento cuja montagem deve ser realizada na aula seguinte, de forma a permitir aos alunos a elaboração do projeto antecipadamente em casa (importante principalmente para os experimentos de maior complexidade) para posterior montagem no laboratório.

Por fim, a forma de avaliação dos alunos seria realizada por meio de relatórios semanais contendo o diagrama trajeto-passo, o projeto do circuito fluido-mecânico e a análise dos resultados obtidos tanto com o projeto quanto com a montagem do dispositivo referente à experiência estudada, e através de uma prova no final do curso abordando assuntos relacionados com os resultados esperados em cada experiência. Cabe destacar que o diagrama trajeto-passo e o projeto do circuito devem ser elaborados durante a semana que antecede a montagem do dispositivo proposto, sendo os mesmos formalizados em um relatório entregue na semana seguinte, juntamente com a análise dos resultados obtidos. Dessa forma, para cada semana o aluno deve trazer tanto o relatório referente ao experimento anterior quanto o esboço do diagrama trajeto-passo e o projeto do circuito fluido-mecânico referente ao experimento a ser montado no dia.

4.1 Pneumática

- **Número de exercícios previstos:** aproximadamente 5;
- **Grau de dificuldade:** simples – 1;
intermediários – 2;
avançados – 2;
- **Temas abordados:** - acionamento direto x pilotado;
- utilização de cilindros de simples e dupla ação;
- velocidade rápida e velocidade lenta;
- usos de válvulas temporizadas e contadoras;
- usos de válvulas limitadoras e reguladoras de pressão;
- exercícios a partir de diagramas trajeto-passo;
- problema de contra-sinal e técnicas para resolvê-lo;
- utilização do método cascata;

- utilização do método passo a passo (“tradicional” e industrial);

- **Meta:** simular o funcionamento da Estação de Alimentação da Mini-CIM;

4.2 Hidráulica

- **Número de exercícios previstos:** aproximadamente 4;

- **Grau de dificuldade:** simples – aprox. 1;

intermediários – aprox. 2;

avancados – aprox. 1;

- **Temas abordados:** - transmissão de força e pressão;

- comparação entre força e velocidade no avanço e retorno do cilindro;

- usos de válvulas limitadoras e reguladoras de pressão;

- usos de válvulas reguladoras de fluxo (controle de vazão);

- redução de velocidades (“meter in” e “meter out”);

- multiplicação de pressão em cilindros diferenciais;

- **Meta:** complementar os conceitos da automação fluido-mecânica;

4.3 Eletropneumática (sem a utilização de CPs)

- **Número de exercícios previstos:** aproximadamente 5;

- **Grau de dificuldade:** simples – 1;

intermediários – 2;

avancados – 2;

- **Temas abordados:** - usos de relés temporizados e contadores;
 - utilização conjunta de sensores capacitivos, indutivos e ópticos para identificação de peças;
 - usos de válvulas de simples e duplo solenóide;
 - auto-retenção;
 - problema de contra-sinal;
- **Considerações:** Como forma de propiciar uma maior assimilação das diferenças entre o projeto de circuitos inteiramente pneumáticos e eletropneumáticos (com ou sem a utilização de CPs), são propostos alguns exercícios semelhantes para a pneumática e a eletropneumática;
- **Meta:** simular o funcionamento da Estação de Teste da Mini-CIM;

4.4 Eletropneumática (com a utilização de CPs)

- **Número de exercícios previstos:** aproximadamente 3;
- **Grau de dificuldade:** intermediários – aprox.2;
avançados – aprox. 1;
- **Temas abordados e considerações:**

A utilização de controladores programáveis permite uma maior diversificação e complexidade dos experimentos. Dessa maneira, os temas abordados são semelhantes aos vistos na eletropneumática (sem a utilização de CPs), porém possuindo uma abordagem mais abrangente e complexa, com foco na simulação do funcionamento individual e integrado das estações de Alimentação e Teste do MiniCIM.

Destaca-se que as resoluções dos exercícios avançados serão realizadas utilizando-se a metodologia de projetos de sistemas de controle [7], conforme

descrito no item 2.4.6 deste trabalho, com ênfase na metodologia PFS/MFG apresentada no item 2.4.5.4.

Por fim, sempre que possível, a elaboração dos exercícios avançados se baseou na simulação de processos produtivos industriais.

- **Meta:** realizar o controle completo das estações da Mini-CIM ;

4.5 Estrutura Padrão de Experimento

Os experimentos serão apresentados neste trabalho segundo uma estrutura padrão, cujo objetivo principal é uniformizar as informações transmitidas, facilitando portanto a compreensão e avaliação dos mesmos.

Dessa maneira, na Tabela 4.1 são apresentados os tópicos dessa estrutura padrão, seguido de uma breve descrição do respectivo conteúdo.

Tabela 4.1 – Tópicos e respectiva descrição, a serem utilizados na apresentação dos experimentos

Tópico	Descrição de conteúdo
Objetivos	Descrição dos principais conceitos teóricos abordados no experimento
Estudo de Caso	Contextualização do experimento a uma situação industrial e, portanto, mais real, de forma a demonstrar aplicações práticas dos conceitos teóricos envolvidos.
Enunciado	Descrição simples e direta do problema específico a ser resolvido pelo aluno, de maneira a direcionar as atividades a serem realizadas durante a resolução.

Resolução	<p>Consiste na resolução do exercício proposto, estando dividido nas seguintes etapas:</p> <ul style="list-style-type: none">• apresentação do diagrama trajeto-passo e/ou sequência de acionamento;• apresentação do projeto do circuito (normalmente utilizando o software FluidSim da Festo);• apresentação da montagem experimental nas bancadas didáticas, incluindo uma foto geral da montagem e fotos da sequência dos passos; <p>Obs: Para todos os experimentos também estarão disponíveis vídeos (em formato MPG), demonstrando o funcionamento completo dos experimentos montados. Esses são disponibilizados em CD juntamente com a versão impressa desse trabalho.</p>
Componentes e Equipamentos Necessários	<p>Descrição de todos os componente e equipamentos utilizados para a montagem experimental (excetuando os tubos para conexão pneumática e hidráulica e os fios para elétrica);</p>
Carga Horária	<p>A carga horária do experimento estará dividida em:</p> <ul style="list-style-type: none">- tempo estimado para o projeto: referente ao tempo de elaboração do projeto em casa pelo aluno;- tempo estimado para a montagem: referente à montagem experimental no laboratório;
Resultados Esperados	<p>Descrição dos conceitos e técnicas mais gerais que se espera que os alunos tenham aprendido com a resolução do experimento.</p>

5 Desenvolvimento de Experimentos

5.1 Pneumática

Para a área da pneumática foram elaborados um número total de 6 exercícios, os quais serão apresentados em ordem crescente de dificuldade.

5.1.1 Experimento 1

1. Objetivos

- Verificar diversas formas possíveis para realizar o acionamento de cilindros pneumáticos, identificando as particularidades de cada caso;
- Fazer o aluno identificar as diferenças entre a aplicação de cilindros simples-ação e a aplicação de cilindros dupla-ação;

2. Estudo de Caso

- Montagem e desenvolvimento de soluções;

Uma empresa de consultoria deseja incorporar em sua gama de soluções para automação industrial, processos baseados em circuitos pneumáticos. Para isso, o chefe do departamento de desenvolvimento de soluções adquiriu componentes para elaborar 5 circuitos pneumáticos como forma de iniciar a pesquisa nesse ramo de atividade, solicitando ao estagiário do setor que monte todos eles, identificando as características de cada um e indicando possíveis aplicações para as mesmas.

3. Enunciado

Analisar os componentes disponíveis para a elaboração dos 5 circuitos pneumáticos, identificando quais deles serão necessários para o projeto de cada circuito. Devem ser levadas em conta as seguintes exigências:

- O primeiro circuito é acionado por meio de um botão simples, não necessitando de elevada força de trabalho. Para que o cilindro permaneça em posição de avanço, o botão deve estar pressionado;
- O segundo circuito tem a mesma função do primeiro, devendo, no entanto, utilizar uma linha pneumática auxiliar (alta pressão, por exemplo) a fim de realizar o acionamento do pistão;
- O terceiro circuito tem funcionamento semelhante devendo possibilitar, quando necessário, o acréscimo de válvulas para o ajuste da velocidade no avanço e retorno de forma independente;
- Os dois circuitos restantes devem ter um botão para o avanço e outro para o retorno. A diferença está no fato de que para um deles deve-se permitir o ajuste da velocidade no avanço e retorno de forma independente;

Estão disponíveis os seguintes componentes pneumáticos:

- 2 cilindros dupla ação;
- 3 cilindros simples ação;
- 1 válvula 5/2 vias bipilotada;
- 1 válvula 5/2 vias retorno por mola;
- 1 válvula 3/2 vias bipilotada;
- 1 válvula 3/2 vias retorno por mola;
- 5 botões retorno por mola;

- 2 botões com trava e retorno por mola;
- 4 válvulas reguladoras de fluxo (opcional);

Assim, realizar o projeto do circuito pneumático com auxílio do FluidSim-P, finalizando com a montagem do mesmo utilizando as bancadas e dispositivos pneumáticos da Festo.

4. Resolução

a)

1. Projeto do circuito pneumático:

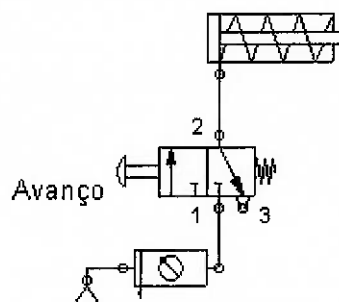


Figura 5.1 – Projeto do circuito pneumático 1

2. Montagem do circuito pneumático:

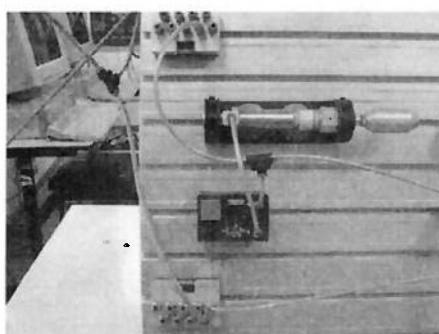


Figura 5.2 – Botão desacionado

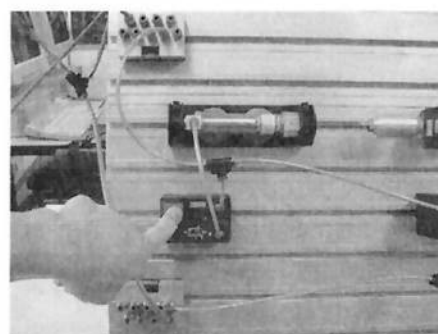


Figura 5.3 - Botão acionado e pressionado

OBS: arquivo de vídeo disponível

b)

1. Projeto do circuito pneumático:

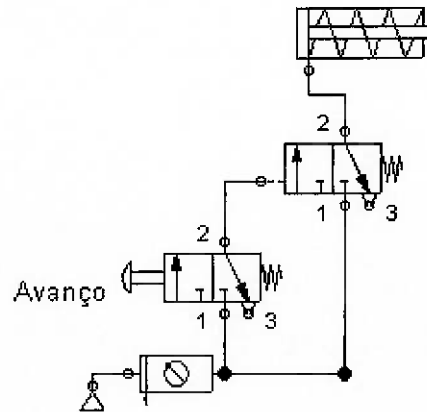


Figura 5.4 - Projeto do Circuito Pneumático 2

2. Montagem do circuito pneumático:

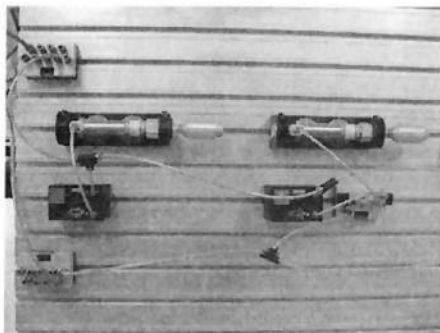


Figura 5.5 – Botão desacionado

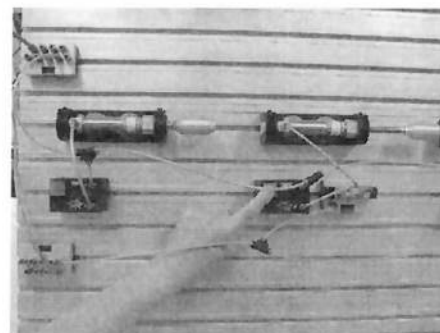


Figura 5.6 - Botão acionado e pressionado

OBS: arquivo de vídeo disponível

c)

1. Projeto do circuito pneumático:

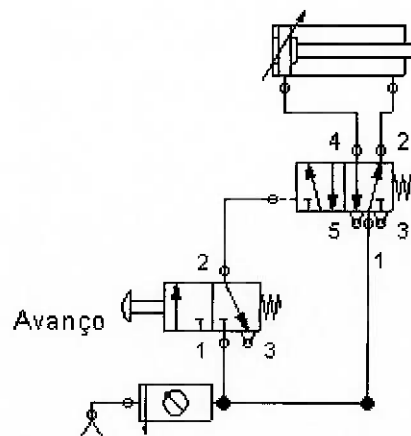


Figura 5.7 - Projeto do Circuito Pneumático 3

2. Montagem do circuito pneumático:

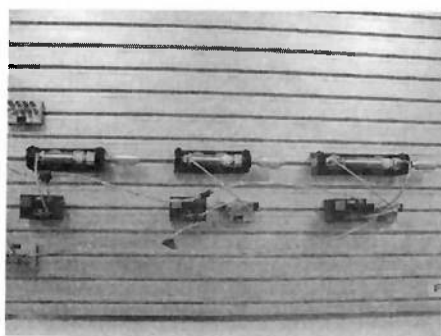


Figura 5.8 – Botão desacionado

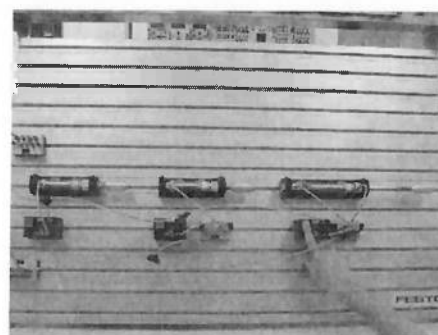


Figura 5.9 - Botão acionado e pressionado

OBS: arquivo de vídeo disponível

d)

1. Projeto do circuito pneumático:

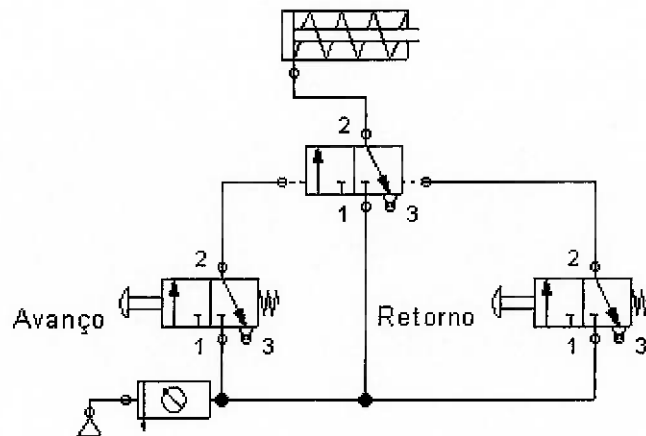


Figura 5.10 - Projeto do Circuito Pneumático 4

2. Montagem do circuito pneumático:

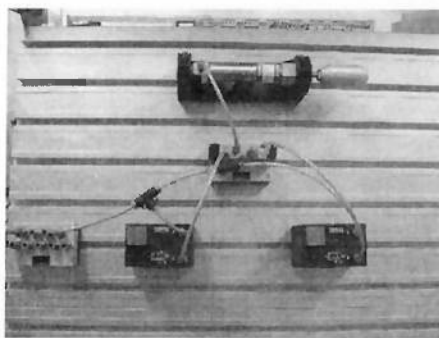


Figura 5.11 – Botão 2 acionado

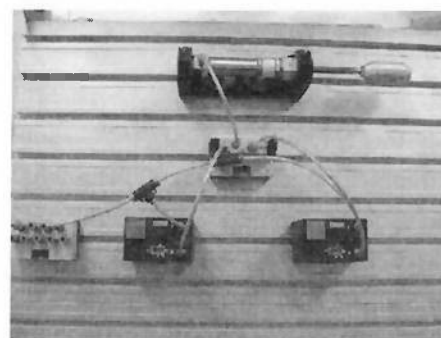


Figura 5.12 - Botão 1 acionado

OBS: arquivo de vídeo disponível

e)

1. Projeto do circuito pneumático:

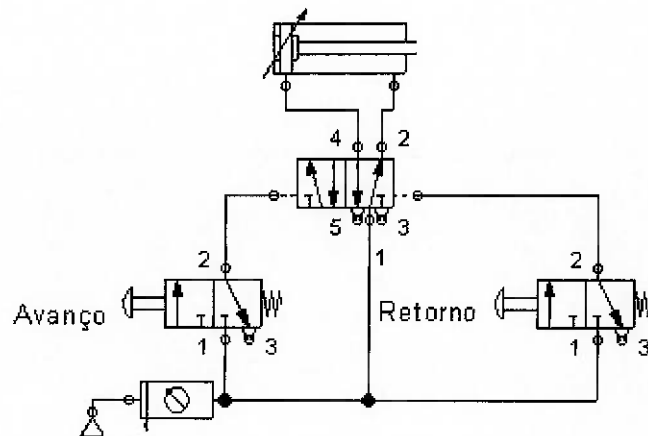


Figura 5.13 - Projeto do Circuito Pneumático 5

2. Montagem do circuito pneumático:

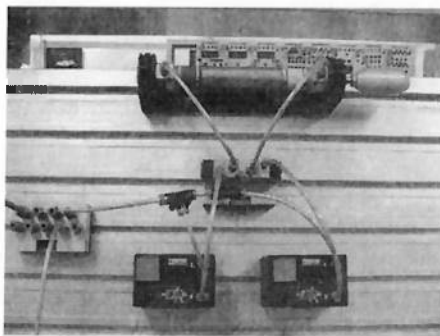


Figura 5.14 – Botão 2 acionado

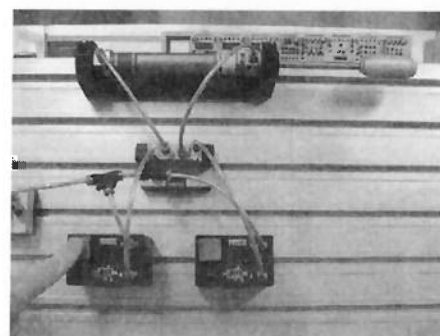


Figura 5.15 – Botão 1 acionado

OBS: arquivo de vídeo disponível

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.1 – Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros dupla ação
	3 cilindros simples ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias bipilotada
	1 válvula 5/2 vias retorno por mola
	1 válvula 3/2 vias bipilotada
	1 válvula 3/2 vias retorno por mola
Elementos de Sinais	7 botões retorno por mola
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo (opcional)

6. Carga Horária

Tabela 5.2 - Carga horária da experiência

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
2 horas	30 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 1, espera-se que o aluno seja capaz de realizar o acionamento de cilindros pneumáticos de diversas formas, além de diferenciar casos em que seja necessário o uso de cilindros de simples-ação e casos exigindo cilindros de dupla-ação. O aluno deve saber inclusive citar as características inerentes a cada dispositivo, listando possíveis aplicações para cada circuito montado. Além disso, espera-se também do aluno a assimilação do conceito de acionamento direto e indireto, identificando os casos que requeiram cada tipo citado, e a verificação do funcionamento de circuitos com um botão e circuitos com dois botões.

5.1.2 Experimento 2

1. Objetivos

- Resolver problemas envolvendo contra-sinais;
- Verificar as limitações do método intuitivo quando da resolução de problemas desse tipo;
- Perceber a vantagem dos circuitos projetados segundo o método intuitivo com relação ao custo na aquisição de componentes;

2. Estudo de Caso

- Redução de custo no transporte de caixas;

Foi solicitado ao setor de estoque e armazenagem de produtos de uma empresa o corte de custos a fim de equilibrar as contas anuais. A única solução encontrada pelo chefe do departamento para atingir a meta imposta pelo setor financeiro foi o de alterar o projeto do sistema de transporte de produtos a ser implantado no mês seguinte, reduzindo o número de componentes pneumáticos utilizados na configuração original. Como forma de atender aos níveis aceitáveis, o projetista descartou as soluções baseadas em métodos de eliminação de contra-sinal (método cascata ou passo-a-passo) passando a se dedicar ao projeto de soluções com base no método intuitivo, o qual pode permitir o uso de uma quantidade menor de componentes pneumáticos.

3. Enunciado

Projetar o circuito pneumático para transporte de caixas segundo o método intuitivo. O sistema de transporte trabalha no plano, devendo realizar movimento horizontal, para se locomover do ponto de origem ao ponto de destino, e movimento vertical, a fim de posicionar a garra para prender o objeto. Como forma de facilitar o projeto e permitir a visualização da ocorrência de contra-sinal, desenhar o diagrama

trajeto-passo realizando sua análise. Em seguida, utilizar o FluidSim-P para projetar o circuito e realizar sua prévia simulação com o intuito de validar seu funcionamento. Por fim, realizar a montagem do circuito utilizando as bancadas didáticas da Festo.

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

$$A + |B + |A - |C + |A + |B - |A - |C -$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	
A									1
									0
B									1
									0
C									1
									0

Figura 5.16 - Diagrama trajeto-passo

2. Projeto do circuito pneumático:

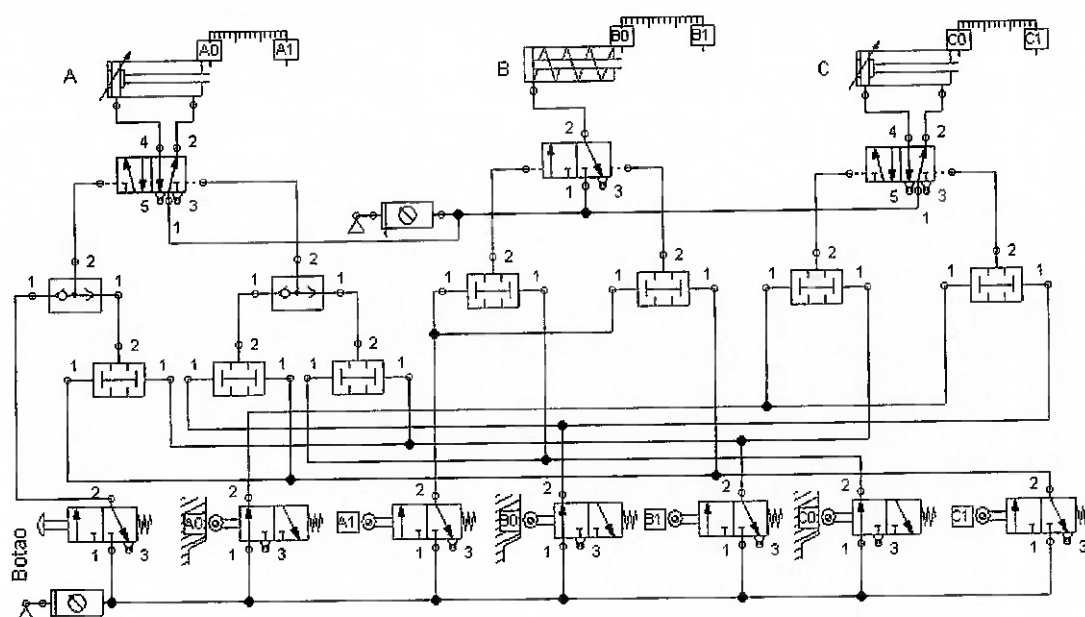


Figura 5.17 - Projeto do circuito pneumático

3. Montagem do circuito pneumático:

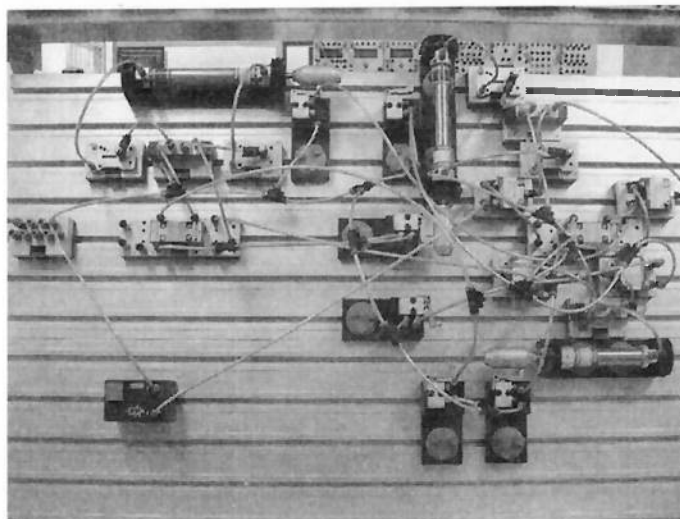


Figura 5.18 – Montagem

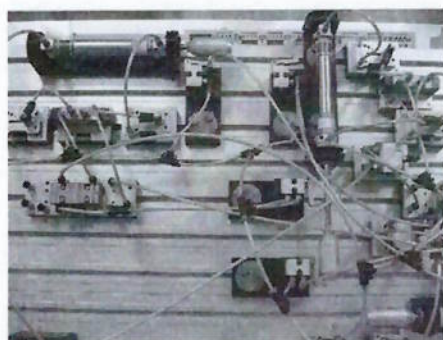


Figura 5.19 – Posicionamento da garra sobre o objeto

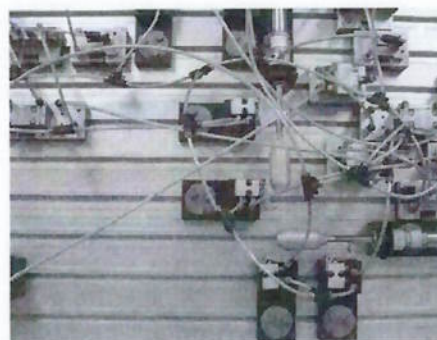


Figura 5.20 – Acionamento da garra

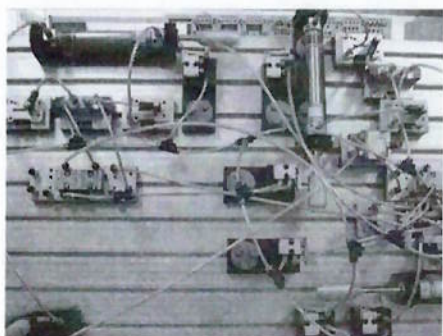


Figura 5.21 – Elevação do objeto fixado pela garra



Figura 5.22 – Transporte horizontal ao ponto de destino

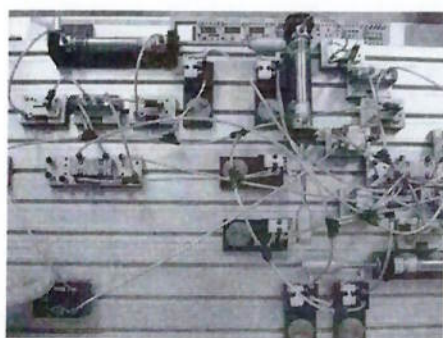


Figura 5.23 – Posicionamento do objeto no ponto de destino



Figura 5.24 – Desacionamento da garra

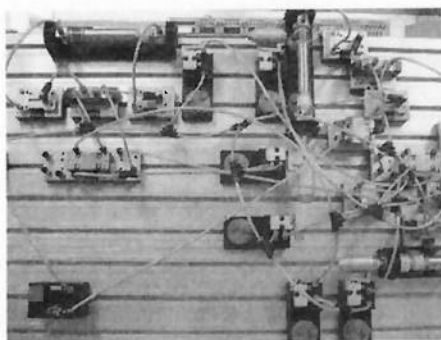


Figura 5.25 – Elevação da garra desacionada

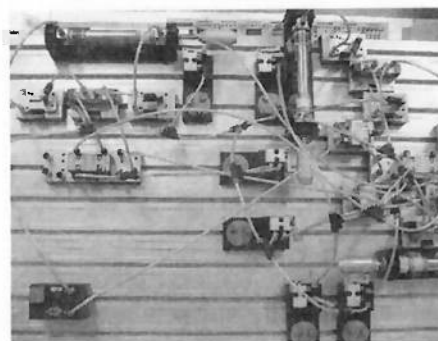


Figura 5.26 – Retorno horizontal ao ponto de origem

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.3 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de simples-ação
	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
	1 válvula 3/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	7 válvulas “E”
	2 válvulas “OU”
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	6 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.4 - Carga horária da experiência

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
3 horas	30 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 2, espera-se que o aluno verifique as dificuldades proporcionadas pelo método intuitivo no projeto de circuitos pneumáticos envolvendo problemas de contra-sinal. É lidando com situações desse tipo que o aluno percebe a necessidade de adotar métodos mais eficientes para atingir os resultados desejados, caso não existam restrições de custos na aquisição de componentes para o circuito. No entanto, espera-se demonstrar que o método intuitivo nem sempre deve ser desprezado, podendo mesmo representar uma excelente alternativa apesar da complexidade envolvida na solução de situações complicadas. Concluindo, esta experiência visa orientar o aluno a conhecer o caminho mais adequado, porém preparando-o para a solução de problemas de qualquer natureza.

5.1.3 Experimento 3

1. Objetivos

- Permitir o entendimento do funcionamento do contador pneumático isoladamente;
- Permitir o entendimento do funcionamento do contador pneumático em conjunto com a válvula temporizadora, válvula reguladora de pressão, válvula de seqüência e válvulas reguladoras de fluxo;

2. Estudo de Caso

- Máquina envernizadora de portas de madeira;

Uma empresa produtora de portas de madeira verificou que o processo de envernizamento realizado manualmente por um operário prejudicava sensivelmente a sua produção visto que o tempo despendido desde a fixação da porta até o envernizamento em três camadas com intervalos de tempo entre cada uma é muito elevado além de apresentar resultados desuniformes entre um produto e outro. A solução encontrada pelo engenheiro responsável para o otimizar o processo garantindo qualidade no acabamento foi o de automatizar o mesmo utilizando circuitos pneumáticos. Assim, durante a fase de elaboração da solução, definiu-se que o projeto deveria incorporar um dispositivo para fixação da peça com base em dois pistões no plano, posicionados perpendicularmente, os quais, quando acionados, pressionariam a porta contra dois batentes, garantindo sua fixação. Nesse instante, iniciar-se-ia então o processo de envernizamento, em que um pincel com largura semelhante à da porta de madeira realizaria um movimento de avanço e retorno sobre a mesma, finalizando a primeira camada. Decorrido o tempo suficiente para a absorção do verniz realizar-se-ia a segunda camada da mesma forma. Ao fim da terceira etapa, o processo de envernizamento seria concluído e os dispositivos de fixação seriam desacionados para liberar a porta para o processo seguinte. Cabe

agora ao estagiário da empresa realizar o projeto do circuito pneumático desse dispositivo e realizar a sua construção.

3. Enunciado

- a) Como forma de verificar o funcionamento de um contador pneumático, deve-se elaborar um circuito simples, em que um cilindro de dupla-ação delimitado por dois sensores fins-de-curso seja acionado e recuado um certo número de vezes;
- b) Este item consiste na implementação de fato do estudo de caso proposto. Para o funcionamento do processo de acordo com os padrões exigidos pela empresa, os seguintes passos devem ser obedecidos:
 - Acionamento deve ser realizado por meio de 2 botões que devem estar pressionados simultaneamente para o início do processo, como meio de segurança;
 - Acionamento do pistão de fixação 1 com velocidade de avanço controlada, a fim de evitar o brusco impacto com o objeto, e com regulação de pressão, com o intuito de estabelecer a pressão aplicada sobre o mesmo. O processo de avanço segue até que a face em questão esteja fixa;
 - A fixação da primeira face libera a seqüência para o acionamento do pistão de fixação 2, da mesma forma que o primeiro;
 - Cabe destacar aqui que para ambas as etapas não se devem utilizar válvulas de fins-de-curso uma vez que os fins-de-curso são estabelecidos pelo contato do pistão com o objeto;
 - A fixação total do objeto libera a seqüência para o processo de envernizamento do mesmo, o qual é realizado em 3 etapas. Em cada etapa uma camada de verniz é depositada sobre o objeto de forma contínua e com velocidade controlada. Entre uma camada e outra o dispositivo deve aguardar alguns segundos;

- Finalizado o processo de envernizamento, os pistões de fixação são recuados simultaneamente não necessitando de controle de velocidade para este caso;

Tendo isso em vista, escrever o diagrama trajeto-passo relativo às etapas do processo (item b), seguido do projeto do circuito pneumático com auxílio do FluidSim-P, finalizando com a montagem do mesmo utilizando as bancadas e dispositivos pneumáticos da Festo.

4. Resolução

a)

1. Projeto do circuito pneumático:

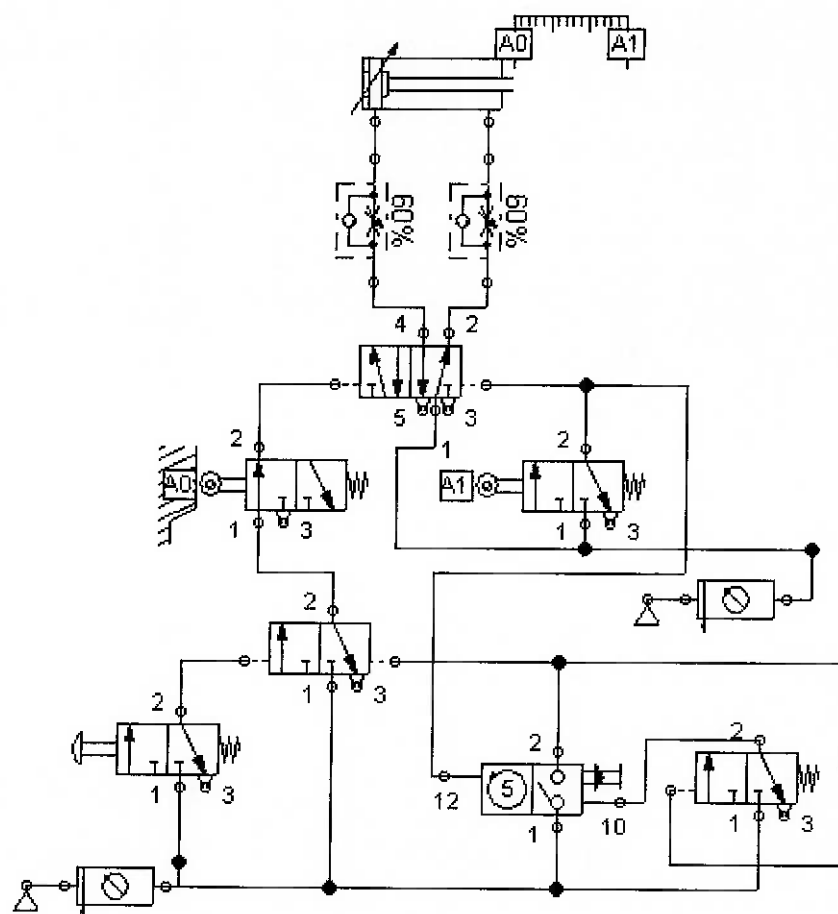


Figura 5.27 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

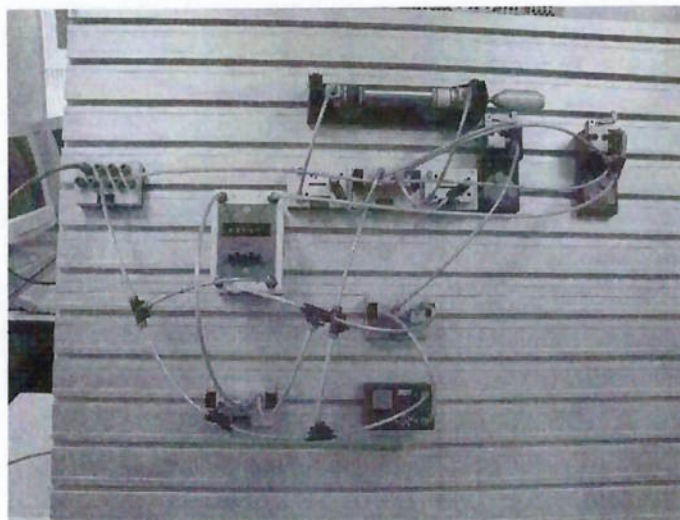


Figura 5.28 – Montagem

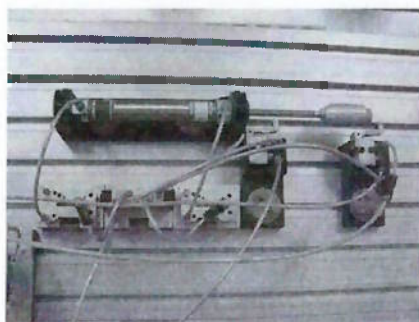


Figura 5.29 – Circuito em funcionamento

b)

1. Diagrama trajeto-passo:

$$A + \left| B + {}^t C + \left| C - {}^t C + \left| C - {}^t C + \left| C - \left| \begin{matrix} A - \\ B - \end{matrix} \right. \right. \right. \right.$$

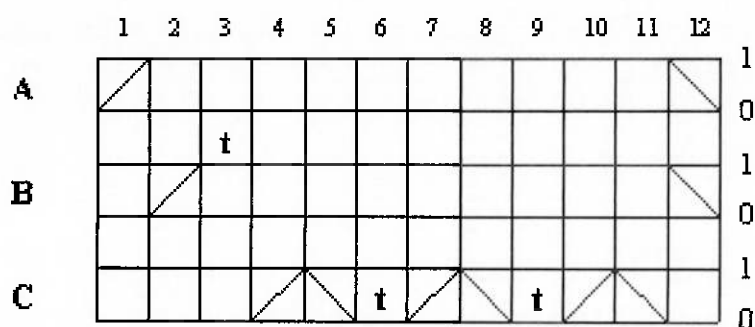


Figura 5.30 - Diagrama trajeto-passo

2. Projeto do circuito pneumático:

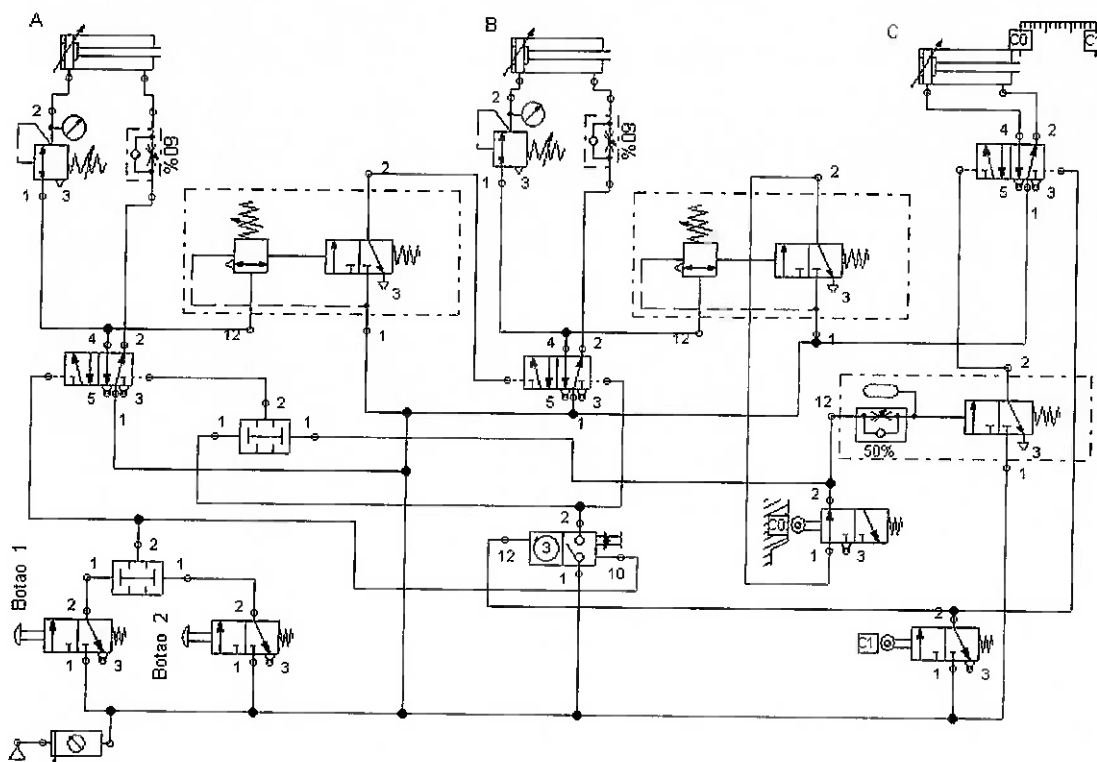


Figura 5.31 - Projeto do circuito pneumático

3. Montagem do circuito pneumático:

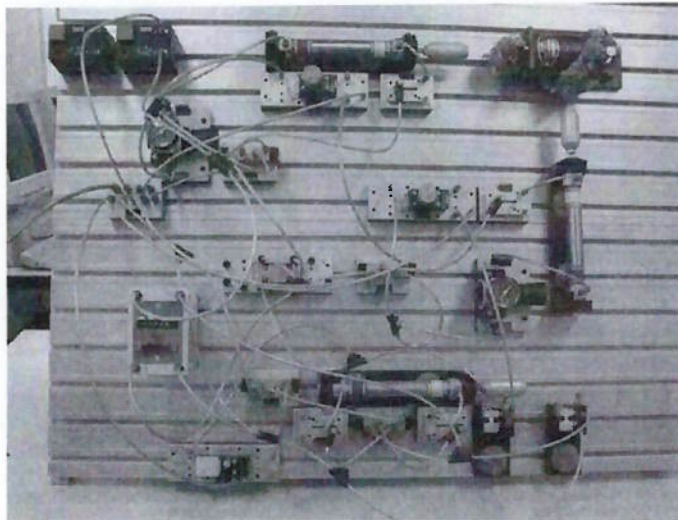


Figura 5.32 – Montagem

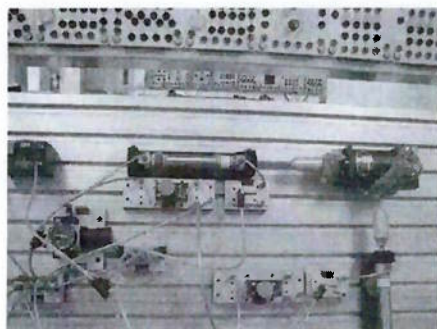


Figura 5.33 – Fixação da primeira face

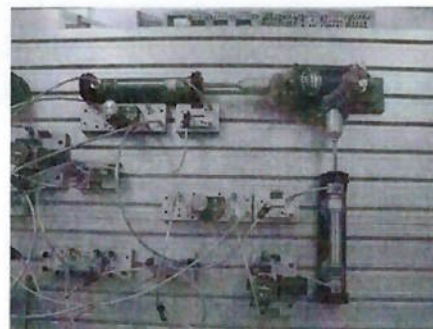


Figura 5.34 – Fixação da segunda face

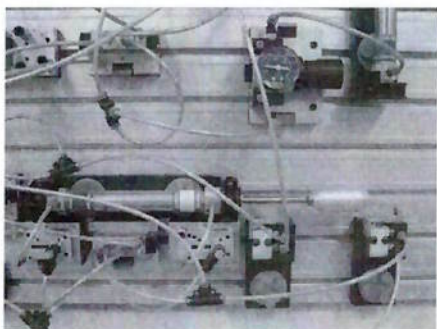


Figura 5.35 – Início da primeira camada de verniz



Figura 5.36 – Fim da última camada de verniz

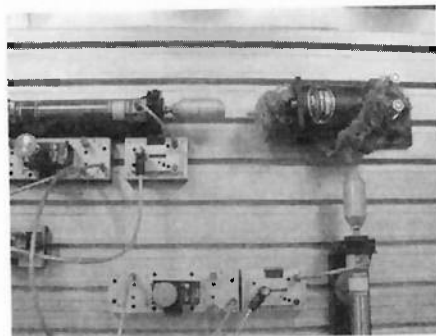


Figura 5.37 – Liberação da porta envernizada

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

5. Componentes e Equipamentos Necessários

a)

Tabela 5.5 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias bipilotada
	1 válvula 3/2 vias bipilotada
	1 válvula 3/2 vias retorno por mola
Elementos de Processamento de Sinais	1 contador pneumático
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	2 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	2 válvulas reguladoras de fluxo

b)

Tabela 5.6 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	3 cilindros dupla ação
Elementos de Comando	3 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	2 válvulas de seqüência
	2 válvulas reguladoras de pressão
	1 válvula temporizadora
	1 contador pneumático
	2 válvulas "E"
Elementos de Sinais	2 botões retorno por mola
	2 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	2 válvulas reguladoras de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.7 - Carga horária da experiência

	Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
Item a	30 min	15 min
Item b	3 horas	75 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 2, espera-se que o aluno seja capaz de projetar circuitos em que uma das etapas do processo produtivo em análise seja a repetição de uma determinada quantidade de movimentos antes de dar seqüência aos demais passos envolvidos. Paralelamente, espera-se que o aluno adquira o conhecimento da aplicação das válvulas de seqüência, sendo capaz de justificar o seu uso em prol das válvulas fins-de-curso, além de verificar a utilidade do controle de velocidade no avanço e retorno dos pistões, quando do uso das válvulas reguladoras de fluxo, bem como a função das válvulas reguladoras de pressão, como meio de evitar a danificação de objetos.

5.1.4 Experimento 4

1. Objetivos

- Projetar um circuito pneumático por 6 métodos diferentes;
- Introduzir métodos de eliminação de contra-sinal (método cascata e método passo-a-passo);
- Comparar os métodos empregados ressaltando as características de cada um;

2. Estudo de Caso

- Otimização do serviço de projeto de circuitos;

Uma empresa de produtos pneumáticos vende, além de componentes e dispositivos unitários, soluções prontas e adaptáveis para diversas aplicações, atuando como um serviço de consultoria para clientes de seus produtos. Como forma de fornecer o melhor serviço e a aplicação mais rentável a cada situação, o departamento de desenvolvimento estuda os diversos meios para atingir uma mesma solução, identificando os prós e contras de cada configuração criada, imaginando possíveis aplicações para as mesmas. O último estudo de caso em análise diz respeito a circuitos envolvendo problemas de contra-sinal, o qual consiste de 2 cilindros de dupla-ação e possui o seguinte diagrama trajeto-passo:

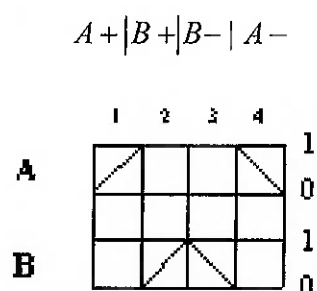


Figura 5.38 - Diagrama trajeto-passo

Imagina-se com essa análise agilizar o processo de decisão da melhor opção em casos semelhantes, uma vez que problemas desse tipo são bastante comuns e envolvem uma complexidade que requer uma análise cuidadosa e não imediata.

3. Enunciado

Projetar e construir o circuito pneumático em estudo pela empresa utilizando 6 configurações diferentes para a realização do controle. Cada situação específica possui características que serão úteis na tomada de decisão de problemas futuros, devendo, portanto, ser claramente identificadas e entendidas. Como forma de direcionar a resolução, serão apresentadas descrições que caracterizarão cada situação.

Assim, para as duas primeiras configurações devem ser levados em conta abordagens que permitam o uso do menor número possível de dispositivos pneumáticos. Espera-se com essa análise atingir o menor custo de implantação, se consideradas as situações com produção em larga escala dos dispositivos. Isso se justifica pelo fato de serem necessárias válvulas especiais para esse tipo de solução, as quais precisam ser desenvolvidas especificamente para cada caso, não representando sempre uma alternativa recomendável.

Na **primeira configuração**, por exemplo, é necessária a fabricação de válvulas 5/2 vias com áreas diferentes em cada piloto, de modo a permitir o acionamento do piloto com a maior área quando da pressurização de ambos os lados. Esse circuito deve ser projetado no FluidSim-P apesar de sua montagem no laboratório não ser viável tendo em vista o uso dessa válvula especial.

Já na **segunda configuração**, utiliza-se um rolete fim-de-curso modificado de modo a permitir o funcionamento do circuito. Este dispositivo, conhecido como rolete escamuteável, tem a função de fornecer apenas um pulso de sinal, quando da chegada do cilindro ao fim-de-curso. Além disso, apresenta como característica, o fornecimento do pulso apenas em um dos sentidos de movimento do pistão (avanço ou retorno), permitindo a livre passagem na outra situação. Já neste caso, a

montagem é possível de ser realizada uma vez que a válvula com acionamento por rolete escamuteável é fabricada pela empresa Festo.

Nas configurações a seguir, pretende-se solucionar o problema de contra-sinal baseando-se apenas no uso de dispositivos já comumente existentes no mercado. Dessa forma, para a **terceira configuração**, faz-se uso da válvula 3/2 vias com simples piloto e retorno por mola em conjunto com uma válvula reguladora de fluxo, com o intuito de realizar o corte de sinal. Esta solução é caracterizada pelo uso da pressão proveniente da válvula a ter o sinal desabilitado, como fonte para a realização do corte de sinal. Para cada ramo a ser desabilitado, um conjunto com essas duas válvulas devem ser utilizadas.

Para a **quarta configuração**, por sua vez, utiliza-se o sinal proveniente de outro ramo do circuito para realizar o corte de sinal no ramo desejado. O dispositivo utilizado para isso consiste de duas válvulas 3/2 vias duplo pilotada, cada uma atuando num corte de sinal. Esta solução se baseia na utilização de um sinal responsável pela habilitação de um ramo e desabilitação de outro simultaneamente, e de outro sinal para a operação inversa.

As configurações seguintes têm como base a utilização de métodos específicos para a eliminação de problemas de contra-sinal. Esse tipo de solução é comumente encontrado em dispositivos industriais envolvendo circuitos complexos compostos de diversas etapas em seqüência. Para a **quinta configuração** tem-se a utilização do método cascata e para a **sexta configuração**, o método passo-a-passo.

Para cada caso, analisar as características tanto funcionais quanto do ponto de vista financeiro, identificando suas limitações e as aplicações em que as mesmas apresentam melhor rendimento. Por fim, identificar dentre as configurações encontradas, a mais adequada para o caso específico do estudo de caso.

4. Resolução

a) Primeira Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

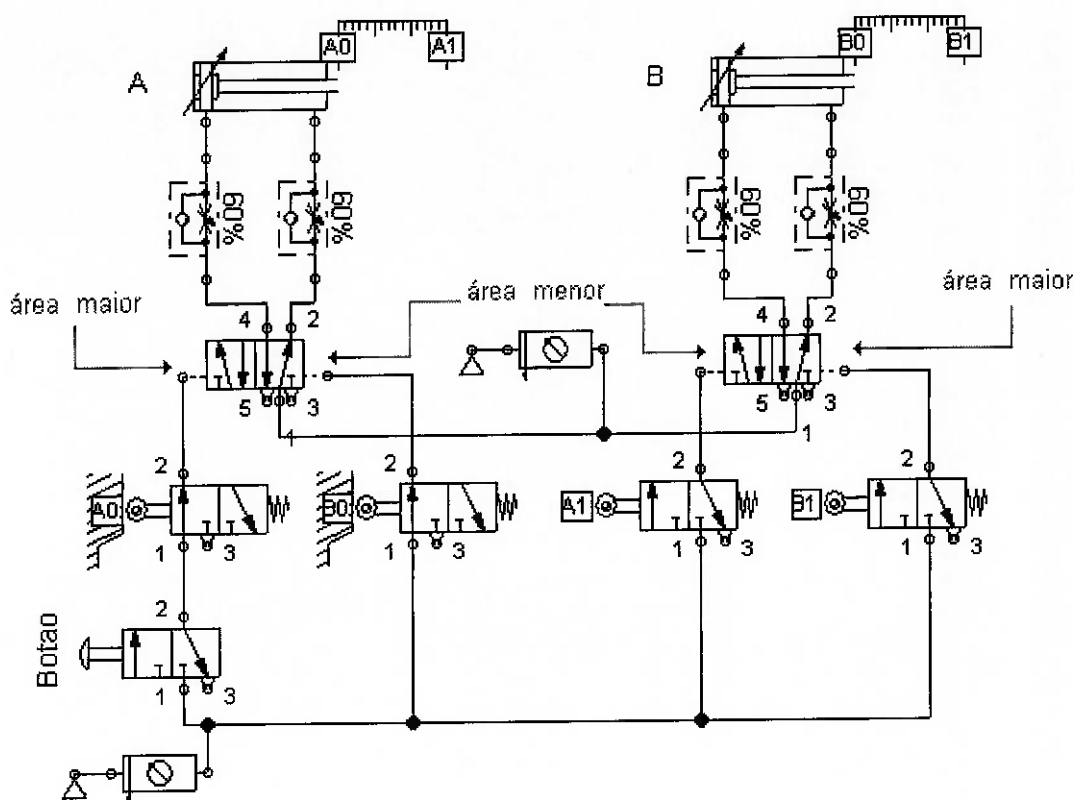


Figura 5.39 - Projeto do circuito pneumático

Pelo fato de a válvula de comando em questão se tratar de uma válvula especial, não comumente encontrado no mercado, não será possível realizar a montagem deste circuito no laboratório, ficando a cargo do aluno, apenas identificar as características relevantes do circuito projetado.

b) Segunda Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

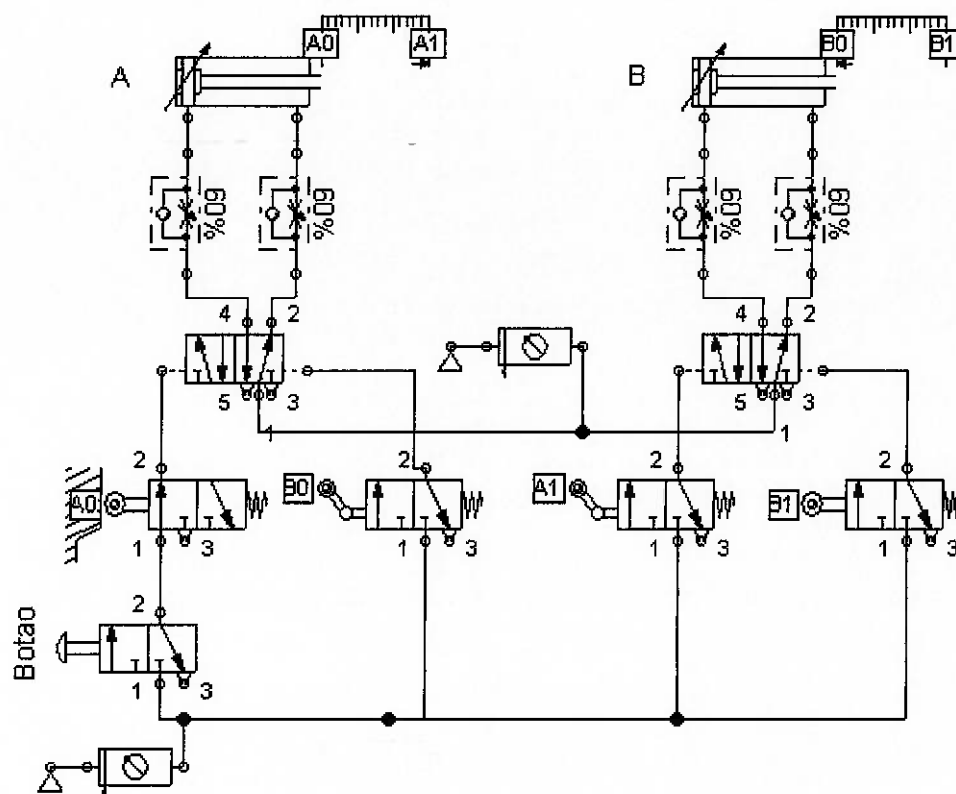


Figura 5.40 - Projeto do circuito pneumático

Apesar de a válvula fim-de-curso acionada por rolete escamuteável também se tratar de uma válvula especial, será possível realizar a montagem do circuito tendo em vista a disponibilidade da mesma no laboratório da Escola Politécnica.

2. Montagem do circuito pneumático:

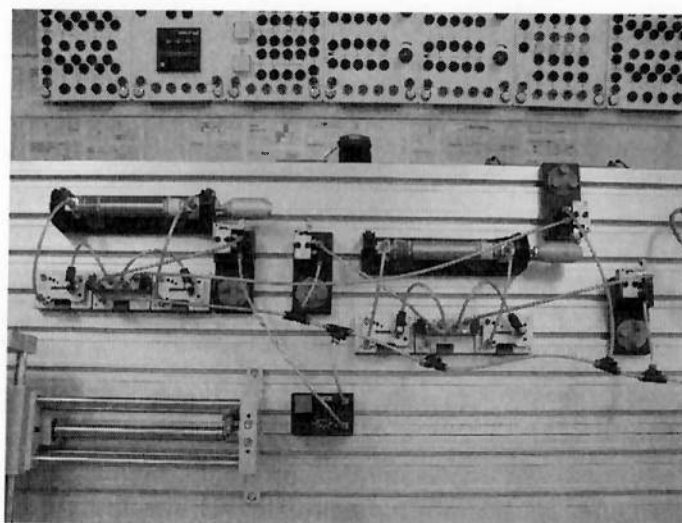


Figura 5.41 – Montagem

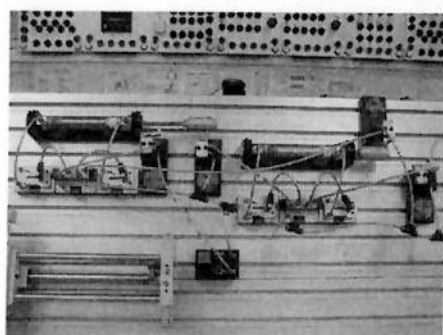


Figura 5.42 – Avanço do primeiro cilindro e liberação de pulso de sinal pelo rolete escamuteável

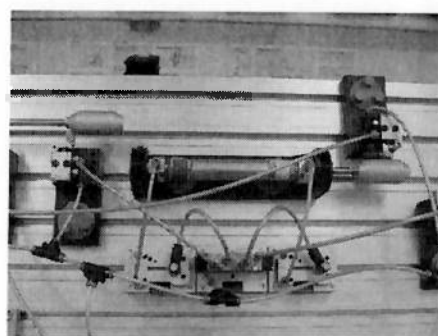


Figura 5.43 – Avanço do segundo cilindro sem acionar o rolete escamuteável

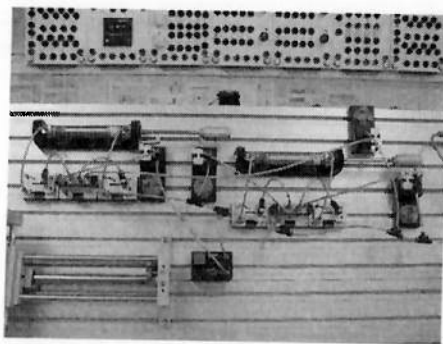


Figura 5.44 – Acionamento do fim-de-curso do segundo cilindro permite o próprio recuo

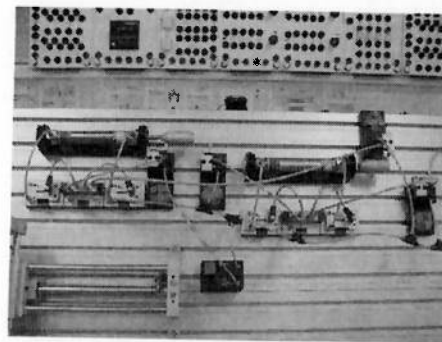


Figura 5.45 – Recuo do primeiro cilindro

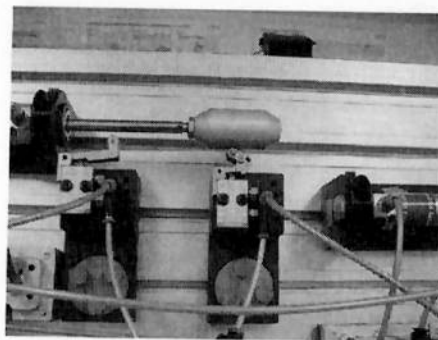


Figura 5.46 – Detalhe do funcionamento do rolete escamuteável

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

c) Terceira Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

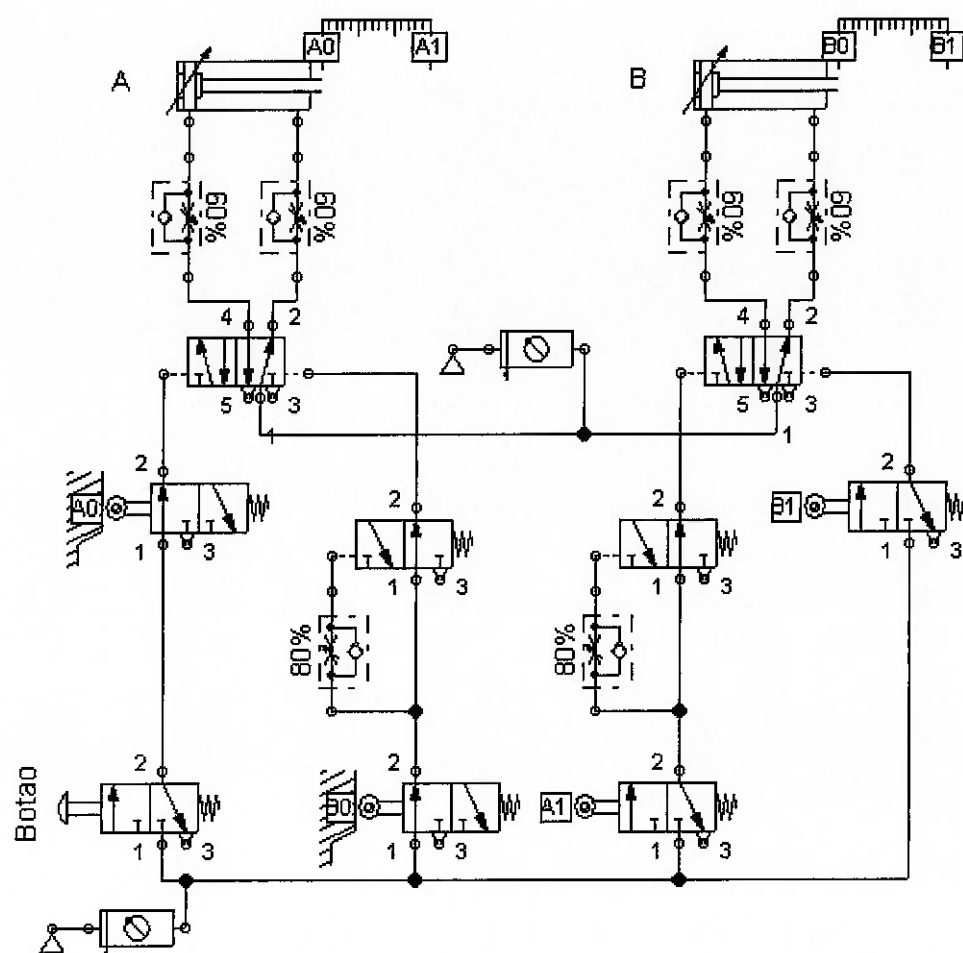


Figura 5.47 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

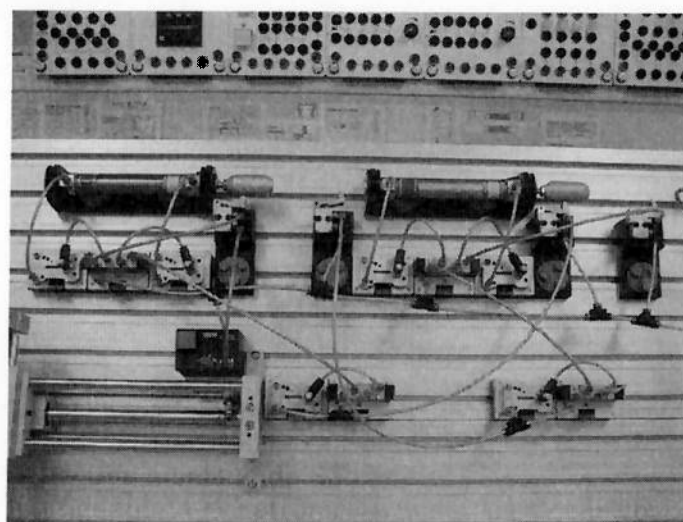


Figura 5.48 – Montagem

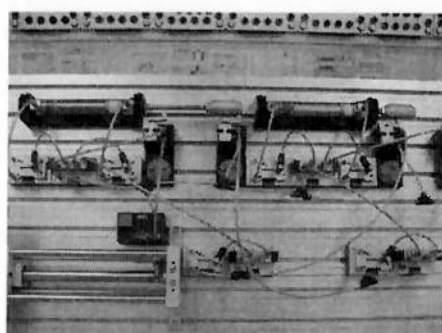


Figura 5.49 – Acionamento do primeiro cilindro

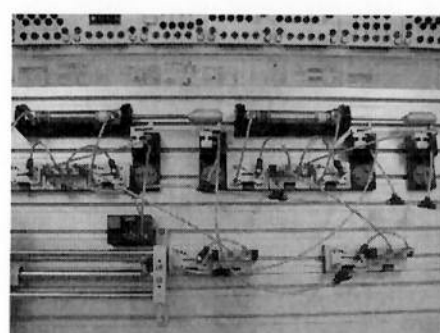


Figura 5.50 – Acionamento do segundo cilindro

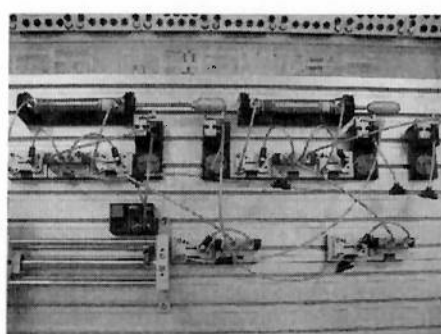


Figura 5.51 – Recuo do segundo cilindro

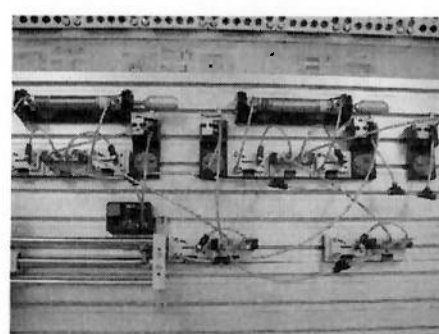


Figura 5.52 – Recuo do primeiro cilindro

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

d) Quarta Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

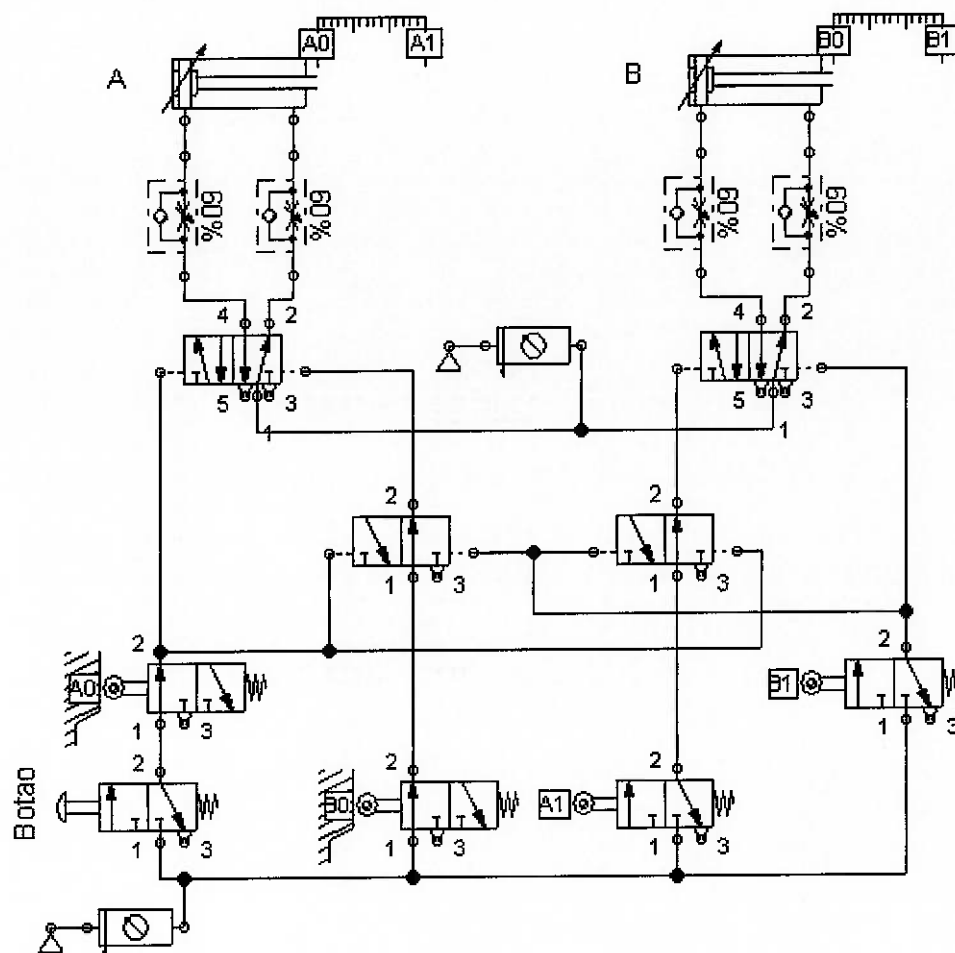


Figura 5.53 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

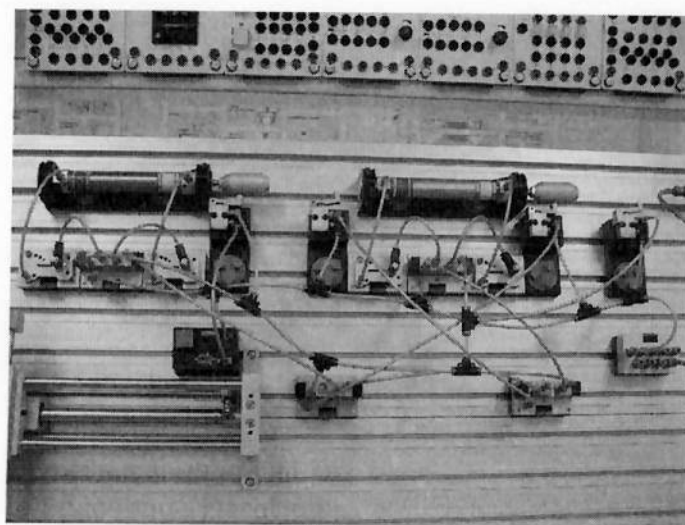


Figura 5.54 – Montagem

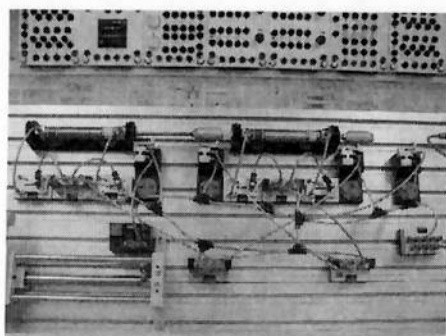


Figura 5.55 – Avanço do primeiro cilindro

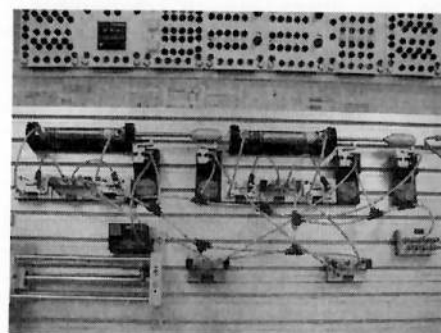


Figura 5.56 – Avanço do segundo cilindro

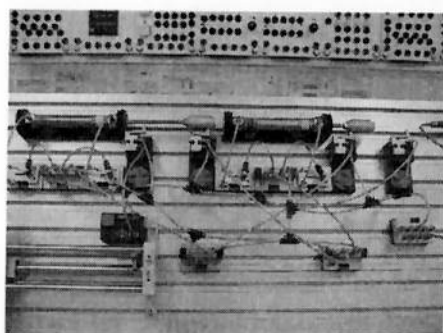


Figura 5.57 – Recuo do segundo cilindro

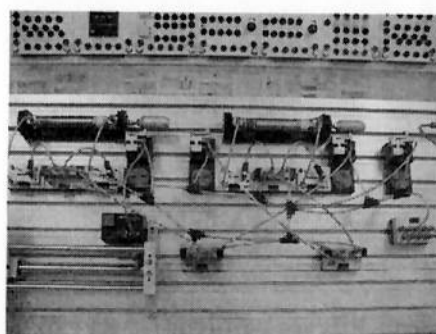


Figura 5.58 – Retorno do primeiro cilindro

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

e) Quinta Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

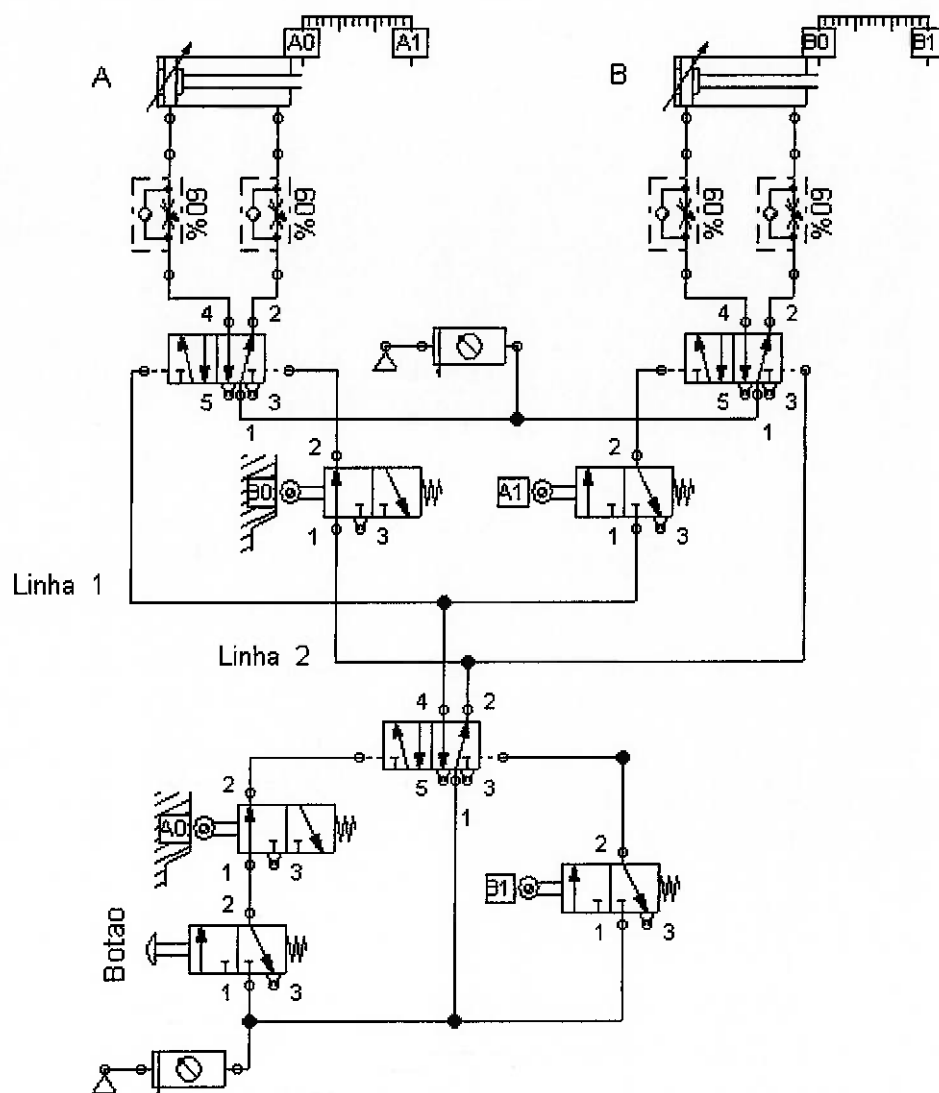


Figura 5.59 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

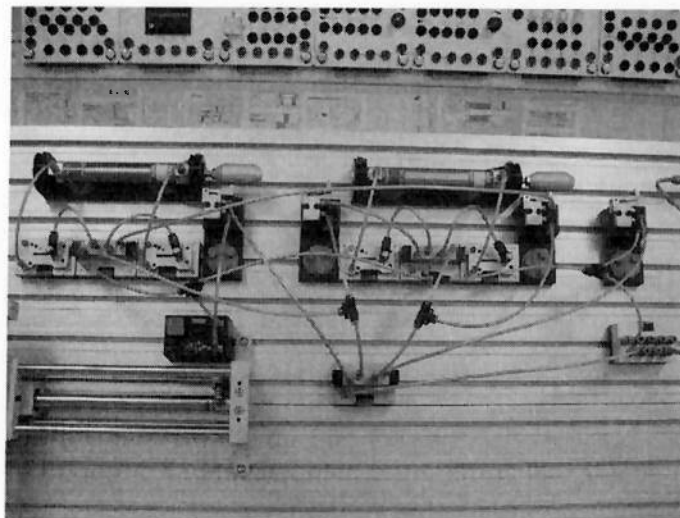


Figura 5.60 – Montagem

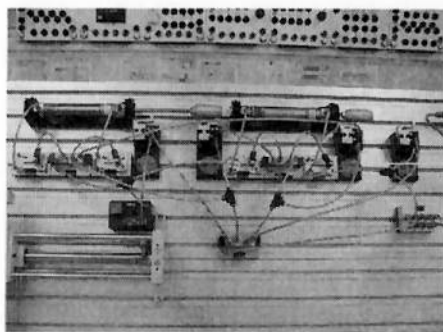


Figura 5.61 – Avanço do primeiro cilindro

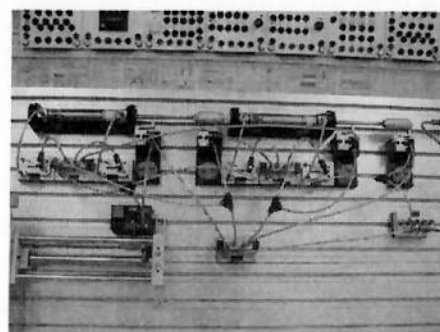


Figura 5.62 – Avanço do segundo cilindro

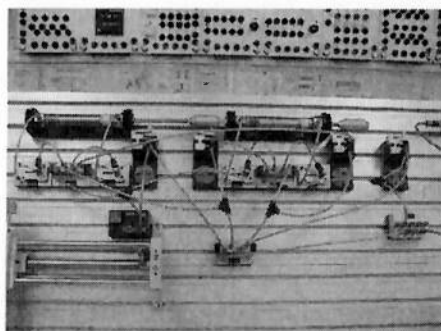


Figura 5.63 – Recuo do segundo cilindro

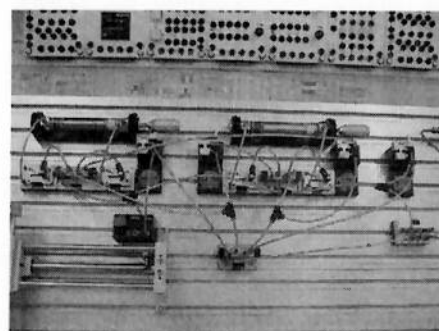


Figura 5.64 – Recuo do primeiro cilindro

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

f) Sexta Configuração:

1. Projeto do circuito pneumático:

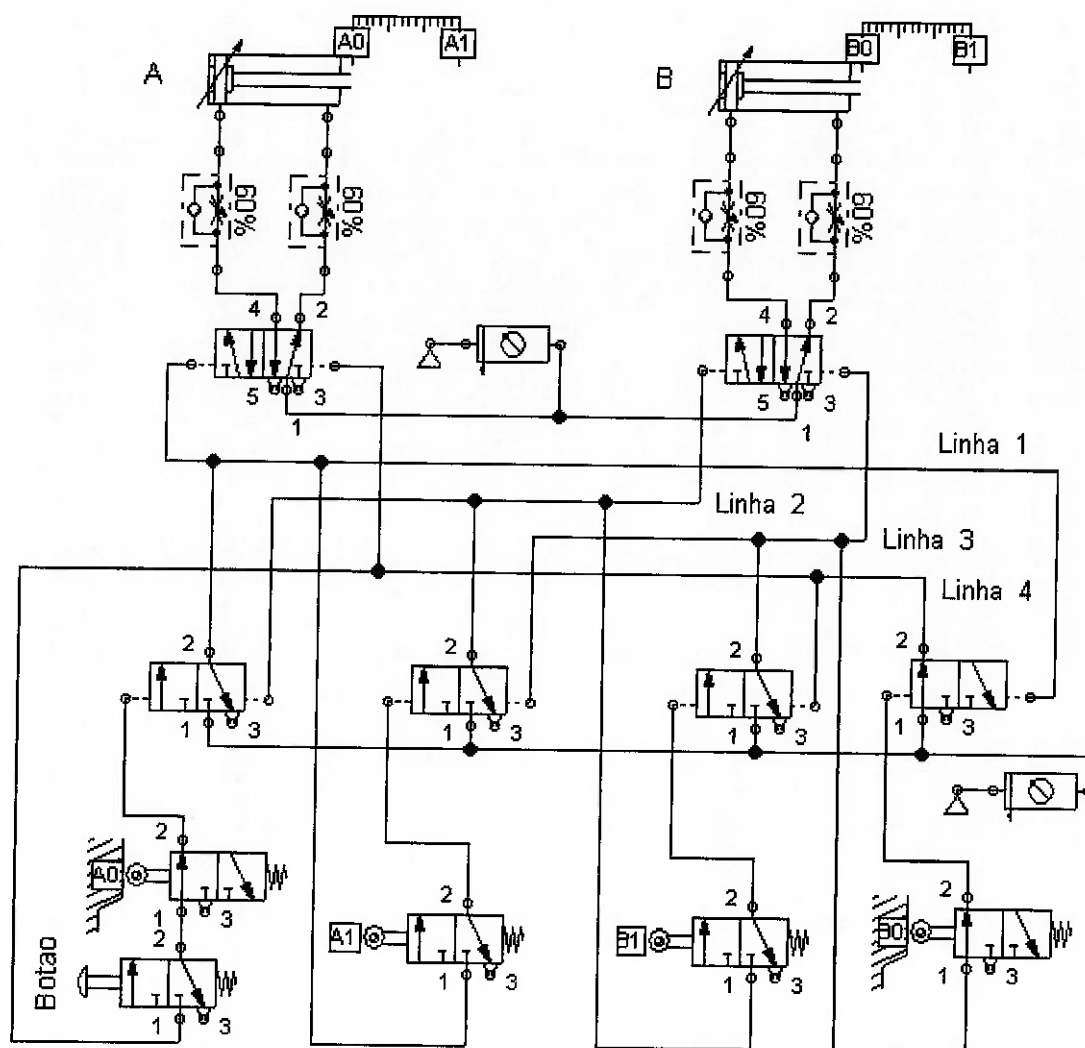


Figura 5.65 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

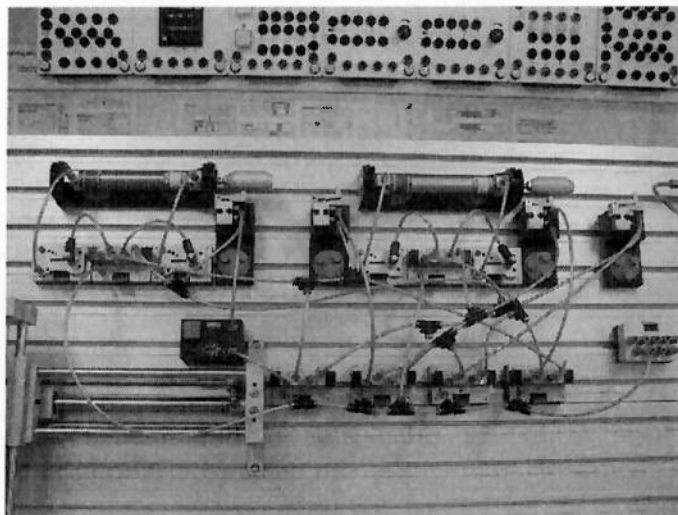


Figura 5.66 – Montagem

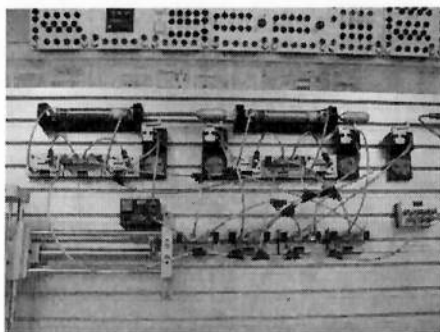


Figura 5.67 – Avanço do primeiro cilindro

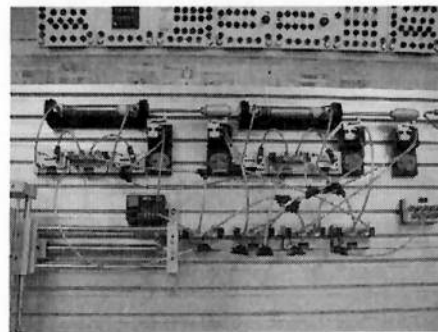


Figura 5.68 – Avanço do segundo cilindro

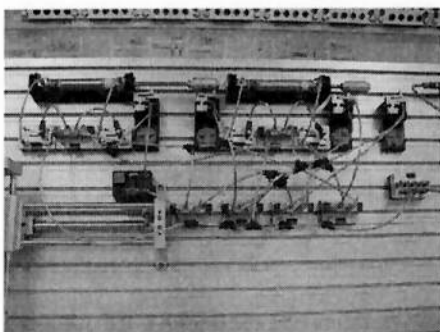


Figura 5.69 – Recuo do segundo cilindro

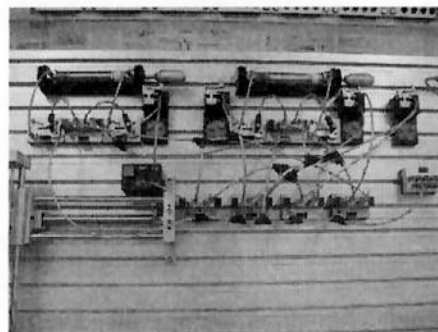


Figura 5.70 – Recuo do primeiro cilindro

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

5. Componentes e Equipamentos Necessários

a) Primeira Configuração:

Tabela 5.8 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada “modificada”
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

b) Segunda Configuração:

Tabela 5.9 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	2 válvulas fins-de-curso
	2 válvulas acionada por rolete escamuteável
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

c) Terceira Configuração:

Tabela 5.10 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	2 válvulas 3/2 vias simples piloto e retorno por mola
	2 válvulas reguladoras de fluxo
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

d) Quarta Configuração:

Tabela 5.11 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	2 válvulas 3/2 vias bipilotada
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

e) Quinta Configuração:

Tabela 5.12 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

f) Sexta Configuração:

Tabela 5.13 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	4 válvulas 5/2 vias bipilotada
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladoras de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.14 - Carga horária da experiência

	Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
1ª Configuração	30 min	-
2ª Configuração	30 min	15 min
3ª Configuração	90 min	20 min
4ª Configuração	90 min	25 min
5ª Configuração	60 min	45 min
6ª Configuração	60 min	60 min

7. Resultados Esperados

Com a realização desse estudo de caso, espera-se que o aluno conheça diferentes alternativas para os problemas envolvendo contra-sinais, sendo capaz de analisar para quais aplicações cada solução criada é mais indicada. Com isso, espera-se desvencilhar o aluno das típicas soluções com base nos métodos cascata e passo-a-passo, desenvolvendo o raciocínio e incorporando novas alternativas para eventuais situações em que os métodos de eliminação de contra-sinal não são aplicáveis.

Para o estudo de caso apresentado, em que são utilizados apenas dois cilindros de dupla-ação, espera-se que o aluno, após a montagem de todos os circuitos, aponte a solução baseada no método cascata como a mais adequada para a situação, indicando a terceira e a quarta solução como excelentes alternativas. É interessante que o aluno observe que para circuitos simples, a aplicação do método passo-a-passo não é vantajosa tendo em vista a quantidade de componentes utilizados. Com relação às soluções 1 e 2, pretende-se apenas informar a existência de alternativas mais

simples que não deixam de atender aos requisitos de funcionamento. Deve-se apenas ressaltar que no primeiro caso, o custo de usinagem de uma válvula especial com áreas diferentes para cada piloto só é justificado para situações em que o dispositivo será produzido em larga escala e que, no segundo caso, a pouca confiabilidade do rolete escamuteável em termos funcionais e de segurança faz com que a mesma seja proibida em diversos países.

5.1.5 Experimento 5

1. Objetivos

- Realizar a simulação da estação de distribuição do Mini-CIM nas bancadas didáticas de Festo;
- Aprimorar a aplicação do método passo-a-passo tradicional em problemas com complexidade superior;
- Transmitir os conceitos necessários para o uso da válvula de sequência industrial na aplicação do método passo-a-passo industrial;

2. Estudo de Caso

- Mini-CIM (Fábrica Modelo);

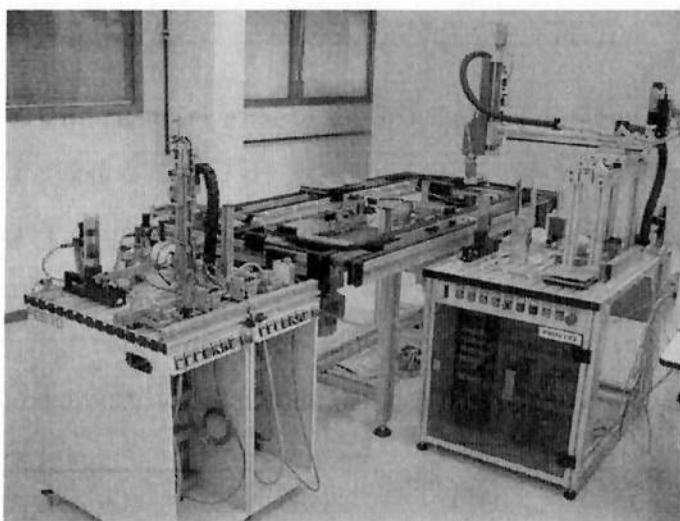


Figura 5.71 - Mini-CIM

A automação industrial de processos produtivos envolvendo dispositivos pneumáticos, elétricos e controladores programáveis (CPs) pode ser bem representada pela fábrica modelo desenvolvido pela empresa Festo, conhecida também como Mini-CIM. O Mini-CIM faz parte do kit didático da Festo,

representando a integração dos conceitos mais importantes de automação de SEDs, a menos da hidráulica. Dessa forma, é possível identificar tanto a presença de componentes pneumáticos e elétricos quanto componentes mais complexos, como as redes industriais de comunicação via Profibus e ASi, os motores servo-controlados e os CPs. Essa fábrica modelo, como o próprio nome já diz, simula o funcionamento de todas as atividades envolvidas em uma fábrica de forma automatizada, realizando a transformação da peça bruta em um produto acabado, passando por etapas de testes de qualidade, montagem, usinagem e estocagem em armazéns. Cada etapa é dividida em módulos (estações), sendo cada uma delas responsável por uma atividade específica, tal como em uma indústria.

Dessa forma, na estação de alimentação tem-se estocada a peça bruta que, no caso, tratam-se de peças cilíndricas nas cores preta, rosa ou prateada. A atividade executada neste módulo consiste na retirada da peça do magazine, posicionando-a para o transporte da mesma à estação seguinte, e finalizando sua tarefa com a realização efetiva desse transporte por meio da ação do vácuo.

Na estação seguinte (estação de teste), a peça passa por um processo de identificação do tipo de peça, consistindo na avaliação por meio da cor e da altura da peça. Peças que não satisfaçam os limites de altura pré-estabelecidos são descartadas. As demais são encaminhadas uma a uma para um pallet responsável pelo transporte à estação de montagem por meio de uma esteira.

Esta estação, por sua vez, está equipada com um braço controlado servo-mecanicamente contendo um dispositivo de garra acoplado em sua extremidade. O dispositivo tem a função de acrescentar à peça bruta um pistão e uma mola, fechando-a com uma tampa e realizando o transporte do pallet com a peça montada de volta à esteira transportadora. Cabe ressaltar que o tipo de pistão acrescentado varia conforme a cor da peça.

Na próxima estação (estação de usinagem), a peça é introduzida em um centro de usinagem por meio de um braço robótico, onde será trabalhada até adquirir a forma do produto final. Ao fim da usinagem o braço robótico retira a peça da

máquina, recolocando-a de volta ao pallet, o qual é encaminhado para a última estação.

Esta, nomeada de estação de armazenamento, consiste em um armazém automatizado equipado com um sistema de transporte AS/RS, o qual é responsável pelo transporte inteligente dos pallets carregado de peça em posições livres nas prateleiras, e pelo reabastecimento de pallets vazios no sistema produtivo da fábrica modelo.

Cabe destacar que na fábrica modelo presente no laboratório do ITBA as duas últimas estações ainda não foram instaladas.

3. Enunciado

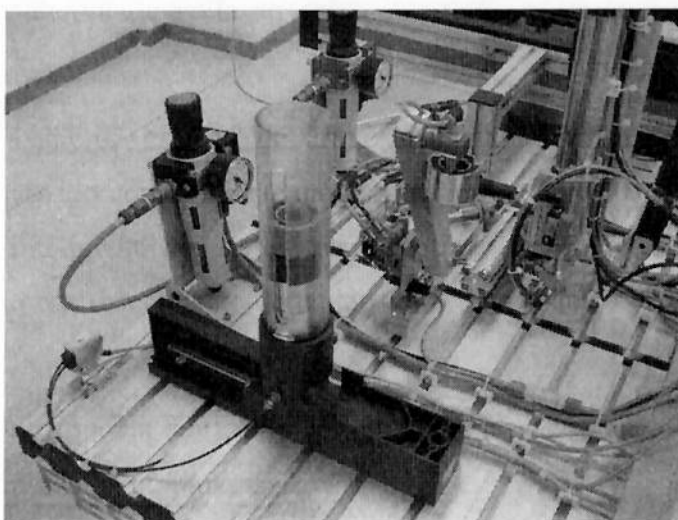


Figura 5.72 - Estação de Distribuição

- Analisar o funcionamento da estação de alimentação do Mini-CIM identificando cada passo contido nesse processo;
- Elaborar o diagrama trajeto-passo conforme a análise realizada previamente;
- Identificar os componentes necessários para a reprodução da mesma atividade nas bancadas didáticas da Festo;

- Realizar no FluidSim-P o projeto do circuito pneumático equivalente utilizando o método passo-a-passo tradicional (item a) e o método passo-a-passo industrial (item b);
- Utilizar um botão para início do processo e um para parada;
- Considerar um botão de trava indicativo da presença ou não de peça no magazine;
- Analisar as vantagens e desvantagens do método passo-a-passo tradicional em relação ao método intuitivo, realizado em experiências anteriores, e em relação ao método passo-a-passo industrial;
- Verificar os aspectos construtivos quando da realização da montagem;

4. Resolução

a)

1. Diagrama trajeto-passo:

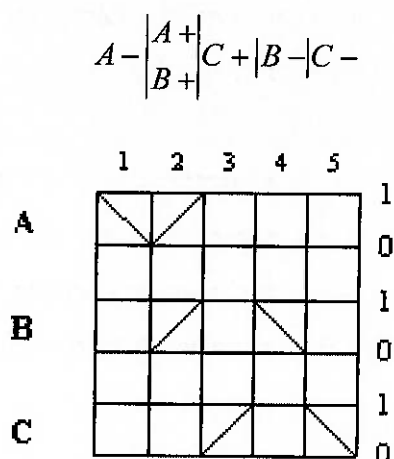


Figura 5.73 - Diagrama trajeto-passo

2. Projeto do circuito pneumático:

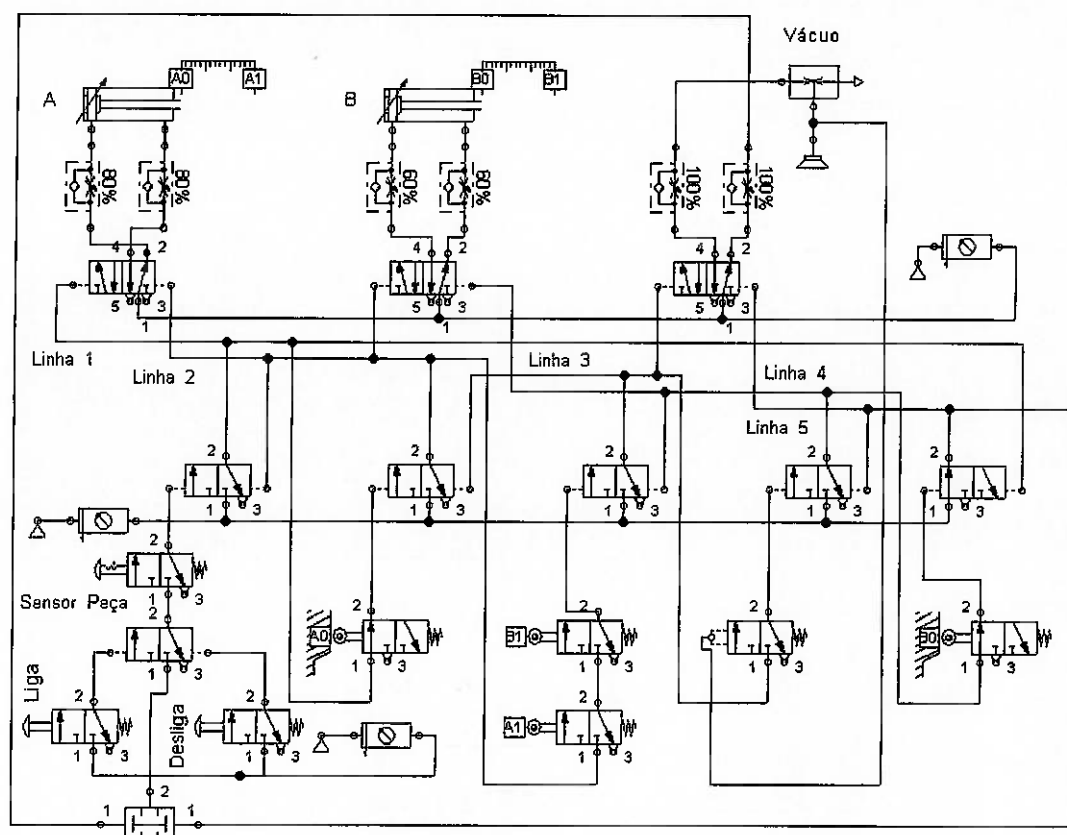


Figura 5.74 - Projeto do circuito pneumático

3. Montagem do circuito pneumático:

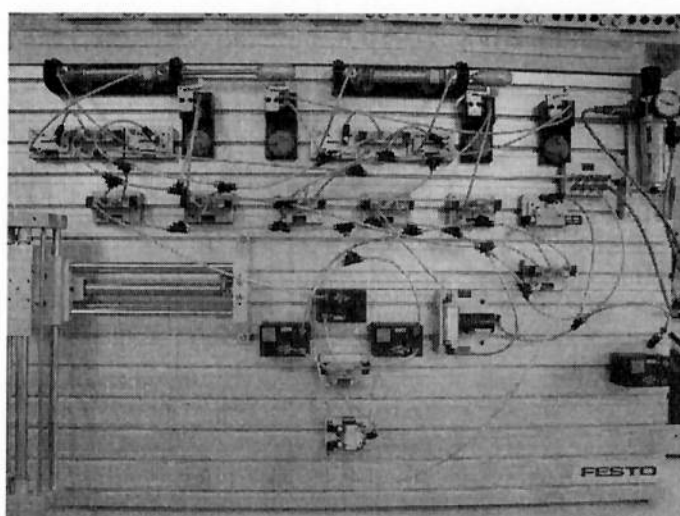


Figura 5.75 – Montagem

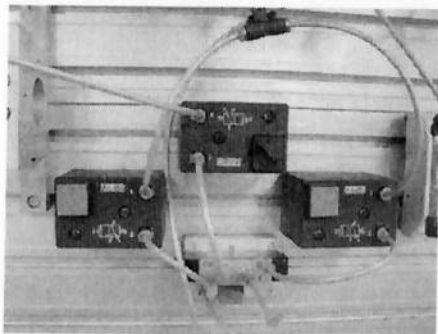


Figura 5.76 – Botões de acionamento e botão com trava indicativo de peça

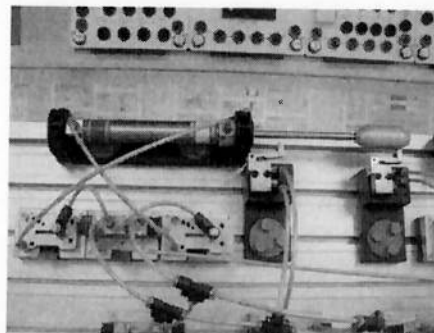


Figura 5.77 – Posição inicial

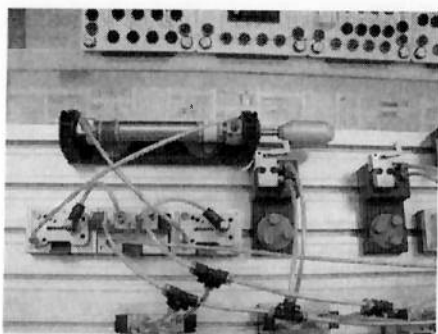


Figura 5.78 – Posiciona peça para o transporte

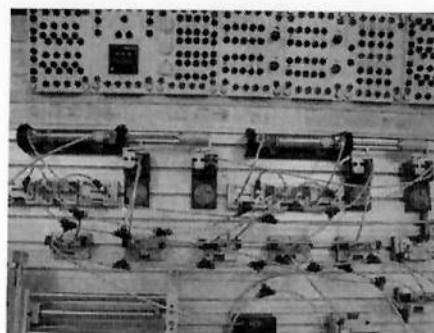


Figura 5.79 – Chegada do atuador rotativo juntamente com o recuo do pistão para o armazém

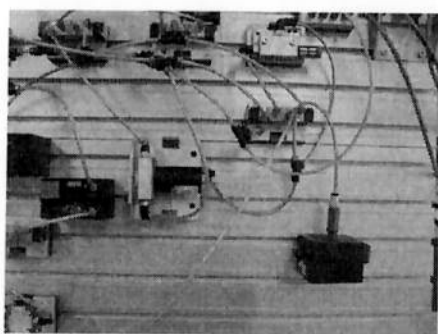


Figura 5.80 - Acionamento do vácuo



Figura 5.81 – Transporte da peça com vácuo acionado

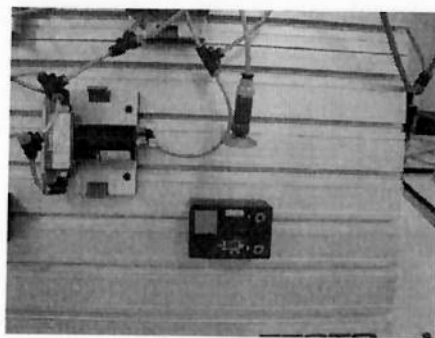


Figura 5.82 – Desacionamento do vácuo e retorno a posição inicial

OBS: arquivo de vídeo disponível

b)

1. Diagrama trajeto-passo:

O diagrama trajeto-passo para a configuração com a válvula de seqüência industrial é o mesmo.

2. Projeto do circuito pneumático:

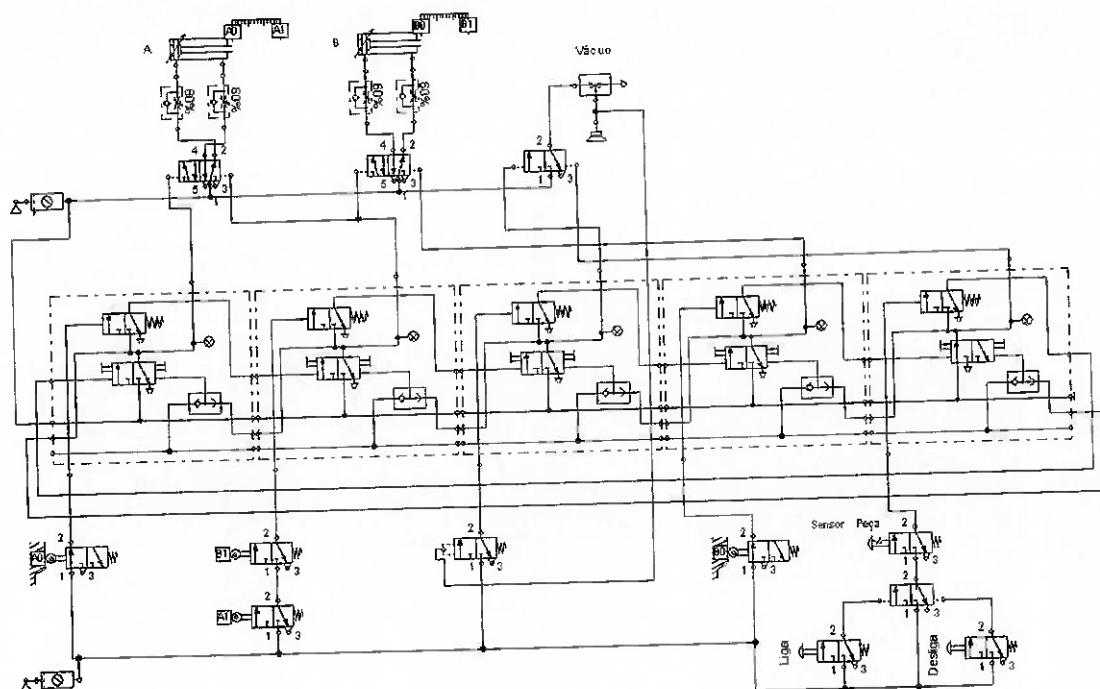


Figura 5.83 - Projeto do circuito pneumático

3. Montagem do circuito pneumático:

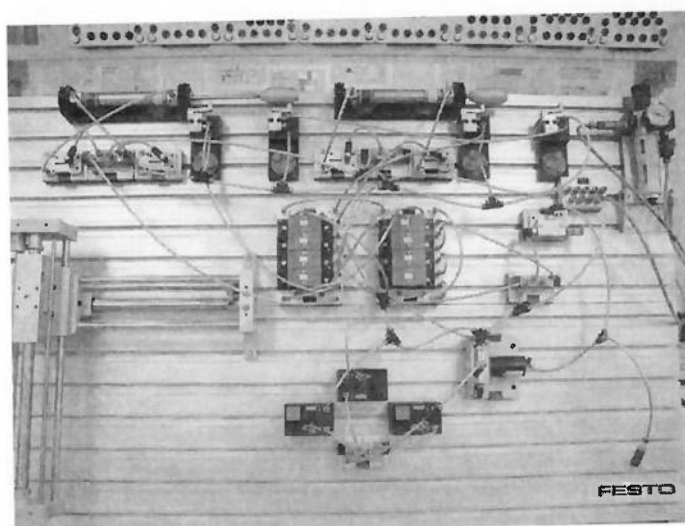


Figura 5.84 – Montagem

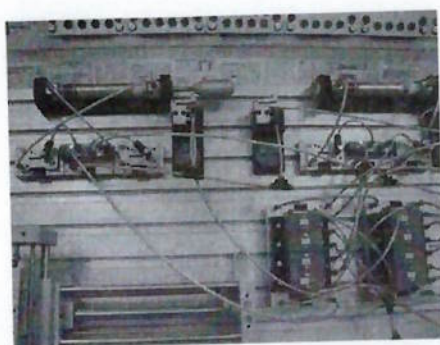


Figura 5.85 – Posiciona peça para o transporte

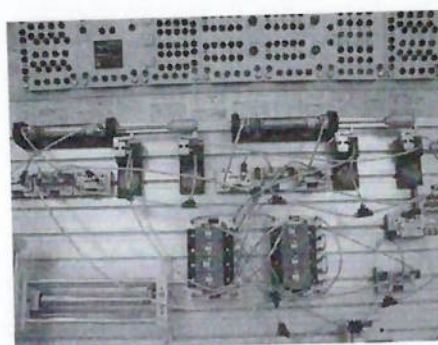


Figura 5.86 – Chegada do atuador rotativo juntamente com o recuo do pistão para o armazém

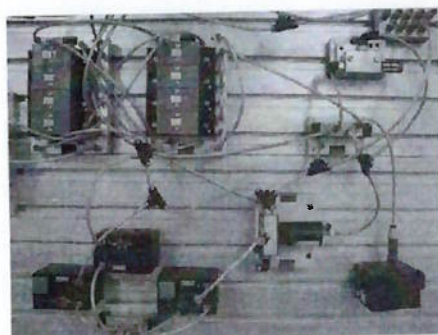


Figura 5.87 – Acionamento do vácuo



Figura 5.88 – Transporte da peça com vácuo acionado



Figura 5.89 – Desacionamento do vácuo e retorno a posição inicial

OBS: arquivos de vídeo disponível

5. Componentes e Equipamentos Necessários

a)

Tabela 5.15 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
	1 ventosa com sucção por vácuo
Elementos de Comando	3 válvulas 5/2 vias bipilotada
	6 válvulas 3/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvula de vácuo
	1 válvula "E"
Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	1 botão com trava e retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
	1 válvula 3/2 vias acionada por sinal de vácuo
Elementos Auxiliares	6 válvulas reguladoras de fluxo

b)

Tabela 5.16 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
	1 ventosa com sucção por vácuo
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
	2 válvula 3/2 vias bipilotada
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvula de vácuo
	1 válvula passo-a-passo industrial

Elementos de Sinais	1 botão retorno por mola
	1 botão com trava e retorno por mola
	4 válvulas fins-de-curso
	1 válvula 3/2 vias acionada por sinal de vácuo
Elementos Auxiliares	6 válvulas reguladoras de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.17 - Carga horária da experiência

	Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
Item a	3 h 30 min	90 min
Item b	90 min (item a já projeto)	30 (item a já montado)

7. Resultados Esperados

Espera-se que o aluno entenda o funcionamento da estação de distribuição do Mini-CIM de modo que o mesmo possa identificar cada dispositivo atuante, sendo capaz de extrapolar o seu funcionamento para um circuito puramente pneumático utilizando-se apenas dos componentes didáticos da empresa Festo. Dessa forma, o experimento visa desenvolver a capacidade de análise do aluno, fator esse muito importante na detecção de erros e falhas nos circuitos, além de capacitá-lo a desenvolver sistemas com tecnologia e complexidade semelhantes. Nesse contexto, o aluno deve ter entendido o funcionamento da válvula de vácuo e da válvula 5/2 vias pilotada por sinal de vácuo, sabendo o modo como ambas trabalham em conjunto dentro de um circuito pneumático. Com o desenvolvimento do experimento, o aluno

deve ser capaz de projetar circuitos complexos pelo método passo-a-passo, verificando de fato as vantagens da sua aplicação nesse tipo de circuito em detrimento do método intuitivo. Deve também estar apto a utilizar tanto o método passo-a-passo tradicional quanto o industrial, verificando na prática as diferenças entre os dois tipos de solução. Ao fim do experimento, é importante que o aluno tenha notado a facilidade proporcionada pelo segundo método, oferecendo vantagens tanto no projeto do circuito quanto em sua montagem, o que resulta em uma solução mais simples, compacta e fácil de se realizar o acompanhamento de cada passo durante a execução da simulação. Deve-se, no entanto, se conscientizar do custo mais elevado que representa uma solução desse nível, não sendo sempre a solução mais vantajosa.

5.1.6 Experimento 6

1. Objetivos

- Instalar um dispositivo de segurança em dispositivos automáticos baseados em circuitos pneumáticos;
- Instalar um botão para seleção entre funcionamento manual (passo-a-passo) e funcionamento automático;
- Reforçar a técnica de projeto baseado no método passo-a-passo industrial;
- Adquirir o conhecimento do funcionamento dos botões de emergência e de seleção manual/automático das estações da Mini-CIM;

2. Estudo de Caso

- Instalação de sistema de emergência e de seletor para operação manual ou automática;

Os equipamentos automatizados para realizarem atividades seqüenciais sem contar com a interferência humana devem conter um dispositivo de emergência que iniba imediatamente qualquer ação que possa oferecer riscos ao operador, à máquina ou mesmo à peça em trabalho. Dessa forma, considerando-se um consultório odontológico que deseja automatizar o processo de solda ponto em módulos de aparelhos dentários fixos (brackets), unindo-o a uma tela metálica que melhora a aderência à massa para fixação no dente, o projetista deve levar em conta no projeto do circuito pneumático a inclusão de um dispositivo de segurança equipado com um botão de emergência. Esse botão deve garantir a parada do processo no instante do seu acionamento, sendo necessário destravá-lo a fim de possibilitar a realização de um novo processo. O dispositivo de segurança deve contar ainda com um botão para confirmar o destravamento do botão de emergência (Quit) e outro para retornar os atuadores à configuração inicial (Reset).

Como complemento para um melhor funcionamento, o sistema deve contar ainda com uma chave que permita a seleção entre o modo de operação automática e o

modo de operação manual. Este último deve permitir a realização passo-a-passo das etapas presentes no dispositivo em questão, realizando cada passo sempre que o botão de início é pressionado. Com isso, espera-se verificar o seu correto funcionamento, permitindo ainda realizar os ajustes no posicionamento de cada atuador de forma a atingir os resultados esperados com a qualidade desejada.

Tendo isso planejado, o projetista deve acoplar a solução encontrada ao circuito de comando dos atuadores responsáveis pelo processo de solda propriamente dito, em que um deles posiciona as peças metálicas a serem soldadas no local desejado e o outro comanda a atuação dos eletrodos de modo a permitir a descarga da energia armazenada pelos capacitores. Cabe destacar que a descarga ocorre automaticamente sempre que um certo nível de pressão entre os eletrodos é atingido.

Assim, com a montagem do dispositivo realizada, caberá ao responsável pela solda apenas inserir o pedaço de malha metálica juntamente com o bracket em uma cavidade dimensionada adequadamente na extremidade do atuador de transporte, e pressionar o botão Start. Com isso, têm-se os seguintes passos realizados pelo dispositivo:

- Posicionamento das peças entre os eletrodos pelo cilindro de transporte;
- Acionamento dos eletrodos, em sentidos opostos, por outro cilindro até o contato destes com as peças a serem soldadas;
- Soldagem das peças resultante da pressão gerada no contato, permitindo o recuo imediato do cilindro de comando dos eletrodos;
- Retorno do cilindro de transporte com o bracket soldado à malha metálica, cabendo ao operador retirá-las e inserir novas peças para um novo processo;

Com esse dispositivo espera-se obter ganhos com a redução do tempo total que seria necessário num processo realizado manualmente, e ganhos com a qualidade no serviço tendo em vista a padronização do ponto de solda. Dessa forma, a realização do processo automaticamente representará vantagens não só pelo fato de evitar o

tempo de posicionamento manual das peças entre os eletrodos, como também devido à redução do esforço por parte do operador, já que a dificuldade no posicionamento é transferida para a máquina automatizada.

3. Enunciado

- Analisar o funcionamento do dispositivo de emergência e do modo de operação manual/automática da Mini-CIM;
- Elaborar o diagrama trajeto-passo do dispositivo de solda ponto descrito no estudo de caso, consistindo de 2 atuadores e 4 passos;
- Realizar o projeto do circuito pneumático no FluidSim-P, utilizando o método passo-a-passo industrial e integrando as soluções de segurança e funcionamento manual/automático observado na Mini-CIM;
- Elaborar a montagem do circuito nas bancadas didáticas da Festo;

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

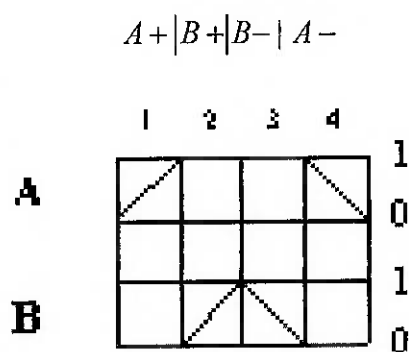


Figura 5.90 - Diagrama trajeto-passo

2. Projeto do circuito pneumático:

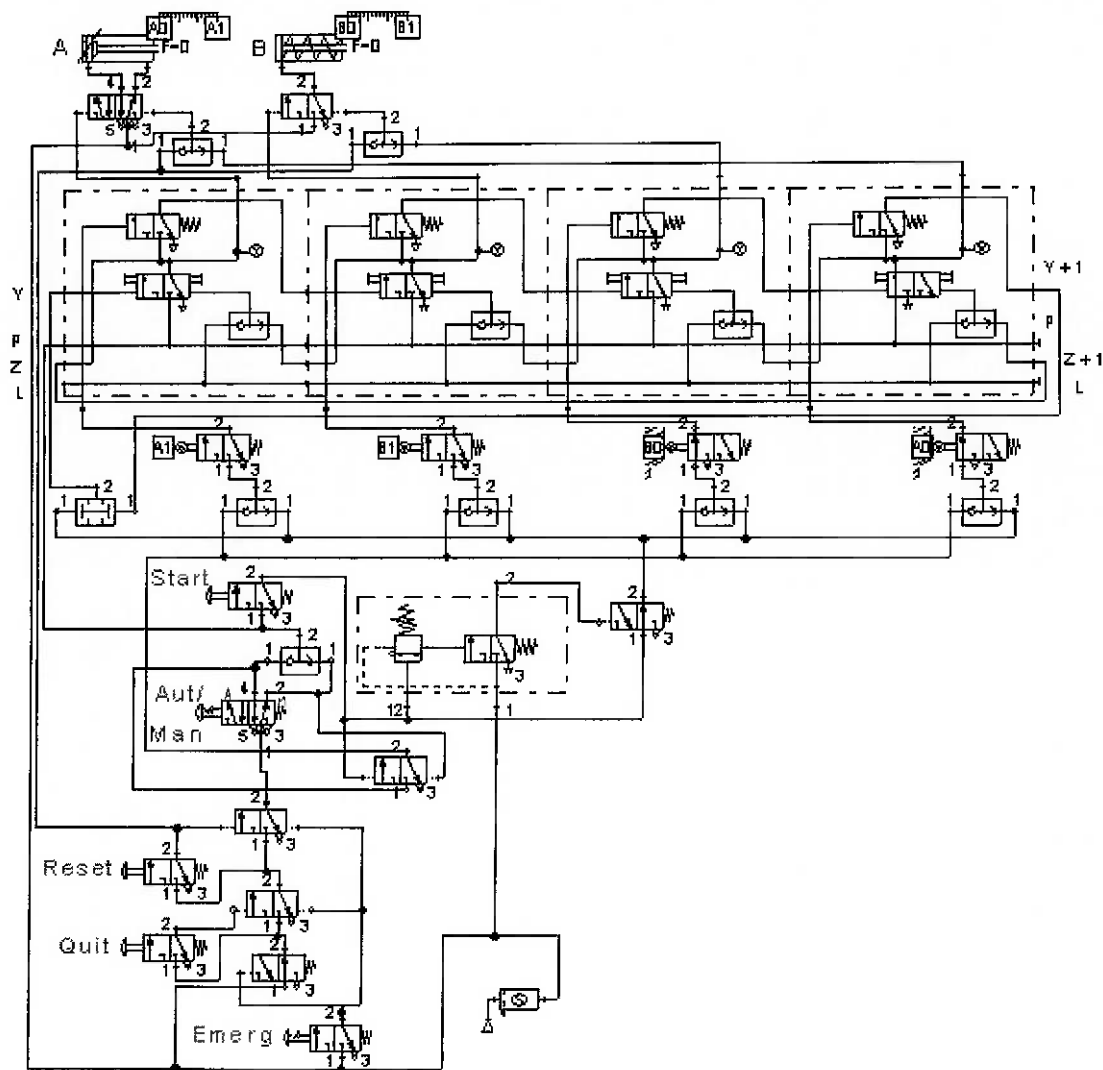


Figura 5.91 - Projeto do circuito pneumático

3. Montagem do circuito pneumático:

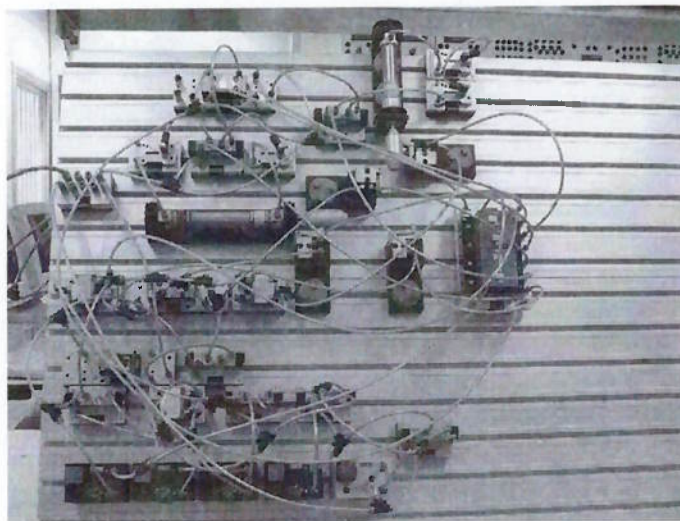


Figura 5.92 – Montagem

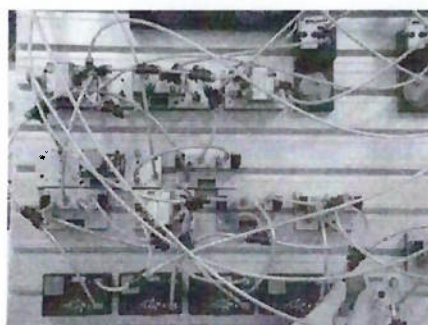


Figura 5.93 – Montagem

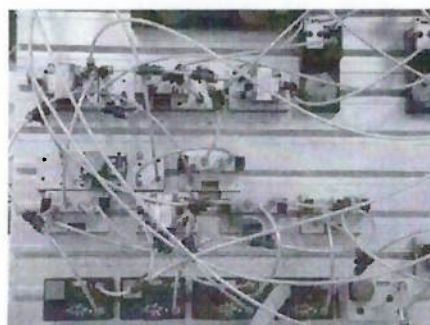


Figura 5.94 – Destravamento do botão de emergência

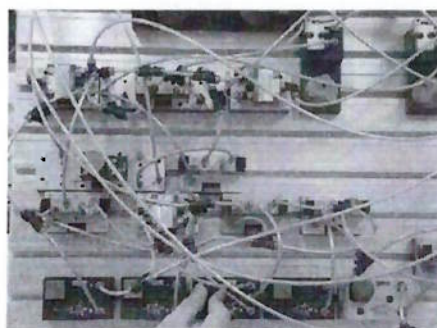


Figura 5.95 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit)

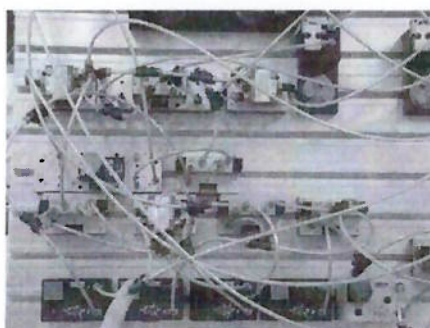


Figura 5.96 – Seleção do modo de operação automático

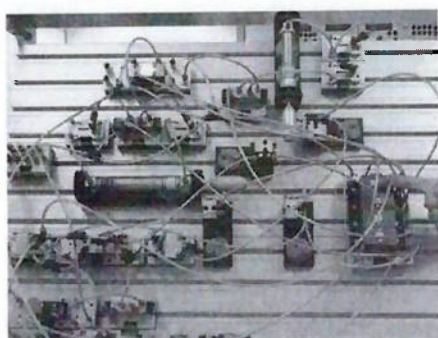


Figura 5.97 – Acionamento do botão de Reset para retornar os cilindros à posição inicial

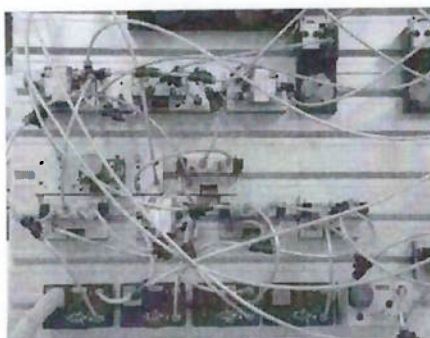


Figura 5.98 – Acionamento do último passo como pré-requisito para o funcionamento da válvula industrial

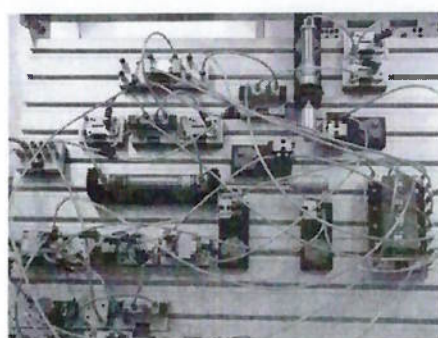


Figura 5.99 – Início do processo através do acionamento do botão Start

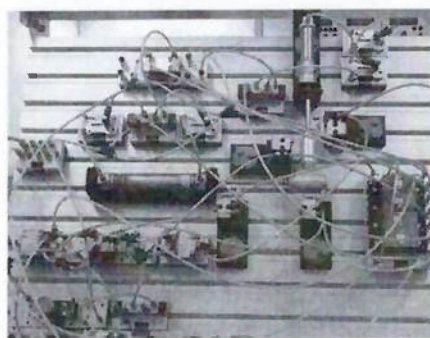


Figura 5.100 – Avanço do cilindro de transporte do bracket e da tela metálica

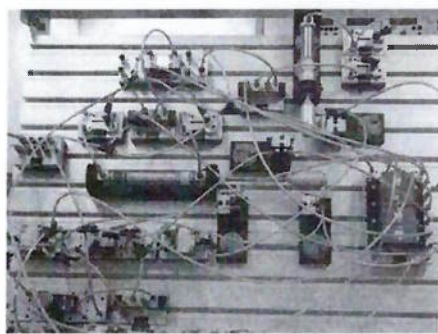


Figura 5.101 – Avanço do segundo cilindro realizando o contato dos eletrodos com as peças metálicas (soldagem)

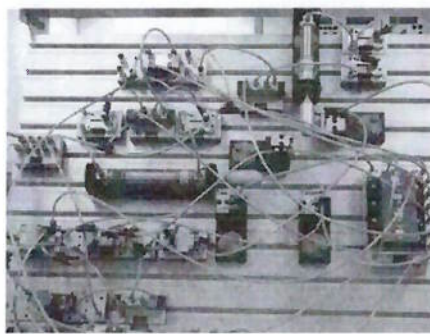


Figura 5.102 – Recuo do cilindro de acionamento dos eletrodos após a realização do ponto de solda

As figuras referem-se ao funcionamento no modo de operação automático. Para operação no modo manual, basta alterar a posição do botão com trava e pressionar o botão Start para a realização de cada passo. Cabe destacar que é possível iniciar um processo em um dos modos, alterar o estado no meio da execução e

finalizar o mesmo no outro modo. O funcionamento detalhado pode ser verificado em arquivo de vídeo disponibilizado em anexo.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.18 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
	1 cilindro de simples-ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias bipilotada
	4 válvulas 3/2 vias bipilotada
	2 válvulas 3/2 vias piloto simples e retorno por mola
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvula passo-a-passo industrial
	1 válvula de seqüência
	7 válvulas “OU”
	1 válvula “E”
Elementos de Sinais	3 botões retorno por mola
	1 botão com trava e retorno por mola
	1 botão de emergência
	4 válvulas fins-de-curso

6. Carga Horária

Tabela 5.19 – Carga horária da experiência

	Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
Item	4 horas	90 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 6, espera-se que o aluno seja capaz de reproduzir a construção completa da estação de distribuição da Mini-CIM, utilizando-se apenas de componentes pneumáticos. Paralelamente, espera-se que o aluno verifique a importância da instalação de dispositivos como o de segurança e o de seleção manual/automático, identificando corretamente as ações exercidas por esses dispositivos sobre a parcela do circuito pneumático referente ao comando dos cilindros de atuação. Com a assimilação desses conceitos, espera-se que o aluno esteja apto a aplicar a solução desenvolvida para qualquer circuito pneumático projetado, bem como realizar possíveis manutenções e atualizações em dispositivos já instalados, consolidando os requisitos necessários para o projeto de circuitos pneumáticos de qualquer natureza e aplicações.

5.2 Hidráulica

Para a área da hidráulica foram elaborados um número total de 4 experimentos. Da mesma forma que anteriormente, são apresentados por ordem crescente de dificuldade.

5.2.1 Experimento 1

1. Objetivos

- Realizar atividades sequenciais com uso de apenas uma válvula de comando;
- Transmitir os conceitos referentes à válvula limitadora de pressão, apresentando duas aplicações para a mesma;
- Ampliar a visão na aplicação de um motor hidráulico dentro de um circuito hidráulico;

2. Estudo de Caso

- Automatização do processo de parafusagem de alto torque;

Uma indústria produtora de máquinas de grande porte apresenta sérias dificuldades na fixação dos parafusos de seus produtos, dado o alto torque exigido nessa atividade. A solução encontrada para viabilizar esse processo foi a instalação de um dispositivo hidráulico equipado de um cilindro com extremidade no formato de chave-de-fenda e de um motor hidráulico. Dessa forma, o processo de parafusagem consistiria no posicionamento da peça a ser parafusada sob o cilindro, com o parafuso já posicionado sobre o furo rosqueado, seguido do acionamento do cilindro. Este executaria movimento de avanço e, ao entrar em contato com o parafuso, acionaria o motor automaticamente realizando torque no mesmo até a completa fixação. Ao fim desse processo, bastaria acionar a alavanca de recuo do

cilindro para que o motor hidráulico cesse o movimento e o cilindro retorne, liberando a peça já parafusada.

3. Enunciado

- Fazer o projeto do circuito hidráulico utilizando o FluidSim-H;
- Deve haver no circuito apenas um dispositivo de comando;
- O posicionamento da alavanca para a direita deve comandar o avanço do cilindro até o contato com o parafuso, quando ocorre o acionamento do motor hidráulico;
- Quando da completa fixação do parafuso, o operador deve acionar a alavanca para o lado oposto, comandando a parada do funcionamento do motor e o conseqüente recuo do cilindro;
- Elaborado o projeto, realizar a montagem do circuito utilizando as bancadas didáticas do laboratório;

4. Resolução

1. Projeto do circuito hidráulico:

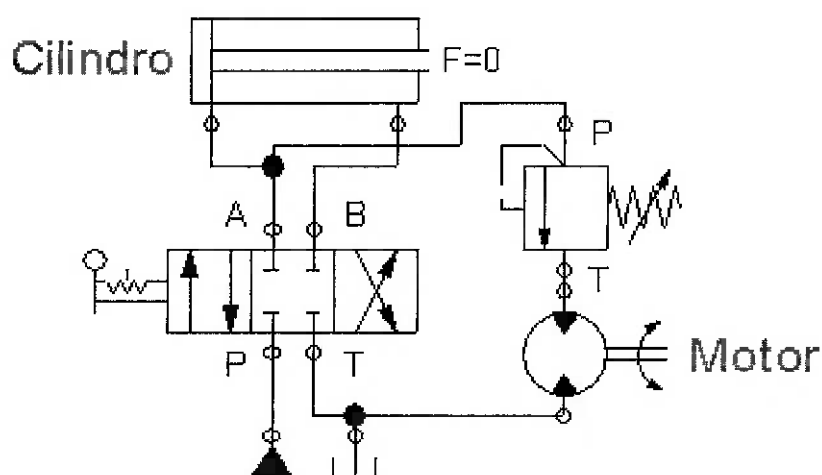


Figura 5.103 - Projeto do circuito pneumático

2. Montagem do circuito pneumático:

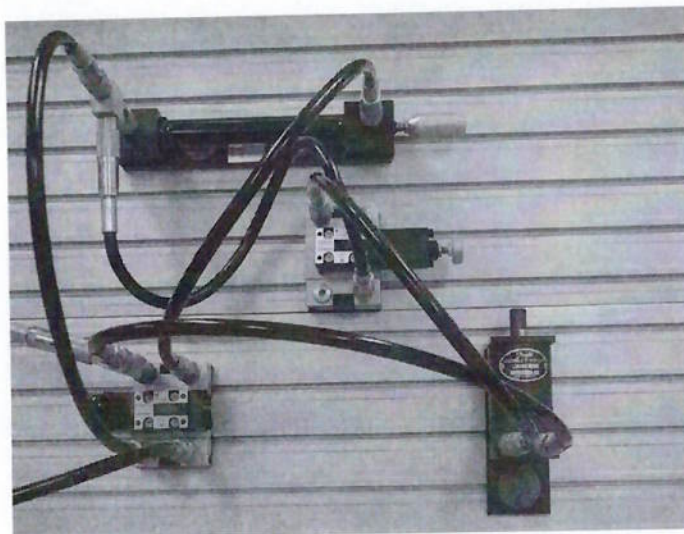


Figura 5.104 – Montagem

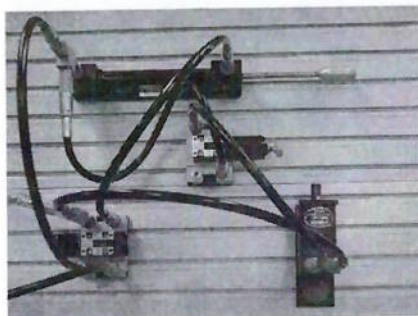


Figura 5.105 – Avanço do cilindro para o processo de parafusagem

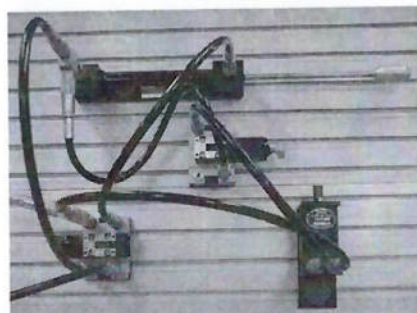


Figura 5.106 – Contato com o parafuso e consequente acionamento do motor hidráulico

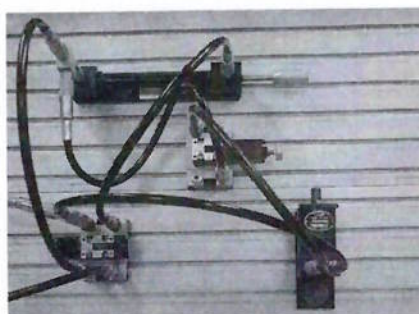


Figura 5.107 – Fim do processo de parafusagem e comando para recuo do cilindro



Figura 5.108 – Fim do processo

Para uma melhor compreensão do funcionamento do dispositivo, está à disposição um arquivos de vídeo contendo o circuito hidráulico projetado.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.20 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
	1 motor hidráulico
Elementos de Comando	1 válvula 4/3 vias com comando por alavanca com trava
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvula limitadora de pressão
Elementos Auxiliares	1 válvula reguladora de fluxo unidirecional

6. Carga Horária

Tabela 5.21 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
30 min	20 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 2, espera-se que o aluno seja capaz de realizar uma atividade sequencial automaticamente, utilizando-se da tecnologia hidráulica. Como consequência, o aluno deverá ter assimilado o funcionamento da válvula limitadora de pressão, bem como ter verificado a sua utilidade na possível variação de uso para o qual foi empregada. Paralelamente, espera-se que o aluno tenha oportunidade de trabalhar com um motor hidráulico, identificando uma forma de aplicação dentro de um sistema hidráulico. É interessante que o aluno perceba que no momento do fim do processo de parafusagem, em que o motor hidráulico transforma toda a energia de movimento em torque aplicado, o circuito hidráulico passa a utilizar automaticamente uma segunda válvula limitadora de pressão instalada na própria bomba (esta utilizada conforme projetada).

5.2.2 Experimento 2

1. Objetivos

- Transmitir conceitos mais amplos a respeito do uso de válvulas 4/3 vias, utilizando-o para fornecer dois estágios de atuação no avanço;
- Reforçar o conceito sobre a utilização de válvulas limitadoras de pressão;
- Verificar os conhecimentos de força, pressão e velocidade atuantes na hidráulica;

2. Estudo de Caso

- Máquinas para prensagem com dois estágios;

Uma indústria especializada no desenvolvimento de máquinas para operações de prensagem estuda a possibilidade de incluir em seus produtos, um sistema capaz de fornecer dois estágios de atuação. O primeiro, com força reduzida e velocidade elevada, tem a função de aproximar a prensa ao alvo de forma otimizada, até o momento do contato. Nesse instante, aciona-se o segundo estágio da máquina fornecendo força elevada para permitir a prensagem do objeto, porém, atuando com velocidade reduzida. Atingido o fim-de-curso, tem-se a peça prensada, o que torna possível comutar a alavanca para a posição de retorno do cilindro hidráulico. Com o recuo deste, tem-se a peça conformada e, conseqüentemente, o fim do processo de prensagem.

3. Enunciado

- Fazer o projeto do circuito hidráulico utilizando o FluidSim-H;
- Utilizar apenas uma válvula de comando 4/3 vias, de forma que uma das posições seja referente ao recuo e as outras duas, ao avanço;
- Considerar um segundo cilindro, na posição avançada, como a peça a ser prensada;

- O cilindro que simula a prensa deve entrar em contato com o segundo cilindro no meio do seu percurso;
- A partir desse instante, é necessário comutar a alavanca para a posição de força elevada a fim de permitir o completo avanço da prensa;
- Ao fim do avanço completo da prensa, comutar a alavanca para a posição de retorno do cilindro, aguardando a efetivação do recuo do mesmo;
- Elaborado o projeto, realizar a montagem do circuito utilizando as bancadas didáticas do laboratório;

4. Resolução

1. Projeto do circuito hidráulico:

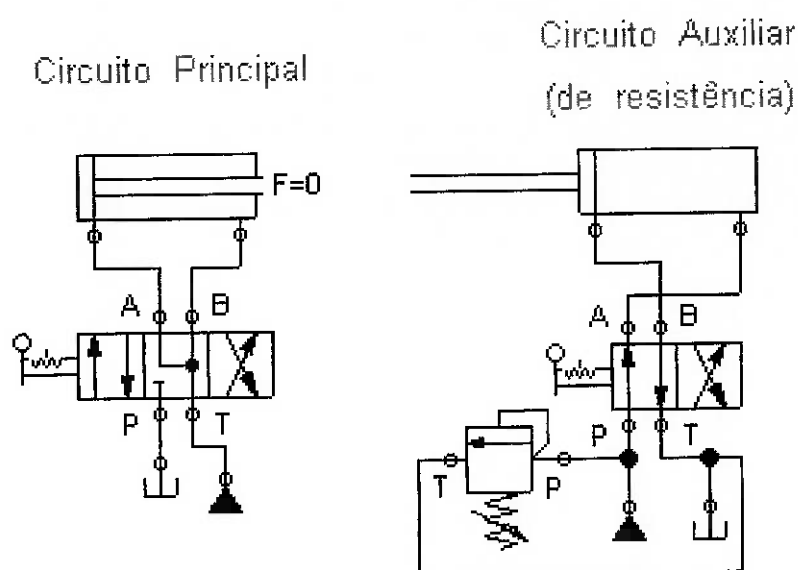


Figura 5.109 - Projeto do circuito hidráulico

2. Montagem do circuito hidráulico:

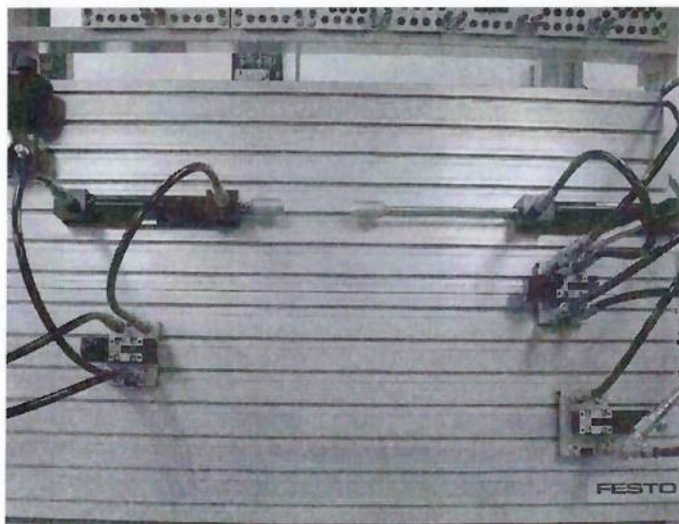


Figura 5.110 - Montagem



Figura 5.111 - Avanço com velocidade elevada e força reduzida

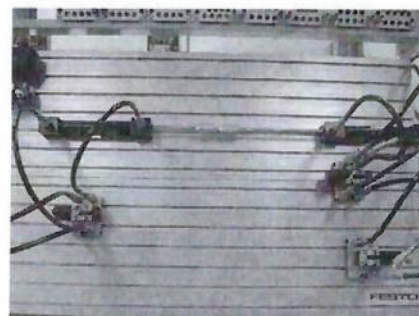


Figura 5.112 - Contato com a peça a ser prensada

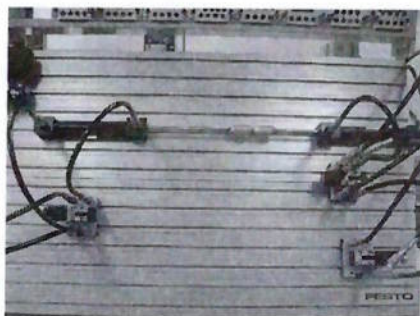


Figura 5.113 - Avanço com força elevada e velocidade reduzida

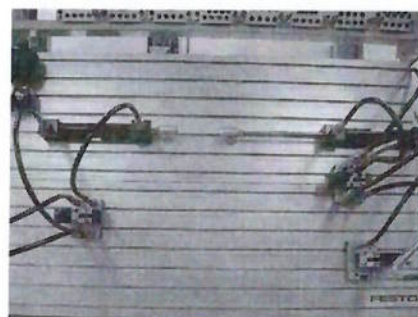


Figura 5.114 - Fim do processo de prensa e recuo do cilindro

Para uma melhor compreensão do funcionamento do dispositivo, estarão à disposição dois arquivos de vídeo. O primeiro destaca a força elevada proporcionado pelo dispositivo e o segundo, a diferença de velocidade existente entre os dois estágios de avanço.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.22 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 4/3 vias com comando por alavanca com trava
Elemento de Processamento de Sinais	1 válvula limitadora de pressão

6. Carga Horária

Tabela 5.23 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
40 min	15 min

7. Resultados Esperados

A realização da montagem do dispositivo de prensa exige o emprego de uma válvula 4/3 vias especial, cuja posição intermediária conecta a linha de pressão a ambas as saídas da válvula, o que permite a ação conjunta do fluxo proveniente da câmara dianteira do cilindro com a linha de pressão propriamente dita. Essa ação faz com que o movimento de avanço do cilindro ocorra com velocidade mais elevada mas com a força reduzida. Dessa forma, espera-se que o aluno busque alternativas diferentes das tradicionais, visualizando outras aplicações para dispositivos como as válvulas de comando 4/3 vias. Paralelamente, espera-se estimular a capacidade criativa do aluno ao fazer com que o mesmo associe a peça a ser prensada ao uso de um cilindro hidráulico na posição avançada em conjunto com uma válvula limitadora de pressão. Dessa forma, espera-se com esse tipo de abstração e com a aplicação empregada para a válvula 4/3 vias, que o aluno conheça perfeitamente os conceitos de força e pressão envolvidos na hidráulica, de modo a permitir a ampla utilização dos dispositivos na solução dos mais diversos problemas.

5.2.3 Experimento 3

1. Objetivos

- Transmitir conceitos relacionados à configuração “meter-in” e “meter-out”;
- Identificar a melhor posição para inserir válvulas reguladoras de fluxo em sistemas hidráulicos com base nesses conceitos;

2. Estudo de Caso

- Dispositivo para transporte de cargas pesadas;

Uma empresa responsável pelo fornecimento de equipamentos para o transporte de cargas pesadas está recebendo diversas reclamações de clientes insatisfeitos com o funcionamento dos dispositivos hidráulicos quando o mesmo realiza o processo de descarga das mercadorias. Estes clientes alegam que no instante em que o cilindro avança no sentido vertical com o intuito de transportar a carga de volta ao solo, é verificado que, dependendo do peso transportado, o cilindro não resiste ao esforço e acaba cedendo. Com isso, a empresa perde o controle sobre seu processo de transporte, além de inutilizar algumas mercadorias, como resultando da danificação devido ao impacto gerado com a descida mais brusca. Uma outra constatação diz respeito à redução da vida útil dos cilindros, fato esse atribuído à ocorrência de cavitação. Assim, fez-se um estudo detalhado do circuito hidráulico projetado, permitindo identificar que o problema só poderia estar relacionado à posição de instalação da válvula reguladora de fluxo dentro do circuito projetado. Cabe agora à empresa estudar os fatores que motivaram a ocorrência desse problema e realizar uma análise comparativa entre as duas formas possíveis de se instalar a válvula reguladora de fluxo no sistema, de modo a identificar e corrigir a falha detectada o mais rápido possível.

3. Enunciado

- Pesquisar os conceitos envolvidos na arquitetura de montagem “meter-in” (controle do fluxo na entrada) e “meter-out” (controle do fluxo na saída);
- Realizar a montagem lado-a-lado dos circuitos utilizando as duas configurações de controle de velocidades;
- Posicionar ambos os cilindros na posição vertical para baixo, de modo a simular a descida da mercadoria de volta ao solo;
- Regular para que ambos trabalhem com a mesma velocidade quando um esforço externo não é solicitado;
- Aplicar um esforço externo de tração em ambos os cilindros, quando do avanço dos mesmos;
- Verificar o comportamento de ambos nessa situação;
- Justificar os fatos observados;

4. Resolução

1. Projeto do circuito hidráulico:

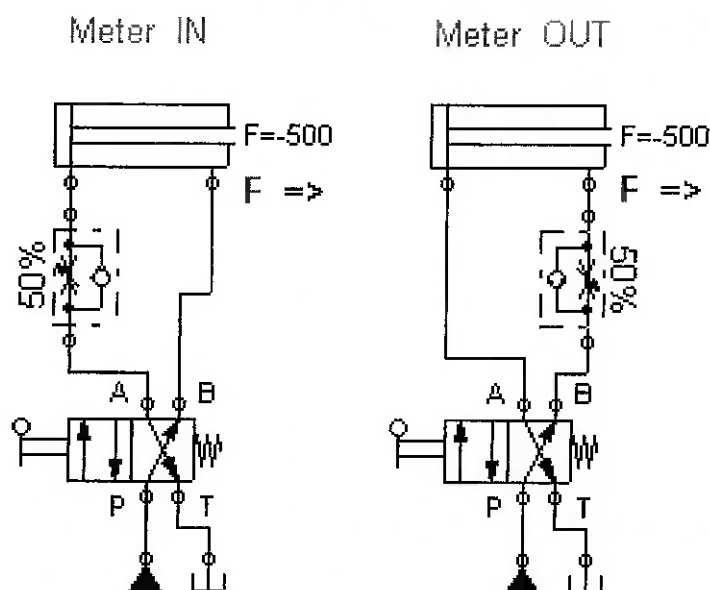


Figura 5.115 - Projeto do circuito hidráulico

2. Montagem do circuito hidráulico:

Circuito à esquerda: “meter-in”

Circuito à direita: “meter-out”

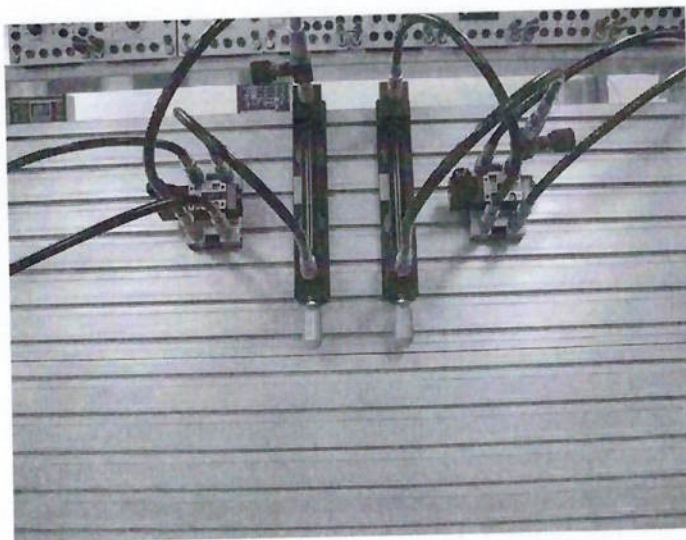


Figura 5.116 - Montagem

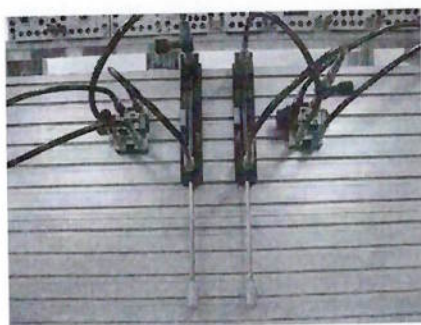


Figura 5.117 - Avanço sem a atuação de força externa

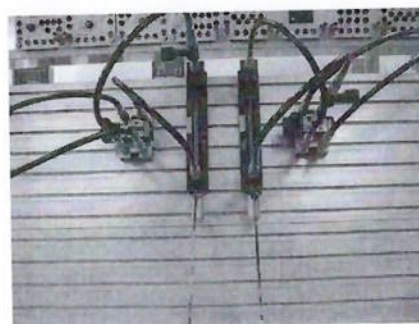


Figura 5.118 - Acréscimo de força externa ao sistema

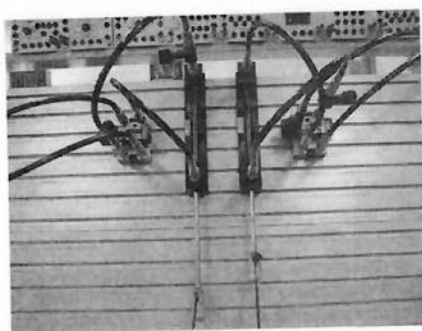


Figura 5.119 - Avanço com a atuação de força externa

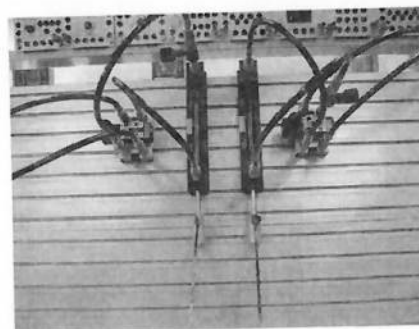


Figura 5.120 - Recuo dos cilindros hidráulicos

Para uma melhor compreensão do funcionamento do dispositivo, estarão à disposição três arquivos de vídeo. O primeiro demonstra o funcionamento dos dois circuitos com a mesma velocidade. O segundo destaca a diferença entre as configurações “meter-in” e “meter-out” através da aplicação de uma carga externa constante e de igual valor para ambos os circuitos. E o terceiro demonstra a mesma situação, utilizando força humana como esforço externo.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.24 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 4/3 vias com comando por alavanca com trava
Elementos Auxiliares	2 válvulas reguladoras de fluxo unidirecionais

6. Carga Horária

Tabela 5.25 – Carga horária necessária

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
30 min	40 min

7. Resultados Esperados

Esta experiência visa transmitir um importante aspecto na montagem de quase todos os circuitos hidráulicos, já que o controle de velocidade do avanço e recuo dos cilindros é um requisito sempre desejado, inclusive para aspectos envolvendo segurança. Dessa forma, espera-se que o aluno seja capaz de identificar corretamente em quais situações exigem-se a configuração “meter-in” e em quais são necessários a configuração “meter-out”. Paralelamente, é esperado que o aluno pesquise e identifique os principais efeitos do uso incorreto de cada arquitetura e as consequências negativas decorrentes dessa aplicação (cavitação, desuniformização do processo produtivo, danificação da carga transportada, etc.).

5.2.4 Experimento 4

1. Objetivos

- Transmitir novas formas de aplicação das válvulas de comando 4/3 vias;
- Ampliar a visão na aplicação de um motor hidráulico dentro de um circuito hidráulico;
- Transmitir os conceitos funcionais da válvula de retenção simples e com piloto;
- Reforçar o conceito sobre a utilização de válvulas limitadoras de pressão e válvulas reguladoras de fluxo unidirecionais;

2. Estudo de Caso

- Redução de custo no transporte de mercadorias;

A redução de custo nos processos industriais torna-se um requisito cada vez mais importante para as companhias que desejam continuar participando no mercado de forma competitiva. Pensando nisso, o projetista do novo setor de transporte de peças pretende criar um dispositivo que permita o uso de apenas um motor hidráulico para acionar diferentes esteiras participantes no processo de transporte de peças acabadas. A viabilidade do processo seria justificada pelo fato de o processo exigir o funcionamento de uma esteira de cada vez, ficando as demais ociosas. Assim, o projetista pretende instalar um motor hidráulico na extremidade de um atuador hidráulico, de forma que o avanço do mesmo até uma distância controlada permite o posicionamento do motor no local de acoplamento com o sistema de acionamento da esteira desejada. Esse acoplamento é simples, sendo realizado por meio de duas engrenagens. A primeira está posicionada no motor e a segunda, na esteira. Os demais acoplamentos com as outras esteiras são feitos com a variação na distância do avanço/recuo do cilindro hidráulico, estando sob responsabilidade do operador o controle desse posicionamento. Como forma de facilitar o operador e evitar o uso de mais um dispositivo de comando para o motor, o projetista deseja criar uma solução

que permita o uso da posição intermediária da válvula de comando do cilindro para acionar o funcionamento do motor hidráulico.

3. Enunciado

- Fazer o projeto do circuito hidráulico utilizando o FluidSim-II;
- O motor hidráulico deve estar em funcionamento enquanto a válvula 4/3 vias estiver na posição intermediária;
- Quando do avanço ou recuo do cilindro, o motor deve permanecer parado;
- Elaborado o projeto, realizar a montagem do circuito utilizando as bancadas didáticas do laboratório;

4. Resolução

1. Projeto do circuito hidráulico:

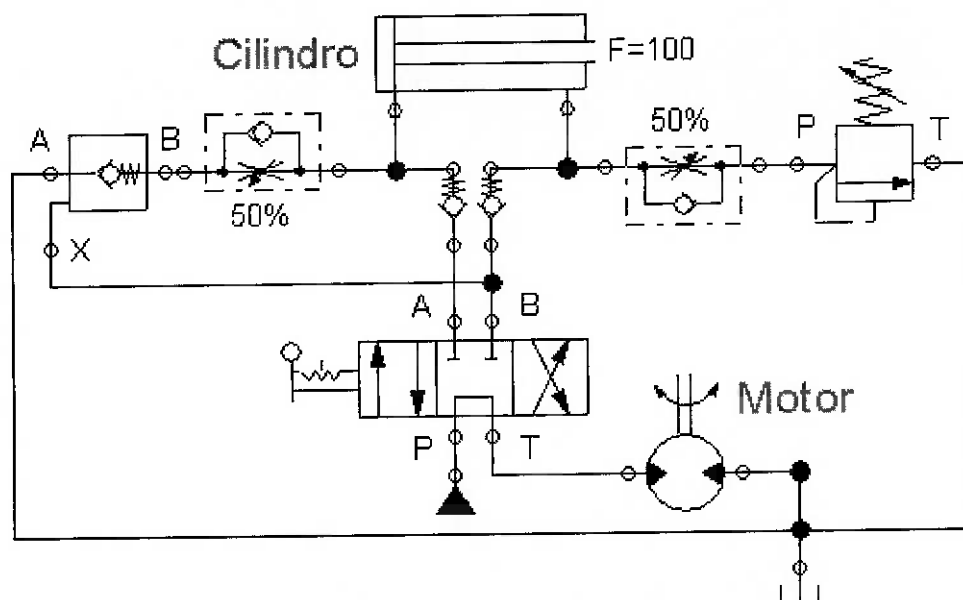


Figura 5.121 - Projeto do circuito hidráulico

2. Montagem do circuito hidráulico:

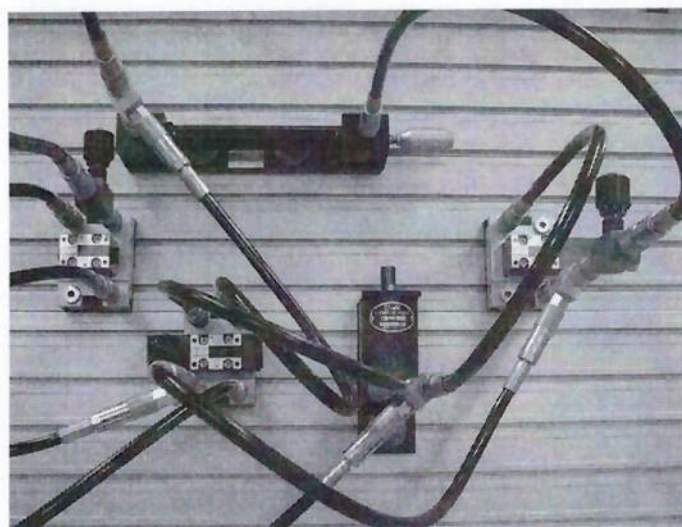


Figura 5.122 – Montagem



Figura 5.123 – Avanço parcial do cilindro e motor em funcionamento



Figura 5.124 – Avanço em processo com conseqüente parada do funcionamento do motor



Figura 5.125 – Recuo do cilindro em processo e motor parado



Figura 5.126 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

Para uma melhor compreensão do funcionamento do dispositivo, está à disposição um arquivo de vídeo contendo o circuito hidráulico projetado.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.26 - Lista de componentes e equipamentos hidráulicos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
	1 motor hidráulico
Elementos de Comando	1 válvula 4/3 vias com comando por alavanca com trava
Elementos de Processamento de Sinais	1 válvula limitadora de pressão
	1 válvula de retenção com piloto
Elementos Auxiliares	2 válvulas reguladora de fluxo unidirecional
	2 válvulas de retenção simples

6. Carga Horária

Tabela 5.27 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
90 min	45 min

7. Resultados Esperados

Ao fim da realização da experiência 4, espera-se que o aluno seja capaz de criar soluções que viabilizem o controle de dois componentes distintos com apenas um dispositivo de alavanca com três posições. Assim, com o desenvolvimento das soluções propostas nos estudos de caso das experiências referentes à hidráulica, foi possível apresentar ao aluno possíveis aplicações para cada tipo de válvula de comando 4/3 vias presentes no laboratório didático da Escola Politécnica. Paralelamente, a atividade proposta nesta experiência visa forçar o aluno a conhecer o funcionamento de válvulas de retenção com e sem piloto, juntando com os conhecimentos já adquiridos à respeito das válvulas limitadoras de pressão e válvulas reguladoras de fluxo, para que consiga atingir às necessidades da empresa citada no estudo de caso. Espera-se que com a estratégia de aprendizado do funcionamento de novos dispositivos através de uma necessidade, o aluno adquira um raciocínio prático com foco no objetivo, permitindo fixar os conceitos de forma mais eficiente e voltado às necessidades vigentes no mercado.

5.3 Eletropneumática (sem CPs)

Foram elaborados 4 experimentos para a área da eletropneumática sem a utilização de CPs. Como realizado para a pneumática e a hidráulica, os experimentos são apresentados em ordem crescente de dificuldade.

5.3.1 Experimento 1

1. Objetivos

- Introduzir aspectos básicos do projeto e da montagem de circuitos eletropneumáticos;
- Familiarizar o aluno com os componentes envolvidos em projetos de circuitos eletropneumáticos;
- Fazer um comparativo entre o contador por sinal elétrico e o contador por sinal de ar comprimido utilizado na experiência 3 da pneumática;
- Introduzir conceitos da utilização do diagrama de relés em conjunto com circuitos eletropneumáticos comandados por solenóides;

2. Estudo de Caso

- Desenvolvimento de equipamento para realização de ensaio dinâmico;

Uma empresa de desenvolvimento de equipamentos médico-hospitalares deseja construir um dispositivo para a realização de ensaios dinâmicos, como forma de avaliar a integridade física dos componentes utilizados nos produtos da empresa. Esse investimento é decorrente das constantes reclamações por parte dos clientes, alegando problemas de vazamento após algum tempo de uso. Como forma de manter o padrão de qualidade da empresa e a credibilidade junto aos clientes, o departamento de desenvolvimento da companhia projetou um dispositivo eletropneumático para geração de esforços cíclicos através da execução de um certo

número programado de movimentos sucessivos de avanço e retorno de um cilindro pneumático. Este, por sua vez, comprime e expande, a cada ciclo de operação, uma quantidade de ar armazenada em um compartimento, gerando pulsos de pressão direcionados aos dispositivos a serem ensaiados, submetendo-os, assim, a situações de esforços extremos. Dessa forma, agregando esse dispositivo ao sistema produtivo da empresa será possível não só selecionar os equipamentos que estão conformes com os padrões estabelecidos pela empresa, como também descartar aqueles que possam representar riscos potenciais à imagem da empresa.

3. Enunciado

- Fazer o projeto do circuito eletropneumático citado no estudo de caso, utilizando o FluidSim-P;
- O dispositivo deve conter um botão de Start simples (sem trava), responsável pelo acionamento do cilindro em conjunto com o contador elétrico;
- O dispositivo deve executar o número programado de vezes no contador, permanecendo pronto para um novo ciclo ao fim desse processo;
- Separar os componentes e os quadros de conexões elétricas (relés, botões, contador, etc.), necessários à montagem do circuito;
- Ajustar o número de execuções desejados no contador elétrico;
- Colocar o dispositivo em funcionamento;

4. Resolução

1. Projeto do circuito eletropneumático:

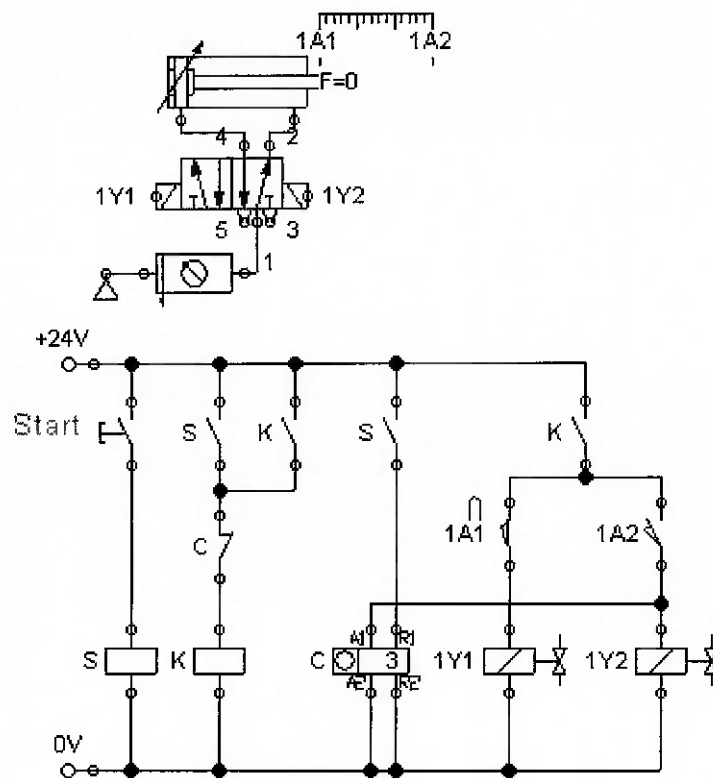


Figura 5.127 - Projeto do circuito eletropneumático

2. Montagem do circuito eletropneumático:

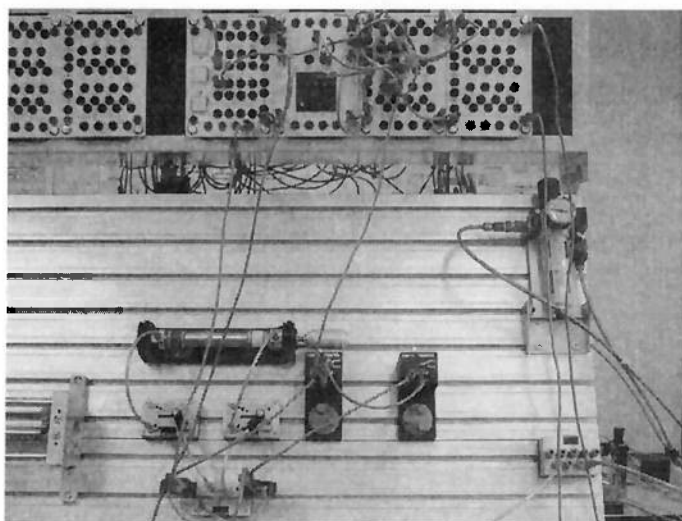


Figura 5.128 – Montagem

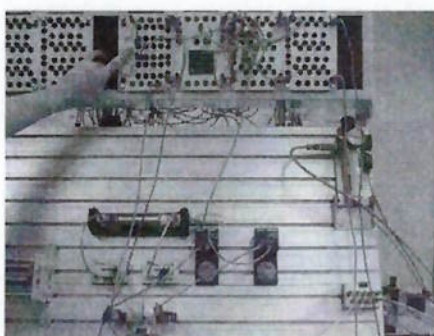


Figura 5.129 – Início do processo com o botão de Start

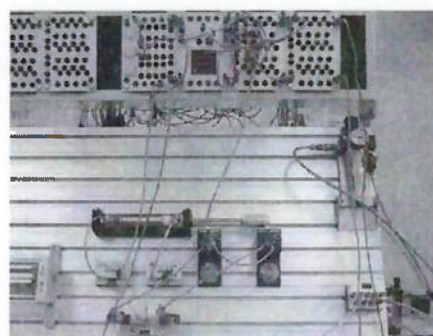


Figura 5.130 – Avanço do cilindro

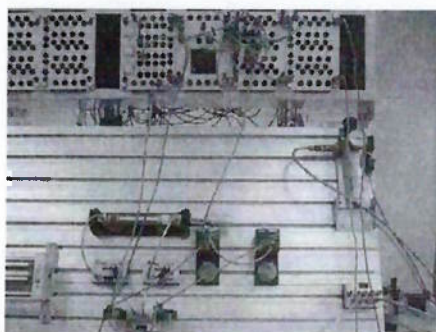


Figura 5.131 – Recuo do cilindro finalizando o primeiro ciclo

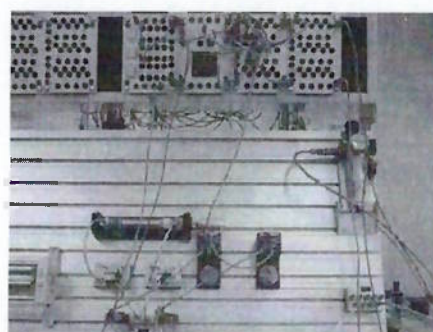


Figura 5.132 – Fim do processo após a execução do número programado de ciclos

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.28 - Lista de componentes e equipamentos eletropneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias duplo-solenóide
	2 quadros de relés
Elementos de Processamento de Sinais	1 quadro de contador elétrico

Elementos de Sinais	1 quadro de botões
	2 válvulas fins-de-curso
Elementos Auxiliares	2 válvulas reguladoras de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.29 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
30 min	25 min

7. Resultados Esperados

Com a realização da primeira experiência de eletropneumática, esperam-se introduzir os aspectos básicos presentes em projetos de circuitos eletropneumáticos, de forma a preparar o aluno para as experiências com níveis de complexidade superiores. Nesse sentido, esperam-se transmitir os fundamentos do projeto dos circuitos eletropneumáticos, a começar pelo diagrama de relés e pelo comando de válvulas pneumáticas por meio de solenóides. Paralelamente, espera-se que o aluno verifique as particularidades inerentes à montagem dos circuitos eletropneumáticos, principalmente com relação ao grau de atenção exigido quando da realização das conexões nos quadros de relés. É importante que o aluno perceba que boa parte da dificuldade apontada em projetos eletropneumáticos, pode estar associada à complexidade existente nessa montagem, o que torna desejável uma prévia familiarização com as bancadas e componentes disponíveis no laboratório. Somados a isso, a experiência visa fazer uma comparação entre o funcionamento do contador elétrico e o contador pneumático, de modo que o aluno possa identificar semelhanças

e particularidades reservadas a cada um dos tipos de circuito, seja no projeto ou na montagem.

5.3.2 Experimento 2

1. Objetivos

- Implementar um dispositivo de transporte semelhante ao montado na Experiência 2 de pneumática, porém acrescentando mais uma direção de movimentação;
- Apresentar o funcionamento e utilidade de sensores indutivos e capacitivos na seleção de peças de diferentes cores;
- Demonstrar a possibilidade de se utilizar os sensores (indutivo, óptico ou capacitivo) para a função de detecção de fim-de-curso de cilindros pneumáticos;
- Aprimorar a utilização dos quadros elétricos disponibilizados para a montagem dos circuitos eletropneumáticos;

2. Estudo de Caso

- Robô cartesiano para seleção de tampas de cores diferentes;

Uma indústria alimentícia iniciará as atividades na produção de atum enlatado, podendo os mesmos ser vendidos apimentados ou não. Para a identificação entre os dois tipos, a companhia pretende utilizar tampas vermelhas para os produtos apimentados e tampas prateadas para os produtos não apimentados. Dentro do processo produtivo, as embalagens seriam conformadas no setor de prensagem, sendo as tampas direcionadas por meio de esteiras para o setor de seleção de cores. Nesse setor, um robô cartesiano analisaria o tipo de tampa, realizando o seu transporte para o magazine referente a sua cor. Assim, quando cheios, cada magazine seria direcionado ao setor referente ao tipo de produto que deve tampar, onde o produto seria finalizado, devidamente embalado e armazenado no estoque. A fim de tornar esse projeto viável, o setor de custo da companhia solicitou a redução do orçamento em 20%, o que resultaria inevitavelmente na substituição do robô cartesiano por algum sistema composto por componentes com custo menos elevado.

A fim de atingir a meta, o setor de engenharia da companhia decidiu investir no projeto de um dispositivo com base em componentes elétricos e pneumáticos, cujo funcionamento e desempenho se assemelhe ao do robô utilizado no projeto original.

3. Enunciado

- Implementar um sistema de transporte com base na movimentação de um robô cartesiano;
- Utilizar cilindros de dupla-ação para a movimentação nos eixos x, y e z e cilindro de simples-ação para o acionamento da garra;
- Incluir no circuito um dispositivo que permita identificar a cor da peça a ser transportada;
- Peças prateadas devem ser deslocadas na direção x;
- Peças vermelhas devem ser deslocadas tanto na direção x quanto na direção y;
- O movimento na direção z tem a função de aproximar a garra à peça a ser transportada e de inserir a mesma dentro do magazine referente à sua cor;
- A garra deve permanecer aberta enquanto o cilindro de simples-ação estiver acionado e fechada em caso contrário;
- Utilizar sensores para a detecção do fim-de-curso do atuador utilizado para o comando da garra;
- Elaborar um diagrama trajeto-passo para cada tipo de peça, conforme a análise realizada previamente;
- Identificar os componentes necessários para a reprodução da mesma atividade nas bancadas didáticas da Festo;
- Realizar no FluidSim-P o projeto do circuito eletropneumático equivalente utilizando o método passo-a-passo adaptado para o diagrama de relés;
- Utilizar um botão para início do processo e um para parada;
- Utilizar as próprias peças da Mini-CIM para a realização do processo;

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

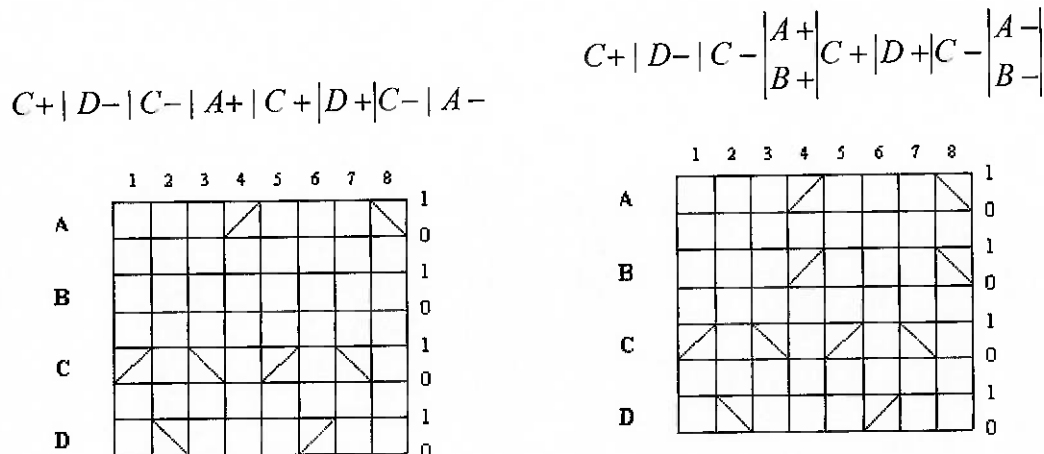


Figura 5.133 – Diagrama trajeto-passo para peça prata

Figura 5.134 – Diagrama trajeto-passo para peça vermelha

2. Projeto do circuito eletropneumático:

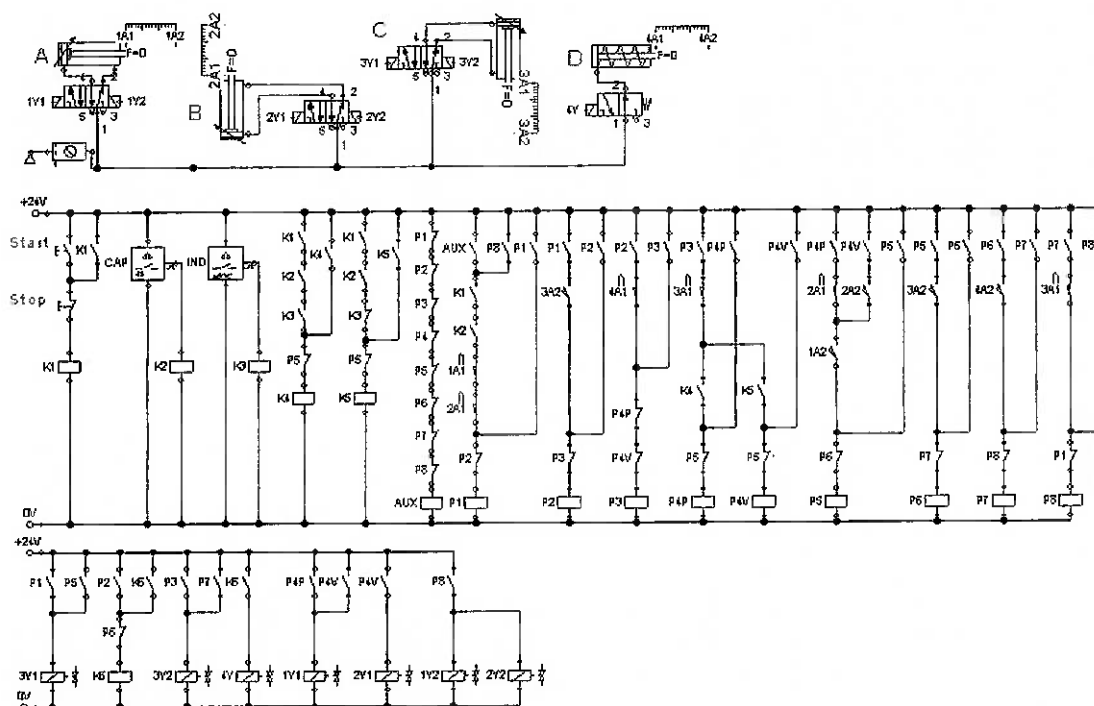


Figura 5.135 - Projeto do circuito eletropneumático

3. Montagem do circuito eletropneumático:

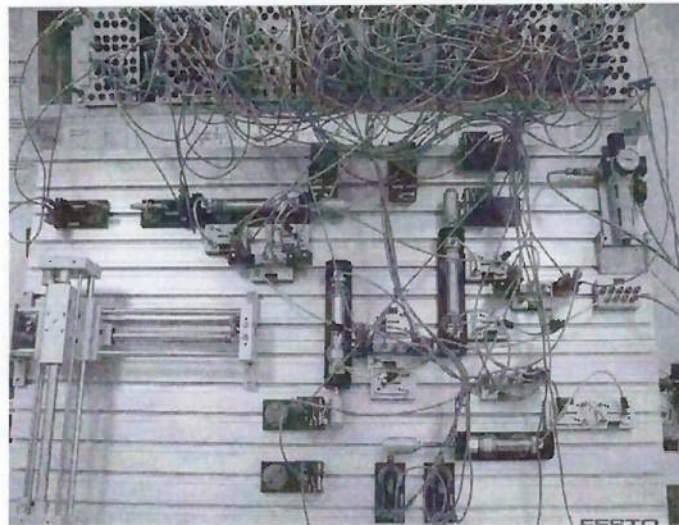


Figura 5.136 – Montagem

Para o processo envolvendo o transporte de tampas prateadas para seu respectivo magazine, tem-se:

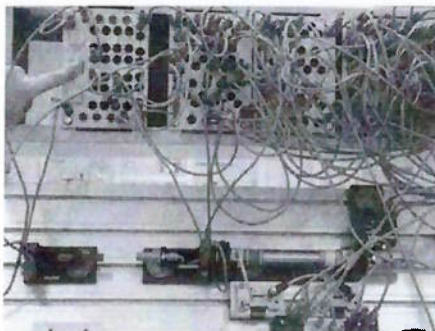


Figura 5.137 – Avanço parcial do cilindro e motor em funcionamento

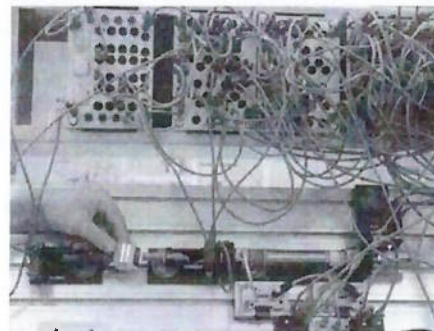


Figura 5.138 – Avanço em processo com conseqüente parada do funcionamento do motor

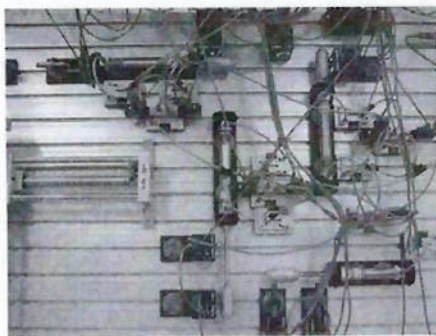


Figura 5.139 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

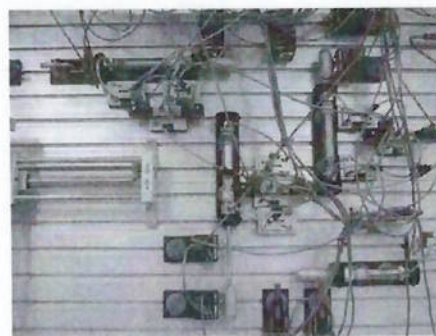


Figura 5.140 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

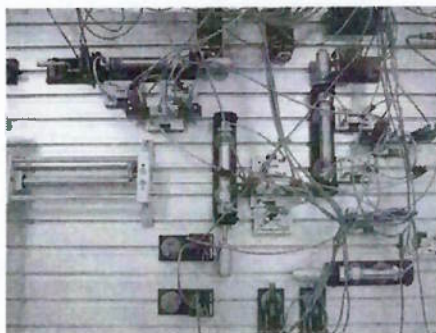


Figura 5.141 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

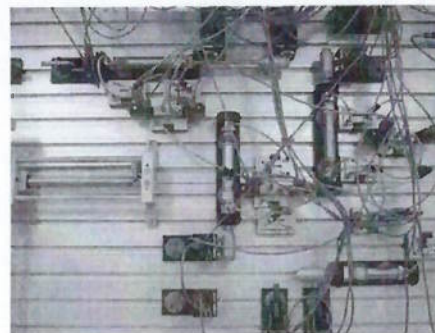


Figura 5.142 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

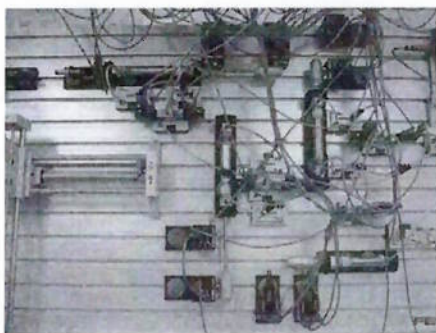


Figura 5.143 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

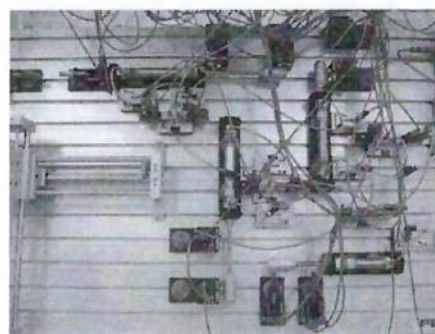


Figura 5.144 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

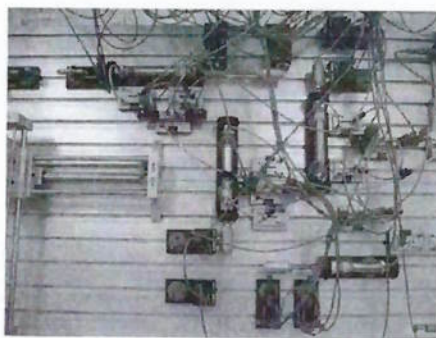


Figura 5.145 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

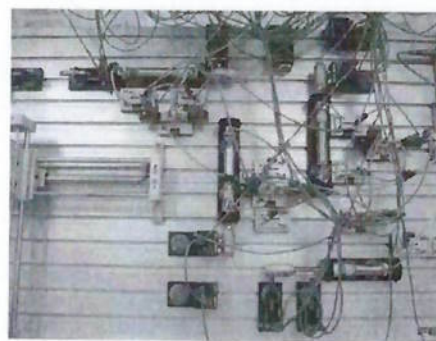


Figura 5.146 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

Para o processo envolvendo o transporte de tampas vermelhas para seu respectivo magazine, tem-se:

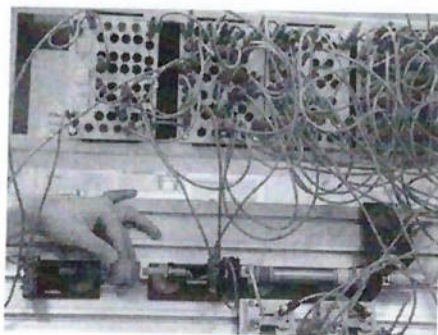


Figura 5.147 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

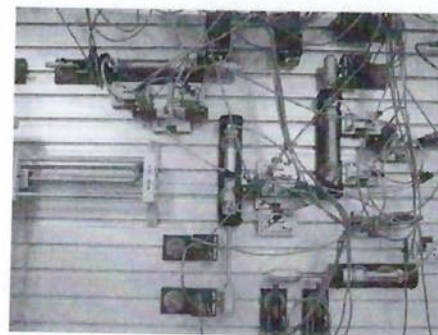


Figura 5.148 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

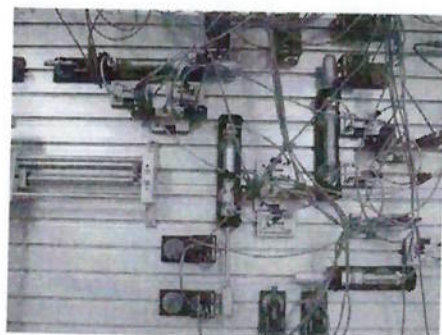


Figura 5.149 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

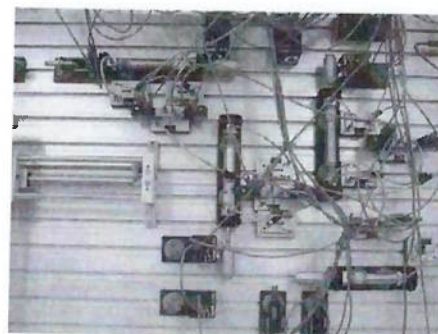


Figura 5.150 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

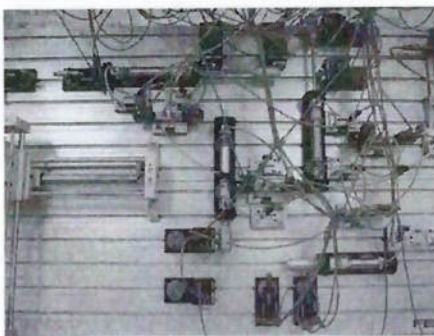


Figura 5.151 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

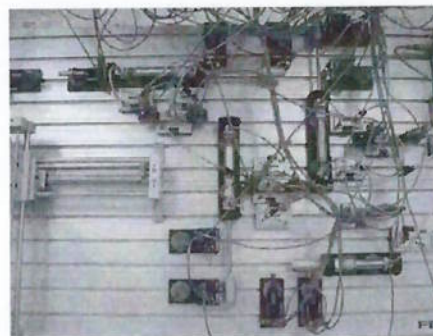


Figura 5.152 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

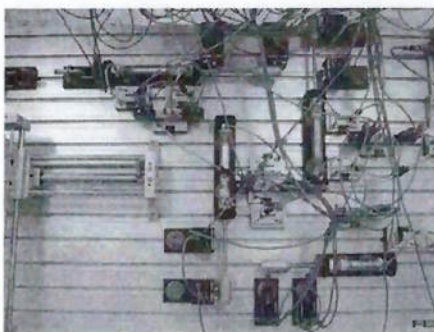


Figura 5.153 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

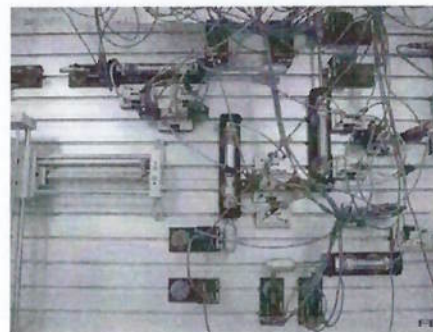


Figura 5.154 – Alavanca comutada na posição intermediária e motor em funcionamento

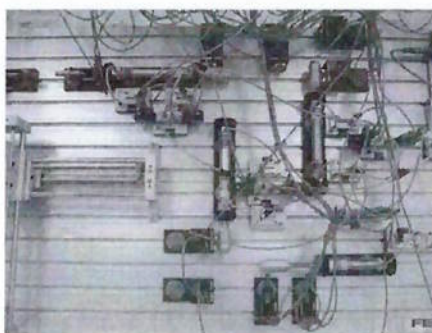


Figura 5.155 – Recuo do cilindro em processo e motor parado

Para uma melhor compreensão do funcionamento do dispositivo, está à disposição um arquivo de vídeo contendo o circuito eletropneumático projetado.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.30 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	3 cilindros de dupla-ação
	1 cilindro de simples-ação
Elementos de Comando	3 válvulas 5/2 vias duplo-solenóide
	1 válvula 3/2 vias simples-solenóide
	7 quadros de relés
Elementos de Sinais	3 sensores capacitivos
	1 sensor indutivo
	6 válvulas fim-de-curso
	1 quadro de botões
Elementos Auxiliares	8 válvulas reguladora de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.31 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
3 horas	2 horas

7. Resultados Esperados

Com a realização desta experiência, espera-se que o aluno compreenda o funcionamento de um robô cartesiano de modo a tornar possível a montagem de um dispositivo eletropneumático que execute tarefa semelhante. O ponto principal desse funcionamento diz respeito à execução de processos diferenciados para cada tipo de cor, de forma a possibilitar a seleção das peças em magazines específicos para cada tipo de peça. Para isso, é necessário que o aluno assimile os conceitos envolvidos no funcionamento de sensores ópticos, capacitivos e indutivos, identificando o modo como os mesmos trabalham em conjunto na tarefa de identificação de cores diferentes. E é sob esse aspecto que se espera que o aluno se conscientize da vantagem que a eletropneumática proporciona em relação a circuitos puramente pneumáticos. Dessa forma, esta experiência não se restringe apenas à execução de um sistema similar à experiência 3 da pneumática com fins comparativos. Esta experiência tem também como objetivo aprimorar a tarefa realizada pelo dispositivo pneumático, transformando a tarefa executada no plano em um processo espacial, além de inserir sensores na tarefa de identificação de cores e detecção de fim-de-curso.

5.3.3 Experimento 3

1. Objetivos

- Realizar a simulação da estação de teste da Mini-CIM nas bancadas didáticas de Festo;
- Aprimorar a utilização dos quadros elétricos disponibilizados para a montagem dos circuitos eletropneumáticos;
- Desenvolver projeto envolvendo quadro de temporizadores em substituição a alguns sensores fim-de-curso;
- Abranger o uso dos sensores para a identificação de peças de três cores diferentes (preta, vermelha e prata);
- Utilizar um sensor capacitivo para simular a detecção de peças com altura especificada de acordo com o padrão;

2. Estudo de Caso

- Mini-CIM (Fábrica Modelo);

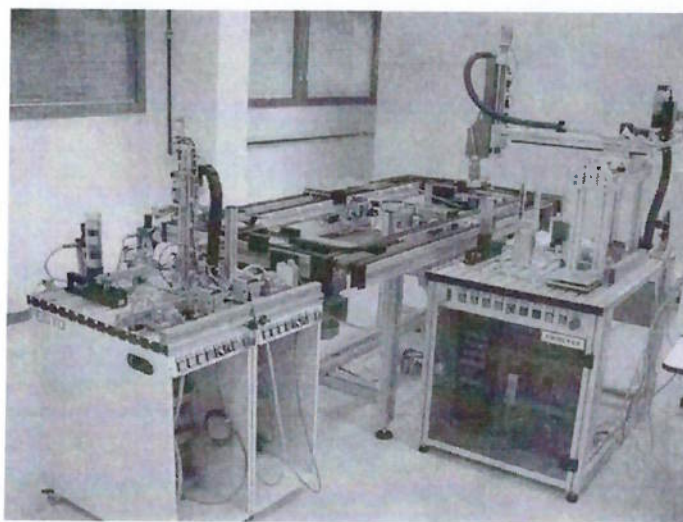


Figura 5.156 - Mini-CIM

A automação industrial de processos produtivos envolvendo dispositivos pneumáticos, elétricos e controladores programáveis (CPs) pode ser bem representada pela fábrica modelo desenvolvido pela empresa Festo, conhecida também como Mini-CIM. O Mini-CIM faz parte do kit didático da Festo, representando a integração dos conceitos mais importantes de automação de SEDs, a menos da hidráulica. Dessa forma, é possível identificar tanto a presença de componentes pneumáticos e elétricos quanto componentes mais complexos, como as redes industriais de comunicação via Profibus e ASi, os motores servo-controlados e os CPs. Essa fábrica modelo, como o próprio nome já diz, simula o funcionamento de todas as atividades envolvidas em uma fábrica de forma automatizada, realizando a transformação da peça bruta em um produto acabado, passando por etapas de testes de qualidade, montagem, usinagem e estocagem em armazéns. Cada etapa é dividida em módulos (estações), sendo cada uma delas responsável por uma atividade específica, tal como em uma indústria.

Dessa forma, na estação de alimentação tem-se estocada a peça bruta que, no caso, tratam-se de peças cilíndricas nas cores preta, rosa ou prateada. A atividade executada neste módulo consiste na retirada da peça do magazine, posicionando-a para o transporte da mesma à estação seguinte, e finalizando sua tarefa com a realização efetiva desse transporte por meio da ação do vácuo.

Na estação seguinte (estação de teste), a peça passa por um processo de identificação do tipo de peça, consistindo na avaliação por meio da cor e da altura da peça. Peças que não satisfaçam os limites de altura pré-estabelecidos são descartadas. As demais são encaminhadas uma a uma para um pallet responsável pelo transporte à estação de montagem por meio de uma esteira.

Esta estação, por sua vez, está equipada com um braço controlado servo-mecanicamente contendo um dispositivo de garra acoplado em sua extremidade. O dispositivo tem a função de acrescentar à peça bruta um pistão e uma mola, fechando-a com uma tampa e realizando o transporte do pallet com a peça montada de volta à esteira transportadora. Cabe ressaltar que o tipo de pistão acrescentado varia conforme a cor da peça.

Na próxima estação (estação de usinagem), a peça é introduzida em um centro de usinagem por meio de um braço robótico, onde será trabalhada até adquirir a forma do produto final. Ao fim da usinagem o braço robótico retira a peça da máquina, recolocando-a de volta ao pallet, o qual é encaminhado para a última estação.

Esta, nomeada de estação de armazenamento, consiste em um armazém automatizado equipado com um sistema de transporte AS/RS, o qual é responsável pelo transporte inteligente dos pallets carregado de peça em posições livres nas prateleiras, e pelo reabastecimento de pallets vazios no sistema produtivo da fábrica modelo.

Cabe destacar que na fábrica modelo presente no laboratório do ITBA as últimas duas estações ainda não foram instaladas.

3. Enunciado

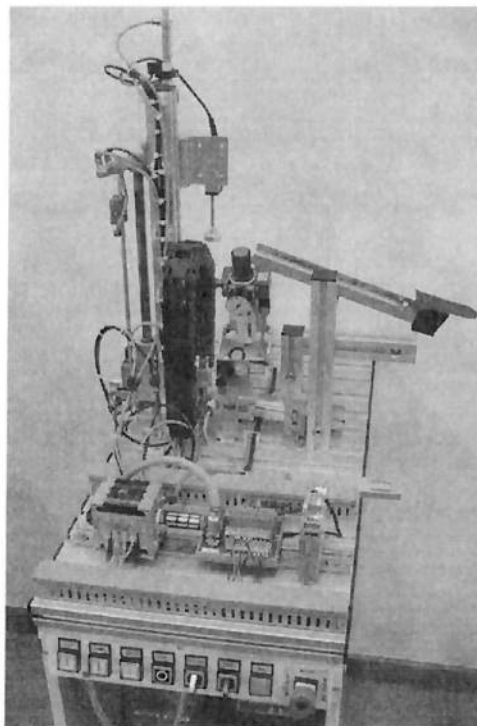


Figura 5.157 - Estação de Teste

- Analisar o funcionamento da estação de teste da Mini-CIM, identificando cada passo contido nesse processo, dando destaque para os elementos de sinais utilizados em cada etapa (verificar em que situações não são utilizadas sensores fim-de-curso);
- Estudar e entender a função de cada sensor dentro do processo de identificação de cores;
- Elaborar um diagrama trajeto-passo para cada tipo de peça, conforme a análise realizada previamente;
- Identificar os componentes necessários para a reprodução da mesma atividade nas bancadas didáticas da Festo;
- Realizar no FluidSim-P o projeto do circuito eletropneumático equivalente utilizando o método passo-a-passo adaptado para o diagrama de relés;
- Utilizar um botão para início do processo e um para parada;
- Utilizar as próprias peças da Mini-CIM para a realização do processo;
- Utilizar um sensor capacitivo para simular a detecção de peças com altura padronizada;
- Realizar a montagem utilizando as bancadas didáticas da Festo;

3. Montagem do circuito eletropneumático:

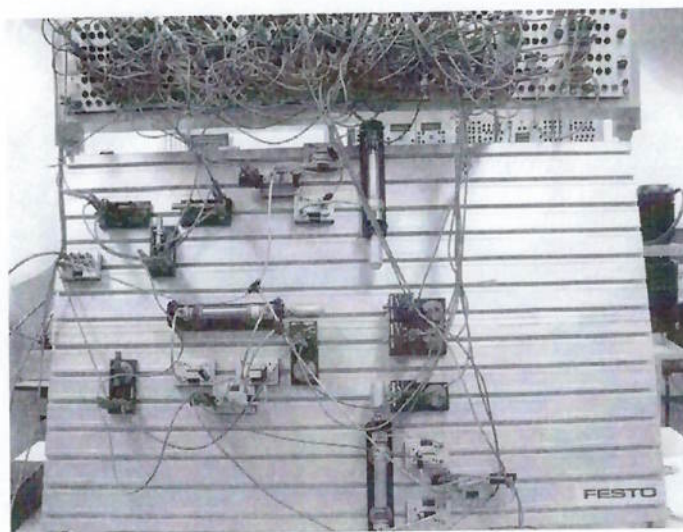


Figura 5.161 – Montagem



Figura 5.162 – Detecção de peça vermelha com respectiva indicação luminosa



Figura 5.163 – Detecção de peça preta com respectiva indicação luminosa



Figura 5.164 – Detecção de peça prata com respectiva indicação luminosa

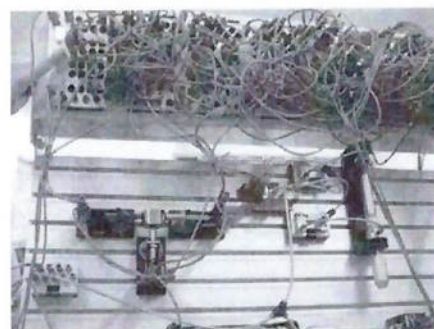


Figura 5.165 – Acionamento do botão Start

a) Peça aprovada:

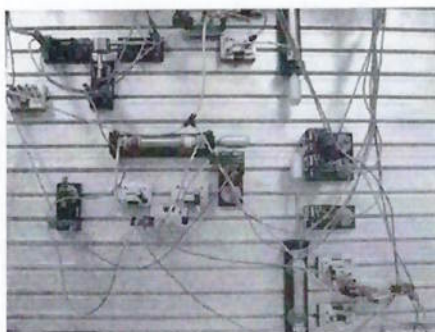


Figura 5.166 – Elevador transporta peça para a posição de teste de detecção de altura adequada

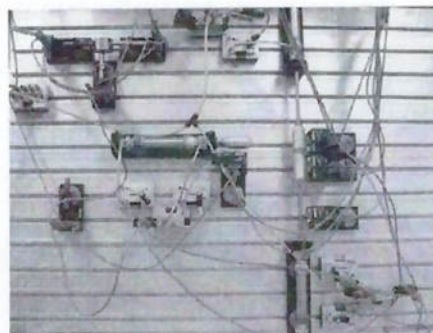


Figura 5.167 – Sensor de altura avança para realização de teste de detecção de altura adequada

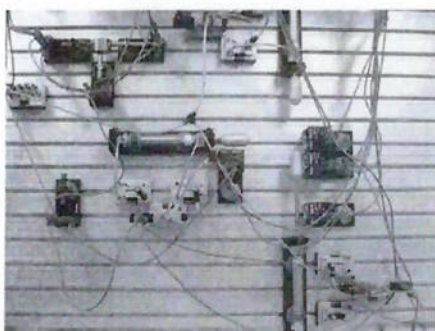


Figura 5.168 – Retorno do sensor de altura após a realização do teste

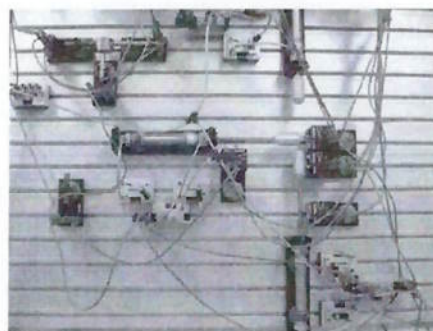


Figura 5.169 – Peça aprovada é expulsa do elevador em direção ao carro de transporte

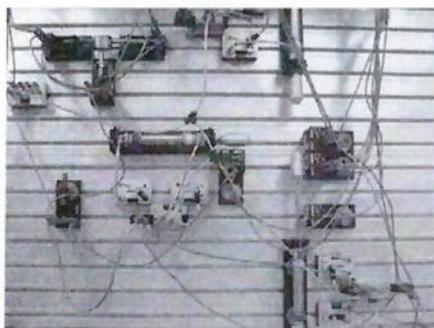


Figura 5.170 – Retorno do cilindro de expulsão de peça

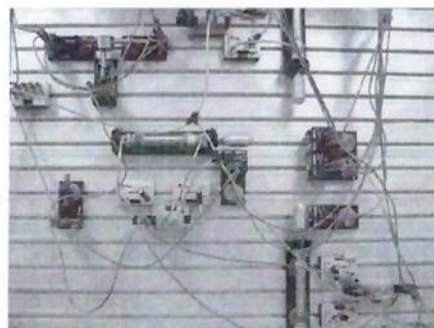


Figura 5.171 – Retorno do elevador para a posição inicial

b) Peça reprovada:

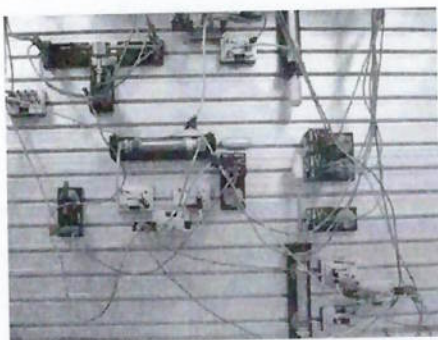


Figura 5.172 – Elevador transporta peça para a posição de teste de detecção de altura adequada

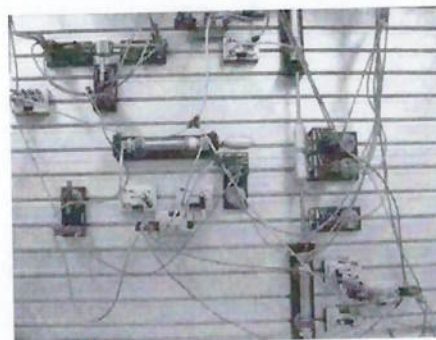


Figura 5.173 – Sensor de altura avança para realização de teste de detecção de altura adequada

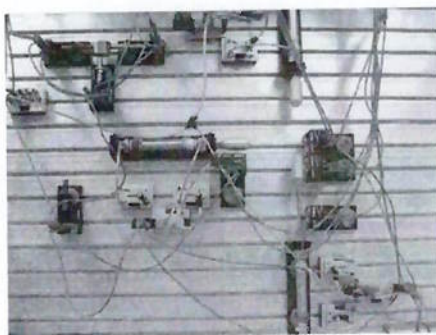


Figura 5.174 - Retorno do sensor de altura após a realização do teste

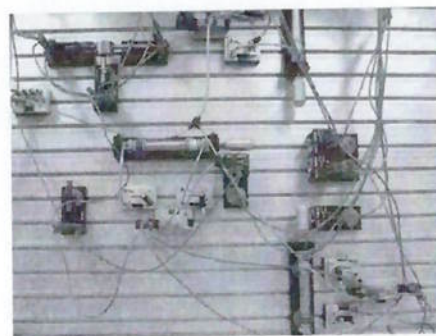


Figura 5.175 – Peça reprovada é transportada de volta para a posição inicial pelo elevador

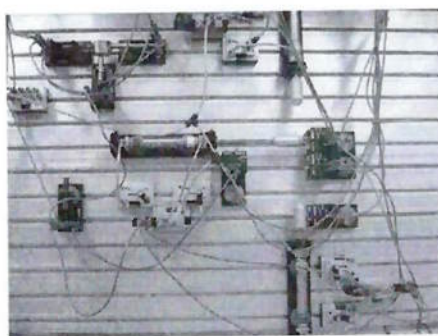


Figura 5.176 - Peça reprovada é expulsa do elevador

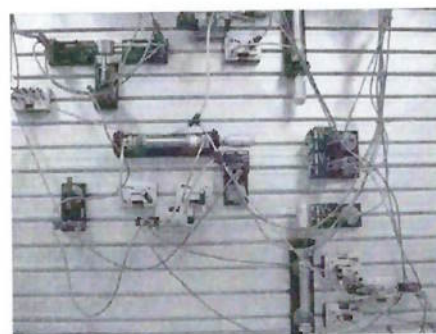


Figura 5.177 – Retorno do cilindro de expulsão de peça

OBS: arquivos de vídeo disponíveis

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.32 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletro-pneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	3 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias duplo-solenóide
	2 válvulas 5/2 vias simples-solenóide
	6 quadros de relés
Elementos de Processamento de Sinais	1 quadro de temporizadores
Elementos de Sinais	2 sensores capacitivos
	1 sensor indutivo
	1 sensor ópticos
	4 válvulas fim-de-curso
	1 quadro de botões
Elementos Auxiliares	6 válvulas reguladora de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.33 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
4 horas	2 h 30 min

7. Resultados Esperados

Com a realização da experiência 3 de eletropneumática, espera-se que o aluno seja capaz de entender e reproduzir o funcionamento da estação de teste da Mini-CIM. Diferentemente da estação de distribuição, a estação de teste exige a inclusão de elementos elétricos no circuito a fim de tornar o seu funcionamento reproduzível nas bancadas didáticas do laboratório. Dessa forma, é de fundamental importância que o aluno tenha assimilado o correto funcionamento dos sensores capacitivo, óptico e indutivo bem como o modo como os mesmos trabalham em conjunto na detecção de peças de diferentes cores (preta, vermelha e prata). Como resultado, a complexidade exigida para a solução do problema proposto visa fortalecer o grau de conhecimento do aluno com relação ao projeto de circuitos utilizando diagramas de relés, além de aprimorar a prática na montagem do circuito projetado nas bancadas didáticas do laboratório. Paralelamente, o modo de funcionamento da estação de teste da Mini-CIM exige uma minuciosa análise, principalmente quanto à solução empregada para os casos em que não são utilizados sensores fim-de-curso para identificação do fim de uma etapa. Nesse caso, espera-se do aluno a percepção da necessidade do uso de relés temporizados para garantir a completa execução do passo em questão, antes de liberar a sequência para a próxima etapa. Por fim, devido às limitações de montagem das bancadas didáticas do laboratório, espera-se que o aluno utilize um sensor posicionado paralelamente ao circuito como forma de simular a identificação ou não de peça adequada quando do avanço do cilindro equipado com sensor de altura no caso real.

5.3.4 Experimento 4

1. Objetivos

- Fazer um comparativo entre a pneumática e a eletropneumática através do dispositivo de segurança projetado na experiência 6 da pneumática;
- Projetar o mesmo dispositivo de segurança proposto na experiência 6 da pneumática, incluindo indicações luminosas referentes aos botões de emergência, reset e start, de acordo com o funcionamento observado na Mini-CIM;
- Reforçar o conhecimento do funcionamento dos botões de emergência e de seleção manual/automático das estações da Mini-CIM;
- Elaborar solução que permita fazer com que as luzes pisquem em determinadas etapas e permaneçam acesas em outras;

2. Estudo de Caso

- Instalação de sistema de emergência e de seletor para operação manual ou automática;

Os equipamentos automatizados para realizarem atividades sequenciais sem contar com a interferência humana devem conter um dispositivo de emergência que iniba imediatamente qualquer ação que possa oferecer riscos ao operador, à máquina ou mesmo à peça em trabalho. Dessa forma, considerando-se um consultório odontológico que deseja automatizar o processo de solda ponto em módulos de aparelhos dentários fixos (brackets), unindo-o a uma tela metálica que melhora a aderência à massa para fixação no dente, o projetista deve levar em conta no projeto do circuito pneumático a inclusão de um dispositivo de segurança equipado com um botão de emergência. Esse botão deve garantir a parada do processo no instante do seu acionamento, sendo necessário destravá-lo a fim de possibilitar a realização de um novo processo. O dispositivo de segurança deve contar ainda com um botão para

confirmar o destravamento do botão de emergência (Quit) e outro para retornar os atuadores à configuração inicial (Reset).

Como complemento para um melhor funcionamento, o sistema deve contar ainda com uma chave que permita a seleção entre o modo de operação automática e o modo de operação manual. Este último deve permitir a realização passo-a-passo das etapas presentes no dispositivo em questão, realizando cada passo sempre que o botão de início é pressionado. Com isso, espera-se verificar o seu correto funcionamento, permitindo ainda realizar os ajustes no posicionamento de cada atuador de forma a atingir os resultados esperados com a qualidade desejada.

Tendo isso planejado, o projetista deve acoplar a solução encontrada ao circuito de comando dos atuadores responsáveis pelo processo de solda propriamente dito, em que um deles posiciona as peças metálicas a serem soldadas no local desejado e o outro comanda a atuação dos eletrodos de modo a permitir a descarga da energia armazenada pelos capacitores. Cabe destacar que a descarga ocorre automaticamente sempre que um certo nível de pressão entre os eletrodos é atingido.

Assim, com a montagem do dispositivo realizada, caberá ao responsável pela solda apenas inserir o pedaço de malha metálica juntamente com o bracket em uma cavidade dimensionada adequadamente na extremidade do atuador de transporte, e pressionar o botão Start. Com isso, têm-se os seguintes passos realizados pelo dispositivo:

- Posicionamento das peças entre os eletrodos pelo cilindro de transporte;
- Acionamento dos eletrodos, em sentidos opostos, por outro cilindro até o contato destes com as peças a serem soldadas;
- Soldagem das peças resultante da pressão gerada no contato, permitindo o recuo imediato do cilindro de comando dos eletrodos;
- Retorno do cilindro de transporte com o bracket soldado à malha metálica, cabendo ao operador retirá-las e inserir novas peças para um novo processo;

Com esse dispositivo espera-se obter ganhos com a redução do tempo total que seria necessário num processo realizado manualmente, e ganhos com a qualidade no serviço tendo em vista a padronização do ponto de solda. Dessa forma, a realização do processo automaticamente representará vantagens não só pelo fato de evitar o tempo de posicionamento manual das peças entre os eletrodos, como também devido à redução do esforço por parte do operador, já que a dificuldade no posicionamento é transferida para a máquina automatizada.

3. Enunciado

- Analisar o funcionamento do dispositivo de emergência e do modo de operação manual/automática da Mini-CIM;
- Analisar o funcionamento das luzes de emergência, reset e start, identificando os instantes em que as mesmas permanecem apagadas, acesa e piscando;
- Elaborar o diagrama trajeto-passo do dispositivo de solda ponto descrito no estudo de caso, consistindo de 2 atuadores e 4 passos;
- Realizar o projeto do circuito pneumático e do diagrama de relés no FluidSim-P, utilizando o método passo-a-passo e integrando as soluções de segurança e funcionamento manual/automático observado na Mini-CIM;
- Elaborar a montagem do circuito nas bancadas didáticas da Festo;

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

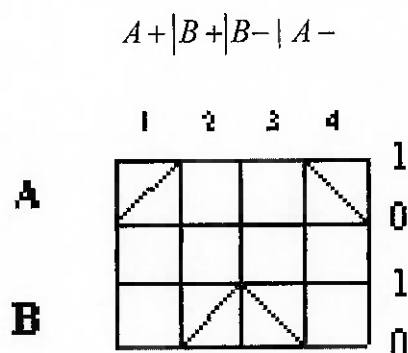


Figura 5.178 - Diagrama trajeto-passo

2. Projeto do circuito eletropneumático:

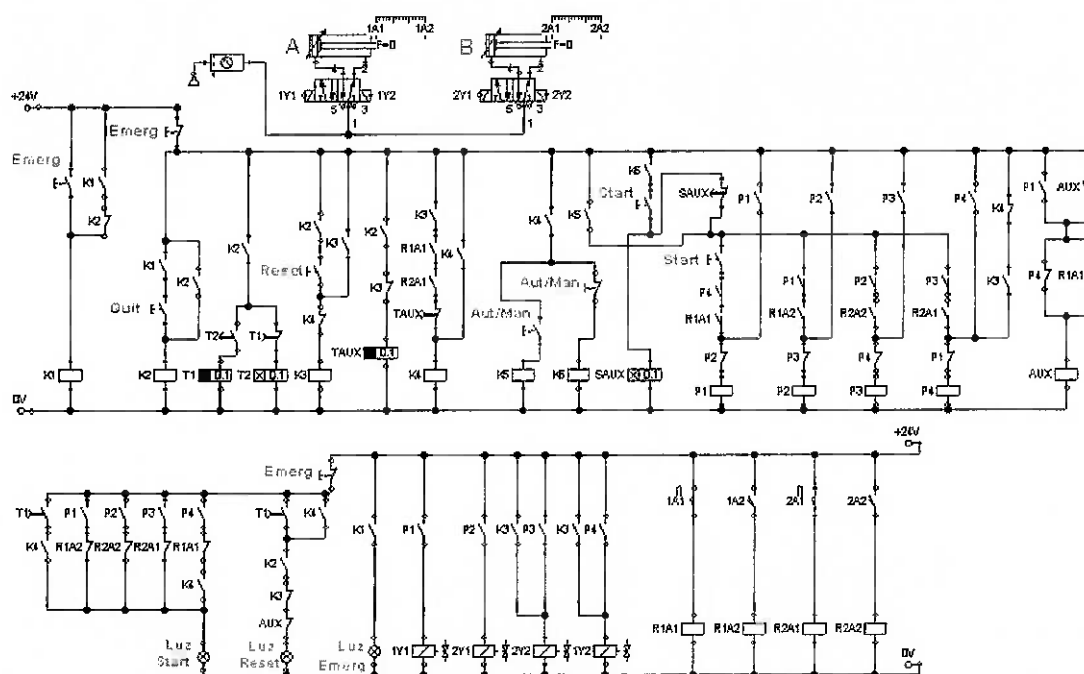


Figura 5.179 - Projeto do circuito eletropneumático

3. Montagem do circuito eletropneumático:

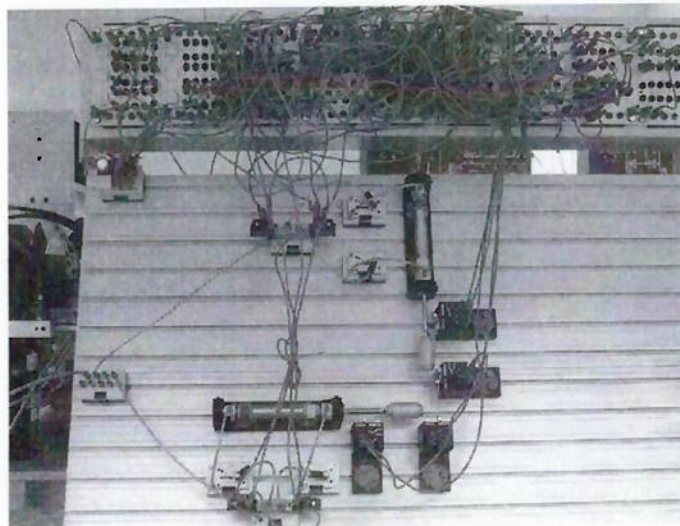


Figura 5.180 – Montagem

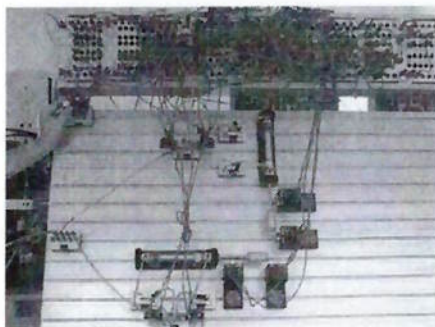


Figura 5.181 – Destravamento do botão de emergência

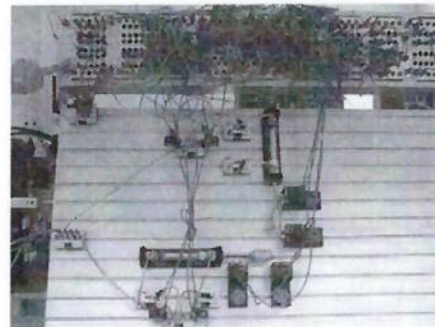


Figura 5.182 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit)

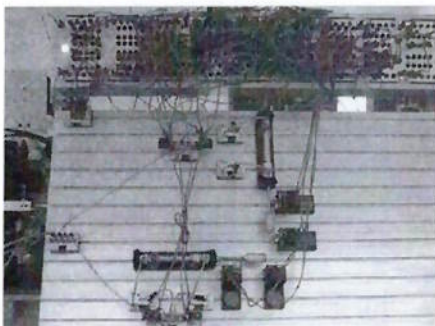


Figura 5.183 – Luz de emergência se apaga e botão Reset começa a piscar

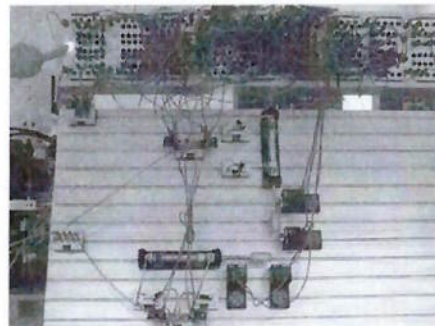


Figura 5.184 – Acionamento do botão Reset

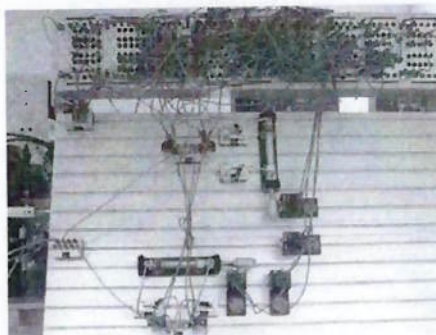


Figura 5.185 – Recuo dos cilindros para a posição inicial

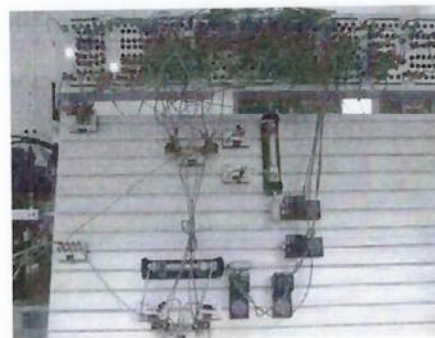


Figura 5.186 – Botão Reset fica aceso e botão de Start começa a piscar

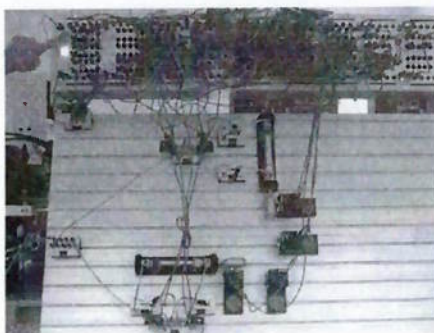


Figura 5.187 – Seleção do modo de operação manual com Reset aceso e Start piscando

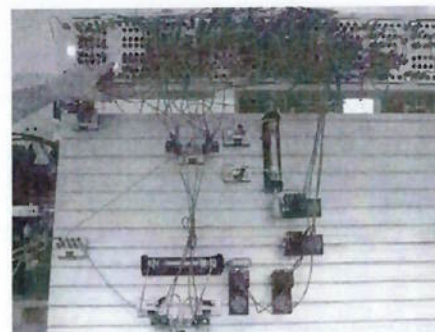


Figura 5.188 – Acionamento do botão Start dando início ao processo

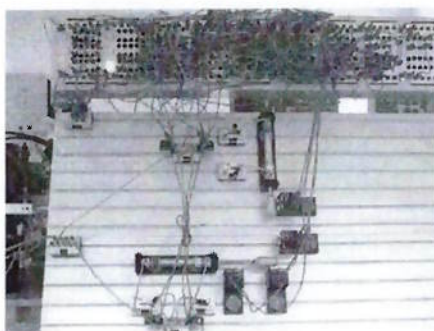


Figura 5.189 – Avanço do cilindro de transporte com botão Start permanentemente aceso

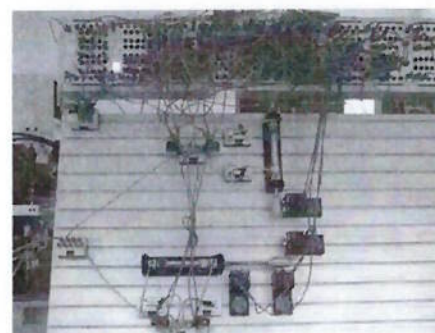


Figura 5.190 – Fim do primeiro passo faz botão Start voltar a piscar

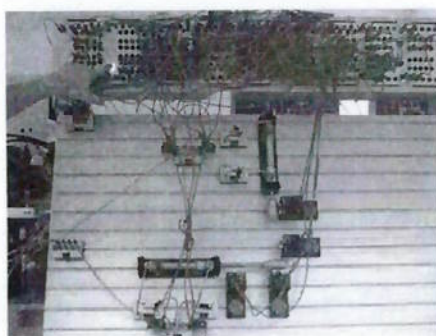


Figura 5.191 – Acionamento do botão Start dando início ao segundo passo

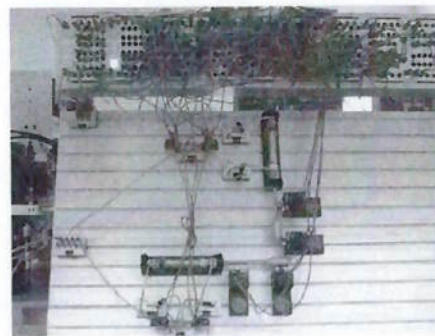


Figura 5.192 – Avanço do cilindro de movimentação dos eletrodos e botão de Start aceso

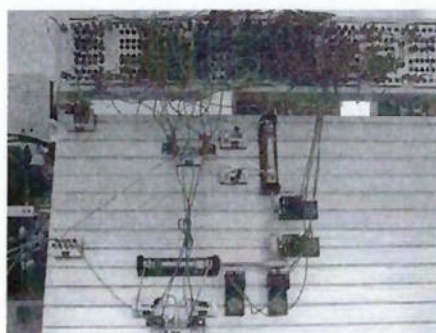


Figura 5.193 – Fim do segundo passo faz botão Start voltar a piscar

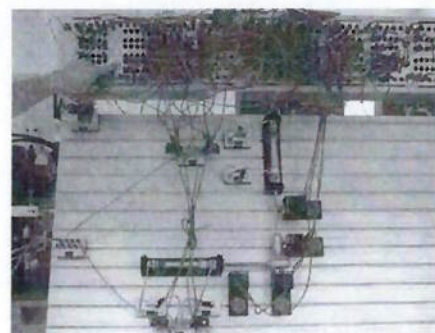


Figura 5.194 – Acionamento do botão Start dando início ao terceiro passo

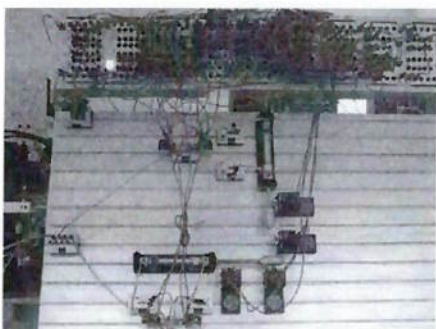


Figura 5.195 – Recuo do cilindro de movimentação dos eletrodos e botão de Start aceso

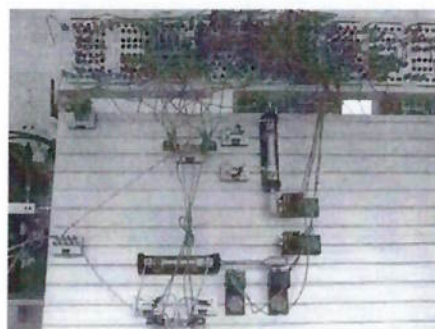


Figura 5.196 – Fim do terceiro passo faz botão Start voltar a piscar

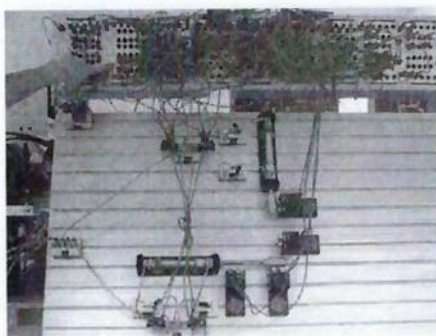


Figura 5.197 – Acionamento do botão Start dando início ao quarto passo

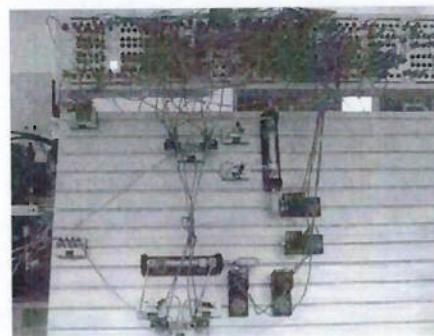


Figura 5.198 – Recuo do cilindro de transporte das peças e botão Start aceso

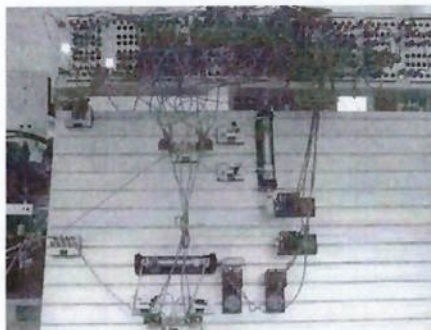


Figura 5.199 – Fim do ultimo passo faz botão de Start voltar a piscar e botão Reset ficar aceso

As figuras referem-se ao funcionamento no modo de operação manual. Para operação no modo automático, basta alterar a posição do botão com trava e pressionar o botão Start para a realização de um ciclo completo. Cabe destacar que é possível iniciar um processo em um dos modos, alterar o estado no meio da execução e finalizar o mesmo no outro modo. O funcionamento detalhado pode ser verificado em arquivo de vídeo disponibilizado em anexo.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.34 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	2 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	2 válvulas 5/2 vias bipilotada
	7 quadros de relés
Elementos de Processamento de Sinais	2 quadros de temporizadores
Elementos de Sinais	4 válvulas fins-de-curso
	2 quadros de botões
Elementos Auxiliares	4 válvulas reguladora de fluxo

6. Carga Horária

Tabela 5.35 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
4 horas	2 h 30 min

7. Resultados Esperados

Com a realização desta experiência espera-se que o aluno seja capaz de simular um mesmo funcionamento utilizando duas tecnologias diferentes. Nesse processo, o aluno poderá verificar as dificuldades e facilidades proporcionadas por cada tipo de circuito, permitindo a clara identificação das particularidades inerentes às mesmas. Nesse sentido, espera-se do aluno a percepção da maior facilidade na montagem proporcionada pela pneumática, além do fato de a mesma não proporcionar riscos quando do uso em ambientes explosivos. Por outro lado, se a eletropneumática exige certo grau de atenção na montagem das conexões elétricas, ela compensa essa característica proporcionando recursos não permitidos em circuitos puramente pneumáticos. Trata-se do uso de identificadores luminosos para auxiliar na operação do sistema de comando do dispositivo projetado, de modo a conduzir para a execução da sequência correta de acionamento dos botões. Isso representa certamente um aumento considerável na complexidade do projeto do circuito, dada as particularidades referentes ao estado de cada identificador luminoso durante o funcionamento do dispositivo. Deve-se, portanto, levar esse fator em consideração quando da comparação entre as duas tecnologias a fim de não conduzir a análise para resultados que não representam fielmente a realidade.

5.4 Eletropneumática (com CPs)

Por fim, para a área da eletropneumática com a utilização de CPs foram elaborados 2 experimentos, mais uma vez apresentados em ordem crescente de dificuldade.

5.4.1 Experimento 1

1. Objetivos

- Utilizar o conhecimento adquirido ao longo da realização das experiências anteriores para realizar o controle completo da estação de alimentação da Mini-CIM utilizando Controladores Programáveis (CPs);
- Familiarizar-se com o CP Simatic S7-300 da Siemens;
- Identificar as diferenças existentes entre o diagrama de relés e a linguagem de programação de CPs adotado para esta experiência (*Ladder Diagram*);
- Verificar as vantagens proporcionadas pelo uso dos CPs na realização do controle de dispositivos como a estação de alimentação da Mini-CIM;
- Realizar o controle completo da estação de alimentação da Mini-CIM, unindo a execução da alimentação das peças no sistema com os dispositivos de emergência e de seleção de modo de operação automático/manual;
- Incrementar o controle realizado na experiência 6 da pneumática, incluindo o botão indicativo de magazine vazio ("Magazine Empty");
- Adquirir o conhecimento do controle moderno aplicado atualmente em sistemas a eventos discretos automatizados;

2. Estudo de Caso

- Mini-CIM (Fábrica Modelo);

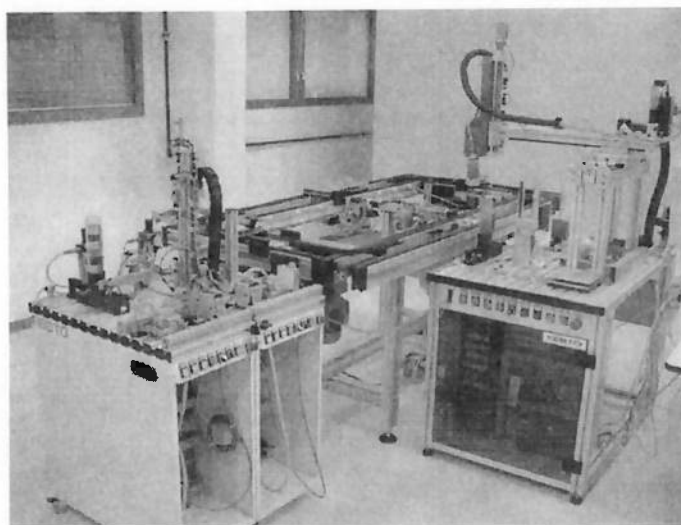


Figura 5.200- Mini-CIM

A automação industrial de processos produtivos envolvendo dispositivos pneumáticos, elétricos e controladores programáveis (CPs) pode ser bem representada pela fábrica modelo desenvolvido pela empresa Festo, conhecida também como Mini-CIM. O Mini-CIM faz parte do kit didático da Festo, representando a integração dos conceitos mais importantes de automação de SEDs, a menos da hidráulica. Dessa forma, é possível identificar tanto a presença de componentes pneumáticos e elétricos quanto componentes mais complexos, como as redes industriais de comunicação via Profibus e ASi, os motores servo-controlados e os CPs. Essa fábrica modelo, como o próprio nome já diz, simula o funcionamento de todas as atividades envolvidas em uma fábrica de forma automatizada, realizando a transformação da peça bruta em um produto acabado, passando por etapas de testes de qualidade, montagem, usinagem e estocagem em armazéns. Cada etapa é dividida em módulos (estações), sendo cada uma delas responsável por uma atividade específica, tal como em uma indústria.

Dessa forma, na estação de alimentação tem-se estocada a peça bruta que, no caso, tratam-se de peças cilíndricas nas cores preta, rosa ou prateada. A atividade executada neste módulo consiste na retirada da peça do magazine, posicionando-a para o transporte da mesma à estação seguinte, e finalizando sua tarefa com a realização efetiva desse transporte por meio da ação do vácuo.

Na estação seguinte (estação de teste), a peça passa por um processo de identificação do tipo de peça, consistindo na avaliação por meio da cor e da altura da peça. Peças que não satisfaçam os limites de altura pré-estabelecidos são descartadas. As demais são encaminhadas uma a uma para um pallet responsável pelo transporte à estação de montagem por meio de uma esteira.

Esta estação, por sua vez, está equipada com um braço controlado servo-mecanicamente contendo um dispositivo de garra acoplado em sua extremidade. O dispositivo tem a função de acrescentar à peça bruta um pistão e uma mola, fechando-a com uma tampa e realizando o transporte do pallet com a peça montada de volta à esteira transportadora. Cabe ressaltar que o tipo de pistão acrescentado varia conforme a cor da peça.

Na próxima estação (estação de usinagem), a peça é introduzida em um centro de usinagem por meio de um braço robótico, onde será trabalhada até adquirir a forma do produto final. Ao fim da usinagem o braço robótico retira a peça da máquina, recolocando-a de volta ao pallet, o qual é encaminhado para a última estação.

Esta, nomeada de estação de armazenamento, consiste em um armazém automatizado equipado com um sistema de transporte AS/RS, o qual é responsável pelo transporte inteligente dos pallets carregado de peça em posições livres nas prateleiras, e pelo reabastecimento de pallets vazios no sistema produtivo da fábrica modelo.

Cabe destacar que na fábrica modelo presente no laboratório do ITBA as últimas duas estações ainda não foram instaladas.

3. Enunciado

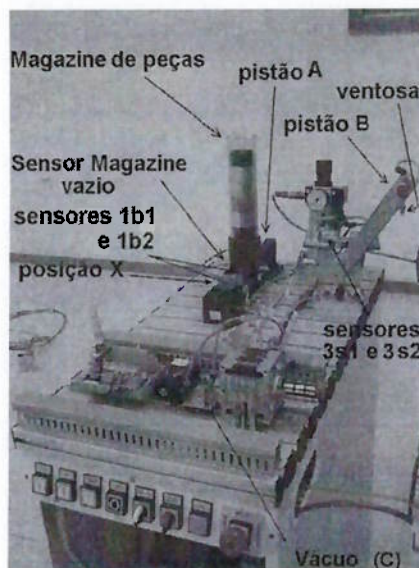


Figura 5.201- Estação de Alimentação e seus componentes

- Analisar o funcionamento da estação de alimentação da Mini-CIM de modo a certificar-se da correta compreensão das etapas envolvidas no processo;
- Verificar o funcionamento do botão “Magazine Empty”;
- Fazer o diagrama trajeto-passo da estação;
- Fazer o projeto do circuito eletropneumático da estação utilizando o FluidSim-P;
- Configurar o módulo do CP utilizando o software Simatic Step-S7 da Siemens;
- Identificar as entradas e saídas disponíveis no módulo de CP;
- Realizar a programação da estação de alimentação da Mini-CIM;
- Carregar o programa na CPU do Controlador Programável;
- Desconectar a estação de alimentação da Mini-CIM, transportando a mesma para permitir a sua conexão com um dos módulos de CPs do laboratório;
- Realizar testes e correções até atingir a configuração final do programa;

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

$$B+ \mid A- \mid B- \mid C+ \mid A+ \mid B+ \mid C- \mid B-$$

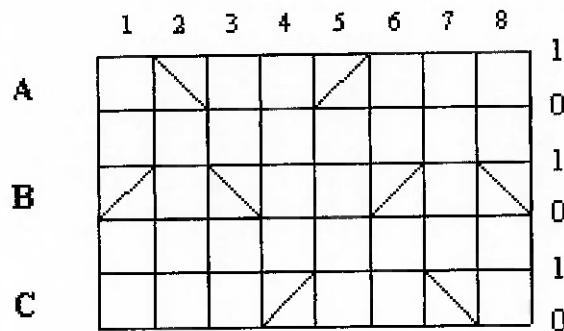


Figura 5.202 - Diagrama trajeto-passo

2. Modelagem do funcionamento principal do sistema utilizando a metodologia PFS/MFG:

Inicialmente, baseado no procedimento de refinamento gradativo (abordagem *top-down*), identifica-se grosseiramente a estrutura do sistema.

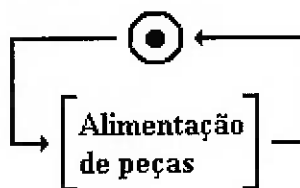


Figura 5.203 - Estrutura grosseira do sistema

Em seguida, visando facilitar a compreensão do sistema, o mesmo é dividido em um pequeno número de partes discretas (macro-eventos):

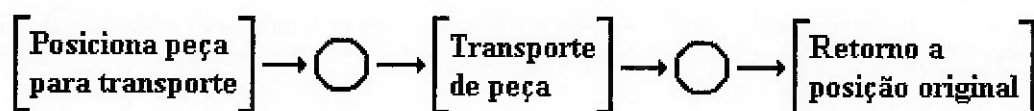


Figura 5.204 - Identificação dos macro-eventos da atividade "Alimentação de peças" (PFS)

Por fim, cada um dos macro eventos é detalhado, introduzindo-se os principais elementos e sinais de controle.

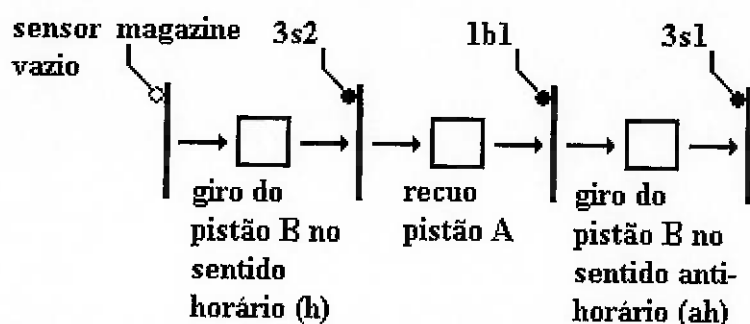


Figura 5.205 - MFG do sub-sistema "Posiciona peça para transporte"

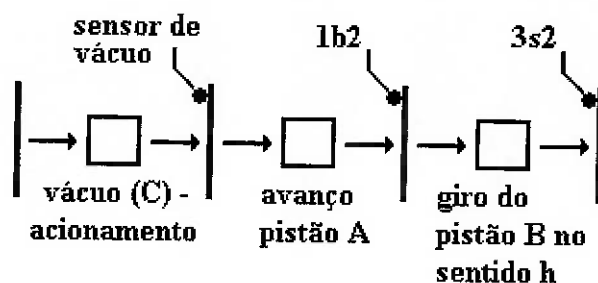


Figura 5.206 - MFG do sub-sistema "Transporte de peça"

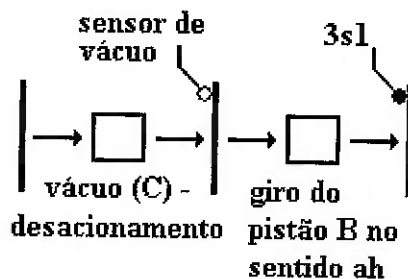


Figura 5.207 - MFG do sub-sistema "Retorno a posição original"

3. Projeto do circuito eletropneumático:

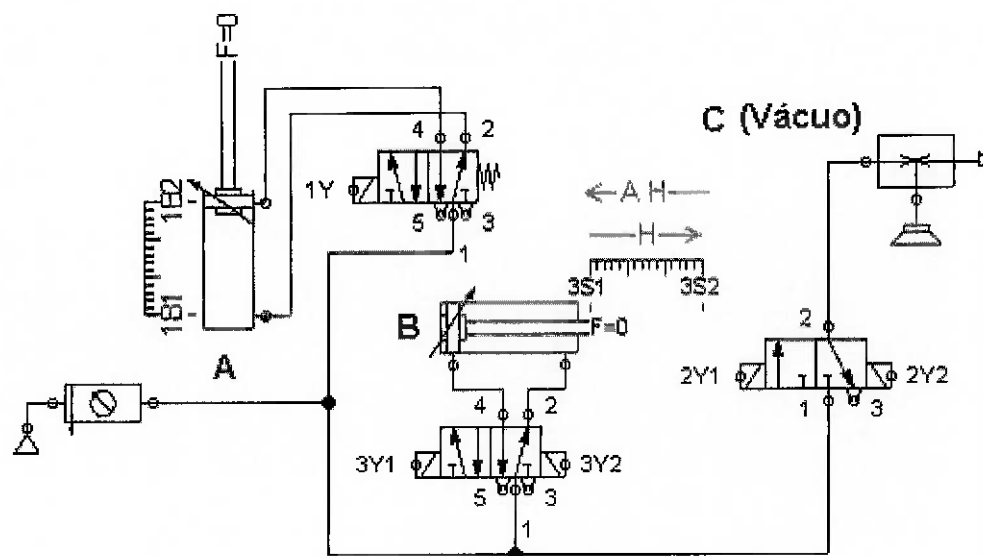


Figura 5.208 – Circuito da Estação de Alimentação

4. Classificação e descrição dos componentes da Estação de Alimentação:

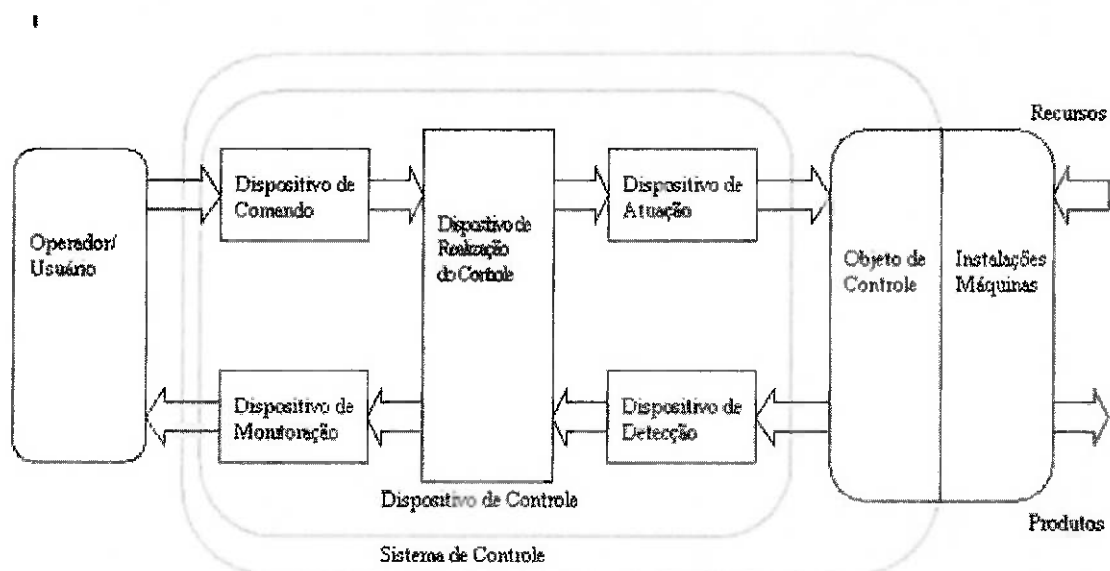


Figura 5.209 - Diagrama identificando as entradas e saídas do CP (Dispositivo de Realização de Controle)

Tabela 5.36 - Tabela de classificação e descrição dos componentes da Estação de Alimentação

Tipo de Dispositivos		Dispositivos-Símbolo	Endereço utilizado no CLP	Descrição
Entradas do CLP	Dispositivos de Comando	Botão de Parada de Emergência (PE)	E125.0	Botão Interromper funcionamento em caso de emergência
		Botão Quit	E125.1	Botão para destravamento da emergência
		Botão Reset	E125.2	Botão para resetar a estação
		Botão Start	E125.3	Botão para iniciar funcionamento
		Botão Automático/Manual	E125.4	Botão para seleção entre ciclo automático e manual
		Botão Magazine Empty	E125.7	Botão de confirmação de que foi colocado nova(s) peça(s) no magazine
	Dispositivos de Detecção	Sensor 1b1	E124.1	Sensor fim de curso para pistão A recuado
		Sensor 1b2	E124.0	Sensor fim de curso para pistão A avançado
		Roleta 3s1	E124.2	Roleta fim de curso para pistão B na posição final sentido anti-horário
		Roleta 3s2	E124.3	Roleta fim de curso para pistão B na posição final sentido horário

Saídas do CLP		Sensor de Vácuo	E124.5	Sensor de detecção de vácuo (C), ou seja, de peça presa pela ventosa
		Sensor Magazine Vazio	E124.6	Sensor de identificação de magazine vazio
	Disp. de Monitoração	Lâmpada da Parada de Emergência	A125.0	Lâmpada do botão Parada de Emergencia
		Lâmpada do Reset	A125.2	Lâmpada do botão Reset
		Lâmpada do Start	A125.3	Lâmpada do botão Start
		Lâmpada do Magazine Empty	A125.7	Lâmpada do botão Magazine Empty
	Dispositivos de Atuação	Solenóide 1y	A124.6	Solenóide para recuo do pistão A
		Solenóide 2y1	A124.5	Solenóide para ligar vácuo (C) da ventosa
		Solenóide 2y2	A124.4	Solenóide para desligar vácuo (C) da ventosa
		Solenóide 3y1	A124.3	Solenóide para girar pistão B no sentido horário
		Solenóide 3y2	A124.1	Solenóide para girar pistão B no sentido anti-horário

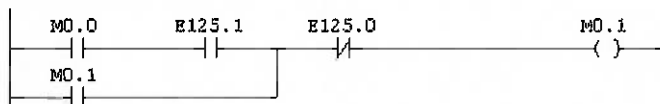
5. Programação utilizando a linguagem *Ladder Diagram*:

OB1 : ???

Network 1 : ???



Network 2 : ???



Network 3 : ???



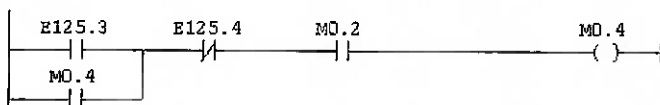
Network 4 : ???



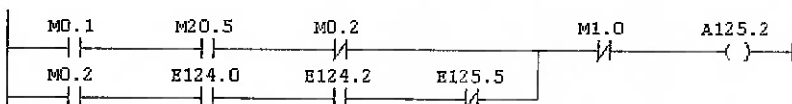
Network 5 : ???



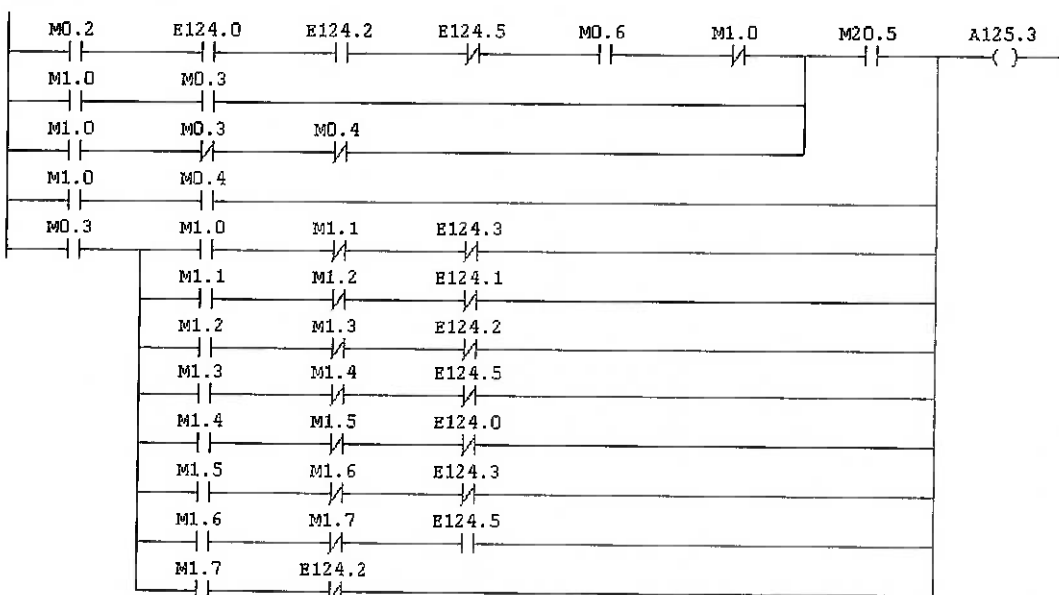
Network 6 : ???



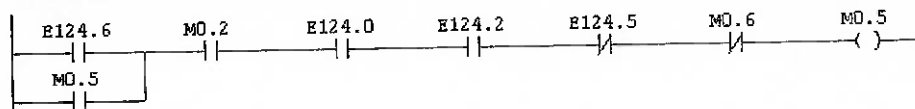
Network 7 : ???



Network 8 : ???



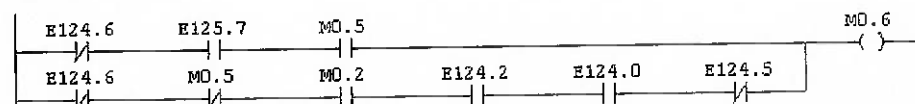
Network 9 : ???



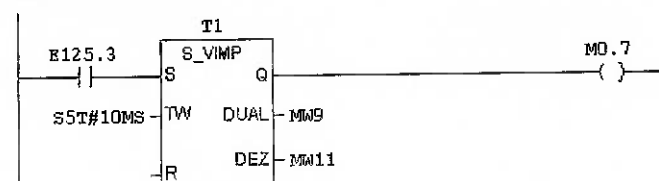
Network 10 : ???



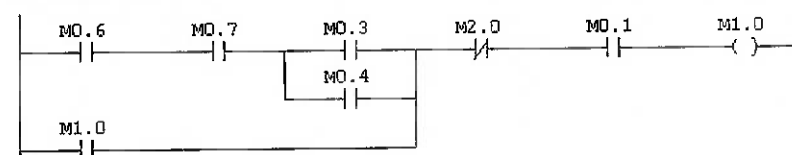
Network 11 : ???



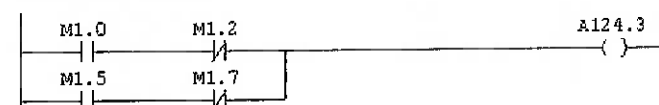
Network 12 : ???



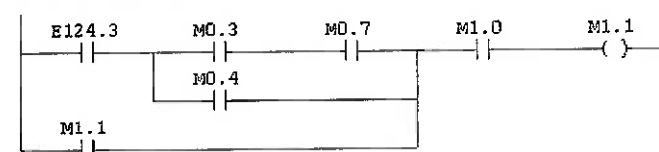
Network 13 : ???



Network 14 : ???



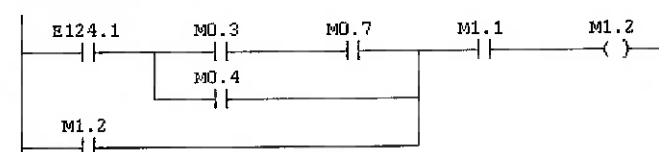
Network 15 : ???



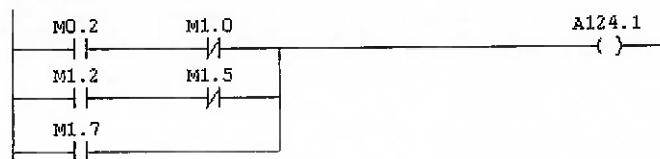
Network 16 : ???



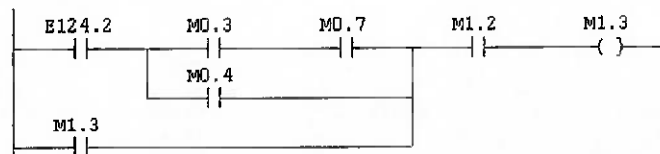
Network 17 : ???



Network 18 : ???



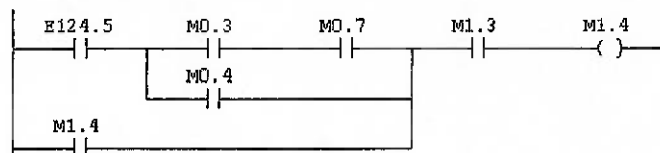
Network 19 : ???



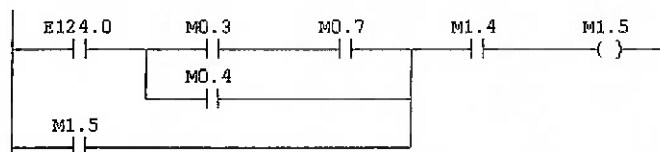
Network 20 : ???



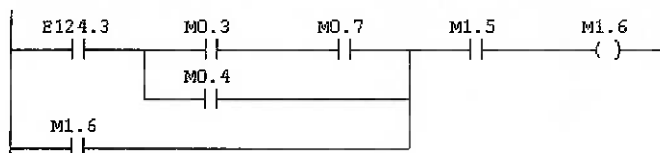
Network 21 : ???



Network 22 : ???



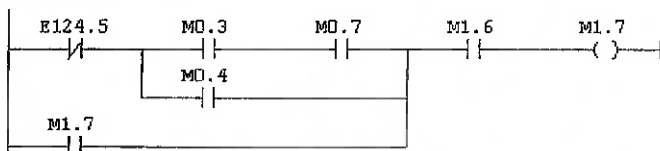
Network 23 : ???



Network 24 : ???



Network 25 : ???



Network 26 : ???



6. Montagem do circuito pneumático:

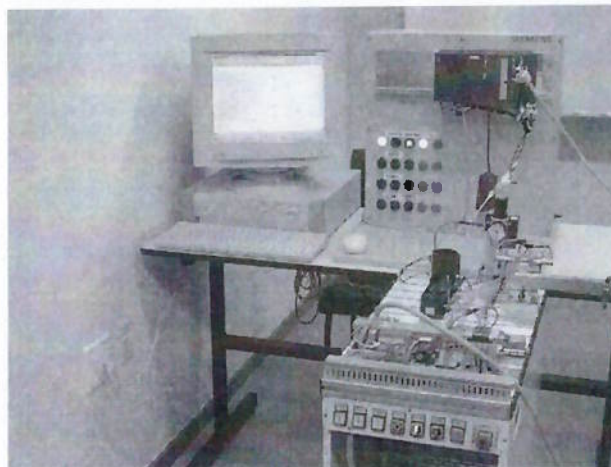


Figura.5.210 – Montagem



Figura 5.211 – Início do processo com o botão de Emergência acionado

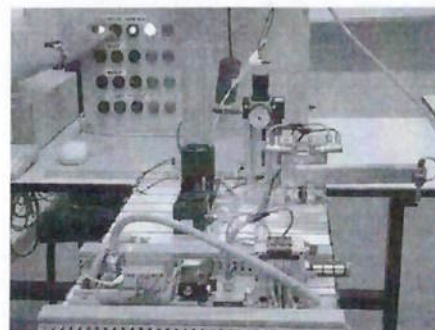


Figura 5.212 – Destravamento do botão de Emergência



Figura 5.213 – Confirmação do destravamento do botão de emergência (Quit)

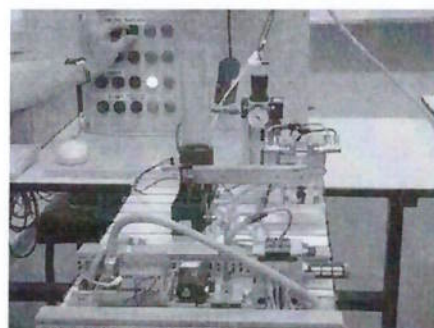


Figura 5.214 – Botão Reset começa a piscar e é selecionado o modo de operação manual

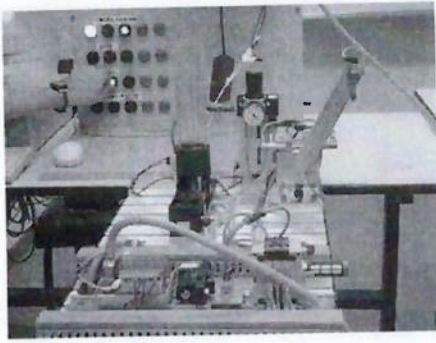


Figura 5.215 – Acionamento do botão Reset e recuo do braço para a posição inicial



Figura 5.216 – Botão Reset fica aceso e botão de Start começa a piscar



Figura 5.217 – Acionamento do botão Start dando início ao processo (durante o processo a luz de Start permanece acesa)

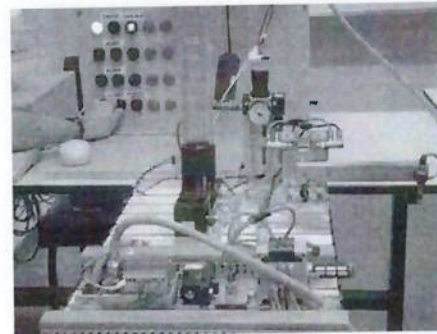


Figura 5.218 – Avanço do braço (pistão C) (ao fim de uma etapa a luz de Start fica piscando)

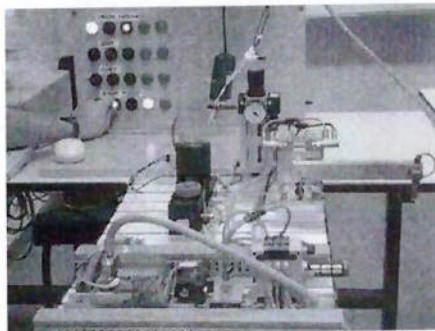


Figura 5.219 – Recuo do pistão A posicionando a peça para a posição de transporte



Figura 5.220 – Retorno do braço (pistão C)



Figura 5.221 – Acionamento do vácuo

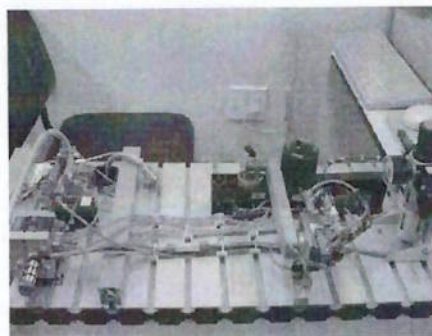


Figura 5.222 – Recuo do pistão A



Figura 5.223 – Avanço do braço (pistão C) transportando a peça

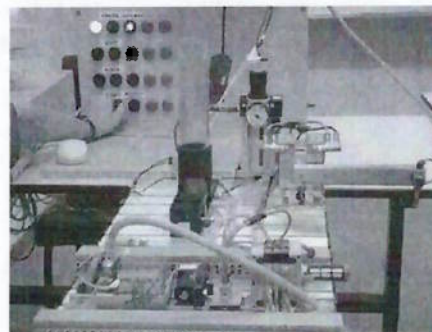


Figura 5.224 – Desacionamento do vácuo



Figura 5.225 – Com a liberação da peça, o braço (pistão C) pode retornar



Figura 5.226 – Recuo do braço (pistão C) para a posição inicial (Luz de Reset volta a ficar acesa ao fim do ciclo)

As figuras referem-se ao funcionamento no modo de operação manual. Para operação no modo automático, basta alterar a posição do botão de seleção do modo de operação para a posição automático e pressionar o botão Start para a realização de um ciclo completo. Cabe destacar que é possível iniciar um processo em um dos modos, alterar o estado no meio da execução e finalizar o mesmo no outro modo.

Outro ponto importante diz respeito ao estado das lâmpadas dos botões Emergência, Reset e Start durante o processo. Para os dois primeiros, o comportamento é igual tanto no ciclo manual quanto no automático. Assim, a luz de emergência é apagada quando da confirmação do destravamento da mesma pelo botão Quit, o qual faz com que a luz de Reset comece a piscar, e este último, por sua vez, permanece apagado durante a realização da operação de Reset na máquina, ficando permanente acesa quando da finalização desse processo. Nesse instante, a luz de Start começa a piscar, e quando for acionada no modo automático, permanece acesa durante todo o processo até voltar ao estado intermitente no fim de um ciclo. Já no ciclo manual, a luz de Start permanece acesa quando da execução de cada passo e volta a piscar ao fim de cada uma, indicando a necessidade de um novo acionamento do botão.

O funcionamento detalhado pode ser verificado em arquivos de vídeo disponibilizado em anexo, incluindo situações de troca do modo de operação no meio do processo, acionamento do botão de emergência e reabastecimento de magazine vazio.

Para esse último caso, em que todas as peças são processadas, resultando no esvaziamento completo do magazine, ocorre a indicação luminosa (piscando) de “Magazine Empty” indicando a necessidade de reposição de peças no magazine. As etapas referentes a essa situação são mostradas abaixo:

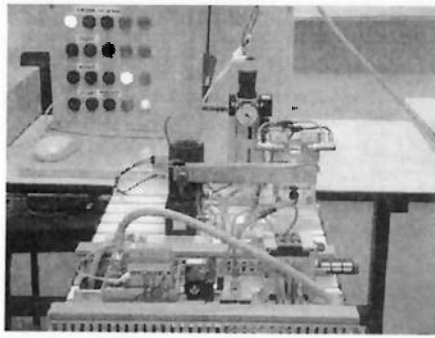


Figura 5.227 – Acusação de magazine vazio

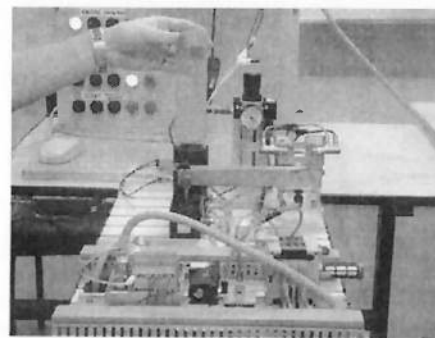


Figura 5.228 – Reabastecimento do magazine

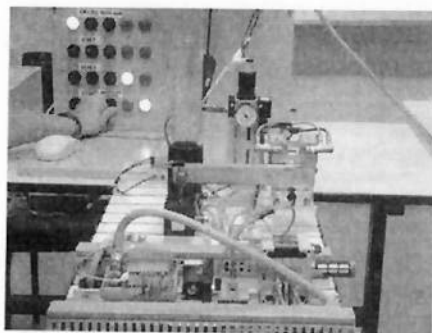


Figura 5.229 – Confirmação do abastecimento

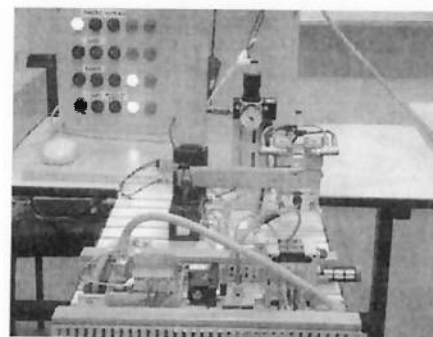


Figura 5.230 – Confirmado o abastecimento a luz de Start volta a piscar indicando a possibilidade de continuidade do processo

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.37 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	1 cilindro de dupla-ação
	1 atuador rotativo
	1 ventosa com sucção por vácuo
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias duplo-solenóide
	1 válvula 5/2 vias simples-solenóide
	1 válvula 3/2 vias duplo-solenóide

Elementos de Processamento de Sinais	1 CLP S7-300 Siemens
	1 válvula de vácuo
Elementos de Sinais	4 válvulas fins-de-curso
	1 sensor de vácuo
	1 Pannel de botões

6. Carga Horária

Tabela 5.38 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
4h 30 min	60 min

7. Resultados Esperados

Com a realização desta experiência espera-se concluir a transmissão de todos os conhecimentos necessários para possibilitar o aluno a desenvolver a estação de alimentação da Mini-CIM por conta própria, além de dar a oportunidade ao aluno de trabalhar com a própria estação para a realização da experiência. Assim, as atividades se concentraram principalmente na programação do dispositivo de controle da estação, do mesmo modo como é realizado na Mini-CIM, fazendo o aluno adquirir os conhecimentos necessários para utilizar o controlador S7-300 da Siemens na realização do controle dos mais diversos processos baseados em SEDs. Nesse processo, o aluno deve aprender a configurar o CP e a identificar as diferenças existentes entre duas formas de projeto muito semelhantes: o diagrama de relés, utilizado na eletropneumática e a linguagem Ladder Diagram, utilizada na

programação do CP. Assim, finalizado o aprendizado da programação e utilização do CP, tem-se concluído o estudo completo de todos os componentes da estação de Alimentação, abrangendo desde a análise dos componentes de realização do trabalho propriamente dito, passando pelos botões de controle do sistema e pelos dispositivos de segurança, até adquirir o domínio do dispositivo de realização de controle, exercido pelo Controlador Programável. Espera-se assim, que o aluno possua pleno conhecimento do funcionamento da estação de Alimentação da Mini-CIM bem como dos conceitos envolvidos em cada parte do sistema, podendo abranger esse estudo para aplicações em situações com utilidade prática para as indústrias em desenvolvimento.

5.4.2 Experimento 2

1. Objetivos

- Utilizar o conhecimento adquirido ao longo da realização das experiências anteriores para realizar o controle completo da estação de teste da Mini-CIM utilizando Controladores Programáveis (CPs);
- Familiarizar-se com o CP Simatic S7-300 da Siemens;
- Identificar as diferenças existentes entre o diagrama de relés e a linguagem de programação de CPs adotado para esta experiência (*Ladder Diagram*);
- Verificar as vantagens proporcionadas pelo uso dos CPs na realização do controle de dispositivos como a estação de teste da Mini-CIM;
- Realizar o controle completo da estação de teste da Mini-CIM, unindo a execução do teste das peças com os dispositivos de emergência e de seleção de modo de operação automático/manual;
- Incrementar o controle realizado na experiência 4 da eletropneumática sem CP, incluindo os botões “Stop” e “Adjust”;
- Adquirir o conhecimento do controle moderno aplicado atualmente em sistemas a eventos discretos automatizados;

2. Estudo de Caso

- Mini-CIM (Fábrica Modelo);



Figura 5.231 - Mini-CIM

A automação industrial de processos produtivos envolvendo dispositivos pneumáticos, elétricos e controladores programáveis (CPs) pode ser bem representada pela fábrica modelo desenvolvido pela empresa Festo, conhecida também como Mini-CIM. O Mini-CIM faz parte do kit didático da Festo, representando a integração dos conceitos mais importantes de automação de SEDs, a menos da hidráulica. Dessa forma, é possível identificar tanto a presença de componentes pneumáticos e elétricos quanto componentes mais complexos, como as redes industriais de comunicação via Profibus e ASi, os motores servo-controlados e os CPs. Essa fábrica modelo, como o próprio nome já diz, simula o funcionamento de todas as atividades envolvidas em uma fábrica de forma automatizada, realizando a transformação da peça bruta em um produto acabado, passando por etapas de testes de qualidade, montagem, usinagem e estocagem em armazéns. Cada etapa é dividida em módulos (estações), sendo cada uma delas responsável por uma atividade específica, tal como em uma indústria.

Dessa forma, na estação de alimentação tem-se estocada a peça bruta que, no caso, tratam-se de peças cilíndricas nas cores preta, rosa ou prateada. A atividade executada neste módulo consiste na retirada da peça do magazine, posicionando-a para o transporte da mesma à estação seguinte, e finalizando sua tarefa com a realização efetiva desse transporte por meio da ação do vácuo.

Na estação seguinte (estação de teste), a peça passa por um processo de identificação do tipo de peça, consistindo na avaliação por meio da cor e da altura da peça. Peças que não satisfaçam os limites de altura pré-estabelecidos são descartadas. As demais são encaminhadas uma a uma para um pallet responsável pelo transporte à estação de montagem por meio de uma esteira.

Esta estação, por sua vez, está equipada com um braço controlado servo-mecanicamente contendo um dispositivo de garra acoplado em sua extremidade. O dispositivo tem a função de acrescentar à peça bruta um pistão e uma mola, fechando-a com uma tampa e realizando o transporte do pallet com a peça montada de volta à esteira transportadora. Cabe ressaltar que o tipo de pistão acrescentado varia conforme a cor da peça.

Na próxima estação (estação de usinagem), a peça é introduzida em um centro de usinagem por meio de um braço robótico, onde será trabalhada até adquirir a forma do produto final. Ao fim da usinagem o braço robótico retira a peça da máquina, recolocando-a de volta ao pallet, o qual é encaminhado para a última estação.

Esta, nomeada de estação de armazenamento, consiste em um armazém automatizado equipado com um sistema de transporte AS/RS, o qual é responsável pelo transporte inteligente dos pallets carregado de peça em posições livres nas prateleiras, e pelo reabastecimento de pallets vazios no sistema produtivo da fábrica modelo.

Cabe destacar que na fábrica modelo presente no laboratório do ITBA as últimas duas estações ainda não foram instaladas.

3. Enunciado

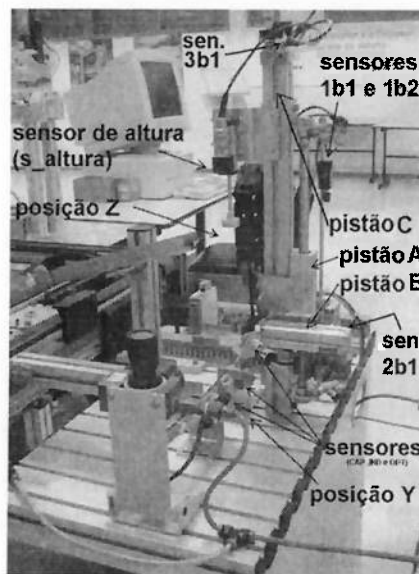


Figura 5.232 - Estação de Teste e seus componentes

- Analisar o funcionamento da estação de teste da Mini-CIM de modo a certificar-se da correta compreensão das etapas envolvidas no processo;
- Verificar o funcionamento dos botões “Stop” e “Adjust”;
- Fazer o diagrama trajeto-passo da estação;
- Fazer o projeto do circuito eletropneumático da estação utilizando o FluidSim-P;
- Configurar o módulo do CP utilizando o software Simatic Step-S7 da Siemens;
- Identificar as entradas e saídas disponíveis no módulo de CP;
- Realizar a programação da estação de teste da Mini-CIM;
- Carregar o programa na CPU do Controlador Programável;
- Desconectar a estação de teste da Mini-CIM, transportando a mesma para permitir a sua conexão com um dos módulos de CPs do laboratório;
- Realizar testes e correções até atingir a configuração final do programa;

4. Resolução

1. Diagrama trajeto-passo:

$$A + |C + {}^{TB1}|C - {}^{TB2}|B + {}^{TC}|B - |A -$$

$$A + |C + {}^{TB1}|C - {}^{TB2}|A - |B + {}^{TC}|B -$$

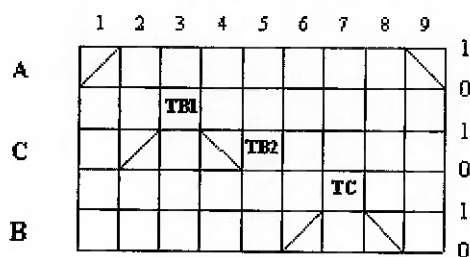


Figura 5.233 – Diagrama trajeto-passo para peça aprovada

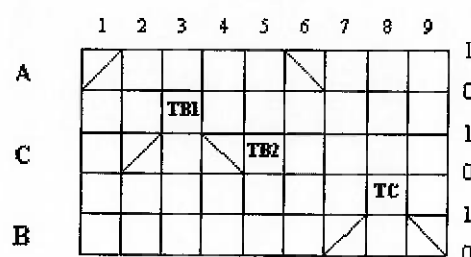


Figura 5.234 – Diagrama trajeto-passo para peça reprovada

2. Modelagem do funcionamento principal do sistema utilizando a metodologia PFS/MFG:

Inicialmente identifica-se grosseiramente a estrutura do sistema.



Figura 5.235 - Estrutura grosseira do sistema

Em seguida, o sistema é dividido em um pequeno número de partes discretas (macro-eventos):

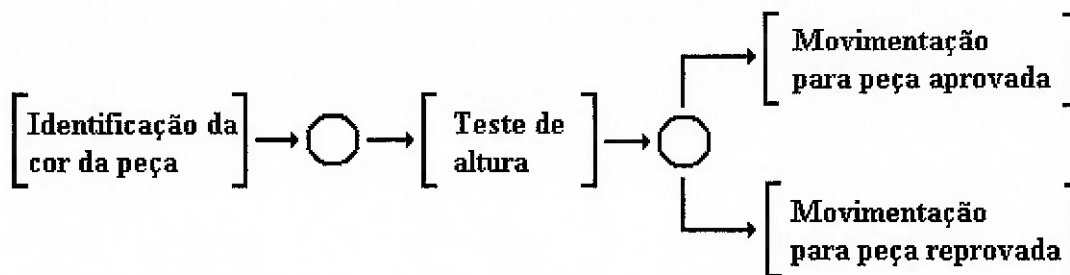


Figura 5.236 - Identificação dos macro-eventos da atividade "Teste de peças" (PFS)

Por fim, cada um dos macro-eventos é detalhado, introduzindo-se os principais elementos e sinais de controle.

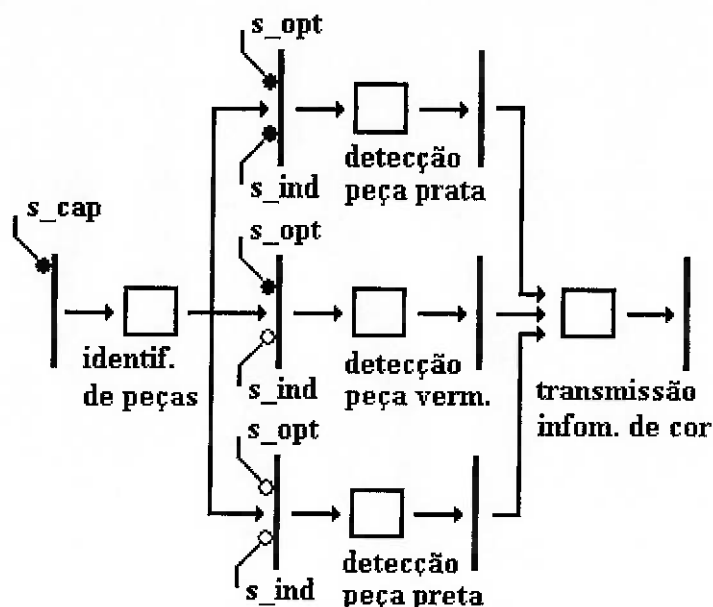


Figura 5.237 - MFG do sub-sistema "Identificação da cor da peça"

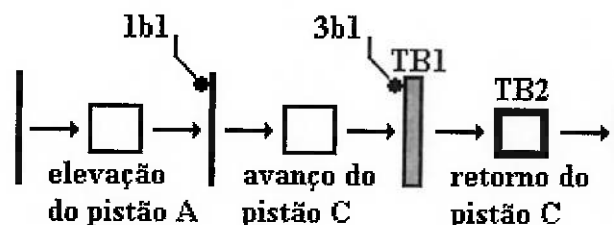


Figura 5.238 - MFG do sub-sistema "Teste de altura"

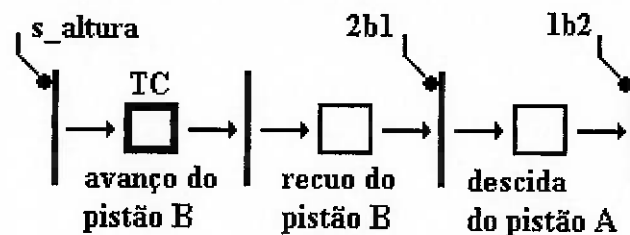


Figura 5.239 - MFG do sub-sistema "Movimentação para peça aprovada"

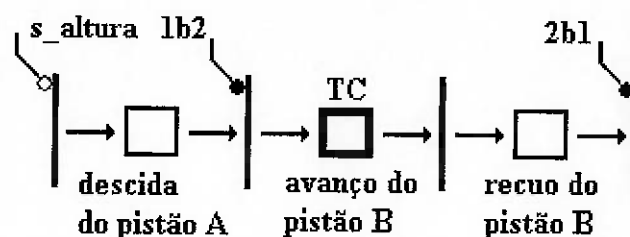


Figura 5.240 - Movimentação para peça reprovada

3. Projeto do circuito eletropneumático:

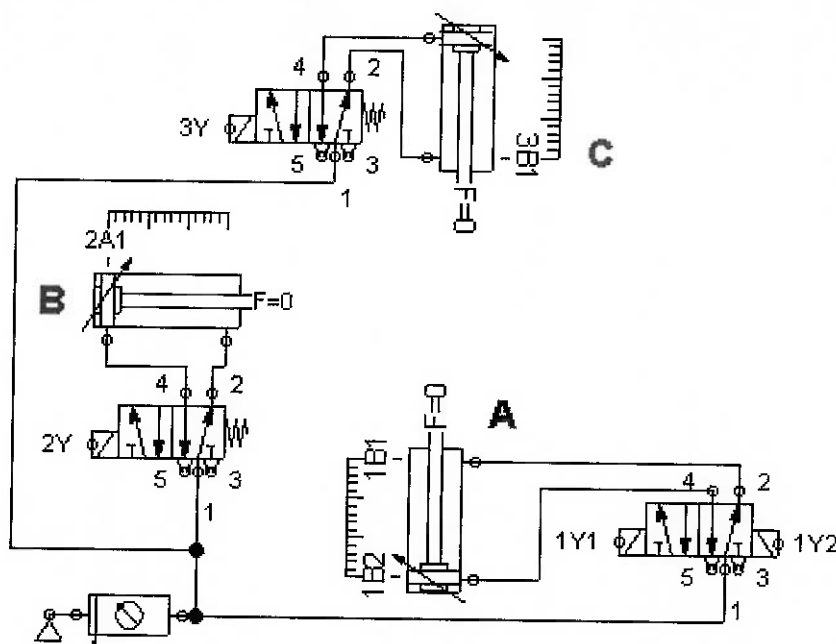


Figura 5.241- Circuito da Estação de Alimentação

4. Classificação e descrição dos componentes da Estação de Teste:

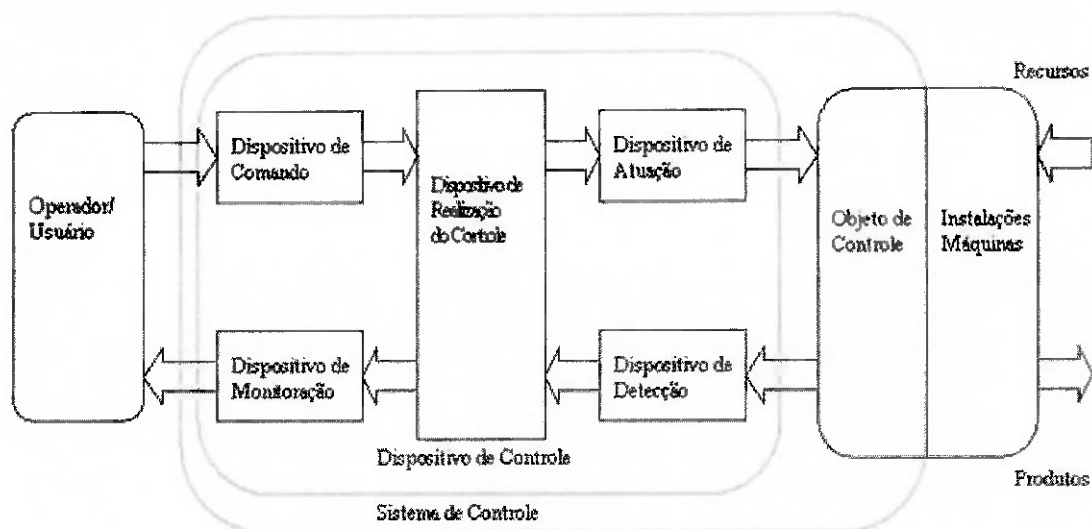


Figura 5.242 - Diagrama identificando as entradas e saídas do CP (Dispositivo de Realização de Controle)

Tabela 5.39 - Tabela de classificação e descrição dos componentes da Estação de Teste

Tipo de Dispositivos		Dispositivos-Símbolo	Endereço utilizado no CLP	Descrição
Entradas do CLP	Dispositivos de Comando	Botão de Parada de Emergência (PE)	E125.0	Botão Interromper funcionamento em caso de emergência
		Botão Quit	E125.1	Botão para destravamento da emergência
		Botão Reset	E125.2	Botão para resetar a estação
		Botão Start	E125.3	Botão para iniciar funcionamento

Dispositivos de Detecção	Botão Automático/Manual	E125.4	Botão para seleção entre ciclo automático e manual
	Botão Stop	E125.6	Botão que permite que o botão Adjust seja acionado
	Botão Adjust	E125.7	Botão que permite a calibração do sensor de altura
	Sensor Indutivo	E124.0	Sensor indutivo utilizado para identificação de peças metálicas
	Sensor Capacitivo	E124.1	Sensor capacitivo utilizado para identificação de peças quaisquer
	Sensor Óptico	E124.2	Sensor óptico utilizado para identificação de peças não pretas
	Sensor 1b2	E124.3	Sensor fim de curso para pistão A na posição inferior
	Sensor 1b1	E124.4	Sensor fim de curso para pistão A na posição superior
	Sensor 2b1	E124.5	Sensor fim de curso para pistão B recuado
	Sensor 3b1	E124.6	Sensor fim de curso para pistão C avançado

Saídas do CLP	Disp. de Monitoração	Sensor de altura	E124.7	Sensor de aprovação ou reprovação de peça dependendo da sua altura interna
		Lâmpada da Parada de Emergência	A125.0	Lâmpada do botão Parada de Emergencia
		Lâmpada do Reset	A125.2	Lâmpada do botão Reset
		Lâmpada do Start	A125.3	Lâmpada do botão Start
		Lâmpada do Adjust	A125.7	Lâmpada do botão Adjust
	Dispositivos de Atuação	Solenóide 1y1	A124.6	Solenóide para elevar o pistão A
		Solenóide 1y2	A124.7	Solenóide para abaixar o pistão A
		Solenóide 2y	A124.5	Solenóide para avanço do pistão B
		Solenóide 3y	A124.4	Solenóide para avanço do pistão C

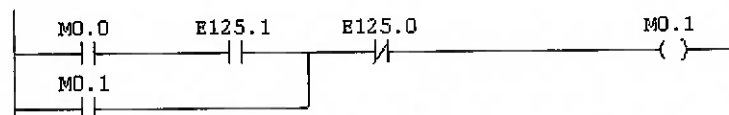
5. Programação utilizando a linguagem *Ladder Diagram*:

OB1 : ???

Network 1 : ???



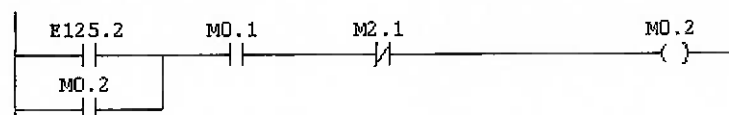
Network 2 : ???



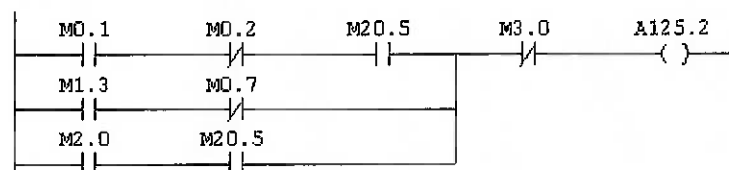
Network 3 : ???



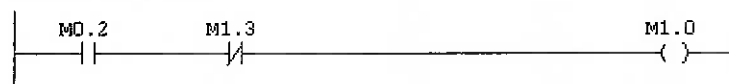
Network 4 : ???



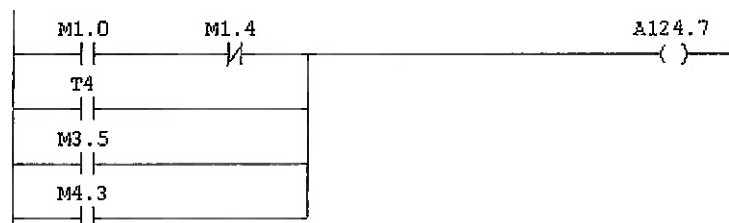
Network 5 : ???



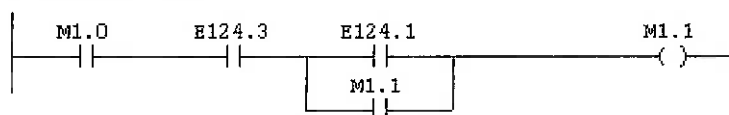
Network 6 : ???



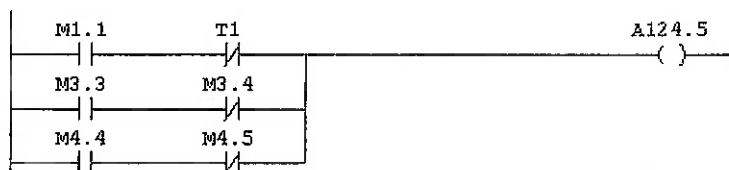
Network 7 : ???



Network 8 : ???



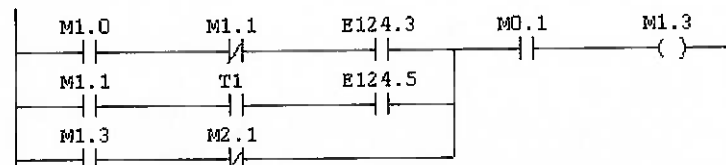
Network 9 : ???



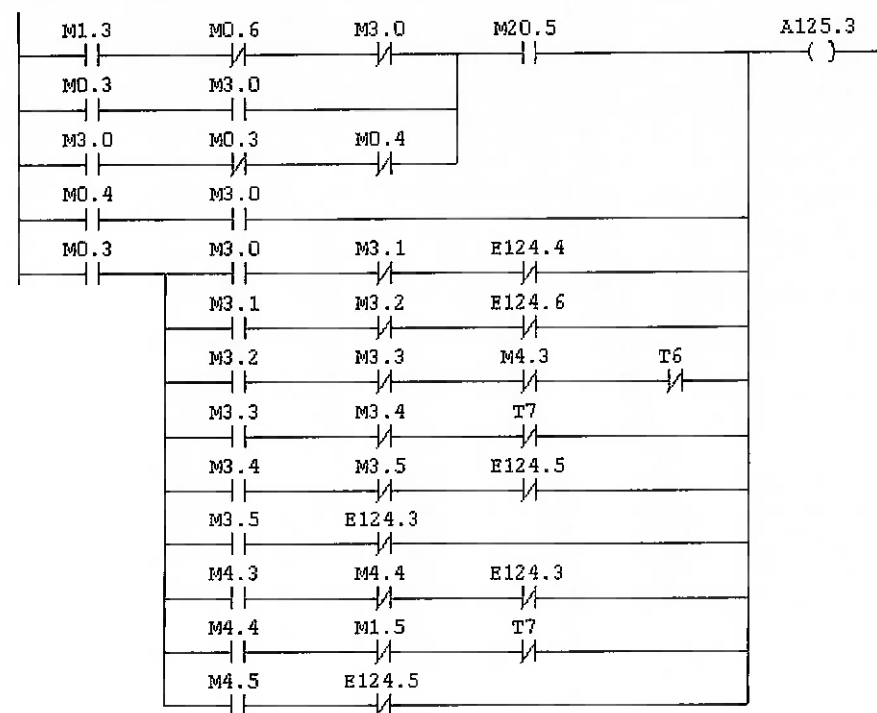
Network 10 : ???



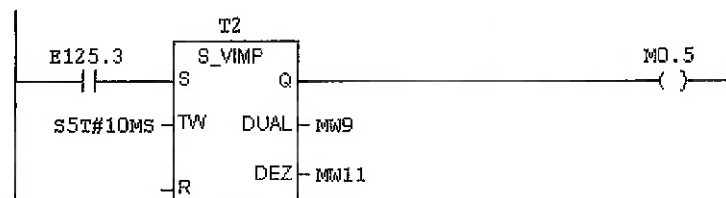
Network 11 : ???



Network 12 : ???



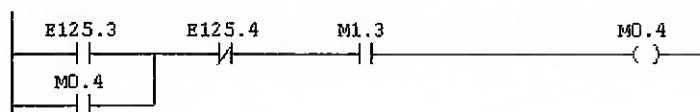
Network 13 : ???



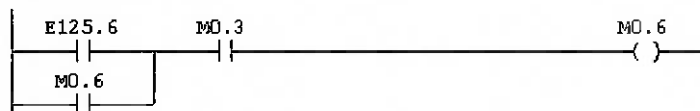
Network 14 : ???



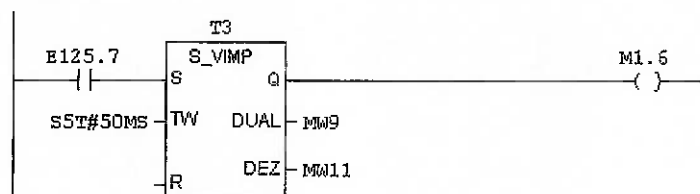
Network 15 : ???



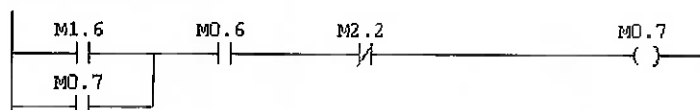
Network 16 : ???



Network 17 : ???



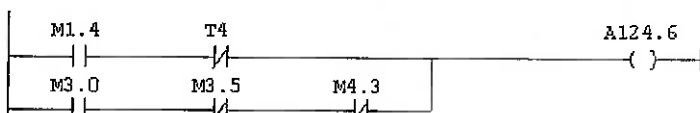
Network 18 : ???



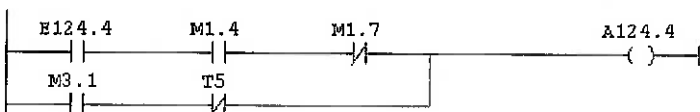
Network 19 : ???



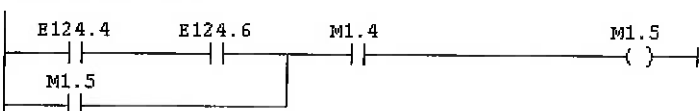
Network 20 : ???



Network 21 : ???



Network 22 : ???



Network 23 : ???



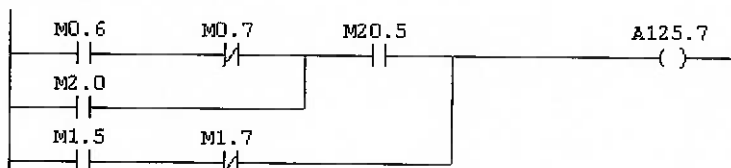
Network 24 : ???



Network 25 : ???



Network 26 : ???



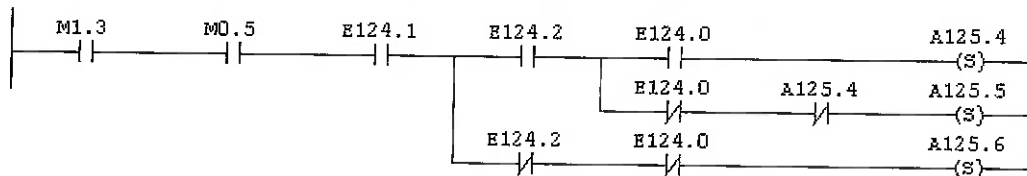
Network 27 : ???



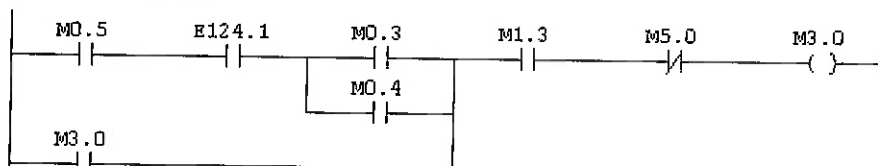
Network 28 : ???



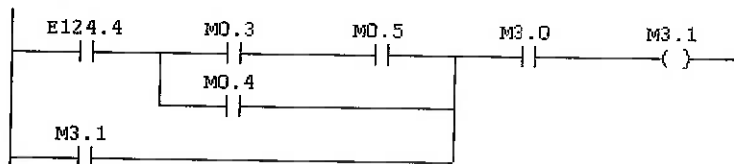
Network 29 : ???



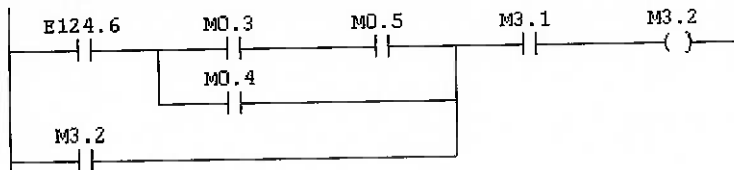
Network 30 : ???



Network 31 : ???



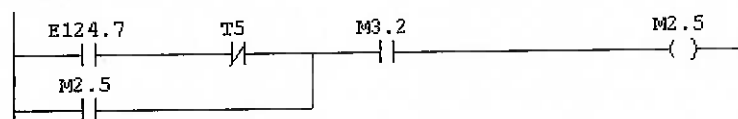
Network 32 : ???



Network 33 : ???



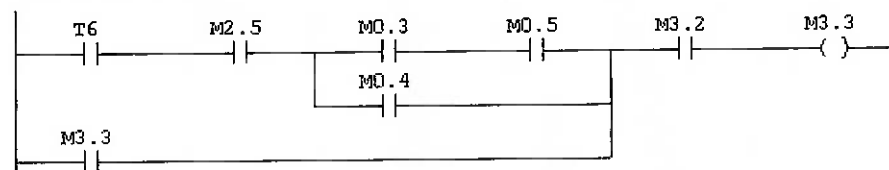
Network 34 : ???



Network 35 : ???



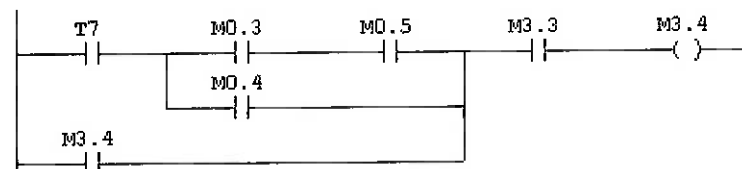
Network 36 : ???



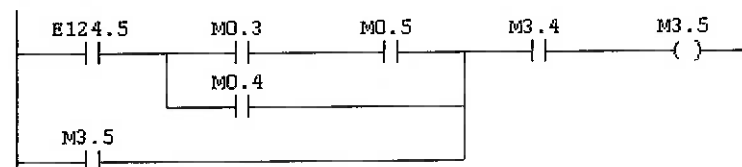
Network 37 : ???



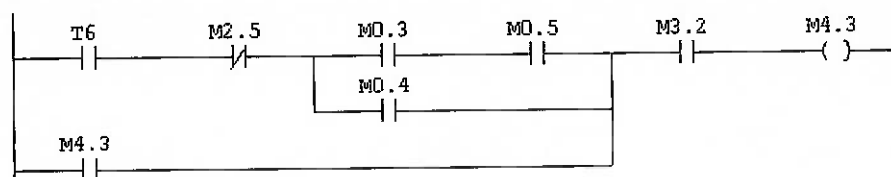
Network 38 : ???



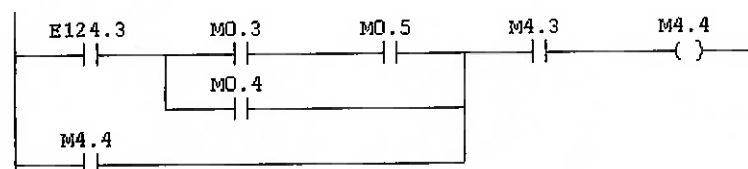
Network 39 : ???



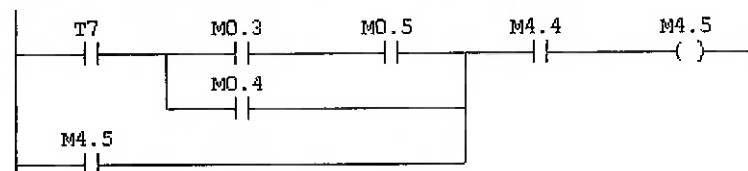
Network 40 : ???



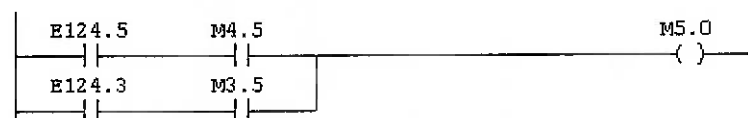
Network 41 : ???



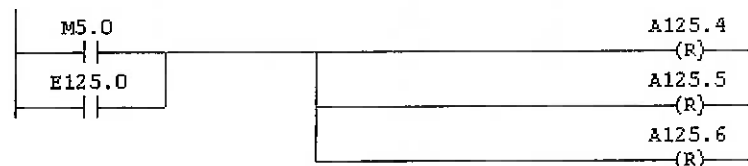
Network 42 : ???



Network 43 : ???



Network 44 : ???



6. Montagem do circuito pneumático:

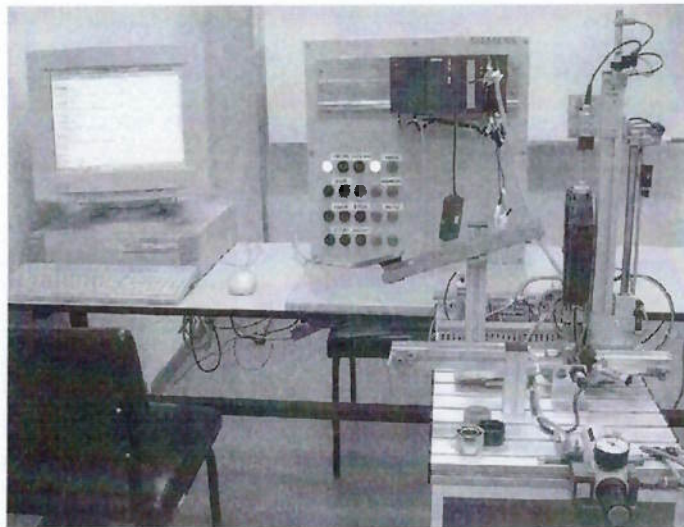


Figura 5.243 – Montagem

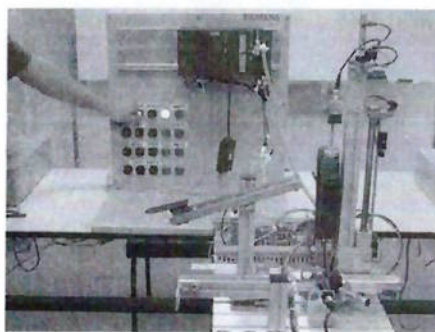


Figura 5.244 – Destravamento do botão de Emergência



Figura 5.245 – Confirmação do destravamento do botão de Emergência (Quit), apagando a luz de emergência



Figura 5.246 – Acionamento do botão Reset com luz de Reset piscando



Figura 5.247 – Luz de Reset fica acesa, luz de Start começa a piscar e peça é abastecida na estação



Figura 5.248 – Seleção do modo de operação manual



Figura 5.249 – Acionamento do botão Start para execução do primeiro passo



Figura 5.250 – Execução do primeiro passo - subida do elevador



Figura 5.251 – Execução do segundo passo - descida e leitura do sensor de altura - após novo acionamento de Start



Figura 5.252 – Execução do terceiro passo - recuo do sensor de altura

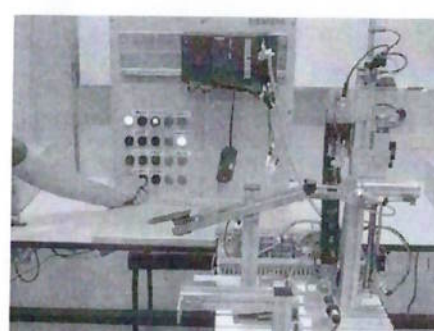


Figura 5.253 – Execução do quarto passo com peça aprovada - expulsão da peça do elevador

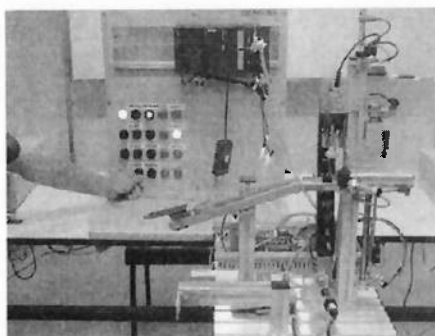


Figura 5.254 – Execução do quinto passo – recuo do pistão para expulsão de peça

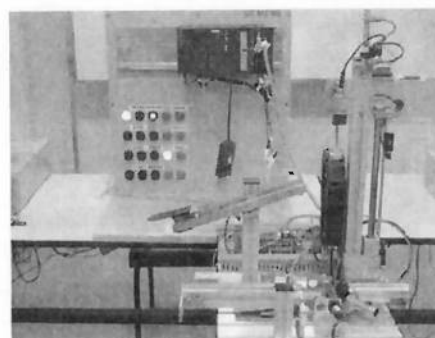


Figura 5.255 – Execução do sexto passo – recuo do elevador para a posição inicial

As figuras referem-se ao funcionamento no modo de operação manual, carregada com peça aprovada. No caso de peça reprovada (peça preta), a peça não é direcionada para o compartimento superior, sendo rejeitada quando da descida do elevador para a posição inicial. Para operação no modo automático, basta alterar a posição do botão de seleção do modo de operação para a posição automático e pressionar o botão Start para a realização de um ciclo completo. Cabe destacar que é possível iniciar um processo em um dos modos, alterar o estado no meio da execução e finalizar o mesmo no outro modo.

Outro ponto importante diz respeito ao estado das lâmpadas dos botões Emergência, Reset e Start durante o processo. Para os dois primeiros, o comportamento é igual tanto no ciclo manual quanto no automático. Assim, a luz de emergência é apagada quando da confirmação do destravamento da mesma pelo botão Quit, o qual faz com que a luz de Reset comece a piscar, e este último, por sua vez, permanece apagado durante a realização da operação de Reset na máquina, ficando permanente acesa quando da finalização desse processo. Nesse instante, a luz de Start começa a piscar, e quando for acionada no modo automático, permanece acesa durante todo o processo até voltar ao estado intermitente no fim de um ciclo. Já no ciclo manual, a luz de Start permanece acesa quando da execução de cada passo e volta a piscar ao fim de cada uma, indicando a necessidade de um novo acionamento do botão.

Outras situações possíveis dizem respeito à situações de troca do modo de operação no meio do processo, acionamento do botão de emergência e ajuste do sensor de altura (botão “Adjust”). Para o caso do botão de emergência, tem-se a seguinte seqüência de movimentos:



Figura 5.256 – Acionamento do botão de emergência parando o funcionamento do dispositivo no passo em execução

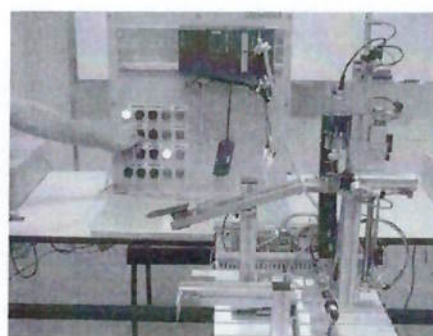


Figura 5.257 – Destravamento do botão de Emergência e confirmação da ação através do botão Quit

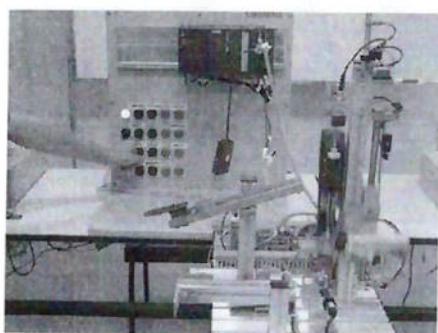


Figura 5.258 – Com a luz de Reset piscando, o botão Reset é acionado fazendo o elevador descer e o pistão expulsar a peça



Figura 5.259 – Luz de Reset volta a ficar aceso e luz de Start começa a piscar permitindo o início de novo ciclo

Já para o caso do ajuste do sensor de altura, tem-se a seguinte seqüência de movimentos:



Figura 5.260 – Depois da operação de Reset, modo de operação manual deve ser selecionado



Figura 5.261 – Acionando o botão Stop, luz de Start é apagada e luz de Adjust começa a piscar



Figura 5.262 – Peça é inserida no sistema



Figura 5.263 – Acionamento do botão Adjust

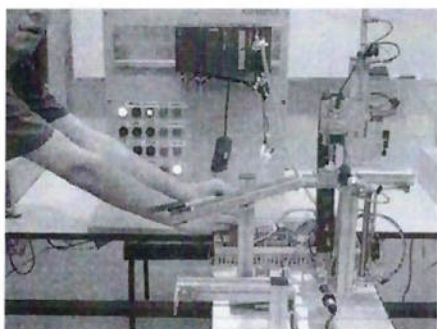


Figura 5.264 – Elevador transporta a peça para cima e sensor de altura avança para permitir o ajuste do mesmo (luz de Adjust fica aceso)



Figura 5.265 – Novo acionamento do botão Adjust faz o sensor e elevador recuarem para as respectivas posições iniciais

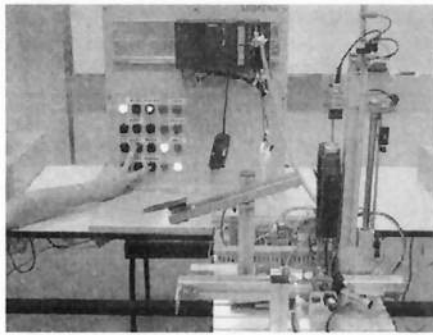


Figura 5.266 – Luz de Reset e de Adjust ficam piscando indicando a possibilidade de novo ajuste ou retorno para operação normal

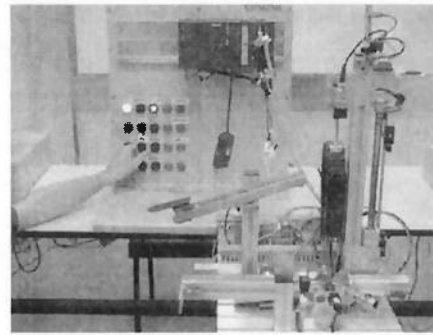


Figura 5.267 – Acionamento do Reset faz o pistão expulsar a peça, deixando o sistema pronto para nova operação

OBS: O funcionamento detalhado de todas as situações descritas podem ser verificados em arquivos de vídeo disponibilizado em anexo.

5. Componentes e Equipamentos Necessários

Tabela 5.40 - Lista de componentes e equipamentos pneumáticos e eletropneumáticos utilizados

Elementos de Trabalho	3 cilindros de dupla-ação
Elementos de Comando	1 válvula 5/2 vias duplo-solenóide
	2 válvulas 5/2 vias simples-solenóide
Elementos de Processamento de Sinais	1 CLP S7-300 Siemens
Elementos de Sinais	4 válvulas fins-de-curso
	1 Pannel de botões

6. Carga Horária

Tabela 5.41 – Carga horária do experimento

Tempo estimado para o projeto	Tempo estimado para a montagem
4h 30 min	60 min

7. Resultados Esperados

Da mesma forma que a experiência 1 da eletropneumática com CP, a realização desta experiência tem como foco concluir a transmissão de todos os conhecimentos necessários para possibilitar o aluno a desenvolver a estação de teste da Mini-CIM por conta própria, além de dar a oportunidade ao aluno de trabalhar com a própria estação para a realização da experiência. Assim, as atividades se concentraram principalmente na programação do dispositivo de controle da estação, do mesmo modo como é realizado na Mini-CIM, fazendo o aluno adquirir os conhecimentos necessários para utilizar o controlador S7-300 da Siemens na realização do controle dos mais diversos processos baseados em SEDs. Nesse processo, o aluno deve aprender a configurar o CP e a identificar as diferenças existentes entre duas formas de projeto muito semelhantes: o diagrama de relés, utilizado na eletropneumática pura e a linguagem Ladder Diagram, utilizada na programação do CP. Assim, finalizado o aprendizado da programação e utilização do CP no controle das estações, tem-se concluído o estudo completo de todos os componentes da estação de Teste, abrangendo desde a análise dos componentes de realização do trabalho propriamente dito, passando pelos botões de controle do sistema e pelos dispositivos de segurança, até adquirir o domínio do dispositivo de realização de controle, exercido pelo Controlador Programável. Desse modo, com a finalização das experiências com uso dos CPs, espera-se que o aluno possua pleno conhecimento do funcionamento das estações da Mini-CIM, bem como dos conceitos

envolvidos em cada parte do sistema, podendo extrapolar esse estudo para aplicações em situações com utilidade prática para as indústrias automatizadas.

6 Análise dos Resultados

As atividades desenvolvidas neste trabalho foram estruturadas visando a transmissão de conceitos práticos da automação fluido-mecânica em conjunto com as técnicas de controle baseadas nos diagramas de relés e nos controladores programáveis, para a realização da simulação de processos produtivos industriais. Todo esforço gerado no sentido de atender a essas expectativas surgiu com base na estrutura definida no cronograma planejado no início do trabalho:

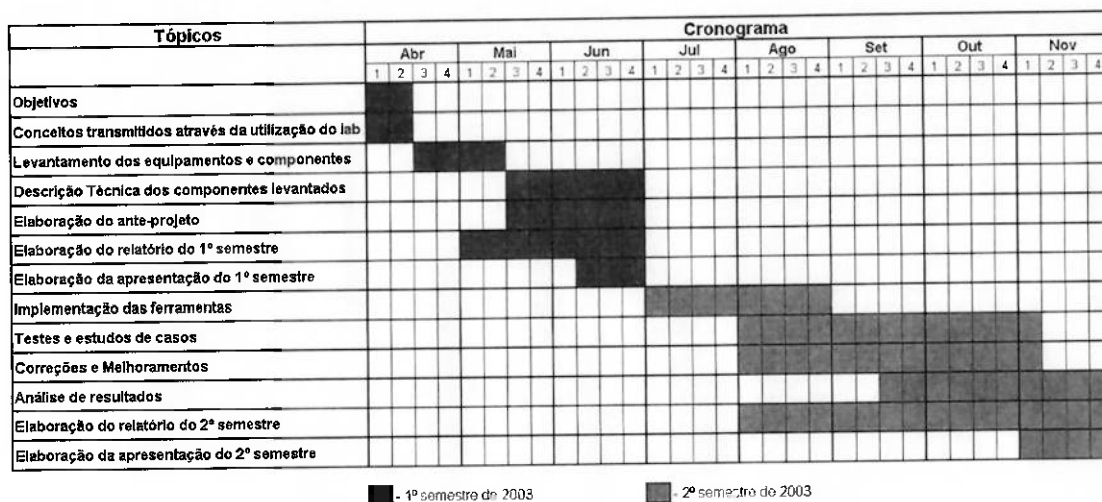


Figura 6.1 - Cronograma planejado para execução do trabalho

A sequência de atividades estabelecida permitiu visualizar as etapas necessárias para a viabilidade do projeto, dando condições ao planejamento adequado para a finalização do trabalho dentro do prazo estabelecido.

Dessa forma, iniciou-se o trabalho descrevendo os conceitos teóricos que seriam abordados no desenvolvimento dos experimentos didáticos. Nessa etapa do trabalho, a análise e descrição dos fundamentos necessários para a compreensão dos estudos de casos propostos nos experimentos foram divididos em três partes com o intuito de focalizar a descrição nas particularidades inerentes a cada tecnologia

empregada, potencializando o uso dessas informações na criação de soluções com máximo aproveitamento dos recursos oferecidos.

Nesse sentido, a revisão bibliográfica realizada para a pneumática permite conhecer as características do ar comprimido, bem como as condições com que o mesmo é distribuído nas linhas utilizadas no laboratório. Somado a isso, é possível compreender aspectos relacionados ao funcionamento de cada componente pneumático, terminando com a apresentação de métodos voltados para o projeto dos circuitos pneumáticos realizados nos experimentos.

A descrição dos conceitos referentes à eletropneumática, por sua vez, permite conhecer os fatores que o diferem da pneumática, bem como o funcionamento dos dispositivos que caracterizam esse tipo de tecnologia. Os aspectos relacionados ao projeto de circuitos eletropneumáticos, descritos no final do tópico, fornece as bases para a elaboração dos diagramas de relés utilizados para o processamento dos sinais dos circuitos desenvolvidos nos experimentos.

Já no caso da tecnologia hidráulica, a descrição das propriedades do fluido de trabalho não só auxilia na compreensão dos fenômenos verificados no funcionamento de circuitos hidráulicos, como também incrementa a gama de opção no uso de diversos componentes hidráulicos. A fundamentação teórica deste tópico contém ainda outras descrições que auxiliam diretamente no projeto dos circuitos hidráulicos, como é o caso da descrição de bombas, motores hidráulicos e atuadores lineares, e dos componentes para limitação e controle de energia.

Em seguida, partiu-se para a descrição de uma importante etapa no projeto de circuitos mais elaborados, que visa auxiliar não só a determinação da seqüência de atividades envolvidas em um processo, bem como a identificação dos sinais que atuam no sistema em análise. Trata-se da modelagem de sistemas a eventos discretos (SEDs), com detalhamento da modelagem dos diversos componentes dentro de um sistema de controle e descrição das principais representações existentes para modelar o funcionamento dos dispositivos analisados nos experimentos propostos. Nesse desenvolvimento foram descritos conceitos referentes aos controladores

programáveis, bem como à linguagem de programação utilizada para a realização do seu controle, situando o dispositivo dentro do processo de modelagem.

Finalizada a etapa da descrição dos fundamentos teóricos necessários para o projeto dos experimentos, foi realizado o levantamento dos equipamentos e componentes disponíveis para a criação e desenvolvimento dos experimentos didáticos propriamente ditos. Nesse processo, foram identificados aspectos como variedade e quantidade, além da elaboração da descrição funcional de cada componente identificado no laboratório. Assim, a relevância desse etapa dentro do contexto geral do trabalho, não se restringe apenas à um trabalho de levantamento de componentes, servindo também como um primeiro contato com o funcionamento dos dispositivos que seriam utilizadas na elaboração dos experimentos.

À partir desse ponto, tendo as ferramentas de trabalho e as ferramentas conceituais em mãos, iniciou-se a segunda fase do trabalho, com o planejamento da estratégia para o desenvolvimento dos experimentos didáticos, através da realização do ante-projeto. A validade da elaboração desse estudo é refletida na possibilidade de realizar ações corretivas antes mesmo do início do desenvolvimento propriamente dito, auxiliando também no processo de tomada de decisão com respeito à seleção dos temas abordados nos experimentos. Nesse estudo, são apresentadas informações referentes aos temas e principais conceitos a serem abordados, números de experimentos previstos e grau de dificuldade dos exercícios. Esse procedimento permitiu estabelecer metas e traçar prioridades, auxiliando na elaboração estruturada dos experimentos e facilitando na visualização da direção a ser seguida. Assim, para a pneumática, estabeleceu-se como meta, a simulação do funcionamento da Estação de Alimentação da Mini-CIM e a simulação do seu dispositivo de comando (botões). Já para a eletropneumática sem CPs, decidiu-se pelas mesmas metas, porém, com relação à Estação de Teste da mesma fábrica modelo. Por fim, para a eletropneumática com CPs, a meta foi justamente finalizar a simulação do funcionamento completo de cada estação da Mini-CIM, através da realização do

controle por meio da programação de controladores programáveis e integrando o funcionamento de cada estação com o respectivo dispositivo de comando¹.

Com relação às diferenças verificadas entre o valor estimado de exercícios da eletropneumática e o efetivamente realizado, é possível atribuir o resultado, no caso sem CP, às semelhanças existentes entre os níveis envolvendo os dispositivos de comando e os de atuação desta tecnologia com a da pneumática, o que acarretou na decisão de focalizar o desenvolvimento para a transmissão dos aspectos relacionados aos painéis elétricos. Para isso, o número de experimentos realizados foi considerado suficiente para abordar os conceitos necessários para a simulação da Estação de Teste da Mini-CIM. No caso da eletropneumática com CPs, o fator decisivo para a redução do número de experimentos realizados foi consequência da própria limitação do número de saídas e entradas disponíveis em cada módulo de CLP S7-300 Siemens presente no laboratório, o que impediu a realização do experimento referente ao controle do funcionamento integrado das duas estações da Mini-CIM.

Com isso, iniciou-se o desenvolvimento efetivo de cada experimento, separando os mesmos conforme o tipo de tecnologia empregado no acionamento dos dispositivos constantes nos sistemas simulados. Quanto à formatação dos experimentos, pode-se dizer que os mesmos obedecem a um padrão que visa garantir um desenvolvimento estruturado das atividades planejadas, de forma a manter a qualidade da didática aplicada ao longo do trabalho e o interesse do aluno nas experiências que se sucedem uma a uma. Cabe ressaltar que as considerações referentes à análise individual de cada experimento pode ser verificado no próprio capítulo referente ao desenvolvimento dos mesmos, ao final da realização de cada uma.

¹ No caso dos experimentos da hidráulica, a meta esteve muito mais voltado no sentido de complementar os conceitos referentes à automação fluido-mecânica, servindo mais como um forma de comparação com os circuitos baseados na tecnologia do ar comprimido do que como um meio de simular o funcionamento de um sistema mais elaborado, como a Mini-CIM.

7 Conclusões

Tendo em vista a proposta de complementar o ensino do curso de Engenharia Mecatrônica através do desenvolvimento de experimentos didáticos que envolvam a simulação prática de processos produtivos industriais, pode-se concluir que o presente trabalho atingiu os objetivos a que se propôs, uma vez que o mesmo tem como resultado a elaboração de dezesseis experimentos didáticos fundamentados em uma metodologia que garantisse o desenvolvimento planejado e estruturado com base em padrões definidos.

Fatores indicativos da preocupação sempre presente com a didática na transmissão dos conceitos abordados em cada experimento, podem ser validados pela divisão dos mesmos em quatro tópicos distintos, com o traçado de metas e objetivos específicos para cada tecnologia envolvida, os quais estabelecem uma lógica seqüencial que orientam o desenvolvimento do conjunto de experiências de cada área para a conquista de uma parte dentro da proposta geral do trabalho. Desse modo, a conquista da simulação da Estação de Alimentação da Mini-CIM pela pneumática e da Estação de Teste pela eletropneumática sem CPs, somado ao controle completo de cada uma das estações por meio de Controladores Programáveis já garantem boa porcentagem de todo o conhecimento necessário para a realização da simulação e controle de diversos sistemas produtivos industriais presentes no mercado. Para complementar esses conhecimentos, tornando o aluno capacitado a enfrentar e resolver grande parte dos problemas relacionados com processos automatizados, inclusive para assuntos que exigem força e torque não suportados pela pneumática, tem-se o desenvolvimento de experimentos didáticos que visam a transmissão dos conhecimentos mais importantes para o uso da tecnologia hidráulica.

A divisão dos experimentos em tópicos que enunciam o problema situando o mesmo em um estudo de caso na indústria e estabelecendo objetivos que devem ser atingidos a fim de tornar válida a experiência adquirida com a proposta de uma solução para o caso, são também fatores que contribuem de maneira significativa

para a qualidade da transmissão de informação e justificam a preocupação da didática também sob esse aspecto.

Por fim, como forma de sugerir melhorias que possam garantir uma estrutura mais adequada para a implementação das soluções no laboratório da Escola Politécnica da USP, pode-se citar a instalação de uma linha de ar comprimido na sala de Controladores Programáveis, de forma a permitir a alimentação das estações da Mini-CIM, assim como a solicitação de um número maior de cabos de comunicação entre os CLP S7-300 Siemens e as estações da Mini-CIM, já devidamente conectados nos módulos de comunicação do primeiro. Outro ponto favorável para permitir maior flexibilidade na escolha do sistema a ser controlado por meio dos CPs da Siemens, porém de custo mais elevado que as primeiras sugestões, diz respeito à obtenção de um número maior de módulos de entrada e saídas por unidades de CPs instalados, o qual, se existente no período de execução do presente trabalho, permitiria a realização do controle integrado das duas estações da Mini-CIM, abordando conceitos relativos à comunicação entre sistemas distintos de processamento.

8 Referências Bibliográficas

- BACKÉ, Wolfgang. *Grundlagen der Ölhydraulik*. 7. ed. Achen: Institut für Hydraulische und Pneumatische Antriebe und Steuerungen – IHP, 1988.
- BRUNI, R., MESEGUER, J., MONTANARI, U., SASSONE, V., *Functional Models for Petri Nets*, 2001.
- Festo Didatic. *Hidráulica Industrial*, Livro Didático, FESTO Didatic. São Paulo, 2001.
- Festo Didatic. *S7-300 Hardware & Simatic – S7 Software*, Livro Didático, FESTO Didatic. São Paulo, 2001.
- Festo Didatic. *Técnicas de Automação Industrial*, Livro Didático, FESTO Didatic. São Paulo, 2001.
- KUMAR, R., GARG, V.K., *Modeling and Control of Logical Discrete Event Systems*, Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, 1995.
- MERRIT, H. E.. *Hydraulic Control Systems*. John Wiley & Sons Inc., 1967.
- MIYAGI, P.E., *Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos*, ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1996.
- PETERSON, J.L., *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, ed. Prentice Hall, New Jersey, 1981.
- Siemens AG. *Working with STEP 7 V5.1 – Getting Started*, Simatic Manual, SIEMENS.
- SILVA, Emílio C. N.. *Apostila de Pneumática*. EPUSP – PMR. São Paulo, 2002.
- von LINSINGEN, Irlan. *Fundamentos de Sistemas Hidráulico*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- FESTO, www.festo.com.br.
- FLUIDSIM, www.fluidsim.de.

SIEMENS, www.siemens.com.br.