

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL ELÉTRICA

FERNANDA GAZOLA DA SILVA  
JACQUELINE BARREIRA MANOEL  
KAMILE FUCHS

**RETROFIT DE TORNO MECÂNICO PARA A FABRICAÇÃO DE PANEAS DE  
ALUMÍNIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2013

FERNANDA GAZOLA DA SILVA  
JACQUELINE BARREIRA MANOEL  
KAMILE FUCHS

**RETROFIT DE TORNO MECÂNICO PARA A FABRICAÇÃO DE PANEAS DE  
ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica e Controle e Automação do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. M.Sc. Jorge Assade Leludak

CURITIBA

2013

Fernanda Gazola Da Silva  
Jacqueline Barreira Manoel  
Kamile Fuchs

## *Retrofit* de Torno Mecânico para a Fabricação de Painéis de Alumínio

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Industrial Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 18 de março de 2013.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Coordenadora dos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### **ORIENTAÇÃO**

---

Jorge Assade Leludak, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Andrea Lucia Costa, Dra.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Roberto Cesar Betini, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Rosalba da Costa, M.Sc.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Jorge Assade Leludak, nossos sinceros agradecimentos pela sua dedicação, sabedoria, compreensão e orientação que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa DeLucca Alumínio Ltda por ceder espaço à nossa pesquisa, sem nenhuma restrição, permitindo o estudo do sistema produtivo e do equipamento utilizado como objeto principal de estudo deste projeto.

Ao Professor Jaime Favretto pelos valiosos ensinamentos e contribuições em partes decisivas para o andamento e finalização deste trabalho.

À Professora Rosalba da Costa pela disponibilidade em nos atender e nos ajudar em diversos momentos que permitiram a realização deste trabalho.

À Professora Andrea Lucia da Costa que, em virtude dos acontecimentos, se disponibilizou a corrigir o trabalho e participar da banca.

Às empresas Hidromatic e C.O. Muller, pela grande contribuição com a realização dos orçamentos de equipamentos utilizados nesta pesquisa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná por disponibilizar toda a infraestrutura laboratorial, o que possibilitou o desenvolvimento dos testes e simulações essenciais para a obtenção dos resultados deste trabalho.

Aos integrantes da banca por toda a dedicação na revisão e sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos nossos pais, familiares e amigos, nossos sinceros agradecimentos pelo carinho, apoio, paciência e compreensão nos momentos de ausência, sempre nos incentivando aos estudos e nos apoiando incondicionalmente para a realização deste árduo trabalho de conclusão de curso nesta trajetória de nossas vidas.

## RESUMO

FUCHS, Kamile; MANOEL, Jacqueline B.; SILVA, Fernanda G. *Retrofit* de Torno Mecânico para a Fabricação de Painéis de Alumínio. 2013. 141f. TCC (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Ao observar o processo de fabricação de painéis de alumínio utilizando o torno mecânico como máquina-ferramenta principal, foi possível assinalar alguns pontos críticos em seu funcionamento. Já que o processo da confecção dos painéis depende exclusivamente da mão de obra humana como ferramenta para a operação do torno, foi possível detectar um desgaste físico progressivo do trabalhador com o passar do tempo. Em decorrência disto, pode-se haver uma falta de padronização tanto nos processos de manufatura envolvidos quanto nos produtos finais, o que resultaria em falhas nas peças, ocasionando retrabalho, refugo de produção e atingindo diretamente a qualidade do produto. Este projeto de pesquisa tem como principal objetivo analisar a viabilidade para substituição do método manual de confecção de painéis através do *retrofit* do sistema atual, o qual será voltado a uma fábrica de painéis e artefatos de alumínio na região de Curitiba. Nesse sentido, este trabalho analisa através da automação, controle e sensoriamento uma solução eficaz para exercer o controle do sistema através da utilização de servoacionamento, controlador lógico programável e interface homem-máquina. Para atingir os objetivos desta pesquisa tecnológica, o presente projeto está estruturado numa metodologia de projeto de sistemas de controle descrita por Miyagi (2001), a fim de realizar um eficiente procedimento de sistematização e gerenciamento da automatização do torno mecânico. Para determinação do sistema produtivo, o conteúdo deste trabalho apresenta ainda um detalhamento do local de trabalho, do processo de fabricação e do torno a ser automatizado na referida fábrica de painéis estudada. Este projeto se baseia no exame de operação do controlador lógico programável e servoacionamento para a atuação no sistema, com o detalhamento das funções de controle destes dispositivos, além da determinação e localização dos sinais de entrada e saída. Também detalha o desenvolvimento do *software* de controle para operação do sistema, através da programação do PLC, IHM e servoacionamento. A programação dos dispositivos é validada através da realização de testes por unidade e do sistema como um todo com demonstração dos resultados simulados. Por fim, este trabalho ainda demonstra uma análise de viabilidade técnico-econômica para executar a automatização do sistema produtivo através do orçamento de investimentos realizados dos equipamentos que seriam empregados na construção do sistema automatizado.

**Palavras-chave:** *Retrofit*. Automatização de Processos Industriais. Torno Mecânico. Controlador Lógico programável. Servoacionamento.

## ABSTRACT

FUCHS, Kamile; MANOEL, Jacqueline B.; SILVA, Fernanda G. Retrofit of Lathe for Manufacturing Aluminium Cookware. 2013. 141f. TCC (Graduação em Engenharia Industrial Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

By observing the manufacturing process of aluminum pans using lathe machine tool, it was possible to point out some critical points in your operation. Since the process of making pots depends exclusively on human labor as a tool for operating the lathe, it was possible to detect a progressive worker's physical wear over time. As a result, there can be a lack of pattern in the manufacturing processes involved as the final products, which result in flaws in the pieces, causing rework, scrap production and directly affecting the product quality. This research project has as main objective to analyze the feasibility of replacing the manual method of cooking pans through the retrofit of the current system, which will be made in a factory aluminum pots and artifacts in the region of Curitiba. Accordingly, this study analyzes through automation, sensing and control an effective solution to exert control system using servo drive, programmable logic controller and human-machine interface. To achieve the objectives of this technology research, this project is structured in the methodology of control systems described by Miyagi (2001) in order to achieve an efficient procedure for systematizing the automating of the lathe. For determination of the production system, the content of this paper also presents a detailing of the workplace, the manufacturing process of the pots studied. This project is based on an examination of the operation of the programmable logic controller and servo drive to work in the system, with details of the control functions of these devices, beyond the determination and location of the input and output signals. It also details the development of control software for operating the system through the programming of PLC, HMI and servo drive. The programming of devices is validated through testing unit and the whole system with a demonstration of the simulated results. Finally, this work also demonstrates an analysis of technical and economic feasibility to implement the automation of the production system through investments of equipment that would be used in the construction of the automated system.

**Keywords:** Retrofit. Automation of Industrial Processes. Lathe. Programmable Logic Controller. Servo drive.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - A broca de fogo.....	16
Figura 2 - O torno egípcio a arco.....	17
Figura 3 - O torno à vara. ....	17
Figura 4 - Aperfeiçoamento do torno à vara. ....	18
Figura 5 - Torno por comando independente. ....	18
Figura 6 - PLC com módulos de expansão de entradas e saídas. ....	22
Figura 7 - Ciclo de vida do sistema de controle.....	28
Figura 8 - Pirâmide da Automação.....	34
Figura 9 - Arquitetura de rede para um sistema automatizado.....	35
Figura 10 - Diagrama de blocos de um sistema de controle realimentado.....	36
Figura 11 - Diagrama de blocos de um sistema de controle. ....	37
Figura 12 - Exemplo de IHM com visão do processo. ....	43
Figura 13 - Servoconversor. ....	48
Figura 14 - Placa posicionadora.....	48
Figura 15 - Servomotor. ....	50
Figura 16 - a) <i>Encoder</i> incremental; b) <i>Encoder</i> absoluto. ....	50
Figura 17 - Showroom da linha de produtos.....	55
Figura 18 - Galpão onde se localiza o torno em estudo. ....	56
Figura 19 - Painelas após o processo de fabricação. ....	58
Figura 20 - Matrizes utilizadas para confecção das painelas. ....	58
Figura 21 - Torno horizontal. ....	60
Figura 22 - Torno de placa. ....	60
Figura 23 - Torno vertical. ....	61
Figura 24 - Torno revólver. ....	62

Figura 25 - Torno copiador.....	62
Figura 26 - Principais partes do torno. ....	63
Figura 27 - Torno mecânico estudado (parte posterior). ....	64
Figura 28 - Torno mecânico estudado (parte frontal). ....	65
Figura 29 - Esquema do torno mecânico estudado com vista de topo.....	66
Figura 30 - Diagrama esquemático da automatização do torno com vista de topo. ...	69
Figura 31 - Local de instalação do braço mecânico (parte lateral). ....	70
Figura 32 - Local de instalação do braço mecânico (parte frontal). ....	70
Figura 36 - Funções de controle do sistema para fabricação de painéis. ....	79
Figura 37 – Estrutura de cada parte do sistema de controle e seus inter-relacionamentos. ....	80
Figura 38 – Diagrama das funções de controle estruturado.....	81
Figura 39 - Componentes das Redes de Petri. ....	84
Figura 40 - Redes de Petri - Inicialização do processo de fabricação de painéis. ...	86
Figura 41 - Redes de Petri – Moldagem da chapa de alumínio à matriz acoplada ao torno. ....	87
Figura 42 – Redes de Petri – Processo de acabamento das painéis.....	87
Figura 43 – Redes de Petri - Atuação da IHM.....	88
Figura 44 - Redes de Petri - Atuação do servoacionamento. ....	88
Figura 45 - Esquema de relação entre IHM, PLC e servoacionamento. ....	90
Figura 46 - PLC TPW03 40HR-A. ....	92
Figura 47 - PLC TPW03 40HR-A dimensões. ....	92
Figura 48 - Interfaces <i>Modbus</i> RS485 E RS232 nos modos RTU e ASCII. ....	93
Figura 49 - Interface Homem-Máquina PWS 6400 F-S.....	95
Figura 50 - Servoconversor SCA-05 com placa posicionadora POS2. ....	98
Figura 51 – Esquema de ligação do servoconversor SCA-05 e o servomotor SWA. 99	
Figura 52 - Elementos de um GRAFCET. ....	103

Figura 53 – Diagrama de Contatos. ....	105
Figura 54 - Diagrama funcional do <i>retrofit</i> do torno mecânico.....	107
Figura 55 - GRAFCET nível 1 simplificado da programação do PLC.....	110
Figura 56 - GRAFCET nível 2 simplificado da programação do PLC.....	112
Figura 57 – Diagrama de contatos ( <i>Ladder</i> ) simplificado do PLC. ....	116
Figura 58 - GRAFCET nível 1 do servoconversor. ....	122
Figura 59 – GRAFCET nível 2 do servoconversor. ....	124
Figura 60 - Diagrama de contatos ( <i>Ladder</i> ) do servoconversor. ....	126
Figura 61 - Simulação do Diagrama de Contatos ( <i>Ladder</i> ) do PLC (parte 1).....	129
Figura 62 - Simulação do Diagrama de Contatos ( <i>Ladder</i> ) do PLC (parte 2).....	130
Figura 63 - Simulação do Diagrama de Contatos ( <i>Ladder</i> ) do PLC (parte 3).....	130
Figura 64 - Simulação do Diagrama de Contatos ( <i>Ladder</i> ) do PLC (parte 4).....	131
Figura 65 - Simulação do Diagrama <i>Ladder</i> do servoconversor (parte 1).....	132
Figura 66 - Simulação do Diagrama <i>Ladder</i> do servoconversor (parte 2).....	132
Figura 67 - Simulação do Diagrama <i>Ladder</i> do servoconversor (parte 3).....	133
Figura 68 - Fluxo de caixa. ....	134
Figura 69 - Simulação de linha de crédito pelo BNDES. ....	141

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de motores referente ao sistema de controle estudado. ....	74
Quadro 2 - Lista de válvulas referente ao sistema de controle estudado. ....	75
Quadro 3 - Lista de cilindros hidráulicos do sistema de controle estudado. ....	75
Quadro 5 - Lista de detectores referente ao sistema de controle estudado. ....	76
Quadro 6 - Classificação dos dispositivos. ....	82
Quadro 7 - Lista dos dispositivos de comando e monitoração. ....	82
Quadro 8 – Hierarquia das funções de controle e dispositivos de controle. ....	89
Quadro 9 - Sinais de entrada do PLC. ....	94
Quadro 10 - Sinais de saída do PLC. ....	94
Quadro 11 - Sinais de entrada da IHM. ....	96
Quadro 12 - Sinais de saída da IHM. ....	96
Quadro 13 - Sinais de entrada do servoconversor. ....	100
Quadro 14 - Sinais de saída do servoconversor. ....	101
Quadro 15 – Memorização interna no PLC das etapas do programa. ....	113
Quadro 16 - Memorização interna no PLC das transições do programa. ....	114
Quadro 17 - Parâmetros de leitura e regulação do SCA-05 . ....	119
Quadro 18 - Parâmetros de configuração e do servomotor do SCA-05. ....	120
Quadro 19 - Parâmetros das funções especiais do SCA-05 . ....	120
Quadro 20 - Memorização interna no servoconversor das etapas do programa. ....	125
Quadro 21- Memorização interna no servoconversor de transições do programa. .	125
Quadro 22 - Variáveis de entrada. ....	128
Quadro 23 - Variáveis de saída. ....	129

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões das matrizes do torno estudado. ....	65
Tabela 2 - Dimensões das matrizes utilizadas para automatização do torno.....	71
Tabela 3 - Investimento para implementação do braço mecânico. ....	136
Tabela 4 - Valores comerciais e preços de custo das painéis.....	137
Tabela 5 - Linhas de crédito do Banco do Brasil. ....	140

## LISTA DE SIGLAS

ASCII	<i>American Code for Information Interchange</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read Only Memory</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
GRAF CET	Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição
IHM	Interface Homem-Máquina
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PID	Proporcional- Integral- Derivativo ( <i>Proportional- Integral- Derivative</i> )
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PROM	<i>Programmable Read-Only Memory</i>
SED	Sistemas e Eventos Discretos
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
STN	<i>Super Twisted Nematic</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
GUI	Interfaces Gráficas de Usuário
LED	<i>Light Emmiting Diode</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
VPL	Valor presente líquido
WLP	<i>Weg Ladder Programmer</i>

## SUMÁRIO

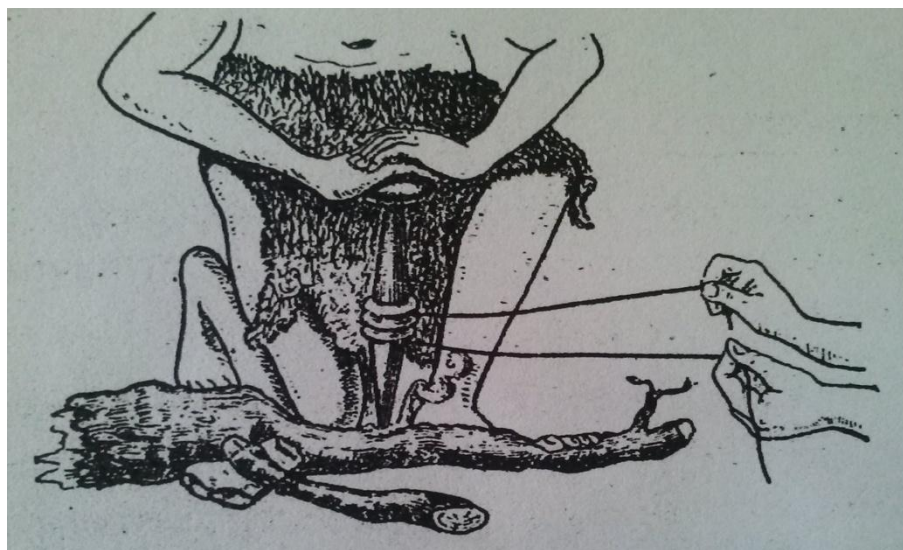
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 TEMA.....</b>	<b>20</b>
<b>1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4. OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
1.4.1 OBJETIVO GERAL .....	25
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25
<b>1.5 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>26</b>
<b>1.6 METODOLOGIA DE PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE .....</b>	<b>27</b>
<b>1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>	<b>30</b>
<b>2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 CONTROLE ANALÓGICO E DIGITAL .....</b>	<b>35</b>
2.2.1 CONTROLE DIGITAL .....	36
<b>2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS .....</b>	<b>38</b>
2.3.1 ARQUITETURA.....	38
2.3.2 FUNCIONAMENTO.....	40
2.3.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO .....	41
<b>2.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA .....</b>	<b>42</b>
2.4.1 INTERFACES GRÁFICAS DE USUÁRIO (GUI) .....	45
2.4.2 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS E RECEITAS .....	46
2.4.3 ALARMES, EVENTOS E TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO .....	46
<b>2.5 SERVOACIONAMENTO .....</b>	<b>47</b>
2.5.1 SERVOCONVERSOR.....	47
2.5.2 SERVOMOTOR .....	49
2.5.3 TRANSDUTOR DE POSIÇÃO (ENCODER) .....	50
<b>2.6 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL .....</b>	<b>51</b>
<b>3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.1 LOCAL DE TRABALHO .....</b>	<b>55</b>
<b>3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.3 TORNO MECÂNICO .....</b>	<b>59</b>

3.3.1 DEFINIÇÃO.....	59
3.3.2 TIPOS .....	59
3.3.3 O TORNO ESTUDADO.....	64
<b>3.4 ANÁLISE DAS NECESSIDADES .....</b>	<b>67</b>
3.4.1 O BRAÇO MECÂNICO .....	67
3.4.2 DISPOSITIVOS E INSTALAÇÕES DO TORNO MECÂNICO E DO BRAÇO MECÂNICO.....	73
3.4.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FUNÇÕES DE CONTROLE .....	77
<b>3.5 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES .....</b>	<b>80</b>
3.5.1 DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE CONTROLE .....	81
3.5.2 DEFINIÇÃO DO FLUXO DAS FUNÇÕES DE CONTROLE ATRAVÉS DAS REDES DE PETRI .....	83
<b>4 PROJETO DA AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO .....</b>	<b>89</b>
<b>4.1 DEFINIÇÃO DAS INTERFACES DAS FUNÇÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>4.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL .....</b>	<b>91</b>
4.2.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA .....	93
<b>4.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA .....</b>	<b>95</b>
4.3.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA .....	96
<b>4.4 SERVOACIONAMENTO .....</b>	<b>97</b>
4.4.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA .....	99
<b>5 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE CONTROLE .....</b>	<b>102</b>
<b>5.1 O GRAFCET.....</b>	<b>102</b>
<b>5.2 O DIAGRAMA DE CONTATOS .....</b>	<b>104</b>
<b>5.3 DIAGRAMA FUNCIONAL DO SISTEMA PRODUTIVO.....</b>	<b>105</b>
<b>5.4 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....</b>	<b>108</b>
5.4.1 GRAFCET NÍVEL 1.....	109
5.4.2 GRAFCET NÍVEL 2.....	111
5.4.3 DIAGRAMA DE CONTATOS .....	115
<b>5.5 PROGRAMAÇÃO DO SERVOCONVERSOR.....</b>	<b>117</b>
5.5.1 PARÂMETROS DO SERVOCONVERSOR .....	118
5.5.2 GRAFCET NÍVEL 1.....	121
5.5.3 GRAFCET NÍVEL 2.....	123
5.5.4 DIAGRAMA DE CONTATOS .....	125

<b>5.6 TESTES</b> .....	<b>127</b>
5.6.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL.....	127
5.6.2 SERVOCONVERSOR.....	131
<b>5.7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>133</b>
<b>6 VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO RETROFIT DO SISTEMA</b> .....	<b>134</b>
6.1 LINHAS DE CRÉDITO .....	140
6.2 CONCLUSÕES .....	141
<b>7 CONCLUSÕES FINAIS</b> .....	<b>143</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>145</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>150</b>
<b>APÊNDICE A – GRAFCET NÍVEL 1 DO PLC</b> .....	<b>151</b>
<b>APÊNDICE B – GRAFCET NÍVEL 2 DO PLC</b> .....	<b>153</b>
<b>APÊNDICE C – DIAGRAMA DE CONTATOS DO PLC</b> .....	<b>155</b>
<b>APÊNDICE D – GRAFCET NÍVEL 1 DO SERVOCONVERSOR</b> .....	<b>157</b>
<b>APÊNDICE E – GRAFCET NÍVEL 2 DO SERVOCONVERSOR</b> .....	<b>159</b>
<b>APÊNDICE F – DIAGRAMA DE CONTATOS DO SERVOCONVERSOR</b> .....	<b>161</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na Antiguidade, as condições precárias e a necessidade de novos objetos fizeram com que as antigas civilizações desenvolvessem métodos e técnicas para aperfeiçoar suas ferramentas e utensílios. Um exemplo desse desenvolvimento é a broca de fogo, equipamento usado para gerar faíscas, conforme mostrada na Figura 1.

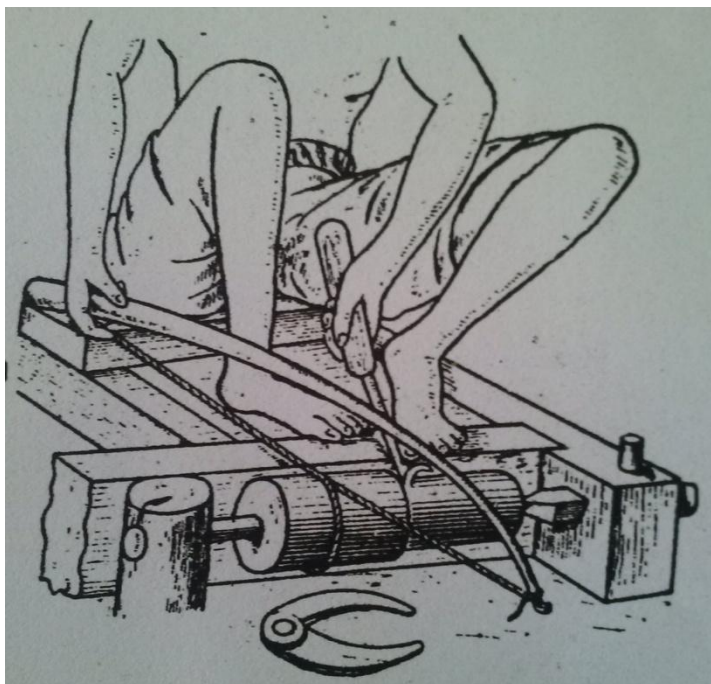


**Figura 1 - A broca de fogo.**  
**Fonte: Henriot e Brodbeck (1960).**

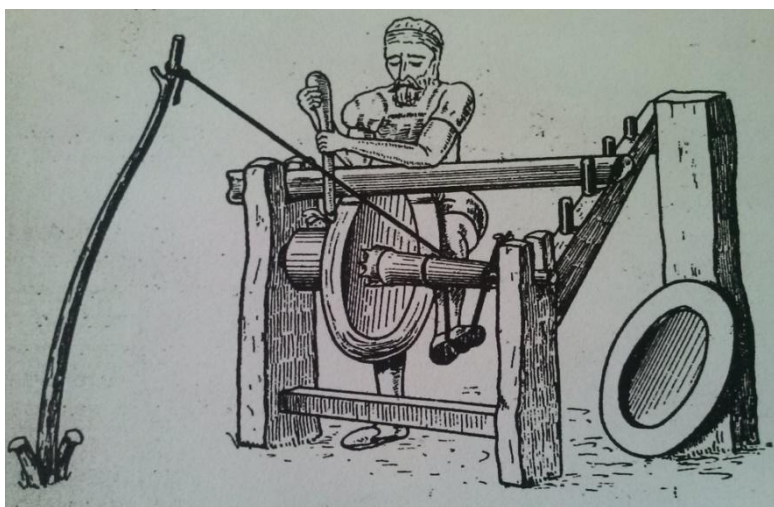
Nesse método, uma estaca pontiaguda era amarrada por uma corda, que por sua vez, tinha suas extremidades puxadas de forma alternada. Deste modo, através de movimentos de rotação, em torno do eixo da estaca, as faíscas eram geradas. A partir de técnicas semelhantes, o movimento de rotação foi sendo difundido na criação de novas ferramentas (HENRIOT, 1960).

Os egípcios, por exemplo, utilizavam uma espécie primitiva de torno para modelar e fazer peças com formatos arredondados. Já os persas e os hindus usavam a mesma técnica, de tornearia, para elaborar colunas de madeira. Esse sistema rudimentar de tornearia, semelhante à técnica da broca de fogo, consistia em duas estacas enterradas no solo, as quais davam sustentação aos pinos do eixo girante. Uma corda enrolada ao eixo gerava movimentos de rotação. (ROSSETTI, 1978).

Posteriormente, este método foi sendo aprimorado, conforme ilustram a Figura 2 e a Figura 3.

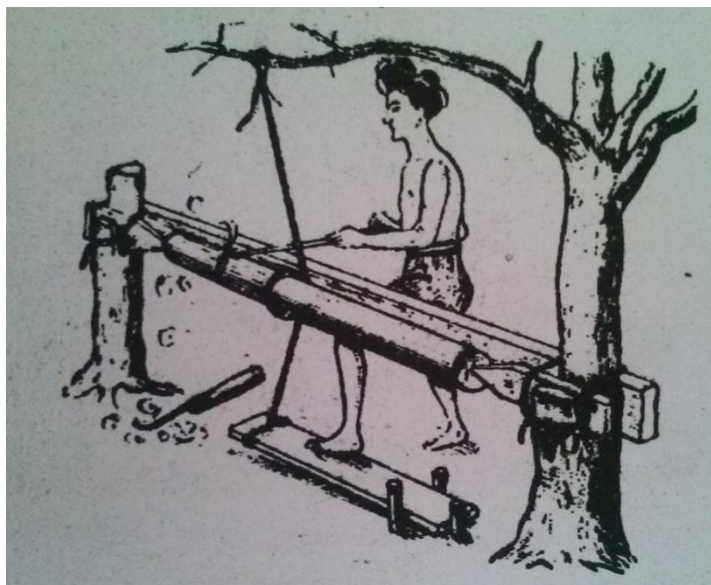


**Figura 2 - O torno egípcio a arco.**  
**Fonte: Henriot e Brodbeck (1960).**



**Figura 3 - O torno à vara.**  
**Fonte: Henriot e Brodbeck (1960).**

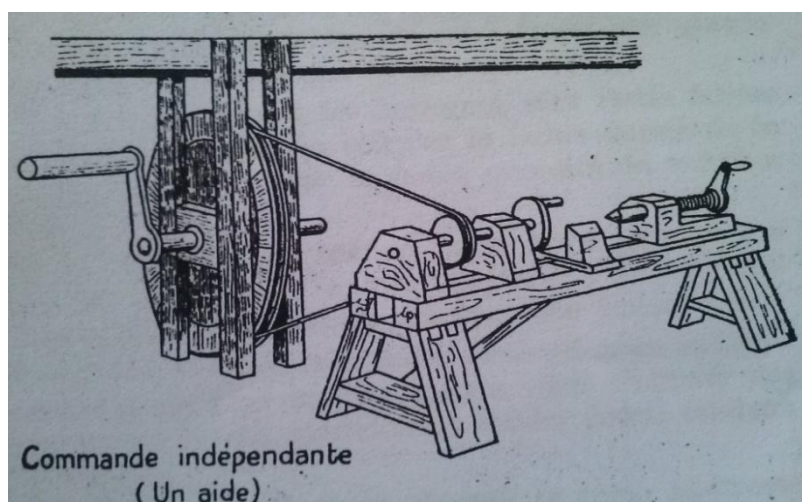
O acréscimo de uma estrutura de apoio e a elevação da peça a ser usinada, facilitou o trabalho e a modelagem dos artefatos (ROSSETTI, 1978). Além disso, arcos e varas auxiliavam na composição dos movimentos rotatórios. O mecanismo de funcionamento também foi aperfeiçoado, passando a ser acionado através de pedal. A Figura 4 esboça esse aprimoramento.



**Figura 4 - Aperfeiçoamento do torno à vara.**  
**Fonte: Henriot e Brodbeck (1960).**

Nesse sistema, esboçado pelo artista Renascentista Leonardo Da Vinci, a peça trabalhada era amarrada com uma corda em um poste sobre o artesão (HENRIOT, 1960). Uma das extremidades era atada ao objeto, enquanto a outra, no pedal. Deste modo, quando o pedal era pressionado puxava a corda e, a peça girava (CENFIM, 2013).

Após, foi desenvolvido um sistema no qual uma manivela, por meio de correias de transmissão, gerava a rotação do torno. A Figura 5, ilustra essa evolução.



**Figura 5 - Torno por comando independente.**  
**Fonte: Henriot e Brodbeck (1960).**

Esse equipamento, denominado torno por comando independente, era acionado através de uma manivela por um assistente. O controle da rotação era feita pelo operador auxiliar (HENRIOT, 1960).

Posteriormente, as técnicas de tornearia foram evoluindo de acordo com a necessidade de produção. Com a invenção do motor a vapor e também da eletricidade, o torno ganhou espaço e se difundiu nas fábricas. Por esse motivo, esse equipamento passou a ter velocidade contínua e, desta forma, ficou conhecido como máquina-ferramenta (ROSSETTI, 1978).

Durante o século XIX, com o desenvolvimento das indústrias metalúrgicas na Europa, os metais começaram a fazer parte da estrutura dos tornos que, anteriormente constituídos de madeira, passaram a ser totalmente metálicos. Além disso, com crescimento das fábricas e indústrias houve a necessidade de tornos mecânicos com dimensões maiores e mais velozes. A partir disso, as ferramentas, os suportes e também as peças que compõem o torno foram modificadas e aprimoradas de acordo com a necessidade do mercado (HENRIOT, 1960).

Atualmente, as empresas fabricantes de torno mecânico buscam adequar suas máquinas antigas às exigências do mercado e da concorrência. Para isto, quando seus equipamentos já não estão condizendo com o processo produtivo, essas máquinas operatrizes são reformadas. Essa modernização é denominada *retrofit*.

De acordo com Ghisi (1997), *retrofit* é o termo utilizado para se referir à modernização ou qualquer tipo de reforma em equipamentos. Esse investimento com tecnologias de manufatura visa reutilizar equipamentos antigos, modernizando-os, sem ter a necessidade de altos investimentos com máquinas novas. Além disso, o *retrofit* de uma máquina-ferramenta, quando bem projetado e executado, apresenta desempenho e vida útil comparável a de um equipamento novo (BARBOSA, 2009).

Deste modo, este trabalho irá estudar a viabilidade da realização do *retrofit* de um torno mecânico, automatizando-o, a fim de melhorar sua produtividade de modo a não utilizar a força humana.

## 1.1 TEMA

Na Idade Média, o artesanato e as condições precárias de trabalho nas fábricas eram as principais características da produção na época. Locais com pouca ventilação, sujos e, na maioria das vezes, pequenos para a quantidade de trabalhadores eram algumas das peculiaridades do sistema de produção. Porém, a busca por maiores lucros, rapidez e menores gastos na produção, fez com que a burguesia industrial investisse em melhorias e modificações neste campo (CAPELLI, 2006).

Na Inglaterra, no início do século XVIII, a mecanização dos sistemas de produção foi responsável pela Revolução Industrial. Este é considerado o ponto inicial do desenvolvimento da automação industrial, além de outras tecnologias. Segundo Capelli (2006), a máquina a vapor, por exemplo, criada nesse período, acelerou e aumentou a produção, tendo como consequência o decréscimo do preço das mercadorias. Entretanto, essa mecanização que se ampliou e se aprimorou ao passar do tempo, necessitou de um sistema de produção com poucas paradas e que atendesse a crescente demanda pelas mercadorias (CAPELLI, 2006).

As técnicas desenvolvidas por Henry Ford, no século XX, e a produção em série tomaram conta dos cenários fabris, principalmente das indústrias automobilísticas. Neste contexto, de acordo com Silveira e Santos (1998), o controle lógico das linhas de produção era feito através de dispositivos eletromecânicos, os relés, que eram interconectados por meio de uma lógica. Apesar desse sistema de controle representar um grande progresso, continha alguns problemas de ordem prática. Além de ocupar um enorme espaço e de trabalhar com poucas variáveis, quando ocorria algum defeito, este comprometia horas ou até dias de trabalho para a correção da falha (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

Na década de 50, o aperfeiçoamento da eletrônica e o desenvolvimento dos processadores fizeram com que os computadores fossem integrados nas indústrias e, deste modo, as tecnologias para automação industrial ganharam espaço. Já, no final da década de 60, a indústria automobilística General Motors foi a pioneira a testar um controlador lógico que permitia a programação através de *software* que possibilitava operações diversas. Este dispositivo desenvolvido pela *Bedford Associates* recebeu o nome de MODICON 084, sigla de *Modular Digital Controller* e representou o primeiro controlador lógico programável (CAPELLI, 2006).

Durante a década de 70 ocorreram diversos progressos no desenvolvimento do PLC. Computadores robustos com processadores precários foram substituídos por microprocessadores. Nessa década também foi desenvolvido um sistema que intercomunicava, através de redes, os PLCs, possibilitando assim o controle remoto de máquinas. Além disso, foram criadas interface e programação que permitiriam configurações exclusivas de acordo com a necessidade do usuário (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

Desse modo, a aplicação dos controladores se expandiu não só no setor automobilístico, mas nas indústrias em geral. O aumento da vida útil do controlador, a redução das manutenções nos equipamentos e a possibilidade de reprogramar sem interromper a produção são alguns dos fatores que contribuíram para essa expansão.

De acordo com Georgini (2007), um controlador lógico programável é um computador industrial que pode implementar funções de controle, manipular dados em rede, além de desempenhar operações lógicas e aritméticas. É constituído por um processador (microprocessador), módulos de entradas e saídas que podem ser digitais ou analógicos, fonte de alimentação e *rack* ou base, conforme representado na Figura 1. Além disso, pode ser composto por módulos especiais que controlam a temperatura e PIDs, entre outros.

A título de exemplo, a Figura 6 ilustra um PLC da marca MOELLER com 1 módulo de 16 entradas e 1 módulo de 16 saídas que está atualmente instalado no laboratório D106 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Esses controladores são programados através de um software de programação ou de programadores manuais. Essencialmente, o texto estruturado, *Ladder*, lista de instrução, diagrama de blocos e GRAFCET são as cinco linguagens utilizadas.



**Figura 6 - PLC com módulos de expansão de entradas e saídas.**  
**Fonte: Laboratório D106 da UTFPR (2012).**

Atualmente os ambientes de produção industrial vêm se aprimorando cada vez mais, através de máquinas mais velozes, componentes mais compactos, processos que necessitam de maior controle, melhor gerenciamento de falhas e uma redução no tempo de parada, o que aumenta a eficiência na produção. As novas tecnologias utilizadas nesses processos de automação industrial englobam o emprego da Interface Homem-Máquina, comumente chamada de IHM, que está presente em boa parte dos equipamentos e sistemas automatizados de forma a desempenhar um papel importante em diversas funções, tais como a verificação de *status* de produção, cumprimento de ordens do controlador, avisos de alarme, entre outras (VIEIRA, 2004).

Assim, este trabalho acompanha a tendência mundial no cenário da indústria da automação em supervisionar um equipamento de uma fábrica através de um PLC e IHM. Os sistemas de IHM atuais devem oferecer a interface ao operador, controle supervisionado e aquisição de dados, além de proporcionar alarmes e informações para o sistema de planejamento corporativo. O setor industrial que será estudado para a realização deste trabalho envolve a fabricação de utensílios e artefatos de alumínio, especialmente painéis reforçados e de grande porte, utilizados em cozinhas industriais. Para a fabricação deste tipo de painéis são geralmente utilizados

tornos mecânicos de repuxo de forma que o próprio operador realiza manualmente a manufatura do produto.

O torno mecânico, ou máquina-ferramenta como é classificado, é considerado fundamental no processo de confecção e acabamento de peças. Este equipamento tem a capacidade de executar maior número de obras do que qualquer outra máquina e, por este motivo, é considerado o precursor das máquinas-ferramentas. Além disso, este equipamento pode modelar qualquer superfície de revolução, através de movimento de rotação, enquanto um, ou diversos instrumentos de corte ou modelagem, tem o movimento de translação e avanço (FREIRE, 1984).

De acordo com Freire (1984), pelo fato deste equipamento ter uma ampla aplicabilidade, há diversos tipos de tornos mecânicos, os quais se diferenciam pelas dimensões, características, formas construtivas, entre outras propriedades. Nos próximos capítulos, os diferentes tipos de tornos e suas principais características serão abordados de maneira mais detalhada.

## **1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Este projeto de pesquisa inclui a análise da viabilidade para substituição do método manual de confecção de painéis por um sistema que não exija a força humana como principal instrumento no processo, utilizando para isso um torno mecânico.

O estudo da automatização do sistema de produção será voltado a uma fábrica de painéis e artefatos de alumínio na região de Curitiba. Nesta empresa, encontra-se um parque de tornos mecânicos, rebidadeiras e retificadoras, além do próprio estoque de matéria-prima e de moldes utilizados como base para os tornos mecânicos, de acordo com a peça a ser produzida.

Para a manufatura dos produtos, atualmente toda a operação das máquinas e moldagem da matéria-prima é feita de forma artesanal, tendo como principal ferramenta para o processo de transformação a força humana, o que determina algumas problemáticas que posteriormente serão discutidas. Para que esses problemas se tornem mais palpáveis e de fácil entendimento, resolveu-se desenvolver o estudo de apenas um torno específico.

Nesse sentido, será analisada através da automação, controle e sensoria-  
mento qual a solução mais eficiente de exercer o controle do sistema através da uti-  
lização de um controlador lógico programável interligado a uma interface homem-  
máquina.

### 1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Observando os processos de fabricação das painelas, os quais sempre utili-  
zam o torno como máquina-ferramenta principal, é possível assinalar alguns pontos  
críticos em seu funcionamento e que se tornam significativos quando analisados  
mais a fundo conforme será detalhado a seguir.

O primeiro ponto analisado se dá pelo fato do processo da confecção das pa-  
nelas depender exclusivamente da mão de obra humana como ferramenta para a  
operação do torno e para a modelagem das peças. Para a operação da máquina,  
são necessários dois operários com alta habilidade física e manual. Essa exigência  
acarreta o desgaste físico progressivo do trabalhador, fazendo com que a sua vida  
útil nessa função seja reduzida se comparada a de outra pessoa que não exerça es-  
se mesmo esforço. Além do desgaste, essa função requer uma experiência e preci-  
são de um artesão, fazendo com que a possível substituição por outro operário seja  
de transição difícil e demorada. Nesse sentido, o treinamento de pessoal para as-  
sumir essa função se torna um empecilho para a empresa, pois demanda experiên-  
cia que só é adquirida ao longo do tempo e disposição para o trabalho braçal.

Por ser considerada uma produção semi-artesanal, outro ponto preocupante é  
a falta de padronização, tanto nos processos envolvidos quanto nos produtos finais.  
Isso pode ocorrer devido ao modo de trabalho que varia de acordo com o operário,  
podendo gerar falhas nas peças, ocasionando retrabalho e refugo, o que afeta dire-  
tamente na qualidade. Além disso, essa não conformidade no modo de trabalho leva  
a um processo com duração variável, afetando diretamente no rendimento da produ-  
ção.

Com o *retrofit* do sistema, parte-se do pressuposto que seja estabelecida uma  
diminuição no retrabalho e no desperdício de matéria-prima bem como na mão de  
obra utilizada, o que aumentaria a produção das painelas retornando lucro para em-  
presa.

A partir da análise dos problemas e premissas envolvidos e anteriormente expostos nesse sistema atual de produção, é possível levantar alguns questionamentos a respeito das falhas bem como das soluções de melhoramento desse projeto. De que maneira é possível reduzir o desgaste físico e a força humana aplicada no processo? E, nesse caso, como utilizar uma mão de obra menos especializada obtendo resultados satisfatórios? E ainda, dentro do escopo de automação e controle, qual seria a solução mais adequada a fim de padronizar o processo de produção e aumentar a qualidade do produto?

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo de caso envolvendo *retrofit* de torno mecânico para a fabricação de painéis de alumínio.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Têm-se como objetivos específicos, os seguintes:

- Realizar uma revisão de literatura abordando o estudo da automação e controle de sistemas produtivos;
- Estudar o local de trabalho e o processo de fabricação atual das painéis de alumínio;
- Estudar o uso do torno mecânico e formas de automatizá-lo;
- Estudar os tipos de braços mecânicos e suas aplicações;
- Projetar a automação do sistema de produção de painéis;
- Desenvolver a programação do controlador para que atenda a necessidade de operação da máquina;
- Simular o processo automatizado e validar a solução encontrada;
- Analisar a viabilidade técnico-econômica do *retrofit* do sistema atual.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Como mencionado anteriormente, a mão de obra utilizada no processo industrial demanda muita força e habilidade físicas para a operação da máquina-ferramenta. Isso tem como consequência uma redução na vida útil do trabalhador no mercado de trabalho, justamente pelo desgaste físico gerado pelo esforço contínuo e excessivo. Neste sentido é razoável a substituição da força humana por mecânica através de um aparato controlável integrado ao sistema de automação.

Analisando o sistema de produção, percebe-se uma grande dificuldade no treinamento de novos funcionários que exerçam a função de torneiro mecânico com a mesma destreza que os atuais. Levando-se em conta que a carreira dos operadores presentes é de em média vinte e cinco anos e que se leva cinco anos para treinar um novo funcionário, a substituição se torna difícil para a empresa e impacta no ritmo da produção. Além disso, esse tempo de adaptação, pela falta de experiência do funcionário, pode levar a problemas com padronização das peças e refugo na produção. Sendo assim, com a automatização do sistema não será necessário um artesão e sim um operador, o que pode vir a facilitar no treinamento.

É de se destacar que o torno mecânico em questão está funcionando há mais de sessenta anos e é neste sentido que se torna necessária a modernização do sistema. Para isso, a automatização já mencionada determina um passo importante para o *retrofit* do torno mecânico, visando à devida adaptabilidade no mercado. Segundo Ghisi (1997), "*retrofit* é o termo utilizado, em sua forma original, para definir qualquer tipo de reforma". Neste trabalho, o *retrofit* será utilizado para agregar novas tecnologias, modernizando uma máquina já ultrapassada.

Com o *retrofit* é de se esperar que haja uma diminuição no retrabalho e no desperdício de matéria-prima e mão de obra, conseqüentemente levando a um aumento na produção das panelas. Este aumento da capacidade ocasiona uma maior lucratividade para empresa. Para verificação deste lucro, será feito um estudo comparativo entre o sistema atual e o que se pretende implementar.

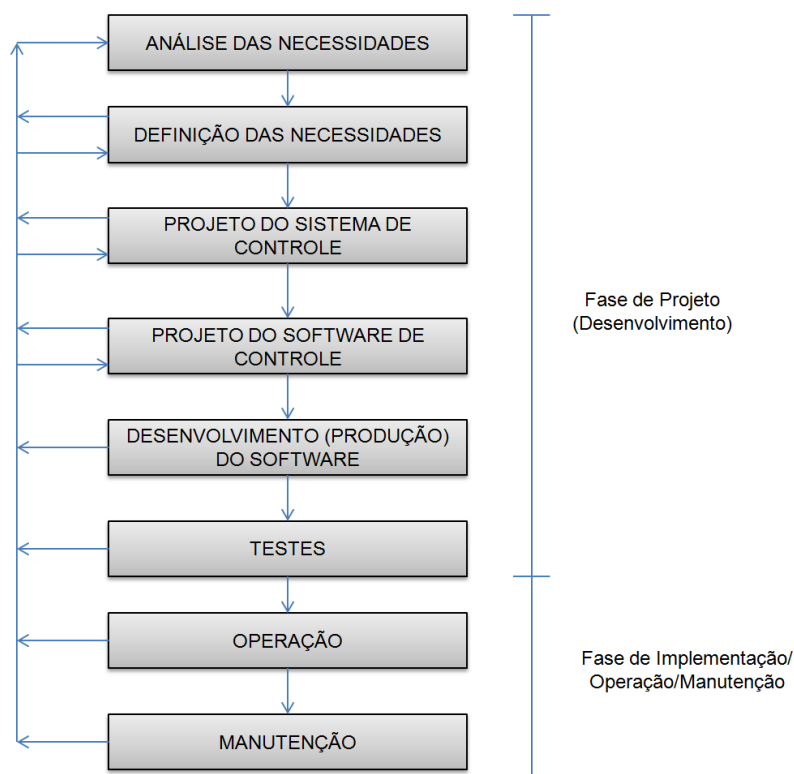
Observando os argumentos acima levantados, é razoável que se desenvolva um estudo técnico-econômico comparativo entre o sistema presente e o proposto por este trabalho, haja vista o desgaste humano acima mencionado e a despadronização das peças.

## 1.6 METODOLOGIA DE PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE

Para atingir os objetivos desta pesquisa tecnológica, é de fundamental importância a estruturação deste trabalho com base numa metodologia de projeto de sistema de controle. Este processo será fundamentado na metodologia de projeto de sistemas de controle descrita por Miyagi (2001), a fim de realizar um eficiente procedimento de sistematização e gerenciamento da automatização do torno mecânico delimitado por esse projeto de pesquisa.

Quando se estuda a aplicação de um sistema de controle de sistemas e eventos discretos (SED), é comum defini-lo a partir de um “ciclo de vida” padrão de modo a demarcar o projeto em si e seu desenvolvimento. Segundo Miyagi (2001), deverá conter nesse processo uma clara definição das tarefas delimitando cada etapa do desenvolvimento, bem como a especificação de parâmetros de avaliação de qualidade de cada parte de forma a abranger uma visão geral do sistema de controle. Além disso, deverá ser considerada a padronização de recursos e a otimização das ferramentas utilizadas para uma avaliação mais precisa dentro dos padrões econômicos esperados.

A partir das orientações de Miyagi (2001), o fluxograma do ciclo de vida de um sistema de controle a seguir, conforme a Figura 7, demonstra as etapas fundamentais de uma metodologia de pesquisa a ser adotada por meio de uma cronologia de procedimentos.



**Figura 7 - Ciclo de vida do sistema de controle.**  
**Fonte: Miyagi (2001).**

Da mesma forma, faz-se necessária uma análise não somente das etapas do ciclo de vida de um sistema de controle como delimitado acima, mas também é de fundamental importância um estudo minucioso em cima do conteúdo dos procedimentos de controle envolvidos nesse sistema. Segundo Miyagi (2001), o conteúdo desses processos engloba as seguintes atividades:

- 1) Identificação do objetivo final do sistema;
- 2) Compreensão do objeto de controle, instalações e equipamentos;
- 3) Organização dos conhecimentos sobre o sistema de controle (dispositivo de controle e equipamentos periféricos);
- 4) Abstração e análise das funções de controle (modos de operação e monitoração 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 sistema de controle;
- 10) Projeto da 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.

A devida associação entre o ciclo de vida e o conteúdo dos procedimentos do sistema de controle acima detalhados, determinarão uma análise mais organizada do projeto de pesquisa em questão, minimizando erros de processos e, por consequência, diminuindo custos durante todo o ciclo de vida do sistema de controle.

A fase de projeto dentro da esquematização do ciclo de vida do sistema de controle é o principal processo para garantir o sucesso do projeto de pesquisa como um todo, justamente por averiguar, em teoria, todo e qualquer tipo de possíveis falhas que possam acarretar ao sistema quando se processar a fase de implementação. Essa fase de projeto, que envolve inúmeras etapas como mostrado na Figura 7, deve ser relacionada com as atividades apresentadas pelos procedimentos de controle, assim definindo o que será realizado em cada etapa. Para Miyagi (2001), essa associação pode ser efetuada da seguinte maneira:

- ANÁLISE DAS NECESSIDADES:
  - 1) Identificação do objetivo final do sistema;
  - 2) Compreensão do objeto de controle, instalações e equipamentos;
  - 3) Organização dos conhecimentos sobre o sistema de controle;
  - 4) Abstração e análise das funções de controle.
  
- DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES:
  - 5) Definição das funções de controle;
  - 6) Definição do fluxo das funções de controle.
  
- PROJETO DO SISTEMA 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 sistema de controle.
- PROJETO DO SOFTWARE DE CONTROLE:
    - 10) Projeto da reutilização;
    - 11) Projeto do programa;
    - 12) Projeto de programas não padronizados.
  
  - DESENVOLVIMENTO (PRODUÇÃO) DO SOFTWARE:
    - 13) Desenvolvimento do programa e seu carregamento nas máquinas.
  
  - TESTES:
    - 14) Teste por unidade;
    - 15) Teste do sistema.

Posteriormente ao primeiro processo da fase de projeto, detalhado acima, será realizada, então, a fase de implementação, operação e manutenção do ciclo do sistema de controle, de maneira a confirmar os resultados obtidos e esperados na fase anterior.

## **1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho é composto por sete capítulos.

O primeiro capítulo contém a introdução, a delimitação do tema, os problemas e premissas, os objetivos, a justificativa e a introdução à metodologia de projeto do sistema de controle.

O segundo capítulo se remete à fundamentação teórica abordando o estudo da automatização e controle de sistemas produtivos de forma a destacar os sistemas e equipamentos envolvidos nesse processo.

O terceiro capítulo é composto pela determinação do sistema produtivo para fabricação das painéis de alumínio, contendo o detalhamento do local de trabalho e do processo de fabricação. Além disso, é apresentado um estudo sobre tornos mecânicos utilizados em sistemas produtivos bem como apresenta o detalhamento do torno a ser automatizado na fábrica de painéis estudada. Após esse processo, ain-

da nesse capítulo é feita uma análise e definição das necessidades requeridas para a realização do projeto de automatização.

O quarto capítulo aborda efetivamente o projeto da automatização do sistema industrial para fabricação das painelas, através do exame de operação do controlador lógico programável e servoacionamento para a atuação no sistema. Esse procedimento é realizado com o detalhamento das funções do PLC e servoacionamento, definição das interfaces e alocação das funções de controle além da determinação e localização dos sinais de entrada e saída. Ainda nesse capítulo é apresentado o projeto do braço mecânico utilizado para automatizar o torno mecânico estudado.

O quinto capítulo contém o projeto e desenvolvimento do software de controle para operação do sistema controlado, através da programação do PLC, IHM e servoacionamento. Após esse processo, são efetuados diversos testes por unidade e do sistema como um todo com demonstração dos resultados simulados.

O sexto capítulo faz a análise da viabilidade técnico-econômica para realizar a automatização do sistema produtivo atual através do orçamento realizado dos equipamentos que seriam empregados na construção e controle do braço mecânico.

Por fim, o sétimo capítulo apresenta discussões sobre os resultados das simulações e análise técnico-econômica para a implementação do sistema produtivo estudado, abordando as considerações finais obtidas através do desenvolvimento deste trabalho.

## 2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

### 2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A história da automação industrial se inicia a partir das linhas de montagens automobilísticas com Henry Ford, na década de 1920. Com o passar dos anos, o avanço tecnológico nas diversas áreas da automação industrial tem sido cada vez maior, proporcionando um aumento na qualidade e quantidade de produção. A palavra automação ou *automation* foi criada pelo *marketing* da indústria de equipamentos na década de 1960 e procurava ressaltar a participação do computador no controle automático industrial. Desse modo, pode-se dizer que a automação engloba qualquer sistema que substitua o trabalho humano em benefício da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos por meio da utilização de computadores (CASTRUCCI e MORAES, 2007).

Nesse sentido, a automação de uma indústria ou processo industrial é realizada quando se pretende uma maior produtividade e conseqüente redução de custos, ainda que ocorra em decorrência disso a substituição de mão-de-obra ou mesmo o desaparecimento de uma função na fábrica. No entanto, de acordo com Castucci e Moraes (2007), automatizar um sistema produtivo não resulta somente em menores custos, mas também proporciona variadas vantagens aos sistemas abrangendo de forma direta a informatização. Dentre os benefícios, pode-se destacar a possibilidade de expansão utilizando recursos acessíveis; maiores níveis de qualidade, maior flexibilidade de modelos para o mercado; maior segurança pública e dos operários; menores perdas materiais e de energia; mais disponibilidade e qualidade de informação sobre o processo; e melhor planejamento e controle da produção.

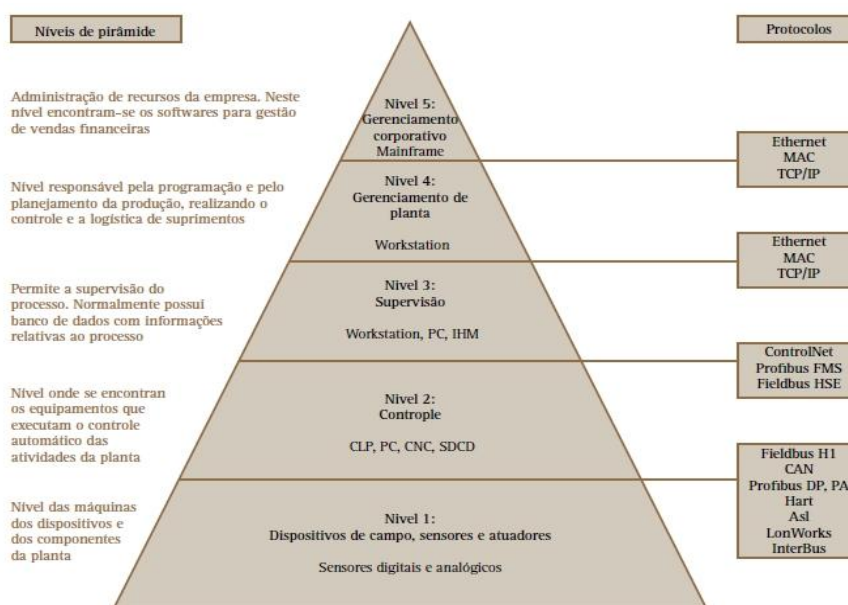
A automação envolve a implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina que possam auxiliar os operadores no exercício da supervisão e da análise dos problemas que porventura venham a ocorrer (CASTRUCCI e MORAES, 2007). Com relação à produção industrial, a automação pode ser dividida em três classes: a rígida, a flexível e a programável, aplicadas a grandes, médios e pequenos lotes de fabricação, respectivamente (ROSÁRIO, 2005).

Ainda segundo Rosário (2005), é possível entender a automação industrial como uma tecnologia que associa três áreas: a eletrônica responsável pelo *hardware*, a mecânica pelos dispositivos mecânicos (atuadores) e a informática responsável pelo *software* que irá controlar todo o sistema. Desse modo, é primordial uma formação bastante vasta e diversificada dos projetistas ou então um trabalho de equipe muito bem coordenado com perfis interdisciplinares, já que se exigem grandes conhecimentos para efetivar projetos nesta área. Os projetos neste campo costumam envolver uma infinidade de profissionais e os custos são suportados geralmente por grandes empresas.

De acordo com Castucci e Moraes (2007), a arquitetura da automação industrial pode ser disposta em forma de pirâmide como mostra a Figura 8, também chamada de planta industrial. Essa pirâmide divide os níveis dos equipamentos envolvidos na tecnologia de acordo com sua atuação na indústria e mostra como as informações são filtradas do nível 1 até chegar ao seu topo. Em contrapartida, as ordens vindas dos níveis administrativos (4 e 5) são repassadas para o nível 3, que garante que as tarefas sejam realizadas pelos níveis operacionais. Os níveis que constituem a pirâmide podem ser dispostos de forma a exercer as funções na seguinte ordem:

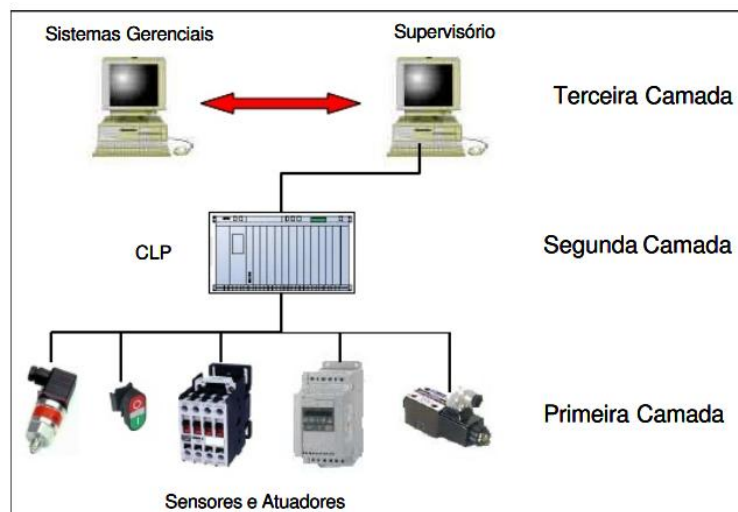
- Nível 1: constitui o nível das máquinas, dispositivos e componentes de sensores e atuadores. Por exemplo: máquinas de embalagens, linhas de montagem ou manufatura.
- Nível 2: constitui o nível dos controladores digitais, dinâmicos e lógicos e de algum tipo de supervisão. Nesse patamar se encontram concentradores de informações sobre o Nível 1, e as Interfaces Homem-Máquina.
- Nível 3: neste nível é possível o controle do processo produtivo. Geralmente é constituído por bancos de dados com informações com índices de qualidade da produção, relatórios e estatística de processos. Por exemplo: avaliação de controle da qualidade em processo químico ou alimentício.
- Nível 4: constitui o nível responsável pela programação e planejamento da produção, realizando controle e a logística dos suprimentos. Por exemplo: controle de suprimentos e estoques em função da sazonalidade e da distribuição geográfica.

- Nível 5: representa o nível responsável pela administração dos recursos da empresa, em que se encontram os *softwares* para gestão de vendas e financeira além de ser o nível onde se realiza a decisão e o gerenciamento de todo o sistema.



**Figura 8 - Pirâmide da Automação.**  
**Fonte: Castrucci e Moraes (2007).**

No modelo de arquitetura de rede simplificada mostrado na Figura 9 se encontram os sensores, atuadores e PLCs pertencentes à primeira e segunda camada. Na terceira camada estão os sistemas de supervisão acionados pelo operador, onde são tomadas decisões, como por exemplo, paradas programadas de máquina e alterações no volume de produção. Esses também estão integrados com os sistemas gerenciais, responsáveis pela contabilidade dos produtos e recursos das fábricas (SILVA, 2007).



**Figura 9 - Arquitetura de rede para um sistema automatizado.**  
**Fonte: Silva (2007).**

Segundo Silva (2007), os sensores são os elementos que fornecem informações sobre o sistema, correspondendo às entradas do controlador. Esses sensores podem indicar variáveis físicas, tais como pressão e temperatura. Os atuadores são os dispositivos responsáveis pela realização de trabalho no processo ao qual está se aplicando a automação podendo ser magnéticos, hidráulicos, pneumáticos, elétricos, ou de acionamento misto. O controlador é o elemento responsável pelo acionamento dos atuadores, este dispositivo deve considerar o estado das entradas (sensores) e as instruções do programa inserido em sua memória.

## 2.2 CONTROLE ANALÓGICO E DIGITAL

A automação industrial começou por meio do controle pneumático de grandezas analógicas tratadas com estratégias de controle clássico, através de relés e solenóides. Os painéis de comando com instrumentos de medição analógicos ocupavam grandes espaços junto às máquinas da linha de produção ou centralizados em imensas salas de supervisão (MOORE, 1986).

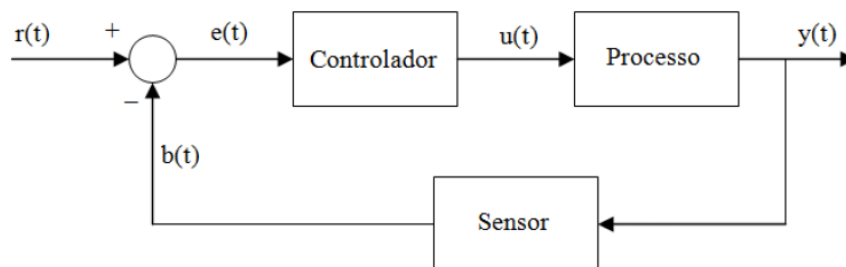
A evolução da eletrônica a partir do surgimento do transistor e dos circuitos integrados fez reduzir o tamanho e custo dos painéis de supervisão, mas ainda atuando analogicamente sobre o controle do processo. O advento dos microprocessadores foi o grande avanço que tornou possível a digitalização do controle de proces-

sos com grandes vantagens sobre os analógicos. As vantagens identificadas por Moore (1986) são:

- Flexibilidade proporcionada pela programação;
- Flexibilidade na aplicação do equipamento digital: as modificações no processo de um equipamento analógico exigem mudanças físicas nas conexões internas do mesmo, são onerosas e lentas. No equipamento digital a mudança ocorre na programação por software, tem menor custo e é bem mais flexível;
- Flexibilidade na medição dos parâmetros do processo: grandezas medidas podem ser modificadas para representar condições reais de um processo que não podem ser medidas diretamente, evitando-se assim inferências na malha de controle;
- Flexibilidade no desempenho do controle: ajustes podem ser programados com a finalidade de se otimizar um processo em situações impossíveis para um operador em uma planta analógica.

### 2.2.1 CONTROLE DIGITAL

Os sistemas automatizados podem ser aplicados em máquinas simples ou em indústrias inteiras por meio da utilização de sistemas de controle. A diferença está no número de elementos monitorados e controlados. Estes pontos controlados podem ser simples válvulas ou servomotores de forma que a eletrônica de controle pode ser bastante complexa. Para Pereira (2003), de uma forma geral, todo sistema de controle de qualquer processo envolve uma mesma estrutura padrão como mostrado na Figura 10, onde os citados pontos correspondem tanto aos atuadores quanto aos sensores.



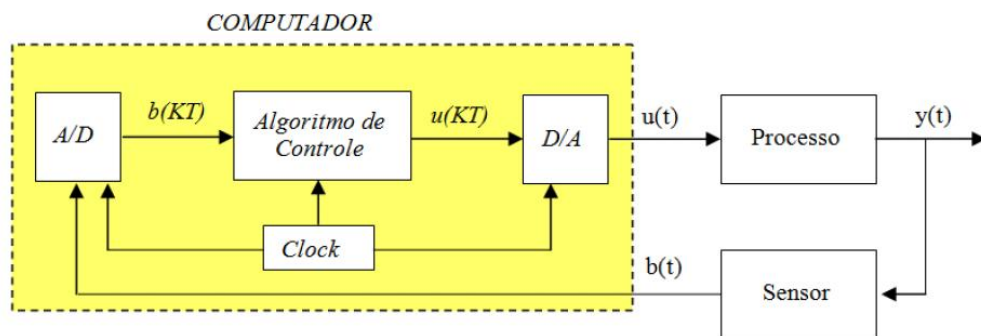
**Figura 10 - Diagrama de blocos de um sistema de controle realimentado. Fonte: Pereira (2003).**

A malha de controle exemplificada na Figura 10 representa  $r(t)$  como um sinal de referência e  $y(t)$  é definido como o sinal de saída do processo. A informação do sinal de saída do processo é obtida, para efeito de comparação, com a variável de referência, através da utilização de um elemento sensor que dá origem ao sinal  $b(t)$ .

Segundo Bolton (1995), o controle digital demanda sinais de entradas digitais. No entanto, grande parte dos sinais controlados são analógicos. Desse modo, é necessário convertê-los para sinais digitais, em intervalos de tempo, através da amostragem do sinal analógico. Nesse sentido, descreve-se um controlador digital como um sistema de dados amostrados.

Os sistemas de controle baseados em computador, contrariamente aos controladores analógicos, exercem as funções de armazenamento de dados e supervisão de todas as variáveis do processo em um único local, facilitando as tarefas relacionadas ao gerenciamento e a operação dos processos. Outra vantagem é a capacidade de utilização de diferentes técnicas de controle, independente do grau de complexidade associada a cada uma delas, através da inclusão de novos algoritmos de controle, sem a necessidade de qualquer alteração no *hardware* do controlador.

Quando necessário, também é perfeitamente possível ajustar os parâmetros dos controladores num sistema de controle baseado em computador (PEREIRA, 2003). Para a substituição do controle realizado por meio de componentes eletrônicos analógicos, foi utilizado um computador digital de maneira a adaptar o diagrama de blocos para a inserção de um modelo digital, conforme apresentado na Figura 11.



**Figura 11 - Diagrama de blocos de um sistema de controle.**  
**Fonte: Pereira (2003).**

Para Pereira (2003), é possível observar comparativamente através dos diagramas que os sinais de entrada e saída do computador são os sinais em tempo

contínuo  $b(t)$  e  $u(t)$ , agora representados internamente no computador pelos seus equivalentes em tempo discreto, respectivamente  $b(KT)$  e  $u(KT)$ . Na Figura 11, em relação à execução das tarefas de controle, os blocos que compõem o computador são o bloco A/D (conversor Analógico/Digital), D/A (conversor Digital/Analógico), Algoritmo de Controle e Clock.

O conversor A/D é o dispositivo de *hardware* utilizado para aquisição de um sinal analógico externo ao computador, convertendo-o em um sinal digital equivalente ao sinal lido externamente. No exemplo da Figura 11, o sinal analógico externo é o sinal de saída do sensor  $b(t)$  que após a conversão A/D será representado pela variável  $b(KT)$ . Já o conversor D/A atua como o *hardware* empregado para a conversão de um sinal internamente representado no computador, para um sinal analógico externo ao computador. No exemplo da Figura 11, o sinal interno é o sinal  $u(KT)$  que após a conversão D/A será representado pela variável  $u(t)$  utilizada para tarefa de controle do processo (PEREIRA, 2003).

O bloco representado pelo Algoritmo de Controle contém os códigos responsáveis pelo processamento do sinal  $b(KT)$  assim gerando o sinal  $u(KT)$ , usado no controle do processo. Na Figura 10 observa-se que o sinal de entrada do bloco “Controlador” é dado pela diferença entre os sinais  $r(t)$  e  $b(t)$ , anteriormente definido como sinal de erro  $e(t)$ . Na Figura 11, o Algoritmo de Controle utiliza apenas a informação do sinal  $b(KT)$ , pois as variáveis de referência  $r(KT)$  e o sinal de erro  $e(KT)$  são internamente gerados neste bloco. O Clock é responsável pela manutenção do sincronismo entre os demais blocos que constituem o bloco “Computador” (PEREIRA, 2003).

## 2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

### 2.3.1 ARQUITETURA

A arquitetura básica de um PLC é composta por uma CPU, com as memórias RAM (*Random Access Memory*), ROM (*Read Only Memory*), PROM (*Programmable Read Only Memory*), EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*) e EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*), uma fonte de alimentação para o sistema e interfaces de entrada e saída (E/S).

O PLC é constituído por um processador, um grupo de memórias e as interfaces de entradas e saídas.

A CPU (*Central Processing Unit*) é a unidade de processamento central, e como já diz o nome, é a principal parte do hardware, considerado o “cérebro” do PLC.

De acordo com Silveira (2008) a capacidade de processamento e características que diferenciam cada PLC atualmente está diretamente relacionada à qualidade do processador utilizado, que pode ser um microprocessador ou microcontrolador. A capacidade de processamento influencia diretamente na habilidade e velocidade de soluções matemáticas e operações lógicas, manipulação de dados e controle do programa, garantindo a execução do ciclo de varredura.

Os processadores podem ser classificados pelo tamanho de armazenamento e manipulação. Os tamanhos mais comuns nos PLCs são de 8, 16 ou 32 bits. A velocidade de operação, também chamada de *clock*, também pode ser pré-requisito para se classificar os PLCs. Nesses tipos de controladores, os mais robustos podem ter uma velocidade de operação de até 100MHz, não se fazendo necessário que se tenha uma velocidade de processamento como a de um computador, que é em geral mil vezes mais rápido.

As memórias são componentes semicondutores e os métodos mais utilizados para armazenamento de informação digital são o de gravação magnética e ótica. As memórias de armazenamento voláteis são aqueles em que se houver perda de alimentação, as informações armazenadas se perdem, já as não voláteis retêm a informação mesmo sem alimentação.

No PLC existem dois tipos de memória, a memória de programa e a memória de trabalho. A primeira é uma zona de memória especial de leitura/escrita destinada a conter o programa em execução e alguma memória só de leitura, ela não é acessível ao utilizador para a operação e não é volátil, tendo uma bateria de *backup*. Apesar de também ser uma zona de memória de leitura e escrita, a memória de trabalho é utilizada para manter um registro das entradas e saídas, assim como o resultado das operações lógicas e matemáticas, etc. Apesar do utilizador não ter acesso direto à memória, é nela que se gravam os dados instantaneamente recebidos pelo PLC. Além disso, é em uma zona de memória não volátil que se faz o mapeamento das entradas e saídas do PLC. Seguem alguns tipos de memórias encontrados no controlador:

- RAM: é uma memória volátil e amplamente utilizada, sua principal característica é que a gravação e alteração de dados são fáceis.
- ROM: é uma memória não volátil e é projetada para guardar informações que não devem ser alteradas, sendo assim, o usuário só pode ler seus dados.
- PROM: é similar ao ROM, mas permite que o próprio usuário grave informações, porém em uma operação única. EPROM e EEPROM são categorias específicas de memórias do tipo PROM. A primeira permite que o usuário altere os dados armazenados, esse processo é feito ao se expor o chip à luz do tipo ultravioleta, já a segunda tem a mesma flexibilidade, porém os dados são apagados eletricamente.

As entradas e saídas são a ponte física entre a CPU do PLC e o que se faz externo a ele. Essa ponte se dá através de vários tipos de circuitos de interfaceamento, que possuem padrões semelhantes nos diversos equipamentos. As entradas e saídas podem ser discretas, ou seja, um bit de informação ou numéricas (analógicas), com vários bits de informação.

Todas essas características da CPU (processador, memórias, entradas e saídas) devem ser analisadas para que sejam suficientes e compatíveis a necessidade de aplicação do PLC, como a complexidade de programação e planta que será controlada.

### 2.3.2 FUNCIONAMENTO

Em um processo industrial que precisa ser controlado de maneira automatizada apresentam-se inúmeros sinais que devem ser emitidos por um “controlador” para que uma sub-rotina entre em ação e sensores realimentem informações de respostas desses equipamentos novamente para que esse “controlador” possa trabalhar em uma malha fechada de controle.

Esses sinais são chamados de variáveis de entrada e de saída e podem ser analógicas ou digitais. Segundo Rosário (2005), as variáveis de entrada são sinais externos ao PLC, que podem ser originários de fontes que são elementos pertencentes ao processo, como sensores e transdutores, e também comandos enviados pelo acionamento de botoeiras, chaves ou pela IHM, feitos pelo operador. As variáveis de saída por sua vez, são todos os dispositivos que são controlados individualmente

por uma saída do PLC, que enviam sinais para acionar elementos do sistema, informação para outros PLCs ou sistemas supervisórios, displays e painéis de sinalização.

### 2.3.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A maneira que o programador transmite a CPU a forma que ele deve agir a cada ação durante o ciclo é através de certa linguagem de programação, que pode ser desde um sistema próximo ao de controle por relés quanto através de blocos funcionais, parâmetros idiomáticos ou até mnemônicos booleanos. Apesar de suas diferenças, a maior parte das funcionalidades necessárias para a criação de um programa podem ser supridas em todas as linguagens.

O Diagrama de Contatos ou *Ladder* é a linguagem que mais se aproxima à lógica de controle que era utilizada na época em que os primeiros PLCs surgiram, pois assim ficaram com uma interface mais amigável às pessoas que já trabalhavam nessa área. O Diagrama de blocos funcionais se assemelha com os Diagramas Lógicos utilizados na eletrônica digital, mas a linguagem que se faz mais próxima à operação da CPU do controlador é a de Mnemônicos Booleanos, apesar de não ser muito amigável ao programador. O “STEP 5” foi criado por um fabricante de PLCs, sendo formado pelas três linguagens citadas anteriormente, trabalhando de forma conjunta para a programação do sistema.

O GRAFCET é a solução para programas que exijam ações de comandos sequenciais ou que dependem do tempo, pois caso utilizadas as linguagens mais tradicionais, o programa pode ficar confuso e inviável. Segundo Silveira e Santos (1998), o GRAFCET foi obtido através do resultado de técnicas como fluxogramas, diagramas de variáveis de estado, redes de Petri e diagrama trajeto-passo, que tentaram dispor uma metodologia de programação para alguns problemas que as linguagens tradicionais não contemplavam.

Para Pires (2002) o GRAFCET é um conjunto de etapas ou estados que correspondem a ações, onde as transições dessas etapas são determinadas por condições lógicas e os elementos que as ligam conferem orientação à lógica.

## 2.4 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

As IHMs configuram um canal de comunicação entre o homem e o computador, através do qual interagem, visando atingir um objetivo comum. Apresentam um conjunto de características com o qual os utilizadores se relacionam com as máquinas, dispositivos, programas de computador ou alguma outra ferramenta complexa. Como o próprio nome sugere, a interface homem-máquina cria um modelo efetivo de comunicação entre o ser humano e o computador. Assim, é por meio de um conjunto de princípios de projeto de interface que é possível identificar objetos e ações de interface e depois criar um *layout* de tela que forma a base para um protótipo de interface homem-máquina (FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. Fundamentos..., 2012).

Segundo Vieira (2004), as IHMs surgiram no ambiente industrial como meio para facilitar a comunicação entre o operador e o meio produtivo, seja ele de processo ou de manufatura. Se for analisado de uma forma evolutiva, antigamente, para se alterar uma determinada temperatura, o operador necessitava de uma chave de fenda, um manual, um multímetro e talvez um osciloscópio. Nesse processo, com a chave de fenda, variava-se um potenciômetro e com o multímetro conferia-se a tensão gerada; dessa forma, seguindo uma tabela pré-impressa, obtinha-se o valor calibrado para obter-se a temperatura desejada. Atualmente, entretanto, para um instrumentista alterar a temperatura é certamente mais fácil, somente bastando estar em frente a uma IHM para verificar essa mesma temperatura e alterá-la.

Nesse sentido, de acordo com Silva (2010) as Interfaces Homem-Máquina estão sendo empregadas com maior frequência em sistemas de produção industrial justamente por apresentarem um considerável avanço de forma proporcional à tecnologia atualmente utilizada. Esses dispositivos facilitam vários processos, dentre eles: fechar e abrir válvulas ou bombas, enviar ordens de produção, monitorar funções de robôs e visualizar o *status* de variáveis em tempo real. Atualmente, além de serem utilizadas as funções básicas das primeiras gerações de IHMs acima citadas, também são empregadas novas funções e, em alguns casos, dispensa até a instalação de drives controladores. Através da aplicação de importantes microprocessadores, a nova geração de IHMs passou a assumir uma função imprescindível numa rede automatizada por meio do armazenamento de dados e desempenho de todas as funções de controle (VIEIRA, 2004).

Castrucci e Moraes (2007) ressaltam que as IHMs são sistemas supervisórios que surgiram da necessidade de uma interface amigável, eficiente e ergonômica entre sistemas de automação complexos e a equipe encarregada de sua operação. Devem, portanto, ser encontradas próxima a linha de produção, instaladas na estação de trabalho de modo a traduzir sinais vindos do PLC para sinais gráficos de fácil entendimento, como mostra a Figura 12.



**Figura 12 - Exemplo de IHM com visão do processo.**  
Fonte: ABB Ltda (2012).

De acordo com Silveira e Santos (1998), as IHMs são atualmente disponíveis em duas principais opções:

- *Hardware* específico do fabricante do PLC;
- *Softwares* Supervisórios executado em computador.

A primeira opção tem a vantagem de ser um dispositivo totalmente integrado ao PLC e possuir alto índice de adaptação ao ambiente industrial, no entanto apresenta o inconveniente de apenas ser utilizada com equipamentos disponíveis pelo fabricante escolhido. Por outro lado, os *Softwares* Supervisórios oferecem uma vasta comunicação com diversos tipos de marcas e modelos de equipamentos disponíveis no mercado. Entretanto, como são *softwares* executados em computadores, as suas aplicações em chão de fábrica podem implicar no uso de computadores industriais, os quais garantem maior proteção, mas, conseqüentemente, apresentam maiores custos (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

As formas mais comuns de IHMs são:

- Frontais de teclado e display de 7 segmentos;

- Frontais de teclado de LCD ou vácuo fluorescente;
- Terminal de vídeo;
- *Softwares* de supervisão e gerenciamento de processos.

Segundo Castrucci e Moraes (2007), as IHMs apresentam sensores alfanuméricos bem como teclados de funções e comunicação serial de modo a trazer, com isso, inúmeros benefícios, como:

- Economia de fiação e acessórios, já que a comunicação com o PLC se baseia numa transmissão serial com um ou dois pares de fio trançados, economizando com isso em vários pontos de entrada ou saída e a fiação deste com os sinaleiros e botões;
- Redução da mão de obra para montagem, pois em vez de vários dispositivos somente a IHM é montada;
- Eliminação física do painel sinótico;
- Aumento da capacidade de comando e controle, considerando que a IHM pode auxiliar o PLC em algumas funções;
- Maior flexibilidade frente a alterações necessárias no campo;
- Operação amigável;
- Fácil programação e manutenção.

Pode-se dizer que as IHMs são *hardwares* industriais compostas geralmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para navegação ou inserção de dados utilizando um *software* prioritário para sua programação. Existem vários tipos de aplicações e utilizações para uma IHM, Castrucci e Moraes (2007) citam as seguintes:

- Visualização de alarmes gerados por alguma condição anormal do sistema;
- Visualização de dados dos motores e equipamentos de uma linha de produção;
- Visualização de dados de processo da máquina;
- Alteração de parâmetros do processo;
- Operação em modo manual de componentes da máquina;
- Alteração de configurações de equipamentos.

De uma forma geral, as IHMs devem propiciar uma maior precisão e abrangência nas medições, uma vez que o sistema supervisório, incluindo a IHM, irá concentrar o controle de uma planta como um todo num único terminal de computador.

Nesse sentido, o desenho de uma IHM é muito importante para a operação dessa planta, já que é o modo como o operador irá visualizar o controle e o estado do sistema produtivo. Atualmente, os programas das IHMs são de fácil configuração seja para o engenheiro ou operador, podendo até dispensar o programador do sistema.

#### 2.4.1 INTERFACES GRÁFICAS DE USUÁRIO (GUI)

A partir do momento que os computadores ganharam a capacidade de exibir gráficos, surgiu a necessidade de se obter um dispositivo de entrada podendo manipular adequadamente esses gráficos. Assim, foram iniciadas tentativas com canetas de luz, tabletes gráficos e *joysticks*, porém o resultado não se mostrava satisfatório, apenas com o surgimento do *mouse* e o aumento da velocidade de processamento dos computadores da época, foi possível a manipulação direta de objetos na tela pela primeira vez (OLIVEIRA, 2010).

Com o desenvolvimento da GUI (*Graphical User Interface*), especificamente num ambiente industrial, tornou-se muito mais prático e rápido ao operador obter informações precisas a respeito do andamento do processo. O operador tem uma melhor visualização do sistema quando enxerga efetivamente uma válvula abrindo, o acionamento de um motor, ou qualquer outro processo de forma visual e gráfica, ao contrário do que ocorria com os painéis de comando e quadros sinóticos que apenas utilizavam de lâmpadas como sinalização. A visualização gráfica permite que se aproveitem largamente as informações utilizando de artifícios como cores, textos e elementos animados graficamente (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

Segundo Silveira e Santos (1998), a elaboração de uma GUI pode disponibilizar representações por meio de painéis sinóticos já comuns aos operadores, diagramas de fluxo da produção, *layout* dos equipamentos da planta, Grafcet de controle sequencial, ou qualquer outro arranjo gráfico-lógico que expresse adequadamente a planta a ser supervisionada.

Paralelamente a isso, de acordo com Castrucci e Moraes (2007), PLCs e IHMs podem também ser configurados de modo a enviarem sinais de atuação ou monitoramento. Ambos atuam de dois modos diferenciados:

- Modo de Desenvolvimento: através de telas gráficas e animações representativas do processo;

- *Modo Run Time*: através de uma janela animada que mostra o andamento do processo. Também é possível fornecer e armazenar dados, gerar gráficos de tendências, alarmes bem como a obtenção de telas desenhadas de forma hierárquica compatíveis com a operação do processo.

#### 2.4.2 CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO DE DADOS E RECEITAS

Geralmente a interligação entre IHM e PLC é feita através de um protocolo de comunicação específico de forma a produzir na IHM as variáveis do processo denominadas de *Tag*. Dessa maneira, uma *Tag* representa uma variável da IHM a qual pode ser do tipo discreta, numérica ou alfanumérica. Pelo fato da comunicação entre PLC e IHM ser bidirecional, uma *Tag* poderá monitorar tanto o *status* do controlador quanto lhe enviar valores através de *setpoints* (valores predefinidos).

Outra opção de uso da IHM é a possibilidade de armazenamento de conjuntos de *setpoints* que são gravados num arquivo formando, com isso, parametrizações do sistema, ou “receitas” de produção. Da mesma forma, quando se detecta algum problema e se deseja interromper e alterar rapidamente a produção de um determinado tipo de peça, é perfeitamente possível realizar esse processo simplesmente enviando um único comando por parte do operador (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

#### 2.4.3 ALARMES, EVENTOS E TÉCNICAS DE MANUTENÇÃO

De uma maneira geral, se forem devidamente programados, os circuitos digitais apresentam a capacidade de emitir um sinal de alerta caso determinado valor se encontre abaixo do desejado ou ultrapasse níveis aceitáveis. No que se refere a manutenção, o defeito pode ser rapidamente consertado ou pode-se também substituir o módulo do circuito correspondente (PUPO, 2002).

De mesma forma, a IHM tem a capacidade de liberar a CPU do controlador através da emissão de sinais de alarme quando sujeita a situações irregulares no que se refere ao processo industrial. Isso ocorre devido a constante monitoração das *Tags*, que quando estão submetidas a falhas, podem alertar e até mesmo sugerir ao

operador o procedimento que deve ser feito diante dessa situação. Além disso, o uso da IHM na maior parte dos casos permite que se efetue um registro histórico através do armazenamento de dados dos eventos e alarmes ocorridos, o que viabiliza a obtenção de informações para um controle estatístico e análise histórica para consulta, plotagem e diferenciados tipos de relatório e gráficos de tendências (SILVEIRA e SANTOS, 1998).

## 2.5 SERVOACIONAMENTO

Servoacionamentos são sistemas eletromecânicos de controle de precisão. Geralmente são utilizados em áreas diversas como em máquinas-ferramenta de comando numérico, em sistemas de posicionamento, em sistemas flexíveis de manufatura, robôs industriais, entre outros (WEG - Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA, 2012).

O servoacionamento é composto pela união do servomotor e do servoconversor. A seguir serão detalhados cada componente do servoacionamento.

### 2.5.1 SERVOCONVERSOR

Os servoconversores são equipamentos versáteis que possibilitam a comunicação direta com controladores externos, a comunicação nos variados meios *Field-bus* e a associação de múltiplos eixos numa mesma fonte de alimentação. Possuem funções de posicionamento, velocidade e rampas de acelerações/ desaceleração programáveis. A Figura 13 apresenta um exemplo de servoconversor.

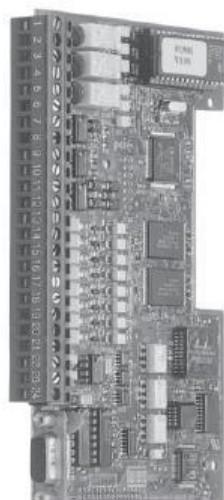


**Figura 13 - Servoconversor.**

**Fonte: Catálogo WEG - Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA (2012).**

Segundo o catálogo de Automação- Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA da WEG (2012), as características técnicas principais de um servoconversor são: regulação em modo posicionador / velocidade / torque, controle de torque tipo PID e controle de velocidade tipo PID, simulador de *encoder* incorporado, unidade de engenharia para IHM remota, programação de parâmetros via IHM incorporada, IHM remoto ou via serial (microcomputador PC), entre outras.

Além disso, o servoconversor possui alguns acessórios opcionais, entre eles a placa posicionadora. A Figura 14 apresenta este acessório.



**Figura 14 - Placa posicionadora.**

**Fonte: Catálogo WEG - Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA (2012).**

A placa oferece a possibilidade de transformar o servoconversor em um módulo posicionador de um eixo. Posicionamento com perfil trapezoidal e “S” (absoluto e relativo), programação Mestre/Escravo/Sincronismo entre 2 ou mais motores, busca de zero máquina ou *homming*, blocos de PLC como temporizadores, contadores, bobinas, contatos, aritméticos e comparação, programação em linguagem Ladder são as características da placa posicionadora.

### 2.5.2 SERVOMOTOR

De acordo com o Guia de Acionamentos de Servomotores da WEG (2012), a escolha de um servomotor relaciona-se com a simplicidade e facilidade de atuação no torque na máquina. Entre os servomotores, há os motores de corrente contínua e os de corrente alternada.

Os servomotores de corrente contínua eram mais utilizados antes do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos dispositivos semicondutores de potência com capacidade de condução e bloqueio (IGBT), dos materiais magnéticos de elevado magnetismo remanente e força coercitiva e dos microprocessadores de baixo custo (WEG – Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA, 2012).

Os servomotores de corrente alternada são menos precisos se comparados com os servomotores de corrente contínua. Uma de suas fases é alimentada com tensão alternada de frequência e amplitude constante e, a outra fase, com a mesma frequência, porém defasada de 90° elétricos e amplitude ajustável.

Além disso, com o desenvolvimento das tecnologias de telecomunicação, a automação também evoluiu juntamente com os protocolos de comunicação. Por este fato, atualmente os *drivers* de acionamento dos servomotores são encontrados no mercado com os diversos protocolos de comunicação, tais como RS-232, RS-485, *CANOpen*, *Ethernet 10/100*, *DeviceNet* e *EtherCAT*. Esses *drivers* são responsáveis pelo controle e acionamento dos servomotores e, através de sistemas de comunicação enviam e recebem dados ao sistema de controle (OLIVEIRA e LIMA, 2011).

A Figura 15 ilustra um servomotor.



Figura 15 - Servomotor.

Fonte: Catálogo WEG - Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA (2012).

Para os servomotores serem controlados é indispensável que estes repassem informações de posição e/ou velocidade para os servoconversores. Essas informações podem ser medidas ou estimadas, porém quando há necessidade de obter-se maior precisão, os sensores são empregados na medição.

### 2.5.3 TRANSDUTOR DE POSIÇÃO (ENCODER)

Os sensores de posição, também conhecidos como transdutores de posição ou *encoders*, são classificados como incrementais ou absolutos. A Figura 16, ilustra os dois tipos de *encoders*.

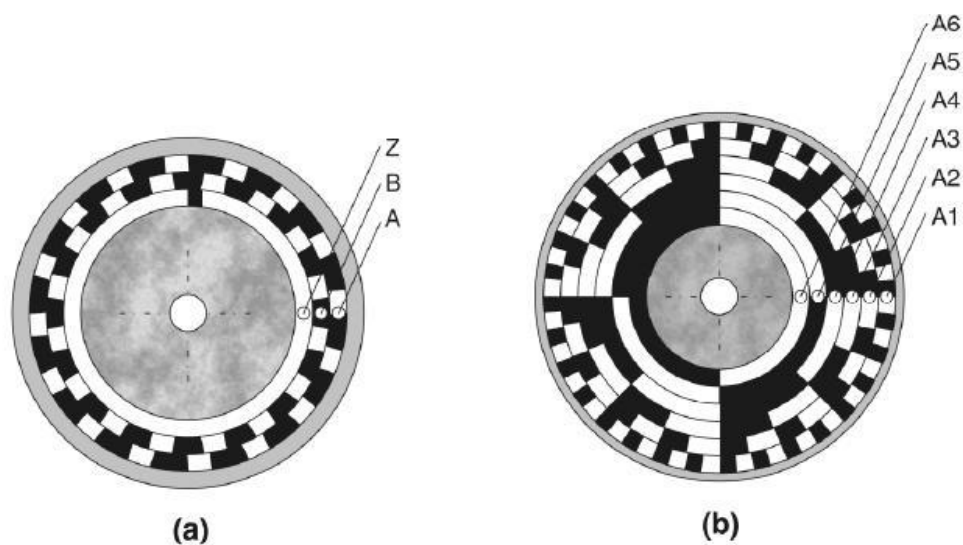


Figura 16 - a) *Encoder* incremental; b) *Encoder* absoluto.

Fonte: Catálogo WEG - Guia de Aplicação de Servoacionamentos (2012).

O *encoder* incremental possui construção simplificada. Os pulsos A e B, indicados na Figura 16 (a), são gerados provenientes de duas marcações igualmente espaçadas, permitindo a detecção da posição, pela contagem dos pulsos. Uma marca de zero, representada pela letra Z na Figura 16, na terceira circunferência, fornece a indicação do término de uma volta e do início da contagem. No *encoder* absoluto, conforme mostrado na Figura 16 (b), cada posição do disco está relacionada a uma combinação de sinais fornecidos por sensores óticos ou magnéticos que detectam a passagem pelas marcas do disco. É necessário utilizar uma codificação tal que só ocorra a mudança de um “bit” a cada alteração de posicionamento, evitando assim, ambiguidades e facilitando a descoberta de erros (WEG – Guia de Aplicação de Servoacionamentos, 2012).

## 2.6 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

De acordo com Pinheiro (2006), as redes de comunicação industrial são uma plataforma através da qual as informações do sistema são transferidas para o controle central, gerando a comunicação entre estações que possibilitam a troca de informações entre si. A principal finalidade de uma rede de comunicação industrial é a de permitir que a maior quantidade de dispositivos possa estar interligada por meio do compartilhamento de recursos de dados dos sistemas disponíveis para o ambiente industrial oferecendo com isso rapidez, confiabilidade e redução de custos para a empresa.

De acordo com Castrucci e Moraes (2007), os avanços tecnológicos trouxeram vantagens relevantes em relação aos sistemas convencionais de cabeamento, tais como redução da fiação, facilidade na manutenção, flexibilidade na configuração da rede e, principalmente, diagnóstico de dispositivos. Além disso, por haver uma padronização nos protocolos de comunicação digital, essas redes possibilitam a integração de equipamentos de vários fabricantes distintos. Esses sistemas são chamados de abertos e configuram uma tendência em todas as áreas da tecnologia devido a sua flexibilidade e capacidade de expansão.

Para a especificação de uma rede de comunicação bem como a garantia de que ela atenda as necessidades da planta industrial, devem-se levar em consideração as seguintes variáveis: taxa de transmissão, topologia física da rede, meio físico

de transmissão, tecnologia de comunicação e algoritmo de acesso ao barramento. De mesma forma, é imprescindível considerar fatores como a compatibilidade da rede com o ambiente, o custo de instalação do projeto, a facilidade de instalação, a configuração e expansão do sistema, a parte de manutenção, a quantidade de dispositivos, a disponibilidade de produtos e a segurança (CASTRUCCI e MORAES, 2007).

A seguir serão detalhadas as variáveis necessárias para o desenvolvimento de uma rede de comunicação conforme Castrucci e Moraes (2007) afirmam e que foram citadas anteriormente:

- Taxa de Transmissão: é a quantidade média de dados a serem transmitidos na rede num determinado período de tempo. O termo utilizado para esta especificação é o *throughput*. É medida em kilobits por segundo (kb/s).
- Topologia Física da Rede: é o modo como se dispõe construtivamente os dispositivos que estão conectados à rede. As topologias físicas de rede podem ser de ponto a ponto, anel, estrela e barramento.
- Meio Físico de Transmissão: está relacionado ao cabeamento utilizado para a interconexão dos dispositivos. Os tipos de cabos são selecionados de acordo com a aplicação, distância entre dispositivos, taxa de transferência desejada ou do protocolo a ser utilizado. Alguns exemplos de cabos são os cabos coaxiais, par trançado e fibra ótica.
- Tecnologia de Comunicação: é a maneira de gerenciamento entre os pontos de comunicação da rede, chamados de nós, no que se refere à comunicação de dados. As tecnologias comumente utilizadas são mestre/escravo e produtor/consumidor.
- Algoritmo de Acesso ao Barramento: é o algoritmo usado pelos nós para acessar ou disponibilizar informações da rede. Os algoritmos mais empregados de acesso ao barramento são processos de varredura ou cíclica (*cyclic polling*), CSMA/CD (*carrier sense multiple access/collision detection*), *token passing* e mudança de estado (*Cos – change of state*).

Segundo Pinheiro (2006), as redes de comunicação abrangem ainda as redes de campo, necessárias para a comunicação dentro do processo industrial, também conhecidas pelo nome genérico de *fieldbus* ou barramento de campo. O *fieldbus* é uma rede de comunicação que substitui os sinais analógicos 4-20mA e apresenta

como característica básica a transferência bidirecional com barramento serial aplicada para conectar dispositivos como controladores, transdutores, atuadores e sensores (LOPEZ, 2000).

Conforme os dispositivos e equipamentos de campo, como transmissores e atuadores, foram se modernizando de forma a enviar cada vez mais informações sobre o processo, também ocorreu o desenvolvimento de protocolos de comunicação permitindo uma maior troca de informações entre eles e a supervisão da planta. Tais protocolos chegaram a uma padronização quando o comitê IEC/ISA SP50 *Fieldbus* organizou um conjunto de especificações, as quais relacionavam tempos de resposta, topologia física, redundância, confiabilidade, número de dispositivos por ramo de rede, métodos de acesso ao meio físico, alimentação dos transmissores, comprimento do barramento e métodos de configuração do sistema (LOPEZ, 2000).

Atualmente existem diversos sistemas *fieldbus*, de acordo com Pinheiro (2006), eles podem ser divididos em três tipos diferentes:

- Redes de sensores ou “*Sensorbus*”: são redes apropriadas para interligar sensores e atuadores discretos, tais como chaves limites, contadores. Como exemplos temos as redes CAN e *LonWorks*;
- Redes de dispositivos ou “*Devicebus*”: são redes capazes de interligar dispositivos mais genéricos como PLCs, outras remotas de aquisição de dados e controle, conversores AC/DC, relés de medição, etc. Exemplos: *Profibus-DP*, *DeviceNet*, *Interbus-S*, *SDS*, *LonWorks*, *CAN*, *ControlNet*, *ModbusPlus*;
- Redes de instrumentação ou “*Fieldbus*”: são redes concebidas para integrar instrumentos analógicos no ambiente industrial, como transmissores de vazão, pressão, temperatura, válvulas de controle, etc. Exemplos: *IECSP50-H1*, *HART*, *Profibus-PA*.

Para que haja uma comunicação e interação completa do sistema, o PLC, a IHM e o servoconversor se comunicarão através de uma rede *ModBus*, pois contempla as opções disponíveis tanto no PLC quanto no servoconversor escolhidos para serem utilizados. Como o sistema possui um extenso sensoricamente, também poderia ser escolhida uma rede CAN para atender essa parte do sistema.

O *ModBus* foi a primeira rede industrial totalmente digital a ser utilizada em larga escala, algo que se mantém até hoje. O *Modbus* é composto por três camadas estruturais e suporta o sistema mestre-escravo. A comunicação feita entre eles é simples e comandada pelo mestre, onde ele manda uma mensagem ao escravo e

posteriormente o escravo responde, sendo que nunca é de maneira simultânea, que é conhecido como *broadcast*. É possível enviar as mensagens em modo RTU com 8bits ou ASCII com dois chars, a rede suporta de 0 a 247 endereços, o código de função varia de 1 a 255.

O custo benefício para utilização desta rede é satisfatório uma vez que o *ModBus* é um protocolo aberto, de fácil implementação e possui uma vasta disponibilidade de códigos fonte pela internet.

### 3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

#### 3.1 LOCAL DE TRABALHO

O equipamento em estudo é de propriedade da empresa Alumínio DeLucca Ltda. A empresa atua na fabricação de panelas de alumínio e possui um quadro atual de 8 funcionários tendo sua sede única localizada na rua Major Theodolindo Ferreira Ribas número 135, no bairro Boqueirão da cidade de Curitiba, estado do Paraná.

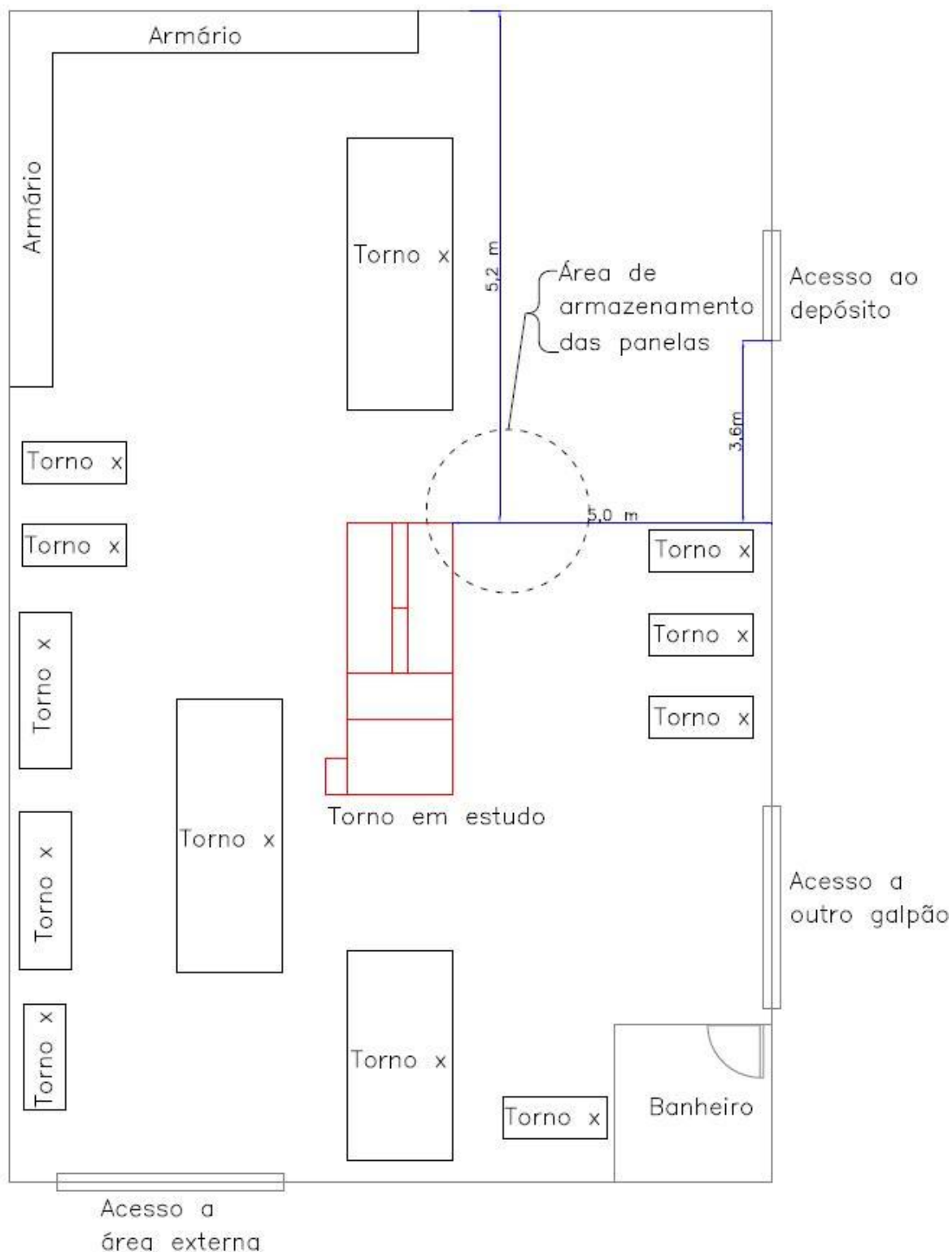
Com mais de cinquenta anos de tradição em fabricação de panelas, utensílios e artefatos em alumínio da linha hoteleira, essa é uma empresa familiar, em que a experiência no ramo é passada de geração em geração. O diferencial na fabricação das peças se encontra prioritariamente na qualidade dos produtos direcionando técnicas de produção com intuito de alcançar esse objetivo. Atualmente a empresa apresenta um razoável volume na produção de utensílios para cozinha industrial, no entanto, pela grande demanda requerida por este segmento de mercado, é necessário aumentar sua produção.

A fábrica se divide em vários compartimentos os quais são separados de acordo com o tipo de processo produtivo. Na parte frontal do terreno da empresa se encontra a divisão administrativa e a recepção com um *showroom* da linha de produtos, como mostra a Figura 17.



**Figura 17 - Showroom da linha de produtos.**  
Fonte: Autoria própria (2012).

Ao fundo do terreno se encontra um barracão conforme mostra a Figura 18, onde fica o estoque de matéria prima, a linha de produção do equipamento estudado e a estocagem dos produtos finais.



**Figura 18 - Galpão onde se localiza o torno em estudo.**  
**Fonte: Autoria própria (2012), software AutoCAD 2008.**

### 3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Em geral, o processo de fabricação dos artefatos de alumínio na empresa mencionada exige uma maior atenção à qualidade do sistema como um todo, desde a matéria prima até o produto acabado. O equipamento estudado neste trabalho atua na produção de caçarolas comerciais e reforçadas de alumínio cuja manufatura se dá por meio da grande habilidade manual por parte do operador da máquina. Atualmente, apenas dois funcionários na empresa inteira estão capacitados para operar o torno mecânico em questão.

A matéria prima utilizada para a fabricação das painéis é o alumínio puro fornecido por outra empresa que atua em São Paulo e região metropolitana de Curitiba. É de grande importância a qualidade da matéria prima na confecção das peças pois interfere diretamente na qualidade do processo de fabricação e, conseqüentemente, no resultado do produto fabricado.

Primeiramente o operador ajusta o torno para o molde desejado, fazendo assim uma série de ajustes mecânicos no torno, para se certificar que está bem colocado. Depois ele insere a chapa de alumínio e centraliza ela manualmente no torno já adequado para o tamanho de painel desejado. Após esse processo inicial, aciona-se a máquina de forma que a matriz juntamente com a chapa de alumínio começam a girar conforme a velocidade do eixo do motor. Nesse momento, o operador passa um material lubrificante pela superfície que será a parte externa da futura painel.

O repuxo requer a força de dois operadores, sendo assim, o primeiro se prende ao torno e com a ajuda de um bastão de madeira pressionando a parte externa da futura painel e um apoio na parte interna, os dois moldam a chapa de alumínio à matriz girante. Dependendo do processo, a haste do bastão de madeira pode ser única ou dupla.

Esse processo é realizado continuamente e com angulações diferenciadas para que aos poucos a chapa plana acabe, através do repuxo, se tornando o produto final. Ao final do processo de repuxo, o operador utiliza uma ferramenta de corte, e com a matriz ainda girante, retira o excesso de alumínio na borda da painel para a realização do acabamento. A painel finalizada, após o processo de repuxo, é mostrada na Figura 19.



**Figura 19 - Painéis após o processo de fabricação.**  
**Fonte: Autoria própria (2012).**

Como a troca do molde leva um certo tempo e trabalho, são realizadas poucas trocas ao longo do dia. A Figura 20 apresenta algumas matrizes que são utilizadas para a confecção das painéis no torno estudado. O processo que começa no momento em que se coloca a chapa no torno até a finalização da painela leva de três a quatro minutos em média.



**Figura 20 - Matrizes utilizadas para confecção das painéis.**  
**Fonte: Autoria própria (2012).**

### 3.3 TORNO MECÂNICO

#### 3.3.1 DEFINIÇÃO

Quando a história do homem é analisada, dá-se grande destaque à evolução dos processos de fabricação. Desde que o homem começou a desenvolver técnicas de aperfeiçoamento para a produção de seus utensílios e ferramentas, o processo mecânico de usinagem de torneamento esteve presente. O torno mecânico é usado pelo homem desde a antiguidade para a produção de vasilhas cerâmica.

De acordo com Freire (1984), o torno é uma máquina-ferramenta muito utilizada em diversas áreas industriais, confeccionando e dando acabamento às peças. Entretanto, apesar de ser um instrumento antigo, sua utilização para usinagem de materiais metálicos só foi efetivada no começo do século passado (SENAI-RJ, 2012).

Por se tratar de um equipamento que permite a execução de muitas operações se comparado com qualquer outra máquina ferramenta, tornou-se a mais completa de fabricação mecânica. É capaz de modelar inúmeros perfis cilíndricos e cônicos, através de movimento de rotação em torno de seu eixo. Também, é adequado para usinar superfícies planas no topo das peças, facear, abrir entalhes de qualquer forma e, além dessas operações primárias, o torno pode polir peças (FREIRE, 1984). Ou seja, o torno mecânico permite a usinagem de variados artefatos, transformando o material em estado bruto, em peças de quaisquer seções circulares.

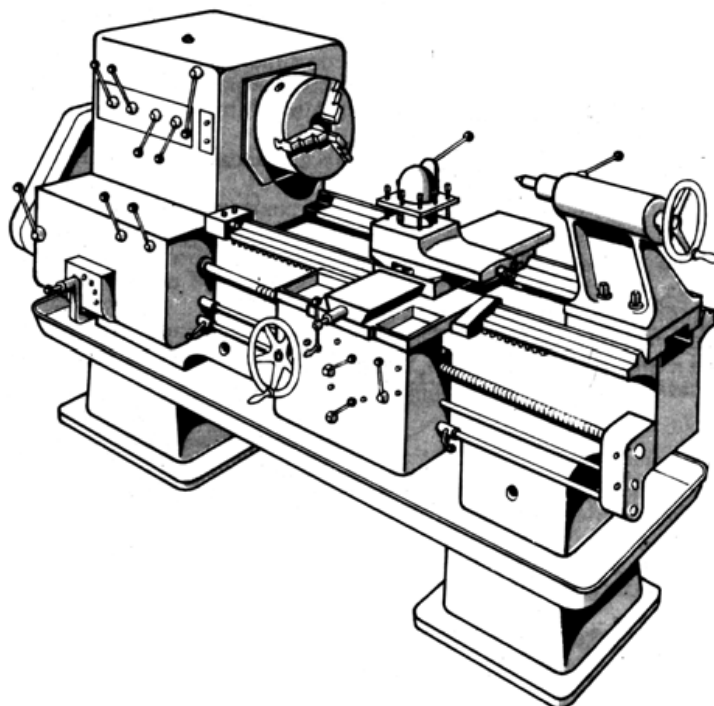
Segundo Freire (1984), pelo fato deste equipamento ter uma ampla aplicabilidade, há diversos tipos de tornos mecânicos, os quais se diferenciam pelas dimensões, características, formas construtivas, entre outras propriedades.

#### 3.3.2 TIPOS

Neste sentido, ao determinar um tipo específico de torno, deve-se basear nas dimensões e forma da peça que se deseja fabricar, na quantidade a ser produzida, no grau de precisão exigido (FREIRE, 1984).

A seguir, serão apresentadas as classificações de tornos mecânicos segundo Freire (1984).

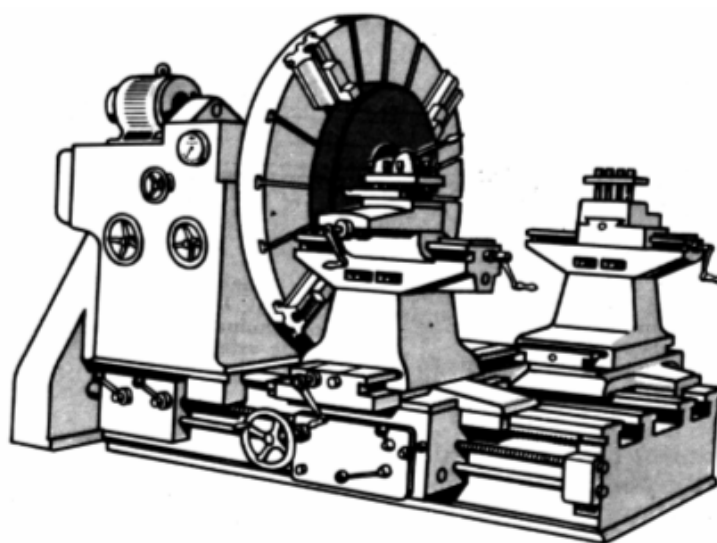
A Figura 21 ilustra o torno horizontal ou de pontas.



**Figura 21 - Torno horizontal.**  
Fonte: Usinagem com torno mecânico (2012).

Este tipo de torno é o mais encontrado e utilizado, porém não possibilita a produção em série por apresentar dificuldade na troca de suas ferramentas.

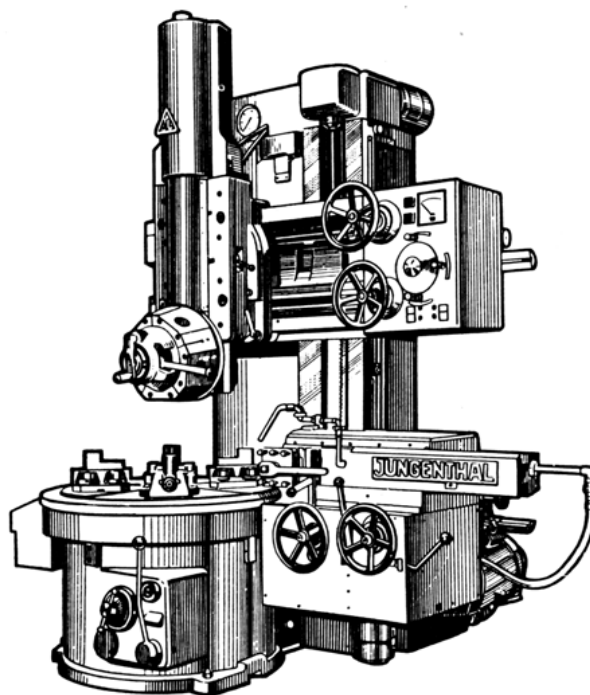
A Figura 22 apresenta outra classe do equipamento, o torno de placa.



**Figura 22 - Torno de placa.**  
Fonte: Usinagem com torno mecânico (2012).

Esta máquina-ferramenta é usada para torneiar peças curtas e com amplo diâmetro, tais como polias, volantes, rodas, etc.

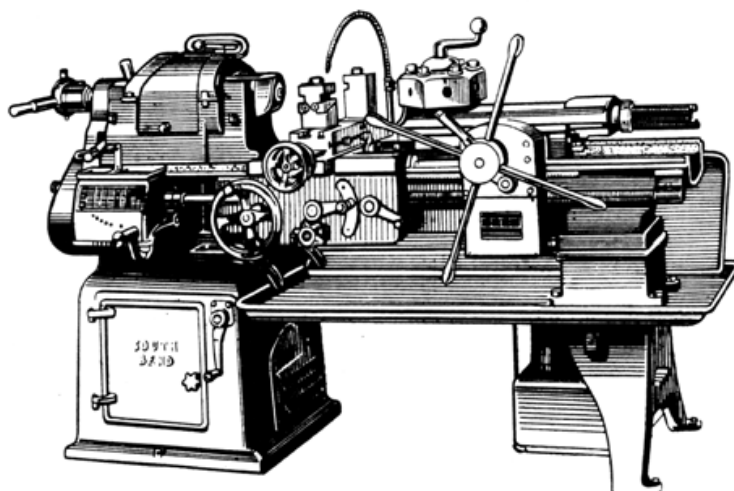
O torno vertical, conforme mostra a Figura 23, também é outra classe de torno mecânico.



**Figura 23 - Torno vertical.**  
Fonte: Usinagem com torno mecânico (2012).

Este equipamento tem seu eixo de rotação na vertical e é utilizado no torneamento de artefatos de grande tamanho e peso, tais como volantes, polias, rodas dentadas, etc. Por apresentar peso e tamanho consideráveis, a plataforma redonda horizontal facilita no torneamento de peças.

A Figura 24 ilustra mais um tipo de torno, o revolver.



**Figura 24 - Torno revólver.**  
**Fonte: Usinagem com torno mecânico (2012).**

Essa máquina operatriz contém diversas ferramentas dispostas e preparadas para o torneamento, de modo que são utilizadas sucessiva e ordenadamente cada uma dessas ferramentas específicas.

Também, o torno copiador é mais um tipo de máquina-ferramenta, conforme apresentado na Figura 25.



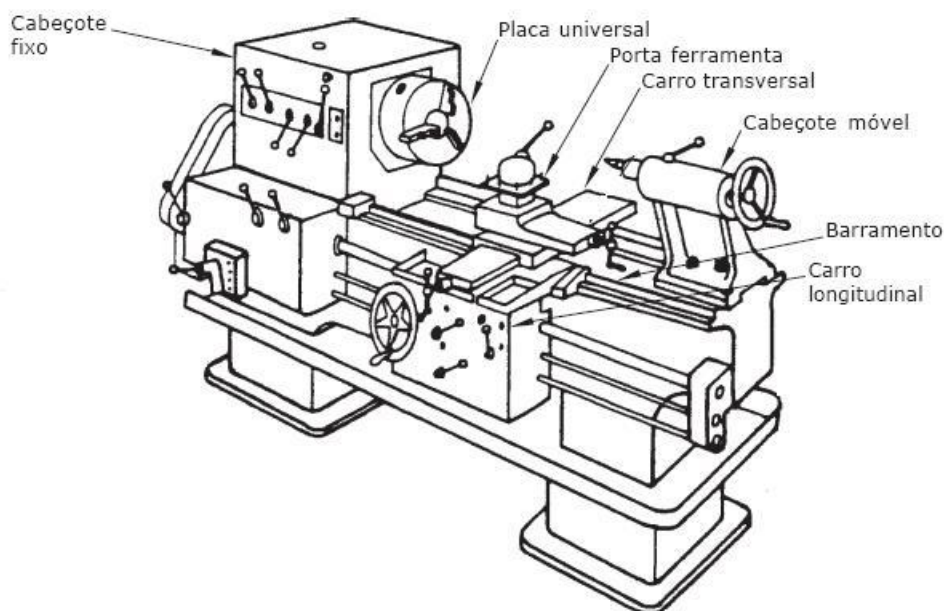
**Figura 25 - Torno copiador.**  
**Fonte: Usinagem com torno mecânico (2012).**

Esta máquina possibilita produzir quaisquer peças com forma de sólidos de revolução. Entretanto, é necessário que sejam aplicados movimentos de translação longitudinal e translação transversal, concomitantemente.

Outra classe dessas máquinas é o torno de produção. Este se destaca pela elevada produção, já que é composto por dois carros trabalhando simultaneamente, um deles com movimento longitudinal e outro, transversal. Também, há o torno automático. Neste equipamento toda a fabricação das peças é feita de modo automático, ou seja, todas as operações são cumpridas consecutivamente, necessitando de apenas um operário que carregue o vergalhão.

Além dos tipos de tornos mecânicos citados anteriormente, existem o torno semiautomático e os tornos especiais. O torno semiautomático apenas se difere do torno automático, por necessitar de um operário para que coloque o material em estado bruto para ser torneado e, no término do processo, retire a peça produzida. Já os tornos especiais são representados pelo torno detalonador e o repetidor. O primeiro é utilizado para retirar o material dos dentes das fresas; o segundo é apropriado para a produção em série e as peças são colocadas uma a uma na pinça da máquina.

A Figura 26, a qual ilustra um torno do tipo horizontal, apresenta as principais partes constituintes de um torno mecânico.



**Figura 26 - Principais partes do torno.**  
Fonte: SENAI-RJ (2007).

O barramento é responsável pelo deslizamento longitudinal do carro, e por esse motivo, são necessários trilhos paralelos rígidos e resistentes. O cabeçote fixo

é uma peça maciça que tem como função alterar a velocidade de rotação do componente, além de ser capaz de inverter o sentido dessa rotação. O cabeçote móvel, localizado sobre o barramento, tem como funções dar apoio ao material usinado e guiar ferramentas de corte. O carro transversal movimenta-se transversalmente ao barramento. Já o carro longitudinal desempenha movimentos longitudinais, sendo manual ou automático, de modo a transportar os outros conjuntos (FREIRE, 1984).

O porta-ferramenta, que configura outra parte do torno, possui dispositivo de avanço (manual), e está localizado em cima do carro transversal, sendo capaz de variar o ângulo da ferramenta em relação à peça. E, a placa universal tem finalidade de fixar o material a ser usinado utilizando um sistema de castanhas, pela ação de uma chave a ser introduzida em um dos furos (FREIRE, 1984).

### 3.3.3 O TORNO ESTUDADO

Como mencionado anteriormente, há diversos tipos de tornos mecânicos. Porém, o torno que se dará destaque é o torno de repuxo o qual está localizado no barracão da fábrica de painéis conforme mostra a Figura 27 e a Figura 28.



**Figura 27 - Torno mecânico estudado (parte posterior).**  
Fonte: Autoria própria (2012).



**Figura 28 - Torno mecânico estudado (parte frontal).**  
**Fonte: Autoria própria (2012).**

As matrizes adaptáveis a este torno são de diferentes alturas e diâmetros possibilitando a manufatura de variados tipos de panelas, inclusive aquelas de tamanhos maiores as quais exigem uma estrutura mecânica mais robusta. A Tabela 1 mostra as dimensões das possíveis matrizes que são ajustáveis ao torno estudado.

**Tabela 1 - Dimensões das matrizes do torno estudado.**

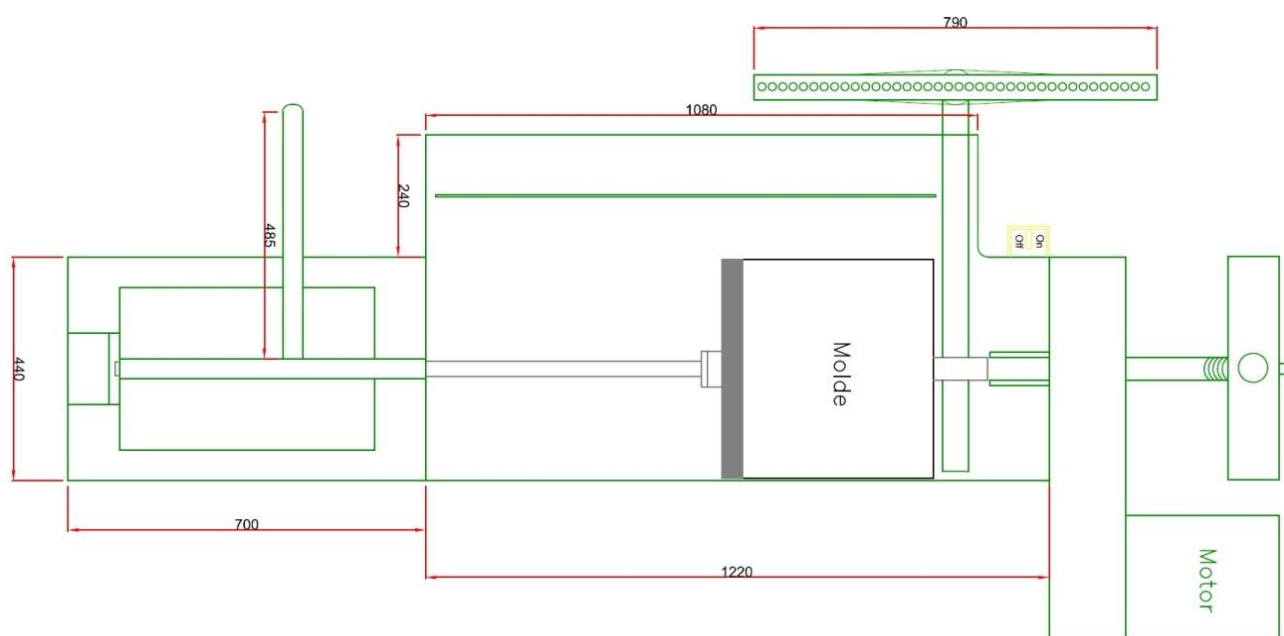
<b>Nº DE REFERÊNCIA DA PANELA</b>	<b>DIÂMETRO (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>
26	26	23,5
28	28	26
30	30	29
32	32	30,5
34	34	33
36	36	34
38	37,53	36
40	40	37
45	45,5	46

**Fonte: Autoria própria (2012).**

Existem algumas vantagens do torno de repuxo com relação a outros equipamentos também utilizados para a fabricação de placas de alumínio. Geralmente, neste segmento de mercado, utiliza-se a técnica de estampagem para a manufatura das placas em larga escala, justamente por ser de fácil produção com relação ao treinamento de pessoal e operação das máquinas. No entanto, esse tipo de fabricação apresenta como principal limitação o fato de trabalhar somente com utensílios e placas pequenas, visto que se torna completamente inviável a estampagem de placas com altura e diâmetro elevados pois afetam diretamente o disco de estampagem da máquina.

Nesse sentido, o torno mecânico de repuxo apresenta como principal vantagem a questão de acabamento e qualidade no produto final, além da possível confecção de peças em tamanhos maiores, já que as placas são fabricadas cuidadosamente de forma artesanal. Além disso, a aplicação de um sistema de manufatura utilizando a técnica de repuxo é mais barata quando comparada à técnica de estampagem.

A seguir, de acordo com a Figura 29, encontra-se um esquema do torno mecânico estudado com vista de topo contendo suas dimensões em milímetros.



**Figura 29 - Esquema do torno mecânico estudado com vista de topo.**  
Fonte: Autoria própria (2012), software AutoCAD 2008.

### 3.4 ANÁLISE DAS NECESSIDADES

De acordo com a metodologia proposta por Miyagi (2001) utilizada para o desenvolvimento da automatização do referido torno mecânico, a primeira etapa do ciclo de vida de um sistema de controle se faz a partir da análise das necessidades requeridas para realizar a automação do processo. Neste caso, este exame será voltado a automatização do torno mecânico, que configura o objeto de controle neste caso específico, através de um braço mecânico acoplado a um sistema de controle, que representam o dispositivo de controle no processo de fabricação de painéis. Os documentos gerados nesta etapa são de extrema importância já que é neste ponto que se define as especificações do sistema de controle de forma a serem avaliadas pelo operador do sistema evitando possíveis modificações nas etapas seguintes.

#### 3.4.1 O BRAÇO MECÂNICO

Para uma melhor compreensão do procedimento de automatização do torno mecânico, que configura o objeto de controle estudado, é de fundamental importância analisar detalhadamente as funções de controle bem como as características de funcionamento de cada dispositivo utilizado para automatizar o processo de manufatura das painéis através de um braço mecânico.

Primeiramente, para a constituição do braço mecânico que realizará o processo de automatização do torno, serão necessários quatro cilindros hidráulicos, conforme mostra o diagrama esquemático da Figura 30. Um dos cilindros (CR) será acoplado a um carro de rolamento adaptado a uma rosca sem fim e fixado num trilho de forma a possibilitar o movimento deste cilindro (CR) no eixo vertical, tanto para cima como para baixo (Figura 30 – movimento 2). A rosca sem fim será acionada por um servomotor interligado a um PLC, o qual realizará o controle do movimento do cilindro via software. Para a realização do movimento na horizontal, será adaptada uma roda de rolamento na própria haste deste mesmo cilindro (CR), de maneira a proporcionar avanço ou recuo no eixo horizontal (Figura 30 – movimento 1). A partir destes dois movimentos surgirá uma força resultante diagonal permitindo que a roda de rolamento deslize pela chapa de alumínio, atuando efetivamente no processo de repuxo do disco à matriz fixada ao torno.

Um cilindro de corte (CC) será utilizado para a realização do acabamento das painéis atuando de forma a retirar o excesso de alumínio após a finalização do processo de repuxo. De mesma forma, será adaptada uma ferramenta de corte na haste do cilindro (CC) para a retirada de rebarbas e finalização das peças. Como este último processo é executado sempre no mesmo local, ou seja, na borda da painela a uma distância fixa independente do molde empregado, optou-se por utilizar um terceiro cilindro hidráulico (CAC) apenas para deslocar o primeiro cilindro (CC) até o ponto onde se faz o acabamento (Figura 30 – movimento 4). Portanto, o local onde é realizado o corte do excesso de alumínio na borda da painela sempre será feito a partir de um mesmo deslocamento do cilindro de corte (CC), independente da matriz escolhida e fixada ao torno (Figura 30 – movimento 5).

Um último cilindro (CA) será utilizado para realizar o apoio da chapa quando fixada ao molde até a sua estabilização (Figura 30 – movimento 3). No momento em que o torno é acionado e a chapa juntamente à matriz começa a girar, os primeiros ciclos de repuxo do alumínio são bastante delicados já que é nesse momento que se faz a base da painela. Para este processo, é aplicada uma força bastante grande necessária para curvar o disco de alumínio ao molde, no entanto, o disco se desestabiliza justamente por ainda não estar envolvido o suficiente na matriz do torno. Nesse sentido, é indispensável um apoio internamente ao disco até que este se estabilize acomodando-se efetivamente no molde e possibilitando com isso um melhor acabamento e finalização do repuxo.

Com relação à parte hidráulica, além dos cilindros, será necessária uma unidade hidráulica, contendo uma bomba e um reservatório dimensionados para esta situação. De mesma forma, serão utilizadas válvulas hidráulicas para o devido direcionamento do fluido e atuação dos cilindros. Pela necessidade de espaço para a instalação da unidade hidráulica e do braço mecânico composto pelo conjunto trilho e cilindros, foi decidido fazer todas essas instalações na região à esquerda do torno, conforme mostra o esquemático da Figura 30. A acomodação dos dispositivos neste local, além de ser mais viável em termos de espaço, mantém a possibilidade de se utilizar o torno manualmente quando necessário.

A Figura 31 e a Figura 32 demonstram o local onde o braço mecânico composto pelos cilindros hidráulicos será instalado no sistema atual de fabricação de painéis. Definiu-se que o braço seja instalado à esquerda do torno justamente por haver um espaço maior para acomodação da unidade hidráulica, braço mecânico e

painel elétrico, como também preservasse a possibilidade de se utilizar a máquina ferramenta de forma manual.

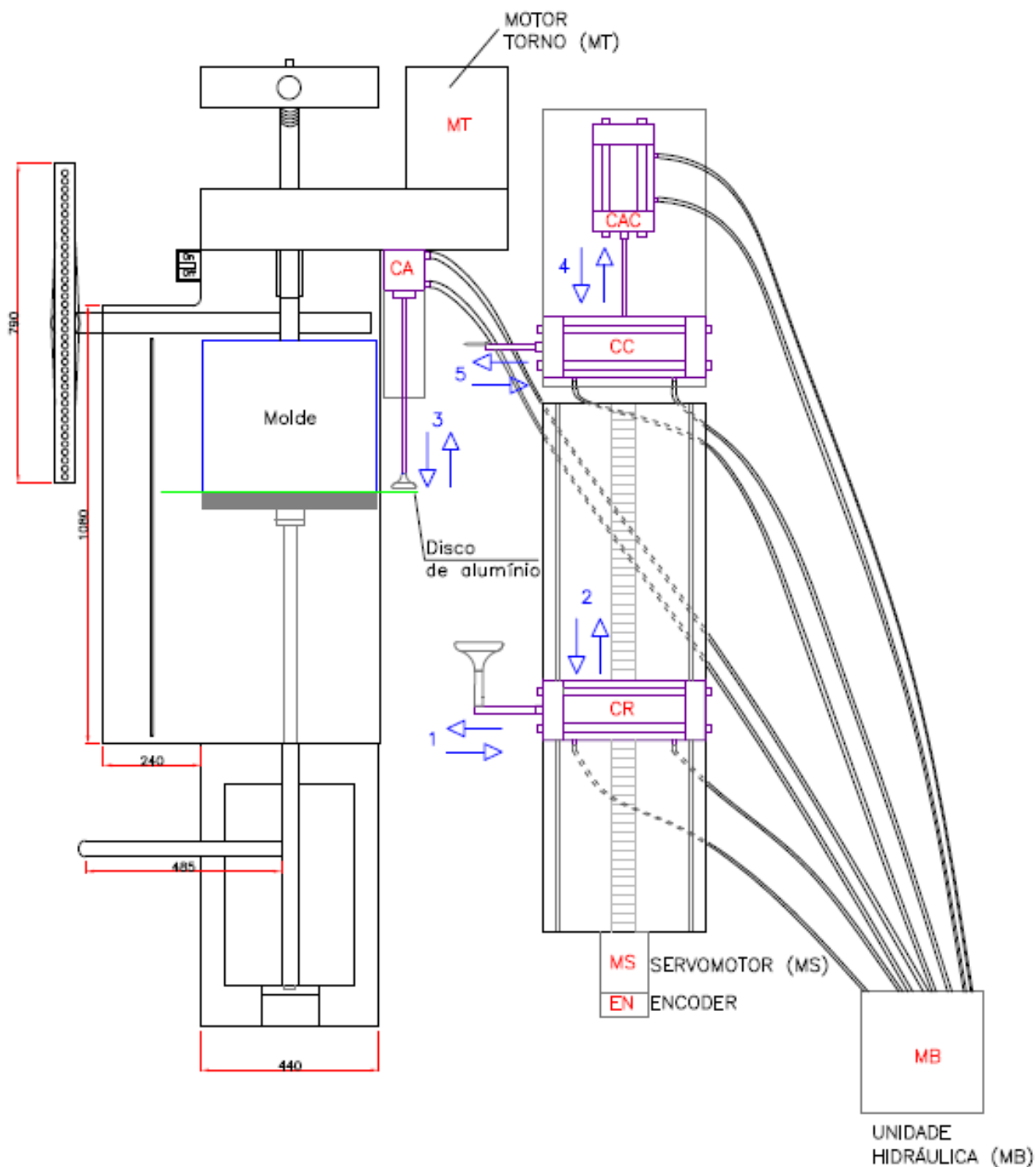


Figura 30 - Diagrama esquemático da automatização do torno com vista de topo.  
Fonte: Autoria própria (2012), software AutoCAD 2008.



Figura 31 - Local de instalação do braço mecânico (parte lateral).  
Fonte: Autoria própria (2012).



Figura 32 - Local de instalação do braço mecânico (parte frontal).  
Fonte: Autoria própria (2012).

Com o *retrofit* do torno mecânico, pretende-se realizar três tipos de peças de forma automatizada através da seleção de “receitas” com diferentes tamanhos de altura e diâmetro de painéis que o operador poderá selecionar através da IHM. As três possíveis “receitas” serão definidas em função das dimensões de matrizes. Nesse sentido, foram escolhidos três moldes diferentes, comportando painéis de porte pequeno, intermediário e grande, conforme mostra a Tabela 2.

**Tabela 2 - Dimensões das matrizes utilizadas para automatização do torno.**

<b>Nº DE REFERÊNCIA DA PAINEL</b>	<b>DIÂMETRO (cm)</b>	<b>ALTURA (cm)</b>
26	26	23,5
34	34	33
45	45,5	46

**Fonte: Autoria própria (2012).**

Além dos atuadores do sistema, como motores e cilindros hidráulicos, serão utilizados para a automatização do torno, detectores de posição das chapas de alumínio quando fixadas ao molde. Para a seleção das três “receitas” de painéis serão usados seis sensores de posição, sendo dois dispositivos para cada matriz, já que configuram diferentes tamanhos de altura e diâmetro para cada molde. Estes detectores atuarão na identificação dos estados de operação da máquina bem como na transição de um estado para outro, como início, durante e final do processo de fabricação das painéis. Os mesmos sensores estarão relacionados à segurança e a proteção do sistema.

Para a modelagem física e a simulação de funcionamento, conforme ilustrado na Figura 33, utilizou-se como ferramenta o *software SolidWorks*. Através desse programa, foi possível desenvolver a modelagem sólida do torno existente com o braço mecânico proposto. Esta figura ainda identifica cada cilindro como cilindro de repuxo (CR), cilindro de corte (CC), cilindro de apoio ao cilindro de corte (CAC) e cilindro de apoio. O *SolidWorks* é uma ferramenta de projeto que utiliza a modelagem paramétrica de sólidos baseada nas características de cada elemento e sua ação. Este dispositivo permite alterar a atuação de cada peça em qualquer altura do processo de modelação. Além disso, a execução de um projeto no *SolidWorks* se divide em três etapas principais. A primeira é determinada pela confecção e desenvolvimento de cada peça/parte do projeto de forma separada. A segunda se caracteriza

pela união e montagem das peças confeccionadas na etapa anterior. E, a terceira é a criação das vistas das várias peças e montagem (ÂNGELO et al., 2002).

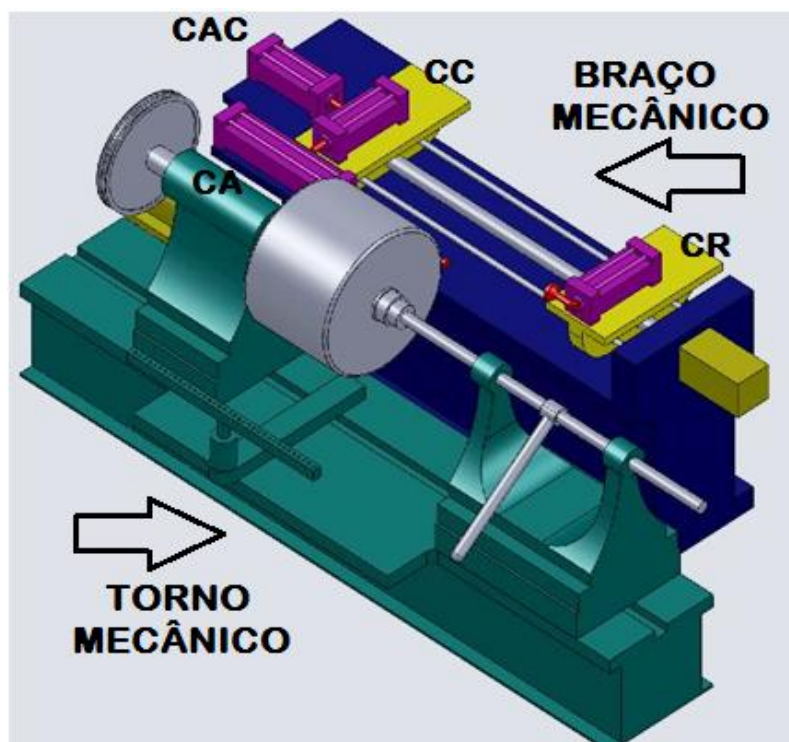


Figura 33 - Torno e braço mecânico com identificação dos cilindros.  
Fonte: Autoria própria (2012), software SolidWorks 2010.

A Figura 34 e a Figura 35 ilustram as diversas peças que compuseram a animação do processo de modelagem da panela. Também, mostram as diferentes vistas criadas na modelagem do projeto, caracterizando a etapa 3, detalhando os movimentos de cada cilindro conforme explicado na Figura 30.

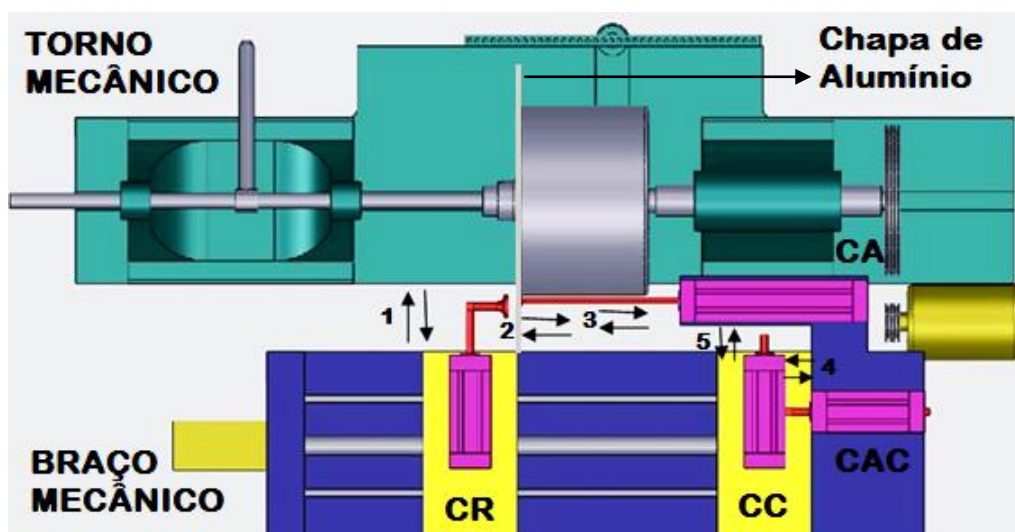


Figura 34 - Torno e braço mecânico com indicação dos movimentos dos cilindros.  
Fonte: Autoria própria (2012), software SolidWorks 2010.

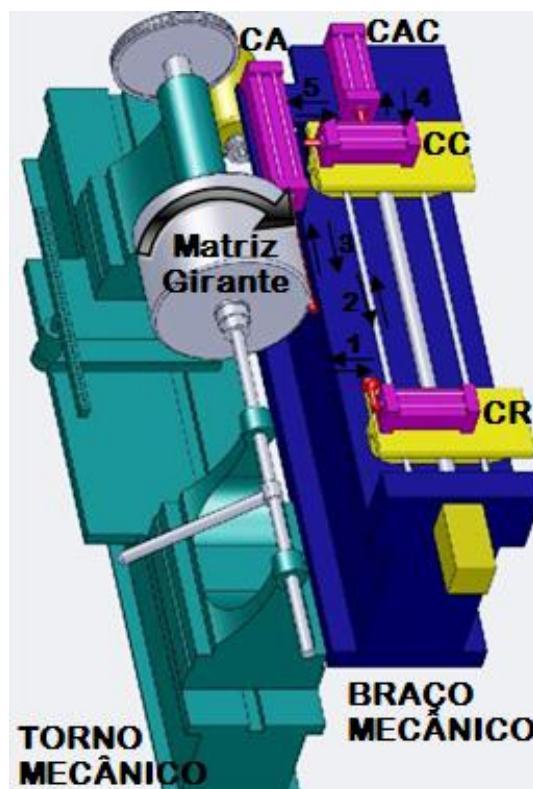


Figura 35 - Movimentos dos cilindros e matriz girante.  
 Fonte: Autoria própria (2012), software SolidWorks 2010.

Assim, deve-se estabelecer uma inter-relação entre os elementos já detalhados para automação do objeto de controle, tais como os cilindros, motores e detectores de posição junto ao torno mecânico e as funções de controle do sistema produtivo que serão definidas mais adiante.

### 3.4.2 DISPOSITIVOS E INSTALAÇÕES DO TORNO MECÂNICO E DO BRAÇO MECÂNICO

A seguir será apresentado um detalhamento dos dispositivos utilizados para a automação do torno através do braço mecânico conforme foi descrito no item 3.4.1. As listas referentes aos motores (Quadro 1), válvulas (Quadro 2), cilindros hidráulicos (Quadro 3), atuador eletrônico (Quadro 4) e detectores de posição (Quadro 5) foram elaboradas a partir da análise realizada pelas especificações técnicas dos fabricantes para cada equipamento levando-se em conta o processo de automação descrito anteriormente. Os dados dos equipamentos listados foram retirados dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).

<b>MOTORES</b>		
<b>1</b>		
Aplicação	TORNO	
Código	MT	
Quantidade	1	
Potência (CV)	5	
Velocidade (rpm)	1700	
Tensão (V)	220 CA	
Corrente (A)	14	
Código do Fabricante	Série 13	
Tipo de Controle	ON/OFF	
<b>2</b>		
Aplicação	UNIDADE HIDRÁULICA	
Código	MB	
Bomba Hidráulica	Quantidade	1
	Pressão de Saída (psi)	3600 (CONTÍNUO)/4500 (PICO)
	Pressão de Entrada (bar)	1.72 (MÁXIMO) / 0,17 (MÍNIMO DE VÁCUO)
	Taxa de rotação (rpm)	600 A 3000
	Temperatura de operação (°C)	-40 A 71
	Material	FERRO FUNDIDO
Motor Elétrico	Potência (CV)	7,5
	Número de Polos	4
	Tensão (V)	220/380
	Frequência (Hz)	60
Capacidade do Reservatório (L)	180	
Capacidade do Acumulador (L)	4	
Código do Fabricante	PVP2336R2	
Tipo de Controle	ON/OFF	
<b>3</b>		
Aplicação	SERVOMOTOR	
Código	MS	
Quantidade	1	
Potência (kW)	1,1	
Velocidade (rpm)	2000	
Torque Rotor Bloqueado (N.m)	6,1	
Corrente (A) (RMS)	5.2	
Inércia X 10E-3 (Kg.m <sup>2</sup> )	0,5	
Código do Fabricante	WEG-SWA562-6,1-20	
Tipo de Controle	Servoconversor	

**Quadro 1 - Lista de motores referente ao sistema de controle estudado.**

Fonte: Adaptado dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).

Como apresentado no Quadro 1, o sistema apresenta três motores com funções e lugares totalmente diferentes entre si. O primeiro motor, MT, já está instalado e é o cerne do torno. O motor do torno é controlado através de uma chave on/off que é comandada pelo operador do processo e, mesmo com o *retrofit*, o comando continuará sendo manual. Em segundo não está só um motor, mas sim uma unidade hi-

dráulica, que é composta por um motor elétrico trifásico e está acoplado a uma bomba hidráulica que fará o abastecimento de toda a parte hidráulica do sistema, contando também com um reservatório de fluido. Ele será controlado pelo PLC.

O último motor faz parte de um sistema de controle mais sofisticado, ele é um servomotor que é controlado por um atuador eletrônico, o servoconversor. Este equipamento faz o controle de deslocamento do cilindro de repuxo (CR), ao longo do trilho adaptado, controlando ativamente o processo de moldagem. O servoconversor, apresentado no Quadro 4, faz um o papel de um controlador intermediário, onde ele controla o servomotor, tem sua própria programação e é comandado pelos sinais do PLC.

<b>VÁLVULAS</b>				
Número	1	2	3	4
Código	V1	V2	V3	V4
Equipamento	CR	CC	CAC	CA
Aplicação	COMANDO CILÍNDROS			
Tipo de Produto	VÁLVULA DE COMANDO POR SOLENÓIDE			
Referência da Válvula	4 VIAS 3 POSIÇÕES CENTRO ABERTO			
Vazão de Óleo (l/min)	15			
Acionamento	ELÉTRICO			
Tensão (V)	115 VCA			
Pressão Máxima de Trabalho (bar/psi)	700/10.000			
Manifold	MONTAGEM À DISTÂNCIA			

**Quadro 2 - Lista de válvulas referente ao sistema de controle estudado.**

Fonte: Adaptado dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).

<b>CILINDROS HIDRÁULICOS</b>				
Número	1	2	3	4
Aplicação	REPUXO	CORTE	AVANÇO DO CORTE	APOIO
Código	CR	CC	CAC	CA
Quantidade	1	1	1	1
Avanço (mm)	800	800	1000	1000
Força (ton/Kn)	150/1386			
Tipo	HIDRÁULICO			

**Quadro 3 - Lista de cilindros hidráulicos do sistema de controle estudado.**

Fonte: Adaptado dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).

Conforme visto no Quadro 2 e Quadro 3 apresentam-se a parte hidráulica do sistema cilindros e válvulas que são alimentados pela unidade hidráulica já citada.

As válvulas são os controladores dos cilindros, comandando-os devido a necessidade apresentada pelo sistema. Os cilindros por sua vez, são os atuadores ativos nos processos de moldagem e acabamento da panela, em suas diversas funções apresentadas nos próprios quadros.

<b>ATUADOR ELETRÔNICO</b>	
Número	1
Aplicação	SERVOCONVERSOR
Código	SC
Quantidade	1
Alimentação de Entrada	TRIFÁSICA
Tensão (V)	220-230
Corrente Nominal de Saída (A)	8
Cartão para Rede de Comunicação	RS-485
Código do Fabricante	SCA05-0008-T-2223-P-S-C5-Z

**Quadro 4 - Lista de atuador eletrônico referente ao sistema de controle estudado.**  
**Fonte: Adaptado dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).**

<b>DETECTORES</b>									
Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Equipamento	Mol de 1	Mol de 1	Mol de 2	Mol de 2	Mol de 3	Mol de 3	Posicionamento 1	Posicionamento 2	Posicionamento 3
Aplicação	DETECÇÃO DA POSIÇÃO								
Código	P1 A	P1 B	P2 A	P2 B	P3 A	P3 B	POS1	POS2	POS3
Tipo	INDUTIVO								
Saídas	NA (NORMALMENTE ABERTO) + NF (NORMALMENTE FECHADO)								
Alcance de Detecção (mm)	15								
Corpo	CILÍNDRIO COM ROSCA / ENCAPSULAMENTO METÁLICO								
Tensão Operacional (V)	6...36 DC								
Material	METAL								
Frequencia de comutação (Hz)	25 A 200								
Corrente de saída (contínua) (mA)	200								
Grau de Proteção	IP67								
Temperatura de operação (°C)	-25 A 75								
Diâmetro do corpo (mm)	30								
Código do Fabricante	LM30-3015PC								

**Quadro 5 - Lista de detectores referente ao sistema de controle estudado.**  
**Fonte: Adaptado dos catálogos da PARKER (2012), WEG (2012) e SIBRATEC (2012).**

O sistema apresenta um sistema de detecção para auxiliar o controle do PLC, sendo assim, os sensores de posição fecham a malha de controle do sistema. Conforme o Quadro 5, tem-se 9 detectores no sistema, sendo todos do mesmo modelo, sensores indutivos que atuam sem mesmo que haja contato, somente aproximação.

### 3.4.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FUNÇÕES DE CONTROLE

Como já mencionado, é de fundamental importância estabelecer a correlação entre os elementos empregados no *retrofit* do torno e as funções de controle utilizadas para desenvolver efetivamente o processo de fabricação das painéis. Segundo Miyagi (2001), é necessário analisar primeiramente as funções físicas consideradas para o objeto de controle e que podem ser realizadas por combinações das funções dos elementos que constituem o próprio objeto de controle.

Após esse procedimento, deve-se verificar os requisitos relacionados com a intervenção que o operador pode realizar nas funções dos dispositivos de realização do controle, atuação ou detecção. Por último, também é indispensável fazer uma avaliação das possíveis falhas, falta de energia, modo de reinicialização do sistema, proteção de equipamentos e a segurança do operador.

Para a divisão das funções e seu consequente inter-relacionamento, segundo a metodologia estabelecida por Miyagi (2001), deve-se avaliar as funções indispensáveis e as funções secundárias à realização do controle da produção. Após este processo, é necessário sistematizá-las hierarquicamente de forma associativa interligando uma a outra. Isto significa apresentar uma relação entre a função superior e a função inferior, que pode ser considerada como uma relação entre objetivo e meio (método). Deste modo, o objetivo da estruturação das funções referentes ao sistema produtivo é principalmente a visualização do sistema como um todo facilitando tarefas de verificação e correção de funções. Nesta análise é possível averiguar as funções que realmente são necessárias, identificar as funções erradas ou dispensáveis, identificar a natureza e abrangência das funções e adicionar as funções que faltam caso existam.

A Figura 36 apresenta um fluxograma com a estruturação das funções de controle referentes ao sistema de fabricação de painéis a partir da automatização do torno mecânico. Neste caso específico mostrado na Figura 36, a função de con-

trole principal é a fabricação da panela, representada pelo nível 1 do fluxograma das funções de controle. No entanto, para a fabricação da panela é necessário realizar as funções secundárias constituídas pelo nível 2, sendo elas: escolha e colocação da matriz, entrada da chapa de alumínio, seleção da receita, processo de moldagem da chapa à matriz, processo de acabamento e desligamento manual do torno. De mesma forma, para se alcançar cada função destacada no nível 2 é preciso realizar funções inferiores, as quais são constituídas pelo nível 3 do fluxograma, que por sua vez necessitam da atuação das funções representadas pelo nível 4 e assim sucessivamente.

Assim, na etapa da entrada da chapa de alumínio é necessário centralizar a chapa e travar o torno, que por sua vez, é preciso acionar manualmente o equipamento e lubrificar a chapa de alumínio, ambas representadas pelo nível 4. Para finalizar este processo, deve-se realizar o nível 5 das funções de controle que configura o acionamento do motor do torno.

Na etapa da seleção das receitas é necessário que se posicione e prepare o torno, nível 3 do fluxograma, a partir da escolha da receita 1, 2 ou 3 feita através da IHM no nível 4. A escolha da receita definirá a atuação dos respectivos sensores escolhidos para cada receita representadas pelo nível 5. O processo de moldagem da chapa à matriz ocorrerá através do acionamento da bomba hidráulica no nível 3, que por sua vez será ativado mediante a atuação dos cilindros de apoio (CA), repuxo (CR) e servomotor representados pelos níveis 4, 5 e 6 respectivamente.

Para realizar o processo de acabamento das panelas, é preciso que desative o cilindro de repuxo (CR) e servomotor representado pelo nível 3 do diagrama das funções de controle e acione o cilindros de apoio do cilindro de corte (CAC) e cilindro de corte (CC) através do nível 4. Finalmente, após a atuação dos cilindros CAC e CC, é necessário que estes mesmos cilindros sejam recuados. A finalização das funções de controle ocorre por meio do desligamento manual do torno.

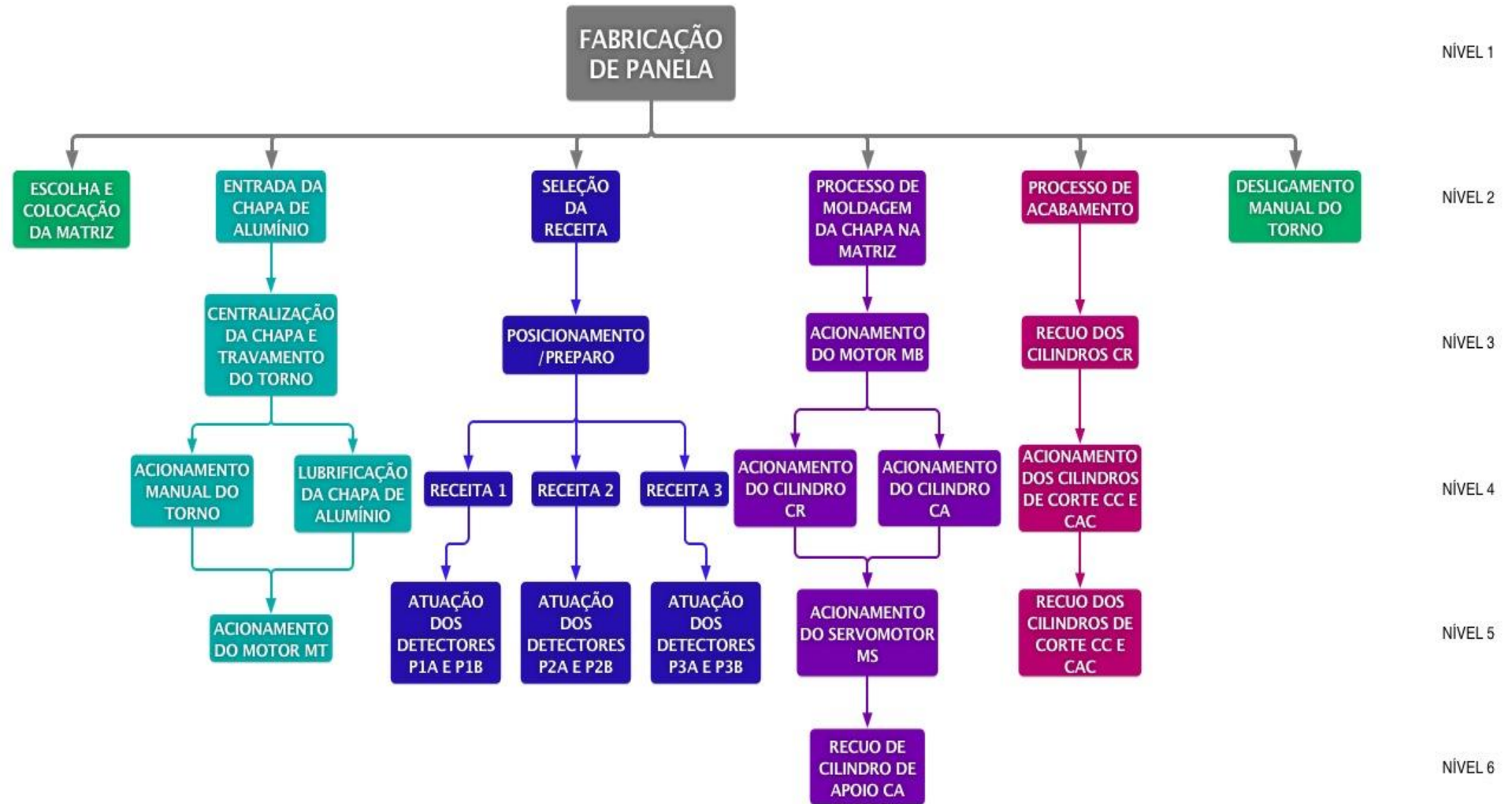


Figura 36 - Funções de controle do sistema para fabricação de painéis.  
Fonte: Autoria própria (2012).

### 3.5 DEFINIÇÃO DAS NECESSIDADES

Para determinar as necessidades de se automatizar o sistema produtivo de painéis de alumínio, é imprescindível realizar uma análise entre as três partes envolvidas no sistema: análise do objeto de controle, análise do dispositivo de controle e análise das funções de controle. A avaliação entre estas partes do sistema deve estabelecer algumas especificações que satisfaçam tanto a relação entre estes elementos quanto a relação interna de cada um dentro do sistema. A Figura 37 apresenta a correlação entre o objeto de controle, o dispositivo de controle e as funções de controle adaptadas ao sistema produtivo para o *retrofit* do torno mecânico.

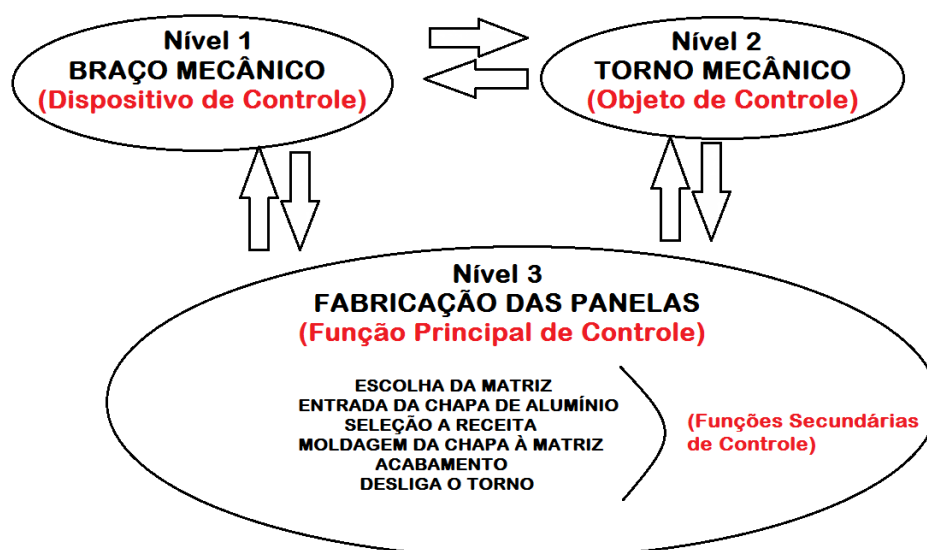


Figura 37 – Estrutura de cada parte do sistema de controle e seus inter-relacionamentos.  
Fonte: Autoria própria (2012).

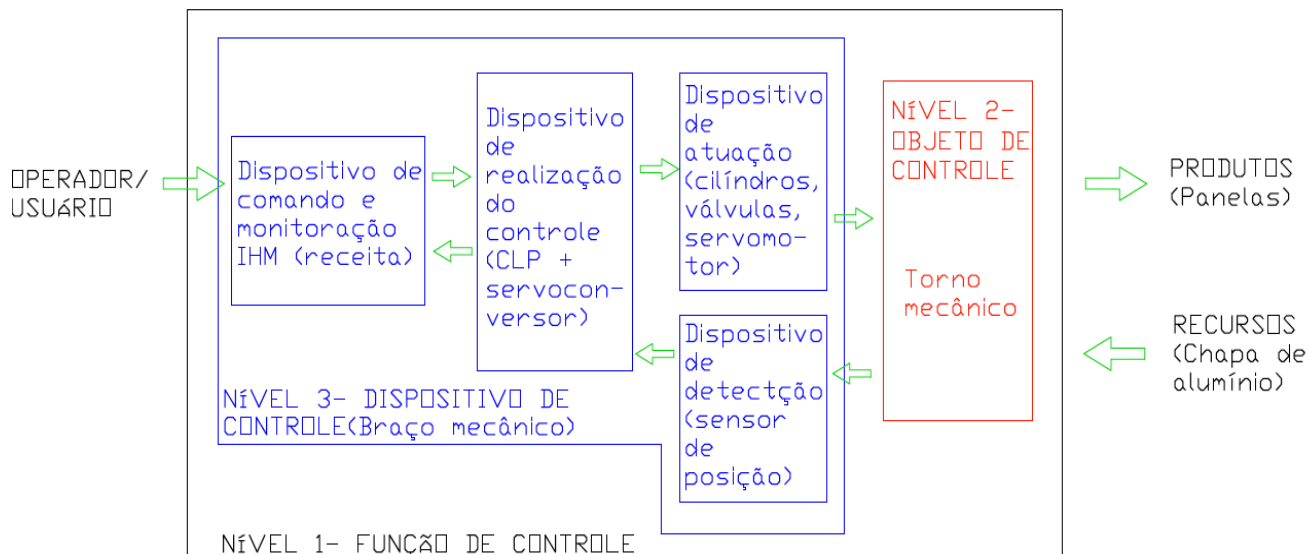
Pela Figura 37 pode-se notar a relação entre os elementos do sistema produtivo, dessa forma o braço mecânico representa o dispositivo de controle e o torno mecânico configura o objeto de controle para este caso específico. A função principal de controle se dá pela fabricação das painéis de alumínio, no entanto, é possível determinar funções secundárias de controle representadas pela escolha da matriz, entrada da chapa de alumínio, seleção da receita, moldagem da chapa à matriz e a desativação do torno. Além da inter-relação entre estes três elementos do sistema, de forma a não estabelecerem uma relação independente uns dos outros, é importante destacar a existência de um vínculo interno de funcionamento em cada parte do sistema.

### 3.5.1 DEFINIÇÃO DAS FUNÇÕES DE CONTROLE

Segundo Miyagi (2001), as funções de controle devem ser desenvolvidas até que se tenha um detalhamento de funções e, quando necessário, acrescentar as funções complementares até alcançar uma descrição total do sistema. A função de nível mais inferior consiste na função referente ao objeto de controle ou dos módulos funcionais do software de controle.

Analisando o número de passos do programa das funções inferiores ou o tempo de projeto, é possível prever o tempo total e o número total de passos do programa ou macro-funções, portanto facilitando no gerenciamento do cronograma.

Para definir as funções de controle é necessário determinar as especificações dos elementos do sistema de controle, tais como, dispositivo de comando, de atuação, de detecção, de realização e de monitoração. A Figura 38 apresenta o diagrama das funções de controle estruturado discriminando as três partes constituintes do sistema produtivo: o dispositivo de controle, o objeto de controle e as funções de controle.



**Figura 38 – Diagrama das funções de controle estruturado.**  
 Fonte: Autoria própria (2012).

O Quadro 6 mostra detalhadamente a classificação dos dispositivos de comando, de atuação, de detecção, de realização e de monitoração requeridos para o *retrofit* do torno mecânico.

CLASSIFICAÇÃO	DISPOSITIVO
Dispositivo de Comando	Inicialização da operação IHM- Seleção da receita (botoeiras)
Dispositivo de Avanço	Cilindros (CA; CR; CAC; CC); Válvulas (V1; V2; V3; V4); Contadoras; Motor da bomba hidráulica (MB); Motor Torno (MT); Servomotor (MS).
Dispositivo de Detecção	Sensores de posição (P0, P1A; P1B; P2A; P2B; P3A; P3B) POS1, POS2 e POS3 (servomotor)
Dispositivo de Realização	PLC e Servoacionamento
Dispositivo de Monitoração	IHM; lâmpadas sinalizadoras; alarmes; mostradores (display).

**Quadro 6 - Classificação dos dispositivos.**  
Fonte: Autoria própria (2012).

Os dispositivos de atuação classificam as especificações requeridas para cada elemento, ou seja, são determinados o custo e a capacidade compatíveis com os parâmetros físicos necessários, como força, torque, velocidade, entre outros. Deste modo, a lista pré-definida contendo os diversos dispositivos de controle feita na etapa da análise de necessidades, deve ser revisada e atualizada (MIYAGI, 2001).

Os dispositivos de detecção determinam as especificações dos detectores que serão usados na realização das funções e, também, aqueles utilizados na proteção e segurança da instalação. A lista preliminar dos dispositivos de detecção elaborada na etapa da análise das necessidades também deve ser atualizada (MIYAGI, 2001). O Quadro 7 ilustra a lista dos dispositivos de comando e monitoração.

NÚMERO	INDICAÇÃO NA PLAQUETA	QUANTIDADE	SITUAÇÃO (IHM)/ INDICAÇÃO NO DISPOSITIVO
101	Modo de operação	1	Manual- Automático
102	Entrada da chapa de alumínio	1	Ativado/ Desativado
103	Acionamento do torno e lubrificação manual da chapa de alumínio	1	Torno acionado – Torno desacionado
104	Seleção da receita	3	Receita 1/ Receita 2/ Receita 3
105	Processo de moldagem da chapa à matriz	1	Concluído – Não Concluído
106	Acabamento	1	Concluído – Não Concluído

**Quadro 7 - Lista dos dispositivos de comando e monitoração.**  
Fonte: Autoria própria (2012).

Os dispositivos de comando e os de monitoração determinam o modo de operação dos equipamentos, da instalação e de qual modo os resultados serão monitorados. Desta forma, as especificações precisam ser definidas após a organização funcional de todos os comandos de operação. Também, aspectos como ângulo de operação, posicionamento, formato, entre outros, devem ser levados em consideração (MIYAGI, 2001).

### 3.5.2 DEFINIÇÃO DO FLUXO DAS FUNÇÕES DE CONTROLE ATRAVÉS DAS REDES DE PETRI

Dando continuidade à metodologia proposta por Miyagi (2001), neste momento é necessário definir os procedimentos que ativam as funções de controle já definidas anteriormente para a realização das operações especificadas. Deve-se, portanto, determinar o fluxo das funções de controle. Geralmente, para representar o fluxo das funções de controle, são utilizados fluxogramas, cartas de tempo, representação por redes, etc.

Neste caso, optou-se por desenvolver o fluxo das funções de controle através da representação por Redes de Petri a partir do diagrama funcional determinado pela Figura 30. A representação por Redes de Petri foi escolhida devido à possibilidade de representação de processamentos paralelos, concorrentes e assíncronos, que são características do controle de SED.

A teoria das Redes de Petri foi desenvolvida durante a tese de doutorado de Carl Adam Petri. Intitulada *Kommunikation mit Automaten* (Comunicação com Autômatos), a teoria foi apresentada em 1962, na faculdade de Matemática e Física da Universidade de *Darmstadt*, na Alemanha. O estudo de Petri se destacou e gerou interesse em outros pesquisadores. Desta forma, em conjunto, os pesquisadores expandiram e aperfeiçoaram a teoria e suas representações (MACIEL, 1996).

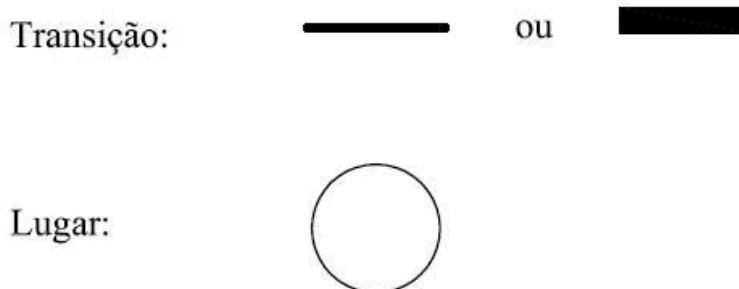
No final da década de 60, a teoria foi usada pela primeira vez no projeto norte-americano *Information System Theory*, da *Applied Data Research Inc.* Este trabalho destacou as aplicações na análise e na modelagem de sistemas utilizando a teoria das Redes de Petri (MARRANGHELLO, 2005). Durante a década de 70, houve conferências sobre o tema, as quais foram fundamentais para a expansão e avanço do estudo das Redes de Petri. Entre os anos de 1970 e 1975, o grupo de estrutura

da computação do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology- MIT*), conduziu, de forma ativa, diversas pesquisas sobre o assunto (MACIEL, 1996).

Nas décadas de 80 e 90, seguiram estudos que propunham alterações no modelo original da teoria. Com o desenvolvimento das chamadas Redes de Petri de alto nível, que acrescentou grande diversidade ao processo de modelagem, ocorreu um aumento considerável na utilização no modelo. Atualmente, a teoria de Redes de Petri é usada em diferentes áreas, por exemplo, na automação, bancos de dados, inteligência artificial, sistemas de informação, sistemas de manufatura, sistemas de transportes, entre outras (MARRANGHELLO, 2005).

De acordo com Paulo Maciel (1996), Rede de Petri “é uma técnica de especificação de sistema que possibilita uma representação matemática”. Também, segundo Cardoso e Valette (1997), “é um modelo matemático com representações gráficas”. Esta teoria possibilita a modelagem de sistemas paralelos, concorrentes, assíncronos e não determinísticos (MACIEL, 1996).

As Redes de Petri representam sistemas a eventos discretos, nos quais ocorrem mudanças de estado em momentos precisos e de forma brusca (CARDOSO e VALETTE, 1997). De acordo com Paulo Maciel (1996), essa técnica é formada por dois elementos, transição (elemento ativo) e lugar (elemento passivo). A Figura 39 abaixo mostra as representações desses dois elementos.



**Figura 39 - Componentes das Redes de Petri.**  
**Fonte: Marranghello (2005).**

As transições, representadas graficamente por um traço, correspondem às ações ou eventos realizados pelo sistema. Os lugares são representados por um círculo e correspondem às variáveis de estado. As ações sempre estão relacionadas a algumas pré-condições, havendo uma relação entre os lugares e as transições, ou

seja, para que os eventos sejam realizados, estes devem estar associados a uma variável de estado. Esses dois componentes, lugar e transição, são interligados através de arcos dirigidos, representados graficamente por setas.

Por virtude de suas vantagens, a teoria das Redes de Petri é amplamente utilizada na modelagem de sistema, como citado anteriormente. Dentre essas vantagens está a representação explícita dos estados e dos eventos. Além disso, é possível descrever uma ordem parcial entre vários eventos, flexibilizando o sistema. Também, uma única família de ferramentas é usada na modelagem e nos diferentes níveis da estrutura, facilitando na integração do sistema e, é possível obter uma descrição formal e precisa das sincronizações (CARDOSO e VALETTE, 1997).

Assim, da Figura 40 à Figura 44 é apresentado o fluxo das funções de controle por meio da representação por Redes de Petri para o caso específico da automação do torno através do braço mecânico. A técnica das Redes de Petri foi desenvolvida através do software *Visual Object Net* em cinco etapas e posteriormente simulada.

Primeiramente foi feito o processo de inicialização do sistema desde a ativação da IHM e PLC, passando pelas seleções do modo de operação, que pode ser manual ou automática. Caso o operador selecione o modo automático, o processo continua, assim, se a seleção for manual ele volta desligando o que já havia sido ativado e retorna para o início do processo. Continuando no modo de operação automático, temos a seleção e colocação manual da chapa a ser moldada pelo operador no torno, que é confirmada pelo “Operador ação 2”, seguindo para o ligamento automático do servomotor e ativação dos fins de curso FCA- e FCR-, com todos já ligados é feita a verificação da chapa no torno através do sensor SC. Verificado por SC que a chapa está realmente no torno, o torno é ligado manualmente e assim pode ser feita a lubrificação da chapa. Após lubrificada, o operador escolhe através da IHM qual é a receita adequada para a chapa escolhida, conforme mostra a Figura 40. Já na Figura 41 temos a continuidade do processo, onde após iniciados os sensores P1A e P1B (referentes à receita 1) a parte de inicialização termina e começa o processo de moldagem da chapa. Após ligada a bomba hidráulica que alimenta os cilindros, são acionadas as válvulas V1Y1 e V4Y1, que comandam respectivamente os cilindros de repuxo (CR) e de apoio (CA), como detalhado na Figura 41, juntamente com a ativação da programação do servoacionamento para atuação do servomotor, representado pela Figura 44.

A Figura 42 define o processo de acabamento das placas através da ativação dos cilindros de corte (CC) e de apoio ao cilindro de corte (CAC) e o auxílio dos fins de curso fcac-, fcac+ e fcc- e dos sensores P1A, P2A e P3A. Após o fim do processo de acabamento acontece o desligamento dos elementos que foram ligados ao longo do processo, sendo o PLC, IHM, bomba hidráulica e servomotor de maneira automática e do torno manualmente pelo operado. Também foi efetuada a atuação da IHM isoladamente ao sistema como um todo conforme Figura 43, destacando os processos de seleção do modo de operação e seleção da receita, os quais são definidos como variáveis de entrada pelo próprio operador da máquina-ferramenta.

Na rede de petri, representam-se os sinais enviados pelo PLC no sistema, as operações do operador e os botões da interface gráfica da IHM como lugares (também conhecidos como eventos), que durante o passo a passo da simulação devem ser acionadas fichas aos lugares para que represente a ação ou o envio de sinal.

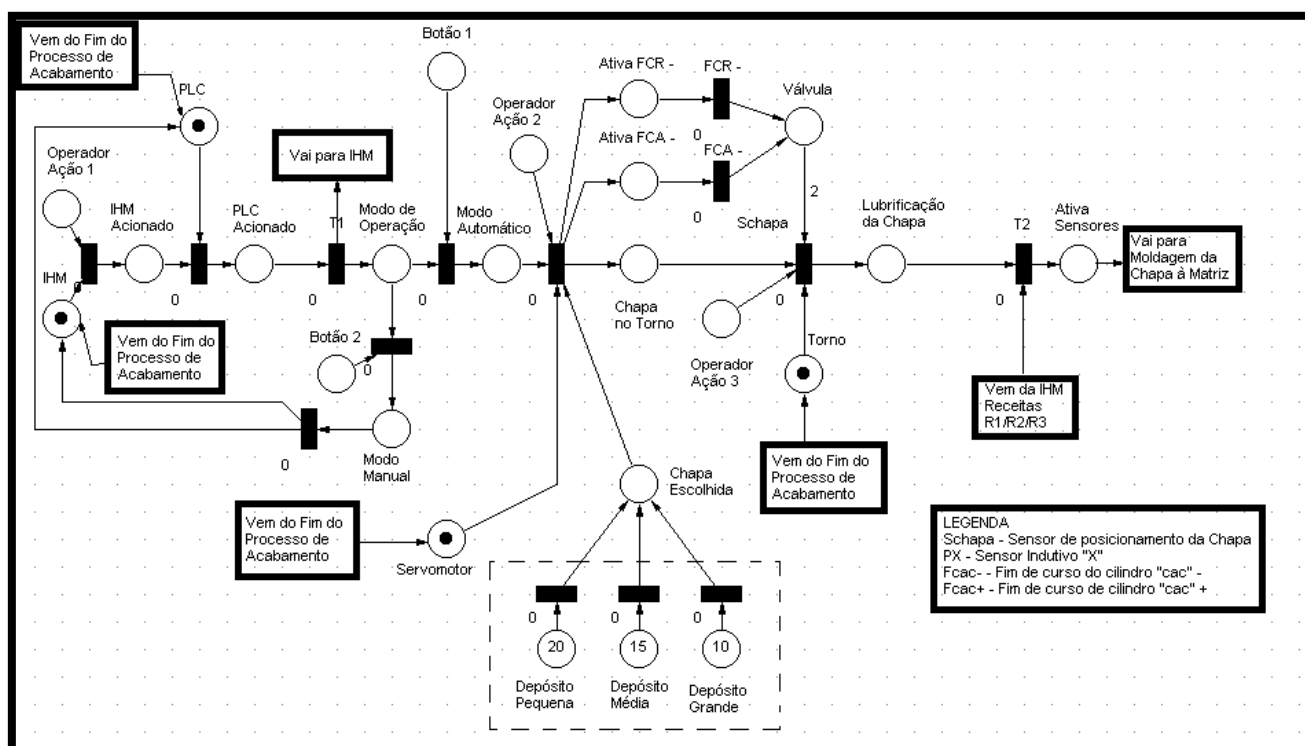


Figura 40 - Redes de Petri - Inicialização do processo de fabricação de placas.  
Fonte: Autoria própria (2012), software Visual Object Net V.1.44.2.

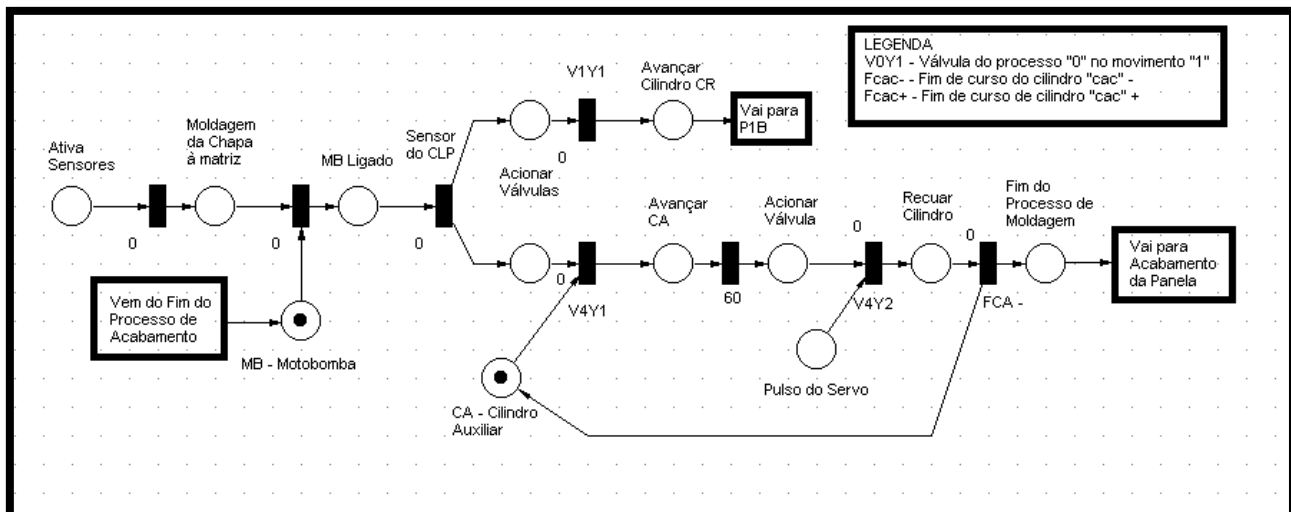


Figura 41 - Redes de Petri – Moldagem da chapa de alumínio à matriz acoplada ao torno.  
 Fonte: Autoria própria (2012), software Visual Object Net V.1.44.2.

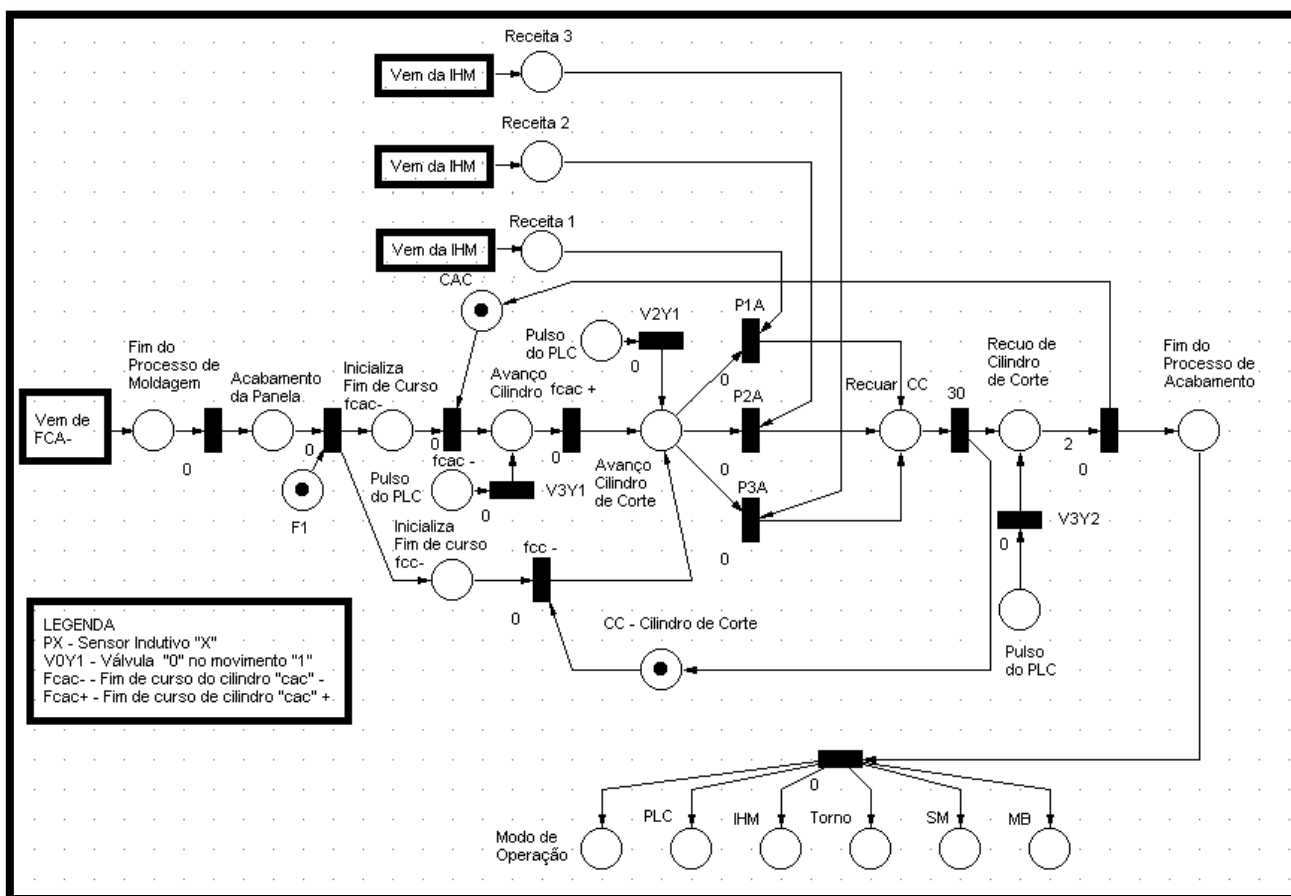


Figura 42 – Redes de Petri – Processo de acabamento das panelas.  
 Fonte: Autoria própria (2012), software Visual Object Net V.1.44.2.

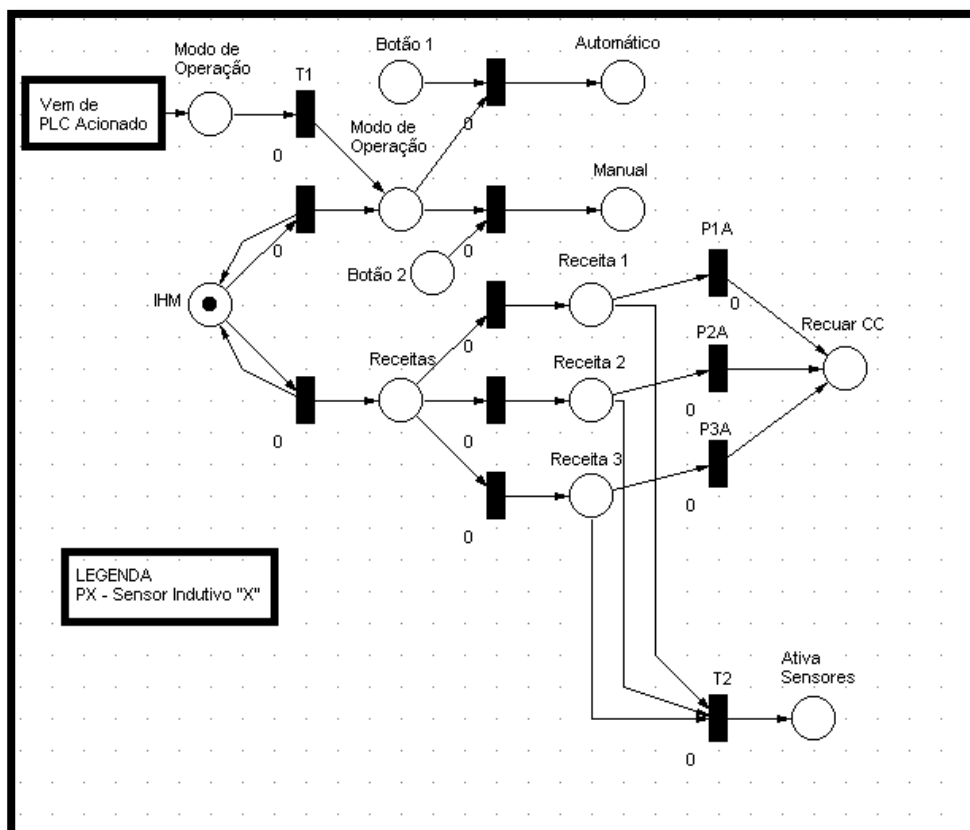


Figura 43 – Redes de Petri - Atuação da IHM.

Fonte: Autoria própria (2012), software Visual Object Net V.1.44.2.

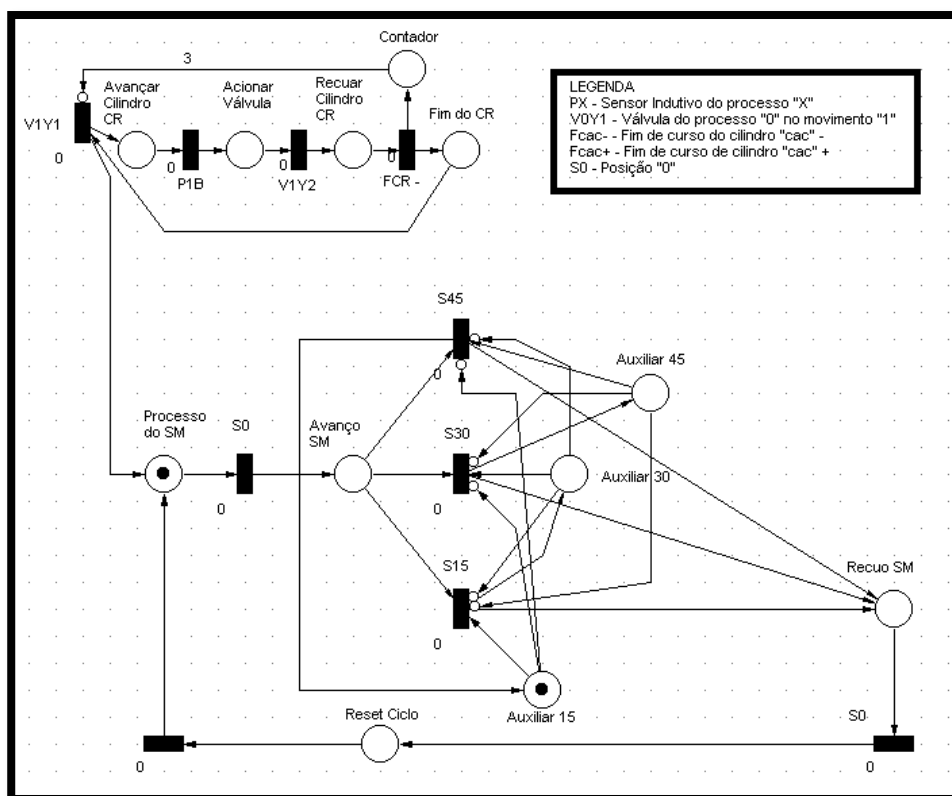


Figura 44 - Redes de Petri - Atuação do servoacionamento.

Fonte: Autoria própria (2012), software Visual Object Net V.1.44.2.

## 4 PROJETO DA AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO

Neste capítulo pretende-se definir as interfaces e alocações das funções de controle bem como determinar os sinais de entrada e saída de cada dispositivo utilizado para controle e monitoramento do braço mecânico. Como já definido anteriormente, os dispositivos de realização do controle são constituídos pelo controlador lógico programável, servoconversor e IHM. A seguir, será apresentado um detalhamento com relação ao funcionamento, especificações técnicas e operacionais para cada um destes equipamentos.

### 4.1 DEFINIÇÃO DAS INTERFACES DAS FUNÇÕES

Nesta etapa do projeto da automatização do sistema produtivo, é necessário definir o tipo e a quantidade de dispositivos de controle que devem ser utilizados na realização das funções de controle determinadas nas etapas anteriores. Segundo Miyagi (2001), os dispositivos de controle são caracterizados a partir da classificação das funções de controle em níveis hierárquicos, sendo eles: nível de gerenciamento, nível de operação automática, nível de operação manual, nível de dispositivo de atuação e nível de comando. O Quadro 8 apresenta a hierarquia das funções de controle e dispositivos de controle.

HIERARQUIA DO CONTROLE	FUNÇÕES DE CONTROLE	DISPOSITIVO DE CONTROLE
Nível de Gerenciamento/Planejamento	Otimização do Processo Gerenciamento do Processo	Computador de Processo
Nível de Operação Automática	Operação Automática de Toda a Instalação Operação Automática de Parte da Instalação	PLC, controladores a relé e servoconversores
Nível de Operação Manual	Operação Manual Contínua Operação Manual Independente	
Nível de Dispositivo de Atuação	Operação de Ajuste do Equipamento	Dispositivo de Acionamento de Motores e Válvulas
Nível de Comando/Detectores	----	Motores, Válvulas Solenóides, Detectores

**Quadro 8 – Hierarquia das funções de controle e dispositivos de controle.**  
Fonte: Miyagi (2001).

A partir da hierarquia das funções de controle e dispositivos de controle expostas pelo Quadro 8, é possível definir as interfaces que realizam o controle do processo para o caso específico do *retrofit* do torno mecânico. A realização do controle do sistema para produção de painéis é feita por meio de um controlador lógico programável e de um serconversor associados. Também será interligada diretamente ao PLC uma interface homem-máquina para detecção das variáveis de entrada mediante a seleção de processos efetuados pelo operador do torno. Os sensores de posição e os finais de curso serão conectados do respectivo equipamento ao quadro elétrico de forma que a saída do quadro elétrico para cada dispositivo de detecção será ligada às entradas do PLC e do servoconversor, atuando como variáveis de entrada para o controle do sistema.

A associação do PLC ao controlador por servoacionamento se deu principalmente pelo fato da necessidade de sincronismo entre o movimento horizontal e o movimento vertical realizado pelo cilindro de repuxo (CR) no momento da moldagem da chapa de alumínio à matriz acoplada ao torno. Neste sentido, o projeto e a programação dos controladores do sistema tiveram de ser associadas para que atendessem a necessidade de movimentações nos eixos X e Y de forma simultânea e devidamente associadas para garantir uma boa qualidade de execução no processo de repuxo.

O diagrama da Figura 45 apresenta as interfaces utilizadas para a automação do torno a partir do braço mecânico controlado por PLC, servoacionamento e IHM. Também são mostradas as interligações de entradas e saídas entre estas interfaces determinando o modo como operam em conjunto.



**Figura 45 - Esquema de relação entre IHM, PLC e servoacionamento.**  
 Fonte: Autoria própria (2012).

## 4.2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Para a realização do controle será utilizado o controlador lógico programável da WEG do modelo TPW03. Este PLC é compacto, com alta velocidade de processamento e ideal para se aplicar a processo industriais pequenos e de médio porte. Também se optou por este controlador justamente por possuir software de programação gratuito TPW03-PCLink, comunicação Modbus no modelo padrão, além de permitir expansões de entradas e saídas I/O.

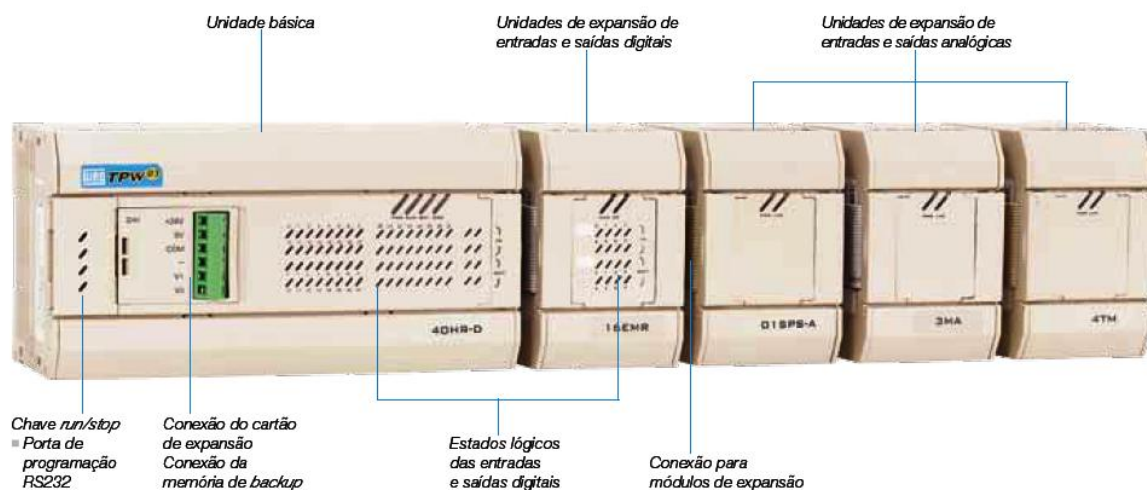
Algumas das vantagens proporcionadas pelo TPW03 de acordo com o catálogo da WEG Automação Controladores Lógicos Programáveis – CLPs e Relé Programável (2012) são:

- Alta velocidade de processamento;
- Grande capacidade de memória;
- Facilidade de instalação e manutenção através de blocos terminais plugáveis;
- Unidades básicas flexíveis com 14, 20, 30, 40 e 60 pontos de I/O;
- Capacidade de expansão de I/O digitais e analógicas;
- Configurável até 256 pontos de I/O digitais e 64 de I/O analógicas;
- Saídas digitais a relé (2A) e a transistor (0,3A);
- Entradas rápidas até 100kHz;
- Saída trem de pulso e PWM;
- Função PID;
- Relógio de tempo real;
- Comunicação Modbus;
- Programação em linguagem *Ladder* ou lista de instruções;
- *Software* de programação gratuito TPW03-PCLink;
- Comunicação com a linha PWS de IHMs inteligentes;
- Módulos de comunicação opcionais: *Ethernet* (TCP/IP), *Profibus* DP, *DeviceNet*, (escravos);
- Atualização de *firmware* diretamente via computador pessoal (PC).

A especificação técnica do PLC que será utilizado para simulação do *retrofit* do torno mecânico é o TPW03 40HR-A. Este modelo comporta 24 portas de entrada digital 24Vcc, 16 saídas digitais à relé (2A), com possibilidade de expansão para até

256 pontos de entradas e saídas digitais, 56 entradas analógicas e 8 saídas analógicas. A tensão de alimentação do equipamento é de 100-240 Vca, 60 Hz.

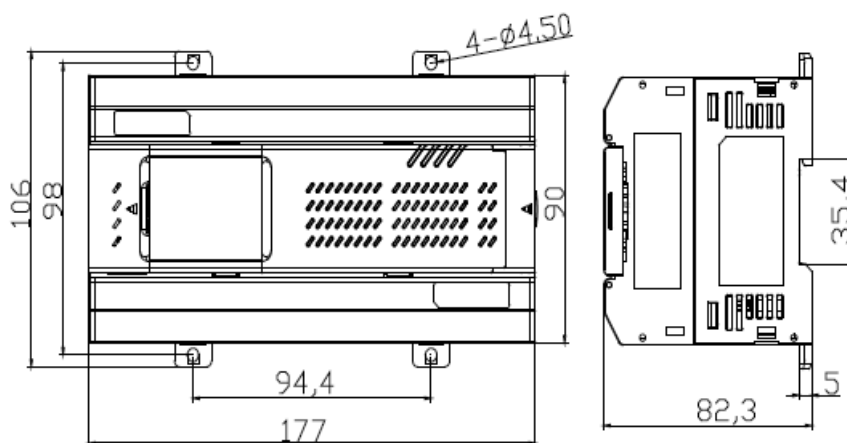
A Figura 46 apresenta o modelo acima detalhada que será utilizado para a automatização do torno.



**Figura 46 - PLC TPW03 40HR-A.**

Fonte: Catálogo WEG - Automação Controladores Lógicos Programáveis (2012).

As dimensões do PLC TPW03 40HR-A estão detalhadas na Figura 47, em milímetros.

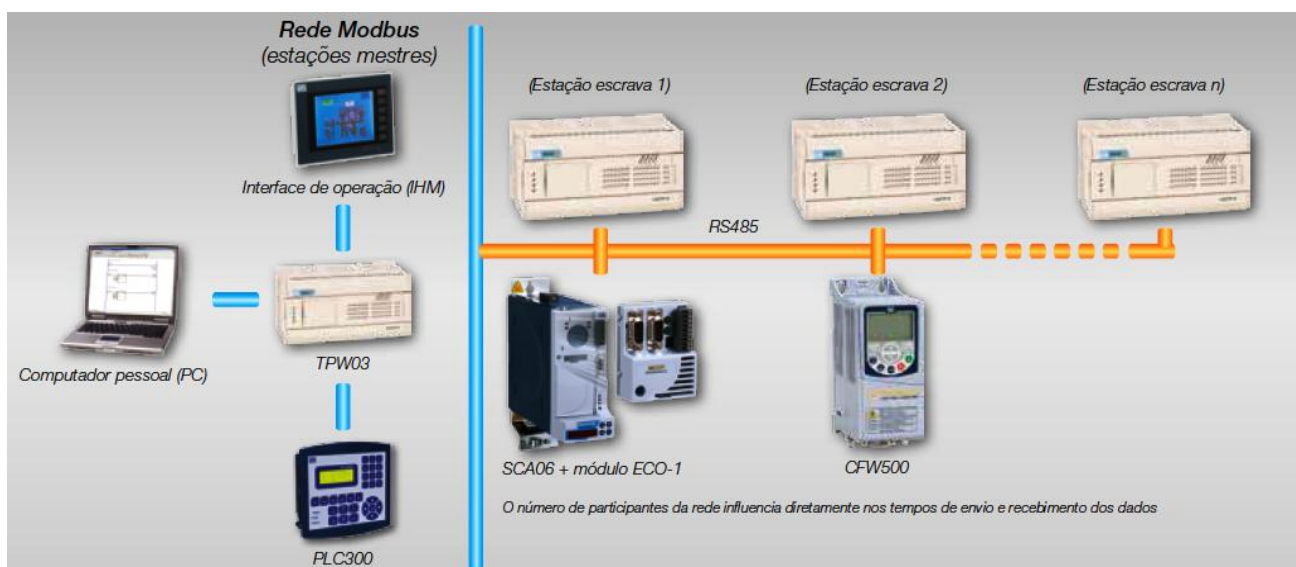


**Figura 47 - PLC TPW03 40HR-A dimensões.**

Fonte: Catálogo WEG - Automação Controladores Lógicos Programáveis (2012).

Os controladores da linha TPW03 podem se comunicar através de redes industriais, em sistemas de múltiplas estações de controle atendendo a diversas aplicações industriais. No caso da automatização do torno o PLC será conectado a

uma IHM e a um servoconversor de forma a realizar comunicação por redes. A Figura 48 mostra a flexibilidade do PLC TPW03 podendo se interligar com vários outros equipamentos através de comunicação por rede.



**Figura 48 - Interfaces Modbus RS485 E RS232 nos modos RTU e ASCII.**  
**Fonte: Catálogo WEG - Automação Controladores Lógicos Programáveis (2012).**

#### 4.2.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA

De acordo com os documentos gerados na etapa da definição das necessidades e as interfaces utilizadas para realização do controle, foi possível definir os tipos das unidades de entrada e saída (I/O) do PLC e a quantidade de canais I/O necessários para atender a necessidade de automatização do torno. O PLC TPW03 40HR-A foi definido a partir da definição da quantidade e tipo dos sinais de entrada e saída do controlador.

No sistema produtivo para fabricação de painéis foram previstas 21 portas de entrada digital (I/O) como mostra o Quadro 9. Este quadro indica a sensibilidade, a correspondente entrada no PLC, o número do canal (I/O) de entrada e de qual interface o sinal provém. Neste caso, o sinal é proveniente da saída da IHM, do painel elétrico, onde estão conectados os sensores e finais de curso, e também do servoconversor.

SENSIBILIDADE	ENTRADA PLC	Nº PORTAS	VEM DE	
Liga IHM	I0	1	QIHM0	IHM
Desliga IHM	I3	2	QIHM1	
S1	I1	3	QIHM2	
S2	I2	4	QIHM3	
S3 (R1)	I7	5	QIHM4	
S4 (R2)	I8	6	QIHM5	
S5 (R3)	I9	7	QIHM6	
S6 (Continua IHM)	I20	8	QIHM7	
P0	I6	9	PAINEL ELÉTRICO	
P1A	I11	10		
P1B	I10	11		
P2A	I13	12		
P2B	I12	13		
P3A	I15	14		
P3B	I14	15		
fca-	I4	16		
fcr-	I5	17		
fcac+	I17	18		
fcac-	I16	19		
fcc-	I18	20		
FUNÇÃO TCURVE/HOMING	I19	21		

**Quadro 9 - Sinais de entrada do PLC.**

Fonte: Autoria própria (2013).

De mesma forma, foram previstas 15 portas de saída digital (I/O) como mostra o Quadro 10. Este quadro expõe a ação no sistema, a correspondente saída no PLC, o número do canal de saída e para qual interface o sinal se desloca. Neste caso específico, o sinal vai para o servoconversor, o painel elétrico e a IHM.

AÇÃO	SAÍDA PLC	Nº PORTAS	VAI PARA	
Acionar SM	Q13	1	ISC00	SERVOCONVERSOR
Acionar MT	Q14	2	PAINEL ELÉTRICO	
Acionar MB	Q4	3		
V2Y1	Q7	4		
V2Y2	Q8	5		
V3Y1	Q9	6		
V3Y2	Q10	7		
V4Y1	Q11	8		
V4Y2	Q12	9		
V1Y1	Q5	10		
V1Y2	Q6	11	ISC05	
Selecionar R1	Q1	12	ISC01	SERVOCONVERSOR
Selecionar R2	Q2	13	ISC02	
Selecionar R3	Q3	14	ISC03	
Texto IHM	Q0	15	IIHM0	IHM

**Quadro 10 - Sinais de saída do PLC.**

Fonte: Autoria própria (2013).

### 4.3 INTERFACE HOMEM-MÁQUINA

O sistema produtivo para manufatura de painéis de alumínio ainda prevê uma interface homem máquina que possibilitará uma melhor interação entre o operador, torno e braço mecânico facilitando o monitoramento e comando dos equipamentos que realizam o controle do sistema. A IHM utilizada para este caso específico será a da linha PWS 6400 F-S da WEG.

De acordo com o catálogo da WEG Automação Interfaces Homem-Máquina (2012), este modelo possui LCD monocromático STN de 3,3" de diagonal, resolução de 240 x 240 pixels, totalmente *touch screen*, com uma vida útil maior que 1.000.000 operações, CPU de 32 bits RISC, 512 KB de memória RAM, 4MB de memória de aplicação (Flash ROM), relógio de tempo real, duas entradas de comunicação RS232/RS422/RS485, além de conter o *software editor* gratuito ADP 6.3.1. Este modelo de IHM opera normalmente a temperaturas ambiente de 0°C a 50°C e apresenta um grau de proteção IP65. Tem como dimensões 96mm de largura e altura e 46mm de profundidade, pesando 0,21kg e funciona com uma alimentação de 24VDC com uma variação de 15% para cima ou para baixo. É importante destacar que este modelo de IHM possui comunicação em *Modbus*, portanto tem a capacidade de se comunicar com o PLC TPW03, que foi escolhido para a simulação deste projeto.



**Figura 49 - Interface Homem-Máquina PWS 6400 F-S.**  
**Fonte: Catálogo WEG - Automação Interfaces Homem-Máquina (2012).**

#### 4.3.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA

Por meio da análise realizada nas etapas anteriores, foi possível definir os sinais de entrada e saída (I/O) da IHM e a quantidade de canais necessários para suprir a parte de comando do sistema produtivo. A IHM PWS 6400 F-S foi determinada mediante a definição da quantidade e do tipo dos sinais de entrada e saída da interface. Assim, foram definidas 9 portas de entrada digital (I/O), conforme detalhado no Quadro 11. O quadro apresenta a sensibilidade, a correspondente entrada na IHM, o número do canal de entrada e de onde provém este sinal. Neste caso, alguns sinais vêm a partir da seleção do próprio operador da máquina na IHM e outro sinal é proveniente de uma das saídas do PLC.

SENSIBILIDADE	ENTRADA IHM	Nº PORTAS	VEM DE	
Texto IHM	IIHM0	1	Q0	PLC
Liga IHM	IIHM1	2	OPERADOR	
Desliga IHM	IIHM2	3		
S1	IIHM3	4		
S2	IIHM4	5		
S3 (R1)	IIHM5	6		
S4 (R2)	IIHM6	7		
S5 (R3)	IIHM7	8		
S6 (Continua IHM)	IIHM8	9		

**Quadro 11 - Sinais de entrada da IHM.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

Com relação as portas de saída da IHM, foram previstos 15 canais de saída digital (I/O), como mostra o Quadro 12. Este quadro expõe a ação no sistema, a correspondente saída na IHM, o número do canal de saída e para qual interface o sinal se desloca. Nota-se que todos os sinais de saída da IHM se deslocam para o PLC.

AÇÃO	SAÍDA IHM	Nº PORTAS	VAI PARA
Liga IHM	QIHM0	1	I0
Desliga IHM	QIHM1	2	I3
S1	QIHM2	3	I1
S2	QIHM3	4	I2
S3 (R1)	QIHM4	5	I7
S4 (R2)	QIHM5	6	I8
S5 (R3)	QIHM6	7	I9
S6 (Continua IHM)	QIHM7	8	I20

**Quadro 12 - Sinais de saída da IHM.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

#### 4.4 SERVOACIONAMENTO

Como já detalhado no item 2.5, o servoacionamento é composto por servoconversor e o servomotor, portanto devem ser dimensionados estes dois equipamentos para a execução do servoacionamento incluído neste projeto de automação. O servoconversor utilizado para a realização do controle do cilindro de repuxo (CR) juntamente com o PLC será o SCA-05 da WEG. Segundo o catálogo da WEG Automação Servoconversores SCA-05 e Servomotores SWA (2012), os servoconversores SCA-05 possuem diversas funções e especificações técnicas especiais, tais como:

- Regulação em modo posicionador, velocidade e torque;
- Função MOVE incorporada com o ciclo automático (até 10 posicionamentos via parâmetro para o modelo *standard*), com rampa de aceleração e desaceleração programáveis;
- Controle de torque tipo “PID digital com *Feedforward*” e controle de velocidade tipo “PID”;
- Simulador de *encoder* incorporado: simula os sinais A+,A-, B+, B-, N+, N- programável de 1 a 4096 pulsos/rotação;
- Interface Homem-Máquina descartável com display em LED;
- Unidade de engenharia para IHM remota;
- Programação de parâmetros via HMI incorporada, HMI remoto ou via serial;
- Rede *CANopen*, *Modbus RTU* e *DeviceNet* incorporados;
- Microcontrolador de alta performance tipo RISC 32 bits.

O servoconversor do modelo SCA050008T2223P0P2Z foi definido a partir da determinação da quantidade e do tipo dos sinais de entrada e saída. Este modelo apresenta corrente nominal de 8 A(rms), corrente dinâmica de 16 A(rms), alimentação trifásica de 220-230 Vca e tensão de saída de 0 até 200-230 Vca. Adicionalmente, possui 6 entradas digitais programáveis (15 a 24Vcc), 3 saídas digitais programáveis, 2 entradas analógicas programáveis (-10 V a +10 V), resolução de velocidade de 32 bits e frequência de entrada para trem de pulso de 100 kHz. O servoconversor SCA050008T2223P0P2Z comporta o cartão POS2 para placa posicionadora. O cartão opcional POS2 permite transformar o servoconversor SCA-05 em um módulo posicionador de um eixo. No caso do *retrofit* do torno

mecânico, será preciso utilizar a placa posicionadora pois serão necessários mais de 10 posicionamentos da função MOVE para realizar o processo de repuxo da panela. De acordo com o catálogo da WEG Automação Servoconvertidores SCA-05 e Servomotores SWA (2012), dentre as características técnicas da placa POS2 estão:

- Posicionamento com perfil trapezoidal e “S” (absoluto e relativo);
- Programação Mestre/Escravo/Sincronismo entre motores ou eletrônico gearbox (caixa de engrenagens);
- Busca do zero da máquina (homing) e came eletrônico;
- Blocos de PLC como temporizadores, bobinas, contatos, aritméticos, comparação, PID e funções matemáticas;
- Programação em linguagem Ladder através do Software WLP;
- 100 parâmetros do usuário.

Além das vantagens acima listadas, a placa POS2 possui 9 entradas digitais programáveis (24Vcc), 3 saídas digitais programáveis a relé, 3 saídas digitais transistorizadas, 1 entradas analógica (-10 V a +10 V) e 1 entrada diferencial de *encoder*. A Figura 50 mostra um servoconversor SCA-05 com o detalhe da placa posicionadora POS2 anexada ao *hardware*.



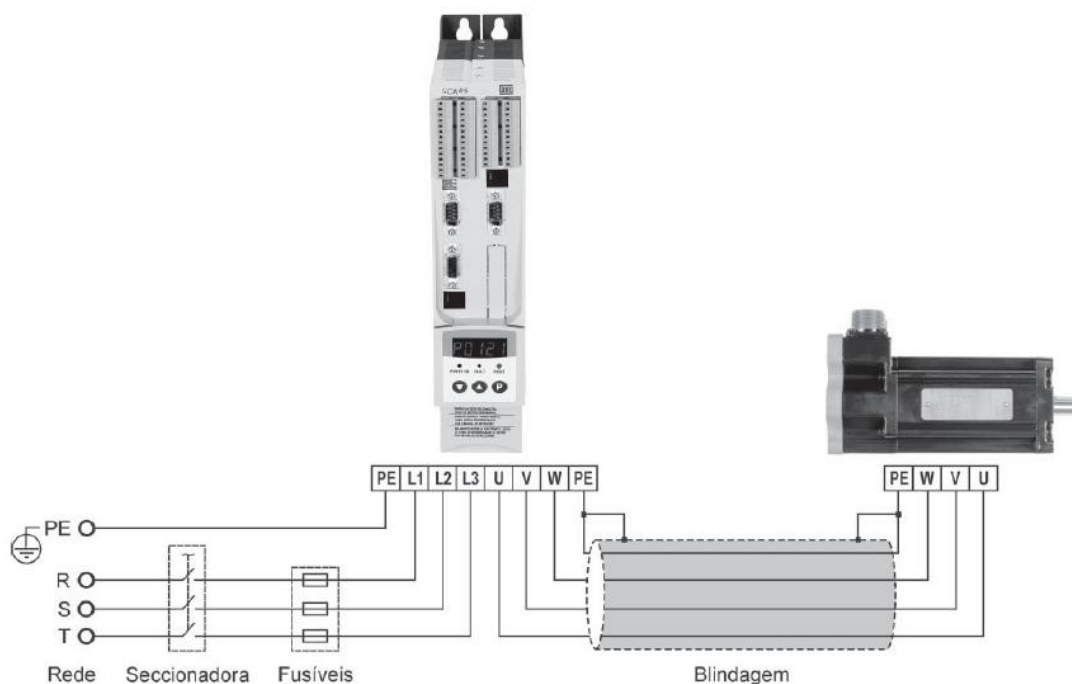
**Figura 50 - Servoconversor SCA-05 com placa posicionadora POS2.**

**Fonte: Catálogo WEG - Automação Servoconvertidores SCA-05 e Servomotores SWA (2012).**

O servomotor dimensionado para a aplicação deste projeto é o modelo SWA 562-6,1-20 da WEG. Como características técnicas ele apresenta força contra-eletromotriz senoidal, rotação suave e uniforme em todas as velocidades, baixo nível

de ruído e vibrações, ampla faixa de rotação com torque constante, baixa manutenção, elevada capacidade de sobrecarga, baixa inércia e resposta dinâmica rápida. Este modelo de servomotor apresenta 6,1 Nm de torque, 5,2 A(rms) de corrente, potência nominal de 1,10 kW, rotação de 2000 RPM e inércia de  $0,50 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ .

A Figura 51 apresenta o esquema de ligação entre o servoconversor SCA-05 e o servomotor SWA.



**Figura 51 – Esquema de ligação do servoconversor SCA-05 e o servomotor SWA.**  
**Fonte: Catálogo WEG - Guia de Aplicação de Servoacionamentos (2012).**

#### 4.4.1 DEFINIÇÃO E ALOCAÇÃO DOS SINAIS DE ENTRADA E SAÍDA

De acordo com as análises efetuadas nas etapas anteriores, foi possível definir os tipos das unidades de entrada e saída (I/O) do servoconversor, a quantidade de canais I/O necessários para atender o propósito de automatização do torno.

No sistema produtivo para fabricação de painéis, sob o ponto de vista do controle executado pelo servoacionamento, foram previstas 6 portas de entrada digital (I/O) como mostra o Quadro 13. Este quadro indica a sensibilidade, a correspondente entrada no servoconversor, o número do canal de entrada e de qual

interface o sinal provém. Neste caso, o sinal de todas as entradas do servoconversor têm origem no PLC.

SENSIBILIDADE	ENTRADA SCA-O5	Nº PORTAS	VEM DE
Liga/Desliga SERVO SM	ISC00	1	Q13
Receita 1	ISC01	2	Q1
Receita 2	ISC02	3	Q2
Receita 3	ISC03	4	Q3
Acionou V1Y1	ISC04	5	Q5
Acionou V1Y2	ISC05	6	Q6
Sensor POS 1 (POS0R1)	ISC06	7	PAINEL
Sensor POS 2 (POS0R2)	ISC07	8	
Sensor POS 3 (POS0R3)	ISC08	9	

**Quadro 13 - Sinais de entrada do servoconversor.**

**Fonte: Autoria própria (2013).**

Pela mesma análise, foi possível determinar apenas uma porta de saída digital (I/O) no servoconversor, conforme demonstra o Quadro 14. Este quadro expõe a ação no sistema, a correspondente saída no PLC, o número do canal de saída e para qual interface o sinal se desloca. Os sinais de saída são provenientes da posição em que o cilindro se encontra detectados pelo *encoder* incremental a partir de um ponto inicial pré-estabelecido como referência inicial para cada receita. Todos os sinais de saída do servoconversor seguem para o PLC.

AÇÃO			SAÍDA SCA-05	Nº PORTAS	VAI PARA		
FUNÇÃO TCURVE (SERVOCONVERSOR)	RECEITA 1	RECEITA 2	RECEITA 3	QSC00	1	I19	PLC
	POS 0R1	POS 0R2	POS 0R3				
	POS 1R1	POS 1R2	POS 1R3				
	POS 2R1	POS 2R2	POS 2R3				
	POS 3R1	POS 3R2	POS 3R3				
	POS 4R1	POS 4R2	POS 4R3				
	POS 5R1	POS 5R2	POS 5R3				
	POS 6R1	POS 6R2	POS 6R3				
	POS 7R1	POS 7R2	POS 7R3				
	POS 8R1	POS 8R2	POS 8R3				
	POS 9R1	POS 9R2	POS 9R3				
	POS 10R1	POS 10R2	POS 10R3				
	POS 11R1	POS 11R2					
	POS 12R1	POS 12R2					
	POS 13R1	POS 13R2					
	POS 14R1	POS 14R2					
	POS 15R1	POS 15R2					
	POS 16R1						
	POS 17R1						
	POS 18R1						
POS 19R1							
POS 20R1							

**Quadro 14 - Sinais de saída do servoconversor.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

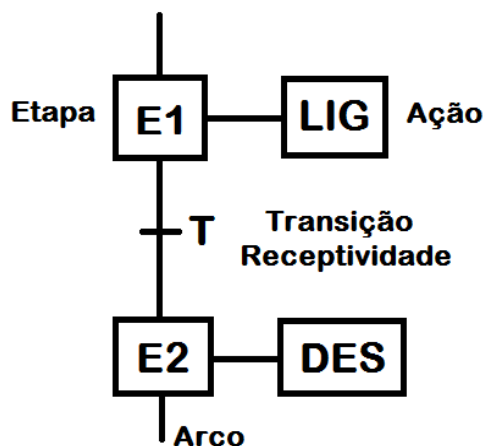
## 5 PROJETO E DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE DE CONTROLE

De acordo com a metodologia proposta por Miyagi (2001), a etapa do projeto e desenvolvimento do *software* de controle consiste em implementar nos dispositivos de realização de controle, neste caso o PLC e o servoconversor, a lógica das funções de controle estabelecidas nos documentos gerados nas etapas de definição das necessidades e projeto do sistema de controle. Assim, para o desenvolvimento da lógica de programação, partiu-se da representação do fluxo das funções de controle realizada a partir das Redes de Petri no item 3.5.2, para então projetar um fluxograma contendo cada etapa do processo de forma sequencial. Para isso, foi utilizada a programação pelas técnicas de Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição, chamado simplesmente por GRAFCET, e posteriormente foi efetuado o Diagrama de Contatos, ou linguagem *Ladder*, a fim de detalhar o processo de fabricação das painelas a partir do controle por lógica sequencial.

Optou-se pelo GRAFCET e Diagrama de Contatos justamente por possibilitarem um modelamento mais viável com relação a sistemas automatizados devido à facilidade de interpretação que apresenta em sua estrutura. Segundo Silveira e Santos (1998), estas técnicas proporcionam a habilidade do modelo da Rede de Petri para modelagem de concorrência e a simplicidade das funções booleanas para a representação de decisões complexas.

### 5.1 O GRAFCET

De acordo com Silveira e Santos (1998), um GRAFCET é um modelo de representação gráfica do comportamento da parte de comando de um sistema automatizado. É constituído por uma simbologia gráfica com arcos orientados que interligam etapas e transições. Também apresentam em sua estrutura as chamadas receptividades e ações que são selecionadas por meio de uma interpretação das variáveis de entrada e saída da parte de comando do sistema. O comportamento dinâmico dos elementos comandados é definido por regras de evolução sequencial dos elementos que compõem o fluxograma. A Figura 52 apresenta os elementos de um GRAFCET.



**Figura 52 - Elementos de um GRAFCET.**  
**Fonte: Silveira e Santos (1998).**

Para Silveira e Santos (1998), as etapas do fluxograma se referem ao estado no qual o comportamento do circuito de comando não se altera com relação às entradas e saídas. A etapa pode estar ativa ou inativa dependendo do momento em que o sistema se encontra, isto demonstra a situação do sistema. A transição, representada por um traço, diz respeito à possibilidade de evolução do GRAFCET de uma situação para outra. A passagem de uma situação para outra só é possibilitada através da validade de uma transição. A transição somente é válida quando todas as etapas precedentes e ligadas a ela estiverem ativas.

Os autores ainda ressaltam que os arcos orientados simbolizam a sequência do GRAFCET pela interligação de uma etapa a uma transição e desta última a outra etapa. As ações são os efeitos obtidos por meio do mecanismo controlado em um determinado momento e podem atuar como uma ordem de comando que especifica o que deve ser realizado no sistema. Operam em elementos físicos do mecanismo controlado, por exemplo, nas saídas do PLC, temporizadores, contadoras ou IHM.

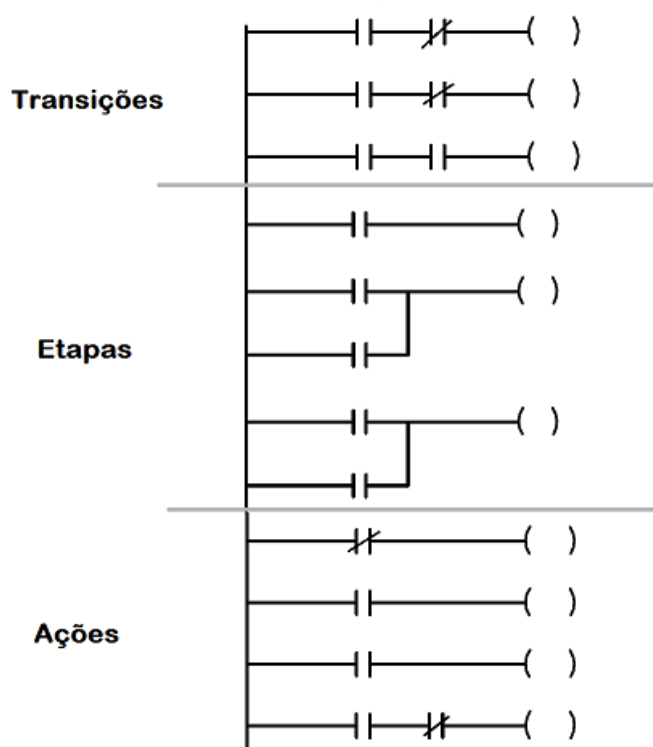
Por fim, as receptividades representam a função lógica combinacional associada a cada transição, sendo o elo de ligação entre a lógica combinacional e a lógica sequencial do sistema. Na prática, a receptividade pode ser um sinal de entrada do sistema, variáveis internas de controle, resultado de comparações com contadoras/temporizadores ou uma informação sobre o estado de uma etapa.

## 5.2 O DIAGRAMA DE CONTATOS

Com a evolução da ciência da computação no que diz respeito à análise e técnicas de programação estruturada, passou-se a valorizar a manutenção, flexibilidade e documentação de forma a não haver muita relevância caso a solução implementada não fosse a de menor extensão em termos de ocupação de memória. Atualmente, segundo Silveira e Santos (1998), não há a preocupação de limitação de memória. A exemplo do PLC, um relé pode ter quantos contatos o programador desejar, já que ele é apenas uma operação de leitura de memória e portanto, não se limita a um determinado número de contatos NA ou NF, como os tradicionais relés e contatores.

Como já mencionado anteriormente, na estrutura do GRAFCET existem três elementos básicos: as transições, as etapas e as ações. Deste modo, para se transformar esta estrutura de fluxograma em linguagem de relés, deve-se dispor estes elementos de forma hierárquica, em que ações são realizadas a partir das etapas, e estas, por sua vez, têm origem nas transições. De acordo com Silveira e Santos (1998), num diagrama de relés, ou também chamado de programação *Ladder*, a implementação do GRAFCET deve ser entendido através da subdivisão da sua estrutura em três partes distintas: uma parte responsável pela ocorrência de transições (realizam o fluxo do processo), outra responsável pela sequencialização das etapas de forma interconectada (garantem a sequência correta do processo), e, por fim, outra parte que realizará as ações operativas do sistema (configuram a consequência da etapa corretamente ativa).

A Figura 53 demonstra um exemplo da estrutura de um Diagrama de Contatos implementado a partir de um GRAFCET.



**Figura 53 – Diagrama de Contatos.**  
**Fonte: Silveira e Santos (1998).**

Assim será apresentada como técnica de programação a lógica sequencial utilizando Diagrama de Contatos a partir do desenvolvimento do GRAFCET tanto do PLC como do servoconversor, sendo este tipo de programação bastante utilizado atualmente na grande maioria dos equipamentos de controle de sistemas automatizados.

### 5.3 DIAGRAMA FUNCIONAL DO SISTEMA PRODUTIVO

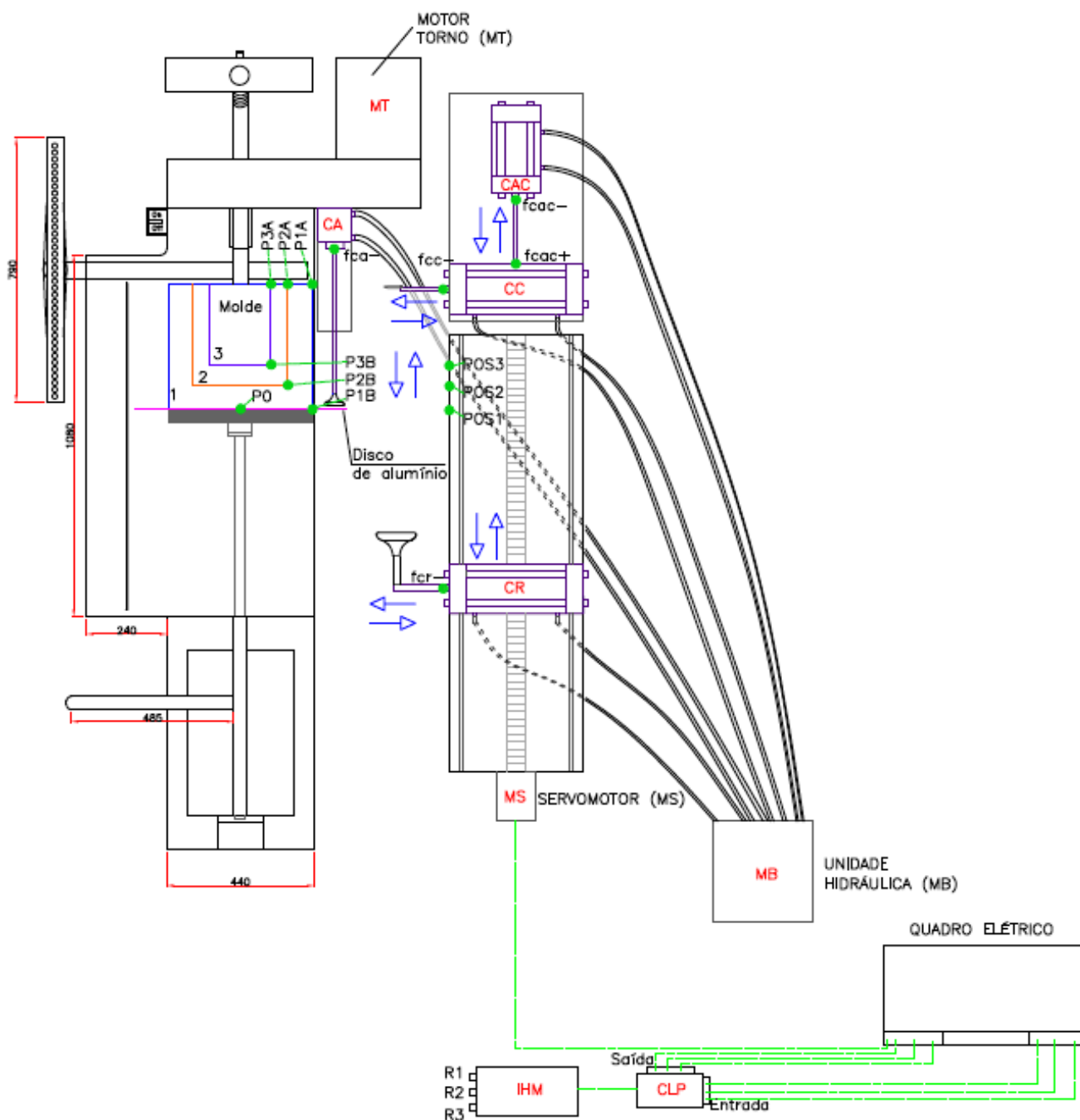
Para a elaboração do projeto e desenvolvimento do GRAFCET referente ao sistema produtivo para fabricação de painéis, é imprescindível fazer primeiramente a esquematização de um diagrama funcional do sistema destacando cada equipamento de detecção, atuadores e dispositivos de realização do controle envolvidos no sistema. Isto permitirá identificar facilmente as variáveis de entrada e saída de cada dispositivo de realização de controle, que neste caso são representados pelo PLC e o servoconversor. A Figura 54 apresenta o esquemático

do torno juntamente ao braço mecânico, indicando cada sensor de posição e finais de curso interligados ao respectivo dispositivo de controle.

Na Figura 54, é possível perceber os quatro cilindros hidráulicos interligados à unidade hidráulica e ao painel elétrico de forma a serem controlados pelo PLC. Como já detalhado anteriormente, o cilindro de repuxo (CR), além da movimentação da haste através da válvula de dupla ação V1 na horizontal comandada pelo PLC, também será acoplado a um carro de rolamento adaptado a uma rosca sem fim acionada por servomotor e fixado num trilho de forma a possibilitar o movimento também no eixo vertical através de servoacionamento. A combinação do movimento na horizontal através da haste do cilindro comandada por PLC e do movimento da vertical através da atuação do servomotor comandado pelo servoconversor, fará surgir uma força resultante diagonal permitindo o repuxo da chapa de alumínio à matriz fixada ao torno.

Também é perceptível na Figura 54 o cilindro de apoio (CA) que será controlado inteiramente pelo PLC e utilizado apenas para realizar o apoio da chapa quando fixada ao molde até a sua estabilização durante os primeiros ciclos de repuxo. Para o processo de acabamento da panela, o cilindro de corte (CC) será utilizado, através do comando do PLC pela energização da válvula de dupla ação V2, de forma a retirar o excesso de alumínio após a finalização do processo de repuxo. O cilindro hidráulico (CAC) será utilizado apenas para deslocar o primeiro cilindro de corte (CC) até o ponto onde se faz o acabamento para qualquer receita escolhida, já que o corte sempre é realizado no mesmo local. Este último cilindro (CAC) será inteiramente controlado pelo PLC por meio da energização da válvula de dupla ação V3.

A atuação dos cilindros hidráulicos comandados pelo PLC para determinada receita de panelas será delimitada pela seleção realizada pelo operador na IHM, pelos sensores de posição e finais de curso. Para a Receita 1 serão utilizados os sensores P1A e P1B, já para a Receita 2 serão utilizados os sensores P2A e P2B e para a Receita 3 serão utilizados os sensores P3A e P3B. Os finais de curso são definidos pelo (fcr-) para limite mínimo do curso do cilindro de repuxo (CR), (fca-) para limite mínimo do curso do cilindro de apoio (CA), (fcac+) para limite máximo do cilindro (CAC) e por fim, (fcac-) para limite mínimo do cilindro (CAC).



**Figura 54 - Diagrama funcional do *retrofit* do torno mecânico.**  
 Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

É interessante comentar que o diagrama funcional do *retrofit* do torno mecânico apresentado na Figura 54, é válido tanto para a elaboração da programação do PLC quanto do servoconversor, justamente pelo fato dos dois dispositivos de realização de controle atuarem de forma sincronizada para realizar o movimento de rebaixo das painéis de alumínio.

## 5.4 PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Neste sistema produtivo para fabricação de painéis, o PLC terá a função de acionar os cilindros hidráulicos de forma ordenada para realização do processo de repuxo e acabamento das painéis conforme solicitação do operador via IHM. A atuação PLC se inicia com a ativação do PLC e da IHM. O operador tem a opção de operar manualmente o torno ou de forma automatizada através da seleção na IHM. Caso a escolha for o processo automático, então o servoacionamento é ativado através do PLC e o operário deve colocar a chapa de alumínio no torno de forma que esta será identificada através do sensor P0. Aciona-se manualmente o torno e lubrifica-se a chapa de alumínio.

Neste momento o operador seleciona a receita desejada na IHM (R1 R2 ou R3) de forma que o PLC envia um sinal de saída para ativação da bomba hidráulica e da programação do servoconversor. Para qualquer receita selecionada, três processos são ativados simultaneamente: avanço do cilindro de repuxo (CR) através da energização da válvula de dupla ação V1Y1, avanço do servomotor por meio do envio do mesmo comando da energização de V1Y1 e avanço do cilindro de apoio (CA) pela válvula de dupla ação V4Y1. Este avanço é limitado até o recebimento do sinal de P1B, P2B ou P3B (dependendo da receita selecionada) e do sinal enviado pelo servoconversor determinando o fim do primeiro posicionamento. Então pela energização da válvula V1Y2 através de sinal enviado pelo PLC, ocorre o recuo da haste do cilindro de repuxo (CR). Ao mesmo tempo, o PLC envia um comando para o servoconversor ativando o retorno do cilindro (CR) à posição inicial.

O processo de avanço e recuo do cilindro de repuxo deve ser feito diversas vezes para uma mesma painél, sendo a quantidade de vezes definida de acordo com o tamanho da painél, ou seja, de acordo com a receita selecionada pelo operador. Optou-se por fazer 20 séries de repuxo para a Receita 1, já que é uma painél de grande porte, 15 séries de repuxo para Receita 2, painél de médio porte, e 10 séries de repuxo para a Receita 3, configurando a painél de pequeno porte. Este processo do cilindro de repuxo (CR) considerando os movimentos da horizontal e da vertical sincronizados será melhor detalhado no item 5.5, quando será explicado a programação do servoconversor.

Após a finalização do repuxo das painéis, ocorre o processo acabamento com a ativação dos cilindros de corte (CC) e de apoio ao corte (CAC).

Primeiramente, o PLC envia um comando para energizar a válvula de dupla ação V3Y1 e depois envia outro comando para energizar a válvula V4Y1, após a realização do corte da borda da panela comandada por temporizador, retornam-se os dois cilindros que realizam o acabamento pela energização das válvulas V4Y2 e V3Y2 respectivamente. Finaliza o acabamento das panelas e o operador define pela seleção na IHM se continua o processo ou desliga IHM e PLC.

A seguir será detalhada a programação do processo de fabricação de panelas descrito anteriormente, apresentando o GRAFCET nível 1, GRAFCET nível 2 e Diagrama de Contatos para o PLC.

#### 5.4.1 GRAFCET NÍVEL 1

A partir do diagrama operacional do sistema foi possível avaliar cada etapa do processo de fabricação das panelas de forma sequencial gerando, com isso, um fluxograma que descreve cada passo do sistema, desde a ativação do PLC e IHM até o seu desligamento. A Figura 55 demonstra o GRAFCET nível 1 simplificado contendo as etapas, transições e ações do sistema do *retrofit* do torno mecânico, detalhando o que deve ocorrer em cada um destes elementos de forma sequencial.

É importante destacar que, por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, optou-se por colocar no texto um fluxograma simplificado da programação do PLC, não detalhando todos os processos envolvidos no programa, representado pela Figura 55. A versão do fluxograma na íntegra está no Apêndice A, onde demonstra detalhadamente todos os processos do fluxograma.

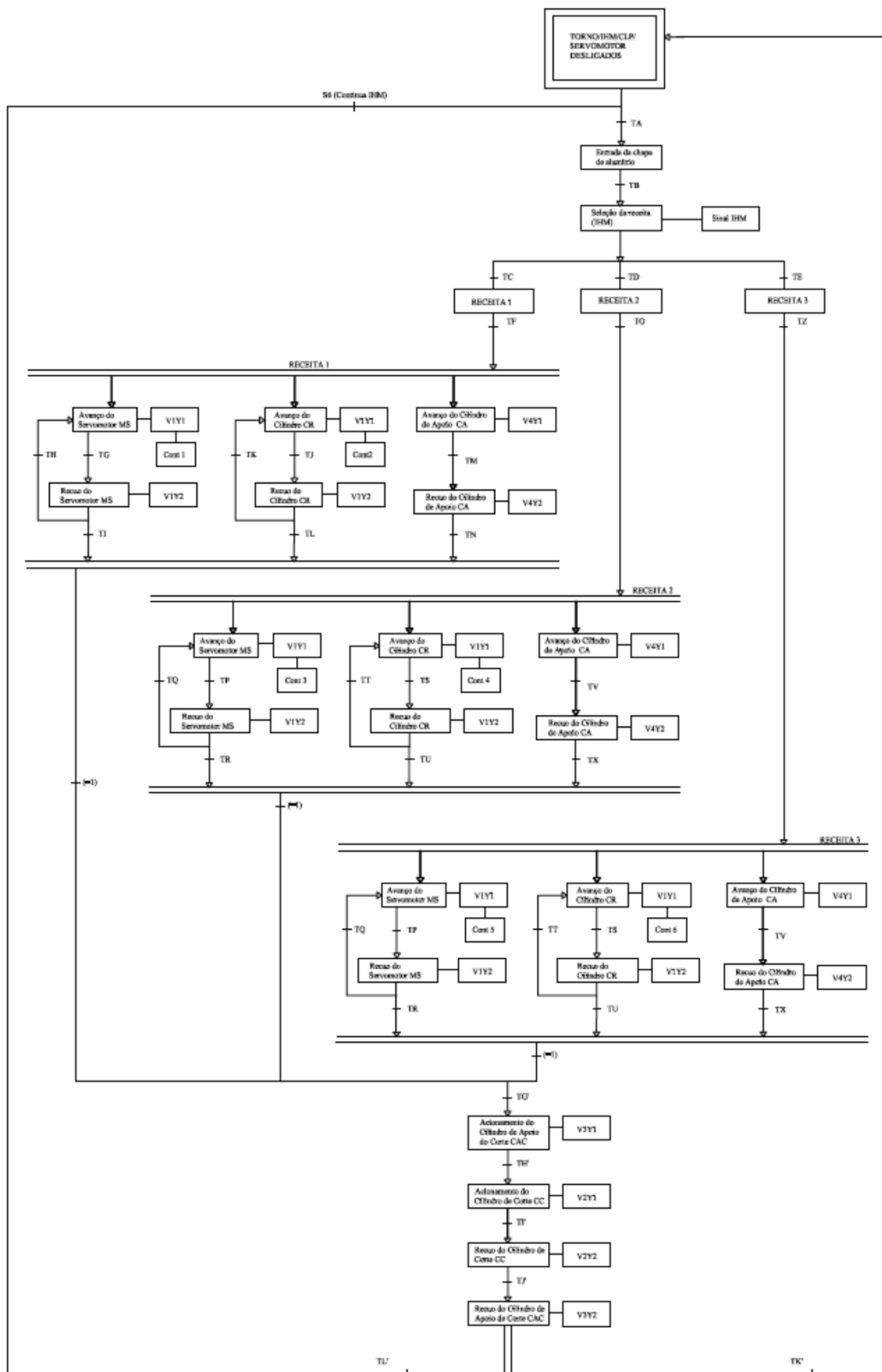


Figura 55 - GRAFCET nível 1 simplificado da programação do PLC.  
 Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

#### 5.4.2 GRAFCET NÍVEL 2

A obtenção do GRAFCET nível 2 especificando somente as quantidades de etapas, transições, ações e receptividades dispostas no GRAFCET nível 1 por meio da sequencialização dos arcos orientados foi realizada a partir do fluxograma detalhado anteriormente. A partir do primeiro fluxograma, todas as etapas e transições devem ser devidamente enumeradas (E0, E1, E2,...,T1, T2, T3,...) bem como as receptividades (variáveis de entrada) e ações (variáveis de saídas), apresentadas de acordo com a respectiva porta de entrada e saída, já definidas no item 4.2.1.

A Figura 56 exhibe o GRAFCET nível 2 do PCL de forma simplificada detalhando as etapas, transições, receptividades e ações do sistema do *retrofit* do torno mecânico.

Da mesma forma que o GRAFCET nível 1, por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, o GRAFCET nível 2 do PCL é colocado no texto de maneira simplificada, não expondo todos os processos envolvidos no programa, como mostra a Figura 56. A versão do GRAFCET nível 2 do PLC na íntegra está no Apêndice B, onde se encontra de forma detalhada todos os processos do GRAFCET do PLC.

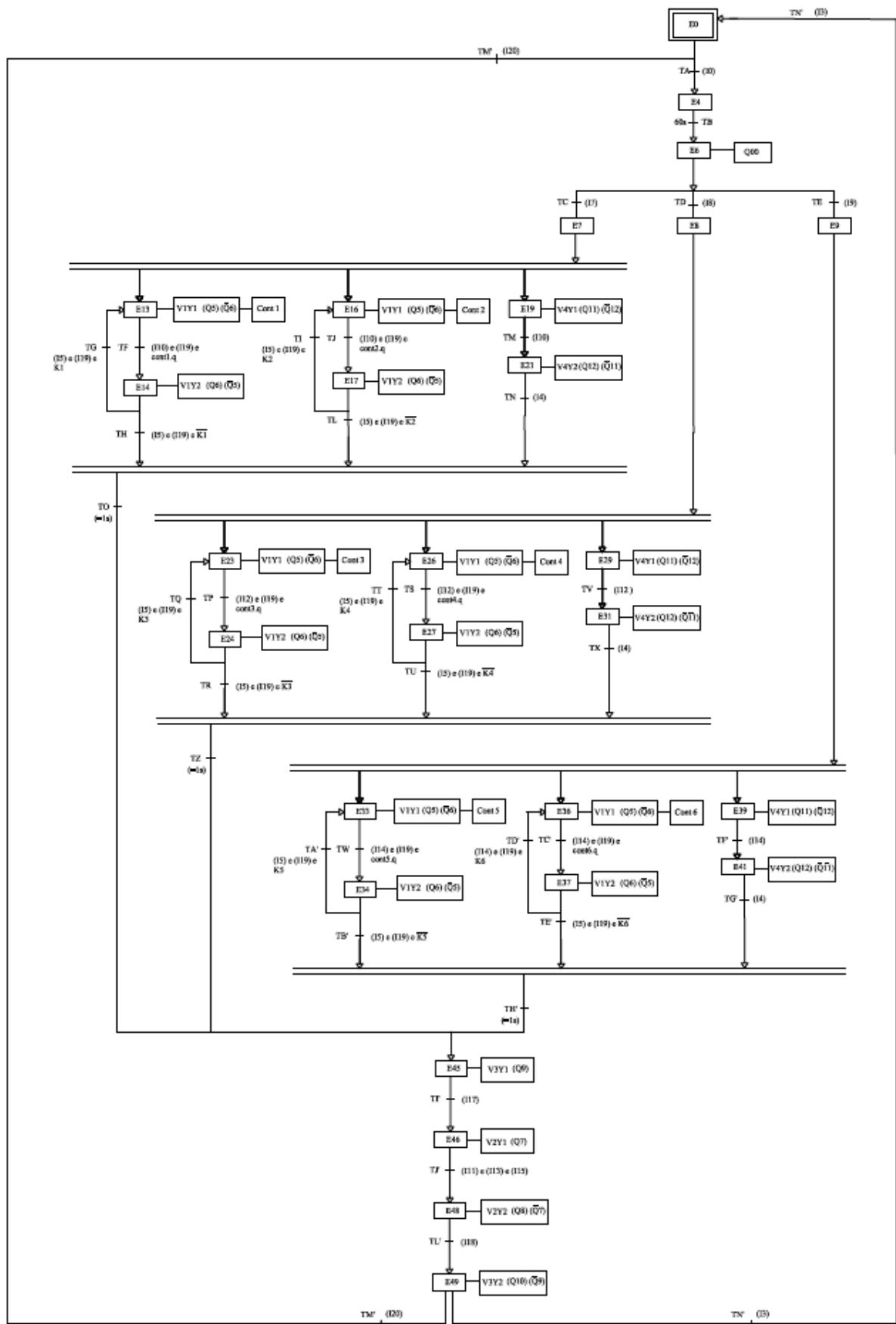


Figura 56 - GRAFCET nível 2 simplificado da programação do PLC.  
Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

A partir do GRAFCET do PLC podem-se definir as memorizações internas do PLC de cada uma das etapas do programa, conforme expõe o Quadro 15 abaixo.

<b>ETAPA</b>	<b>MEMÓRIA PLC</b>	<b>ETAPA</b>	<b>MEMÓRIA PLC</b>
Etapa 0	E0	Etapa 26	E26
Etapa 1	E1	Etapa 27	E27
Etapa 2	E2	Etapa 28	E28
Etapa 3	E3	Etapa 29	E29
Etapa 4	E4	Etapa 30	E30
Etapa 5	E5	Etapa 31	E31
Etapa 6	E6	Etapa 32	E32
Etapa 7	E7	Etapa 33	E33
Etapa 8	E8	Etapa 34	E34
Etapa 9	E9	Etapa 35	E35
Etapa 10	E10	Etapa 36	E36
Etapa 11	E11	Etapa 37	E37
Etapa 12	E12	Etapa 38	E38
Etapa 13	E13	Etapa 39	E39
Etapa 14	E14	Etapa 40	E40
Etapa 15	E15	Etapa 41	E41
Etapa 16	E16	Etapa 42	E42
Etapa 17	E17	Etapa 43	E43
Etapa 18	E18	Etapa 44	E44
Etapa 19	E19	Etapa 45	E45
Etapa 20	E20	Etapa 46	E46
Etapa 21	E21	Etapa 47	E47
Etapa 22	E22	Etapa 48	E48
Etapa 23	E23	Etapa 49	E49
Etapa 24	E24	Etapa 50	E50
Etapa 25	E25		

**Quadro 15 – Memorização interna no PLC das etapas do programa.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

Pela mesma análise do GRAFCET, também se podem definir as memorizações internas do PLC de cada uma das transições do programa, conforme expõe o Quadro 16 abaixo.

TRANSIÇÃO	MEMÓRIA PLC	TRANSIÇÃO	MEMÓRIA PLC
Entre etapas 0 e 1	T1	Entre etapas 26 e 27	T27
Entre etapas 1 e 2	T2	Entre etapas 27 e 26	T42
Entre etapas 1 e 3	T3	Entre etapas 27 e 28	T28
Entre etapas 2 e 4	T4	Entre etapas 29 e 30	T29
Entre etapas 3 e 0	T5	Entre etapas 30 e 31	T30
Entre etapas 4 e 5	T6	Entre etapas 31 e 32	T31
Entre etapas 5 e 6	T7	Entre etapas 33 e 34	T33
Entre etapas 6 e 7	T8	Entre etapas 34 e 33	T40
Entre etapas 6 e 8	T9	Entre etapas 34 e 35	T34
Entre etapas 6 e 9	T10	Entre etapas 36 e 37	T35
Entre etapas 7 e 10	T11	Entre etapas 37 e 36	T43
Entre etapas 8 e 11	T12	Entre etapas 37 e 38	T36
Entre etapas 9 e 12	T13	Entre etapas 39 e 40	T37
Entre etapas 10 e 13/16/19	T14	Entre etapas 40 e 41	T38
Entre etapas 11 e 23/26/29	T15	Entre etapas 41 e 42	T39
Entre etapas 12 e 33/36/39	T16	Entre etapas 15/18/22 e 43	T44
Entre etapas 13 e 14	T17	Entre etapas 25/28/32 e 43	T45
Entre etapas 14 e 13	T24	Entre etapas 35/38/42 e 43	T46
Entre etapas 14 e 15	T18	Entre etapas 43 e 44	T47
Entre etapas 16 e 17	T19	Entre etapas 44 e 45	T48
Entre etapas 17 e 16	T41	Entre etapas 45 e 46	T49
Entre etapas 17 e 18	T20	Entre etapas 46 e 47	T50
Entre etapas 19 e 20	T21	Entre etapas 47 e 48	T51
Entre etapas 20 e 21	T22	Entre etapas 48 e 49	T52
Entre etapas 21 e 22	T23	Entre etapas 49 e 50	T53
Entre etapas 23 e 24	T25	Entre etapas 50 e 1	T54
Entre etapas 24 e 23	T32	Entre etapas 50 e 0	T55
Entre etapas 24 e 25	T26		

**Quadro 16 - Memorização interna no PLC das transições do programa.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

### 5.4.3 DIAGRAMA DE CONTATOS

Para a realização do Diagrama de Contatos, ou linguagem *Ladder*, é necessário dispor as etapas, ações, transições e receptividades definidas pelo GRAFCET nível 2 de forma hierárquica, seguindo uma cronologia de atuações no sistema, na qual as ações são realizadas a partir das etapas, e estas, por sua vez, têm origem nas transições.

É possível perceber que o GRAFCET nível 2, apresentado simplificada na Figura 56 e com mais detalhes no Apêndice B, tem aspecto bastante similar ao GRAFCET nível 1 mostrado simplificada na Figura 55 e detalhado na íntegra no Apêndice A. No entanto, os elementos de controle do segundo fluxograma estão diretamente relacionados com os elementos tecnológicos utilizados para a implementação, que neste caso é o PLC. Assim sendo, deve se utilizar o GRAFCET nível 2 para realizar a especificação do Diagrama de Contatos.

Mais uma vez, por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, o Diagrama de Contatos do PCL foi colocado no texto de maneira simplificada, apenas detalhando os processos mais importantes da programação. A Figura 57 apresenta o Diagrama de Contatos desenvolvido a partir do GRAFCET nível 2, especificando os momentos mais importantes primeiramente das transições, seguido pelas etapas e, por fim, das ações do sistema produtivo. A versão integral contendo todos os passos envolvidos no programa se encontra no Apêndice C.

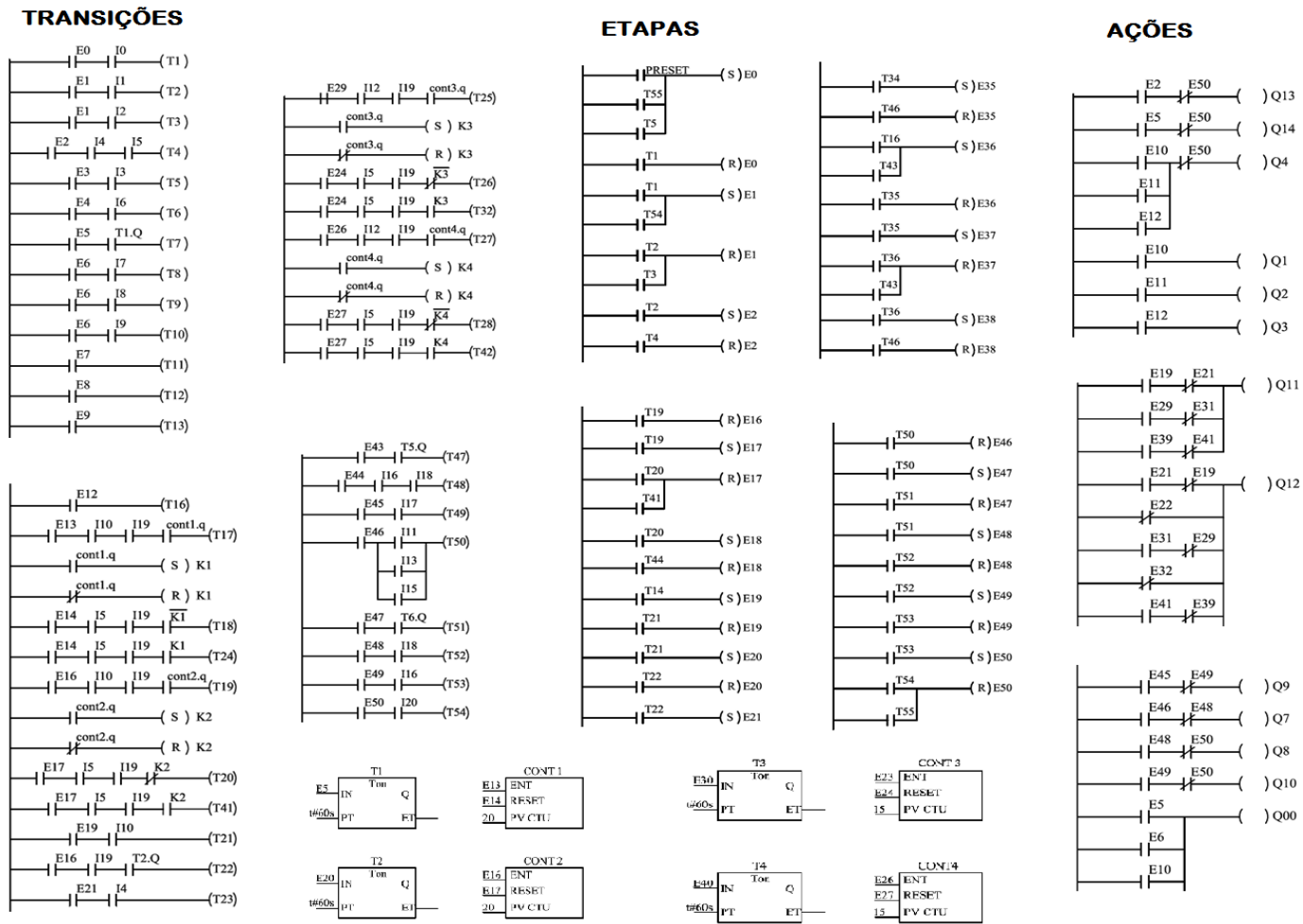


Figura 57 – Diagrama de contatos (*Ladder*) simplificado do PLC.  
 Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

## 5.5 PROGRAMAÇÃO DO SERVOCONVERSOR

Neste sistema produtivo para fabricação de painéis, o servoacionamento terá a função de deslocar o cilindro de repuxo (CR) no eixo da vertical, tanto para cima como para baixo através do acoplamento da rosca sem fim no eixo do servomotor. A atuação do servoacionamento no processo de fabricação de painéis será reservado a partir do momento da seleção da receita (R1 R2 ou R3), restrito ao momento de atuação do cilindro de repuxo (CR). A ativação do avanço ou recuo do servomotor será dada pelos detectores de posição e sinais de entradas digitais enviados pelo PLC nos momentos de ativação da válvula de dupla ação V1 do cilindro de repuxo (CR), aqui chamadas de V1Y1 (avanço da haste) e V1Y2 (recuo da haste).

É importante ressaltar que deve haver uma atuação sincronizada do servoconversor com o PLC para garantia da realização do repuxo das painéis com perfeição. Desta forma, no momento em que o PLC comanda a energização da válvula V1Y1 para avanço da haste do cilindro de repuxo, deve-se enviar o mesmo comando para o servoconversor efetuar o avanço do servomotor. De mesma forma, no momento de recuo da haste do cilindro de repuxo realizada pela energização da válvula V1Y2 mediante comando do PLC, deve-se enviar o mesmo comando para o servoconversor executar o recuo do servomotor.

Para garantia de que os movimentos na vertical e na horizontal do cilindro de repuxo (CR) sejam realizados com sincronismo, também será enviado um comando por parte do servoconversor através de uma saída digital cada vez que ocorrer a finalização do avanço e do recuo do servomotor. Isto habilitará a posterior ordem de avanço ou recuo do cilindro executada pelo PLC por meio da válvula V1, atuando como pré-condição para continuação do processo.

O servoconversor, quando ligado inicialmente, dá ordem para o servomotor avançar até a referência da posição absoluta, posição esta já programada diretamente no servoconversor. Com a seleção da receita executada pelo operador na IHM, o sinal é repassado à programação do PLC e do servoconversor. Neste momento o servoconversor habilita o servomotor a se dirigir até a posição inicial dependendo da receita de painel selecionada pelo operador e detectada pelos sensores de posição (POS 1, POS 2 ou POS 3). Como especificado anteriormente, a ordem de avanço do servomotor será dada somente pelo sinal de energização da válvula V1Y1 efetuada pelo PLC e repassada ao servoconversor. Este sinal enviado

pelo PLC ativará a função TCURVE do servoconversor que irá selecionar o primeiro posicionamento que o servomotor deverá realizar. Ao final deste posicionamento, será enviado um sinal de saída pela desabilitação da função TCURVE para o PLC, o qual irá habilitar o recuo do cilindro através da energização da válvula V1Y2 para recuar a haste do cilindro de repuxo (CR). Mediante o comando da válvula V1Y2, um sinal é enviado novamente ao servoconversor, desta vez ativando a função HOMING, que realizará o retorno do servomotor à posição inicial da receita selecionada. Assim, este processo de avanço e recuo do servomotor se repetirá diversas vezes através da sincronização dos sinais enviados e recebidos do PLC, sendo a quantidade de vezes definida de acordo com o tamanho da panela, ou seja, de acordo com a receita selecionada pelo operador.

A seguir será feito um detalhamento de como serão programados os parâmetros no servoconversor que definirão os ciclos de posicionamento do servomotor realizados a partir da função TCURVE e função HOMING.

### 5.5.1 PARÂMETROS DO SERVOCONVERSOR

A parametrização do servoconversor pelo usuário possibilita a leitura e a programação de valores que mostrem, sintonizem e adequem o comportamento do servoposicionamento em determinada situação. Os parâmetros, segundo o Guia de Acionamentos de Servomotores da WEG (2012), podem ser divididos em: parâmetros de leitura, parâmetros de regulação, parâmetros de configuração, parâmetros do servomotor e parâmetros das funções especiais. Os parâmetros que serão utilizados para este caso do *retrofit* do torno mecânico e que devem ser programados no servoconversor SCA-05 são descritos a seguir.

Primeiramente, serão analisados parâmetros de leitura, que permitem visualizar os valores programados nos parâmetros de regulação, de configuração, do servomotor e das funções especiais. Este parâmetro não possibilita editar o valor programado, somente realiza a sua leitura. Já os parâmetros de regulação representam os valores ajustáveis a serem utilizados pelas funções do servoconversor. O Quadro 17 apresenta os parâmetros de leitura e regulação que serão selecionados na configuração do servoconversor SCA-05 para o caso estudado.

PARÂMETROS DE LEITURA E REGULAÇÃO DO SCA-05		
PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	
LEITURA	P002	Velocidade do Servomotor (RPM)
	P003	Corrente do Motor (A)
	P004	Tensão do Link CC (V)
	P006	Estado do Servoconversor
	P012	Estado das Entradas Digitais DI1...DI6
	P014 a P017	Últimos erros ocorridos
	P023	Versão do software
	P050	Posição do eixo
REGULAÇÃO	P099	Habilitação
	P100 a P103	Rampas de aceleração e de desaceleração
	P111	Sentido de giro
	P117	Referência de posição via HMI
	P119	Referência de corrente (Torque) via HMI
	P121	Referência de velocidade via HMI
	P124 a P133	Função MOVE: Referência de velocidade de Posicionamentos
	P441...P490	Função MOVE: Parâmetros de Posicionamento
	P136	Relação Idinâmico/Inominal
	P159	Ganho operacional do regulador de posição (kp)
	P161 a P163	Ganhos do controlador PID de velocidade (kp)

**Quadro 17 - Parâmetros de leitura e regulação do SCA-05 .**

**Fonte: Adaptado de Catálogo WEG - Guia de Aplicação de Servoacionamentos (2012).**

Também foram selecionados alguns parâmetros de configuração bem como parâmetros do servomotor. Os parâmetros de configuração definem as características do servoconversor, as funções a serem executadas e também as funções das entradas e saídas. Já os parâmetros do servomotor determinam os parâmetros obtidos por dados de placa. O Quadro 18 mostra os parâmetros de configuração e do servomotor que serão selecionados na configuração do servoconversor SCA-05 para o caso estudado.

PARÂMETROS DE CONFIGURAÇÃO E SERVOMOTOR DO SCA-05		
PARÂMETRO		DESCRIÇÃO
CONFIGURAÇÃO	P202	Modo de Operação - Torque, velocidade ou posição
	P229	Opção Rampas de aceleração e desaceleração
	P263 a P268	Função das Entradas Digitais 1 (DI1 a DI6)
	P275, P277, P279	Função da Saídas Digital (DO1) e a Relé (RL1 e RL2)
	P340	Número de pulsos do simulador de Encoder
	P341	Posição do Pulso Nulo
	P342	Seleciona sequênciA e B
	P385	Modelo do Servoconversor
SERVOMOTOR	P401	Corrente Nominal do motor (In)
	P402	Velocidade Nominal do motor ( $\omega_n$ )
	P409 a P416	Grandezas Elétricas do motor ( Resistência, Indutância e Tensão)
	P417	Constante de Torque do motor (kt)
	P418	Inércia do Eixo do motor (J)

**Quadro 18 - Parâmetros de configuração e do servomotor do SCA-05.**

Fonte: Adaptado de Catálogo WEG - Guia de Aplicação de Servoacionamentos (2012).

Os parâmetros das funções especiais são extremamente importantes para a realização deste projeto para automatização do torno mecânico, justamente por ser através desta parametrização que se realiza a seleção do função TCURVE. Também é possível selecionar parâmetros relacionados a Auto-Tuning, PID, de velocidade, entre outros. O Quadro 19 apresenta os parâmetros das funções especiais que serão selecionados na configuração do servoconversor SCA-05 para o caso estudado.

PARÂMETROS DAS FUNÇÕES ESPECIAIS DO SCA-05		
PARÂMETRO		DESCRIÇÃO
FUNÇÕES ESPECIAIS	P432	Aciona Função STOP ( servomotor desacelera e trava o eixo)
	P435	Aciona Função MOVE
	P436	Seleciona Ciclos de Posicionamentos
	P437	Programa referência de Fração de Volta para a Função MOVE na Saída Digital
	P438	Programa referência de Voltas para a Função MOVE na Saída Digital
	P439	Opção Ciclo Automático da Função MOVE (ciclo escolhido em <i>loop</i> )
	P441 a P450	Função MOVE: Definem à qual Ciclo pertence cada um dos Posicionamentos
	P451 a P460	Função MOVE: Definem de que forma serão feitos os Posicionamentos
	P461 a P470	Função MOVE: Timer (tempo de repouso) entre os Posicionamentos
	P471 a P480	Função MOVE: Fração de Voltas para cada Posicionamento Programado
	P481 a P490	Função MOVE: Número de Voltas para cada Posicionamento Programado

**Quadro 19 - Parâmetros das funções especiais do SCA-05 .**

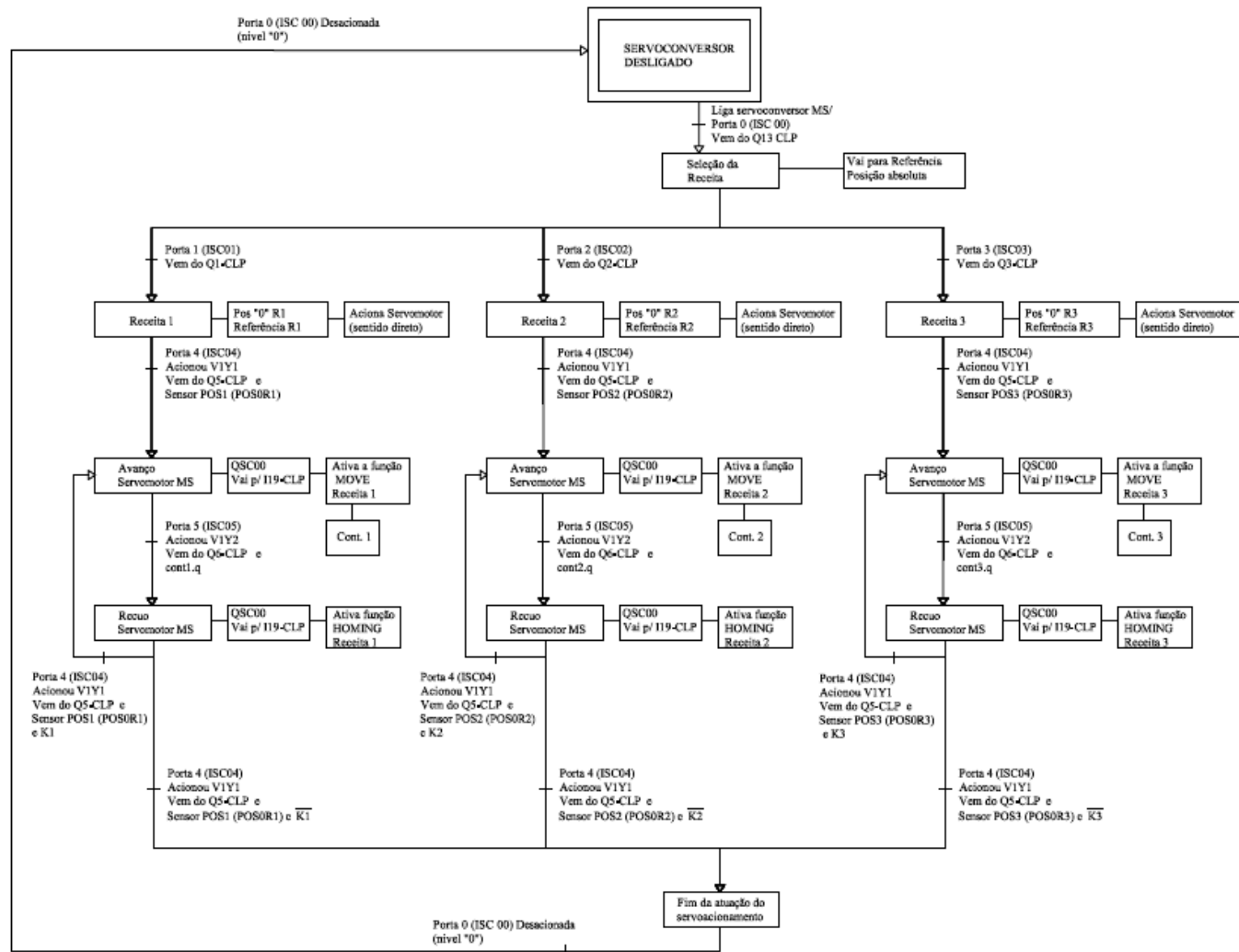
Fonte: Adaptado de Catálogo WEG - Guia de Aplicação de Servoacionamentos (2012).

Com a adição da placa opcional posicionadora POS-02 no servoconversor SWA-05, além de aumentar o número de entradas digitais, foi possível utilizar a função TCURVE e a função HOMING para ativar diversos ciclos de posicionamento para avanço e recuo do cilindro de repuxo (CR) no eixo vertical, o que não seria possível se utilizássemos somente os parâmetros do modelo *Standard* do SCA-05. Também, com a placa posicionadora, foi possível programar a posição de referência absoluta necessária para a realização da lógica de programação do servoacionamento, além de haver a possibilidade de se programar através de Diagrama de Contatos (*Ladder*), o que facilitou bastante no caso do projeto estudado.

Como já mencionado anteriormente, optou-se por realizar 20 séries de repuxo para a Receita 1, 15 séries de repuxo para Receita 2 e 10 séries de repuxo para a Receita 3. Na Receita 1, portanto, devem-se selecionar 20 posicionamentos de avanço pela função TCURVE e 20 posicionamentos de recuo efetuado pela seleção da função HOMING; de mesma forma, na Receita 2, devem-se selecionar 15 posicionamentos de avanço pela função TCURVE e 15 posicionamentos de recuo efetuado pela seleção da função HOMING; e finalmente, para a Receita 3, devem ser selecionados, 10 posicionamentos de avanço pela função TCURVE e 10 posicionamentos de recuo executado pela seleção da função HOMING. Todos os avanços e recuos do cilindro de repuxo (CR) na posição vertical realizados pela ativação do servomotor, devem ser executados de forma intercalada para garantir que ocorra o movimento de repuxo da panela como realmente é feito manualmente.

### 5.5.2 GRAFCET NÍVEL 1

Analisando o diagrama operacional do sistema apresentado na Figura 54 foi possível avaliar cada etapa deste processo de forma sequencial, da mesma maneira como foi realizado para o PLC, porém agora sob o aspecto do servoconversor. Com isso, pode-se descrever um fluxograma que descreve cada passo do sistema, desde a ativação do servoconversor até o seu desligamento. A Figura 58 apresenta o GRAFCET nível 1 simplificado do servoconversor destacando todas as etapas, transições e ações envolvidas na atuação do servomotor no sistema, detalhando o que deve ocorrer em cada um destes elementos de forma sequencial.



**Figura 58 - GRAFCET nível 1 do servoconversor.**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.**

Para que seja possível uma melhor visualização do fluxograma da Figura 58, será disponibilizada uma versão do GRAFCET nível 1 do servoconversor num tamanho maior, contida no Apêndice D deste trabalho.

### 5.5.3 GRAFCET NÍVEL 2

O GRAFCET nível 2 do servoconversor com detalhes apenas das etapas, transições, ações e receptividades expostas no GRAFCET nível 1 por meio da sequencialização dos arcos orientados foi realizada a partir do fluxograma detalhado anteriormente. Todas as etapas e transições foram devidamente enumeradas (E0, E1, E2,...,T1, T2, T3,...) bem como as receptividades (variáveis de entrada) e ações (variáveis de saída) que foram apresentadas de acordo com a respectiva porta de entrada e saída, já definidas no item 4.4.1.

A Figura 59 exhibe o GRAFCET nível 2 do servoconversor na íntegra detalhando as etapas, transições, receptividades e ações do sistema do *retrofit* do torno mecânico e mais especificamente da atuação do servomotor neste sistema. De mesma forma, para que seja possível uma melhor visualização do fluxograma da Figura 59, será colocado no Apêndice E deste trabalho uma versão de maior tamanho do GRAFCET nível 2 do servoconversor.

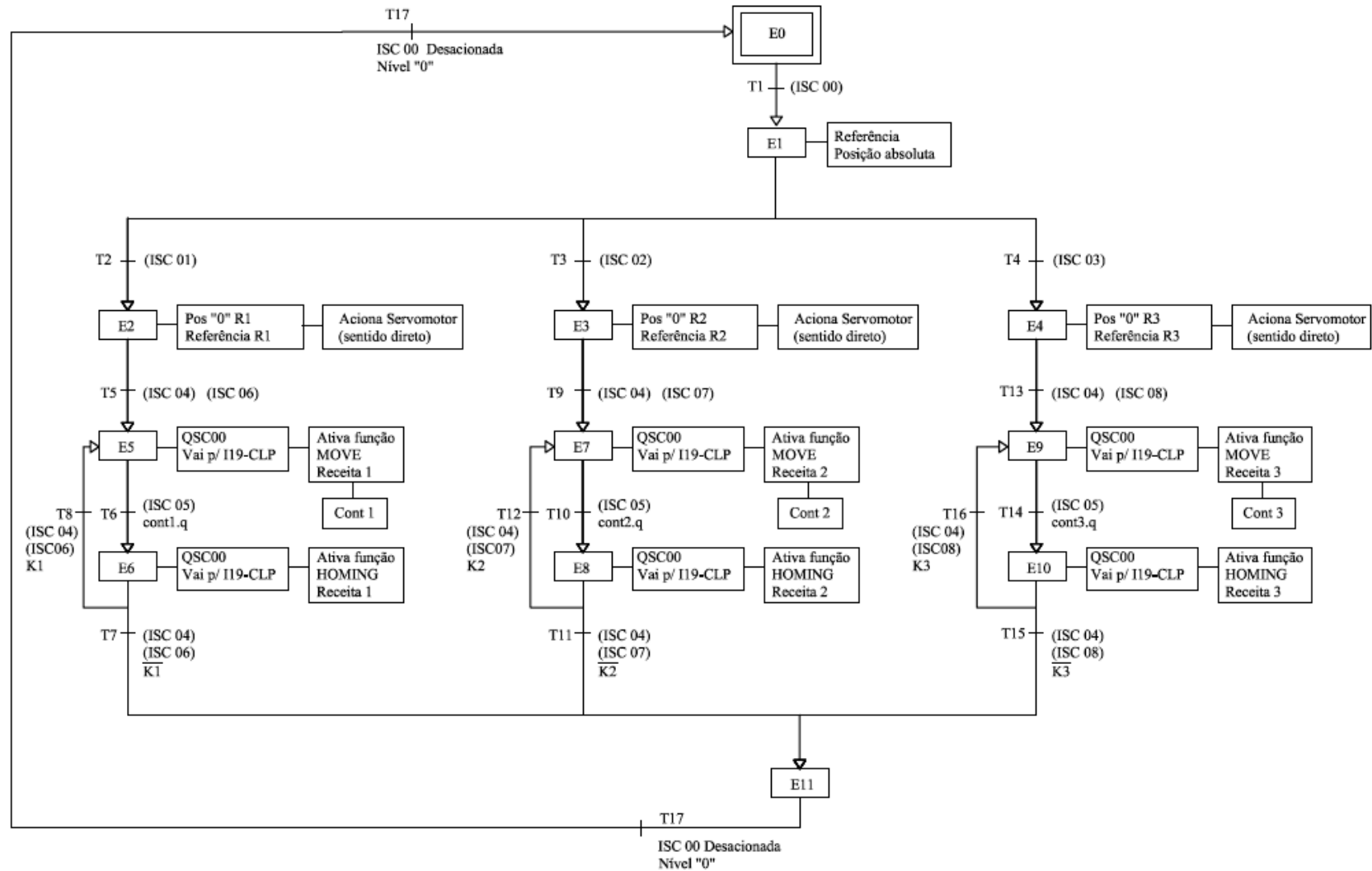


Figura 59 – GRAFCET nível 2 do servoconversor.  
 Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

A partir do GRAFCET nível 2 do servoconversor, podem-se definir as memorizações internas do servoconversor de cada uma das etapas do programa, conforme expõe o Quadro 20 abaixo.

ETAPA	MEMÓRIA SCA-05
Etapa 0	E0
Etapa 1	E1
Etapa 2	E2
Etapa 3	E3
Etapa 4	E4
Etapa 5	E5
Etapa 6	E6
Etapa 7	E7
Etapa 8	E8
Etapa 9	E9
Etapa 10	E10
Etapa 11	E11

**Quadro 20 - Memorização interna no servoconversor das etapas do programa.**  
Fonte: Autoria própria (2013).

De mesma forma, através da análise do GRAFCET nível 2 do servoconversor, também se podem definir as memorizações internas do servoconversor de cada uma das transições do programa, conforme expõe o Quadro 21 abaixo.

TRANSIÇÃO	MEMÓRIA SCA-05	TRANSIÇÃO	MEMÓRIA SCA-05
Entre etapas 0 e 1	T1	Entre etapas 7 e 8	T10
Entre etapas 1 e 2	T2	Entre etapas 8 e 7	T12
Entre etapas 1 e 3	T3	Entre etapas 8 e 11	T11
Entre etapas 1 e 4	T4	Entre etapas 4 e 9	T13
Entre etapas 2 e 5	T5	Entre etapas 9 e 10	T14
Entre etapas 5 e 6	T6	Entre etapas 10 e 9	T16
Entre etapas 6 e 5	T8	Entre etapas 10 e 11	T15
Entre etapas 6 e 11	T7	Entre etapas 11 e 0	T17
Entre etapas 3 e 7	T9		

**Quadro 21- Memorização interna no servoconversor de transições do programa.**  
Fonte: Autoria própria (2013).

#### 5.5.4 DIAGRAMA DE CONTATOS

Para a realização do Diagrama de Contatos do servoconversor foi necessário dispor as etapas, ações, transições e receptividades definidas pelo GRAFCET nível

2 de forma hierárquica, seguindo uma cronologia de atuações no sistema, da mesma forma como foi realizado na programação do PLC. A Figura 60 demonstra o Diagrama de Contatos do servoconversor demonstrando os contatos NA e NF para ativação das transições, etapas e ações do sistema.

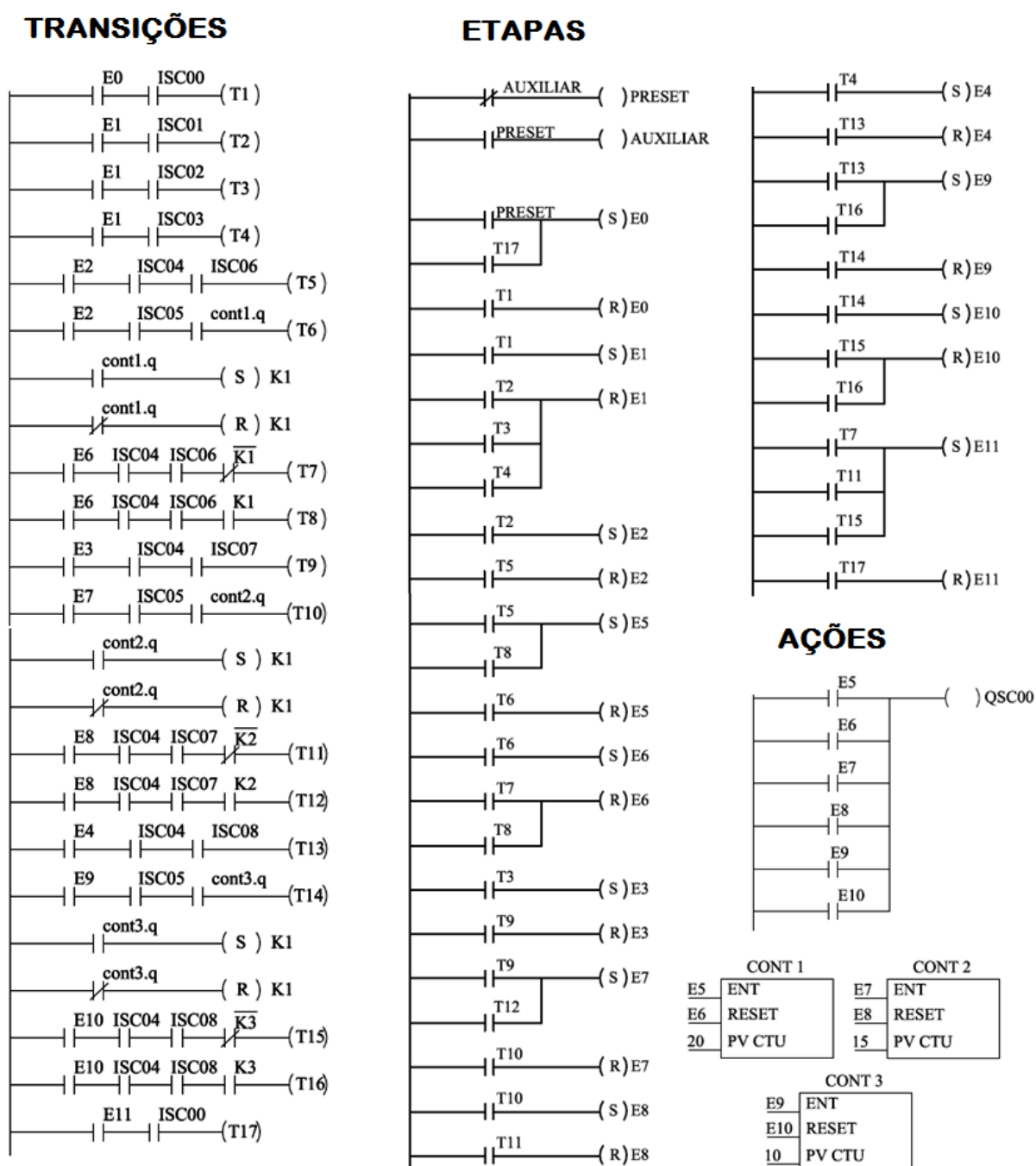


Figura 60 - Diagrama de contatos (*Ladder*) do servoconversor.  
Fonte: Autoria própria (2013), software AutoCAD 2008.

Para possibilitar uma melhor visualização do diagrama demonstrado na Figura 60, será disponibilizada uma versão do Diagrama de Contatos (*Ladder*) do servoconversor num tamanho maior, incluída no Apêndice F deste trabalho.

## 5.6 TESTES

Após a finalização dos Diagramas de Relés tanto para o PLC quanto para o servoconversor, foi necessário simular a programação através de *softwares* específicos para cada equipamento. As ferramentas computacionais utilizadas para a realização dos testes são disponibilizadas gratuitamente pela própria fabricante dos equipamentos, que no caso é a WEG. Assim, os programas utilizados foram: TWP03-PCLink /WEG para o PLC TPW03 e *Weg Ladder Programmer* (WLP) no caso do servoconversor SCA-05 com placa posicionadora POS-02.

Ambos os *softwares* são programáveis através da programação *Ladder* (Diagrama de Contatos), portanto poderiam ser utilizados para avaliar a programação feita anteriormente. No entanto, por ter sido escolhido um tipo de PLC que não tem disponível nos laboratórios da UTFPR, a simulação teve de ser feita separadamente para cada equipamento, somente via *software*, e sem possibilidade de conexão entre o PLC e o servoconversor. Assim, para que o sistema não demonstre erros de simulação por não haver esta interligação entre os equipamentos, os sinais de entradas e saídas foram cuidadosamente detalhados e especificados ao longo deste trabalho tanto para o PLC quanto para o servoconversor.

### 5.6.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

Para a simulação do Diagrama de Contatos do PLC foi utilizado o *software* TWP03-PCLink da WEG. Esta ferramenta computacional pode ser programada em *Ladder* ou lista de instruções. Segundo o Manual de Programação do TPW03-PCLink WEG (2012), existem seis tipos de endereços de memória que são utilizados neste programa de forma que o Diagrama de Relés, ou linguagem *Ladder*, mostrado anteriormente na Figura 57 foi devidamente adaptado a estas variáveis. Os endereços de memória são:

- X: Identifica todas as entradas físicas e diretas do PLC;
- Y: Identifica todas as saídas físicas e diretas do PLC;
- T: Identifica todos os temporizadores internos do PLC;
- C: Identifica os contadores internos do PLC;
- M e S: Marcadores auxiliares que podem ser utilizados para operações internas do programa do PLC.

Desta forma, o programa foi baseado nestes endereços de memória de forma que a adaptação de cada variável de entrada e saída do Diagrama de Contatos feito anteriormente correspondentes a cada variável de entrada e saída do software TWP03-PCLink estão no Quadro 22 e Quadro 23, respectivamente.

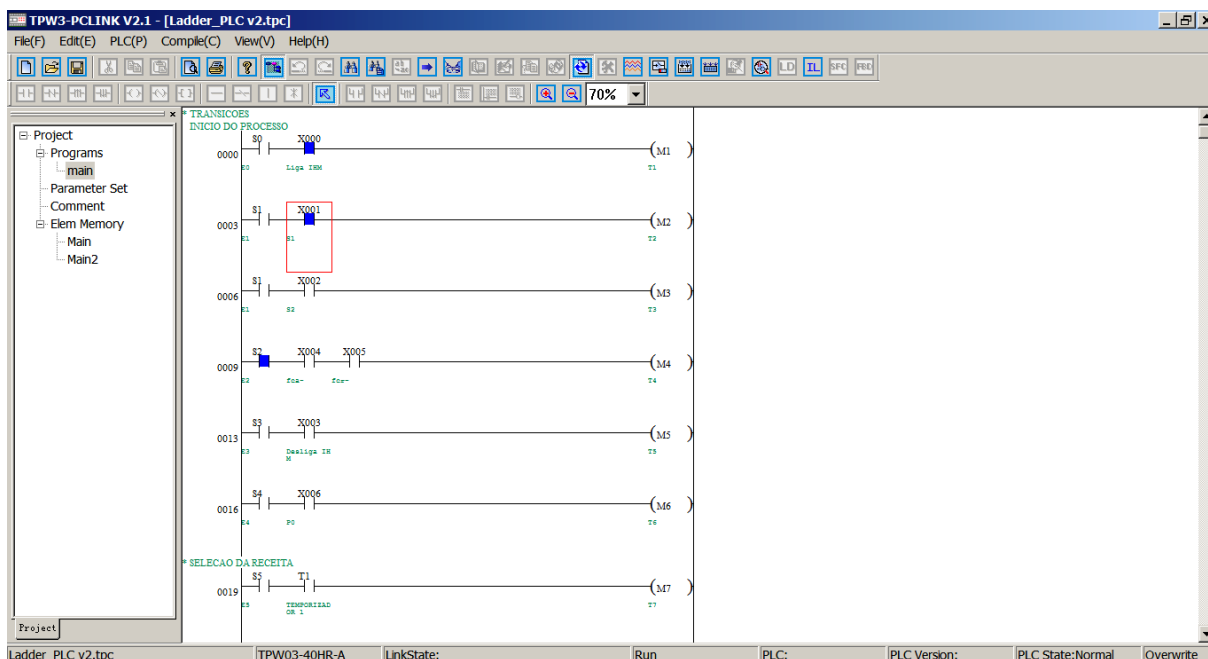
<b>SENSIBILIDADE</b>	<b>ENTRADA PLC</b>	<b>TPW03-PCLINK</b>
Liga IHM	I0	X000
Desliga IHM	I3	X003
S1	I1	X001
S2	I2	X002
S3 (R1)	I7	X007
S4 (R2)	I8	X021
S5 (R3)	I9	X022
S6 (Continua IHM)	I20	X020
P0	I6	X006
P1A	I11	X011
P1B	I10	X010
P2A	I13	X013
P2B	I12	X012
P3A	I15	X015
P3B	I14	X014
fca-	I4	X004
fcr-	I5	X005
fcac+	I17	X017
fcac-	I16	X016
fcc-	I18	X024
FUNÇÃO TCURVE/HOMING	I19	X023

**Quadro 22 - Variáveis de entrada.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

AÇÃO	SAÍDA PLC	TPW03-PCLINK
Acionar SM	Q13	Y013
Acionar MT	Q14	Y014
Acionar MB	Q4	Y004
V2Y1	Q7	Y007
V2Y2	Q8	Y015
V3Y1	Q9	Y016
V3Y2	Q10	Y010
V4Y1	Q11	Y011
V4Y2	Q12	Y012
V1Y1	Q5	Y005
V1Y2	Q6	Y006
Selecionar R1	Q1	Y001
Selecionar R2	Q2	Y002
Selecionar R3	Q3	Y003
Texto IHM	Q0	Y000

**Quadro 23 - Variáveis de saída.**  
**Fonte: Autoria própria (2013).**

As etapas anteriormente representadas pela letra “E” foram substituídas pelo marcador auxiliar “S” e as transições anteriormente representadas por “T” foram adaptados para o marcador auxiliar “M”. Algumas partes da simulação do programa do PLC estão expostas da Figura 61 à Figura 64.



**Figura 61 - Simulação do Diagrama de Contatos (Ladder) do PLC (parte 1).**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software TPW03-PCLink V. 2.1.**

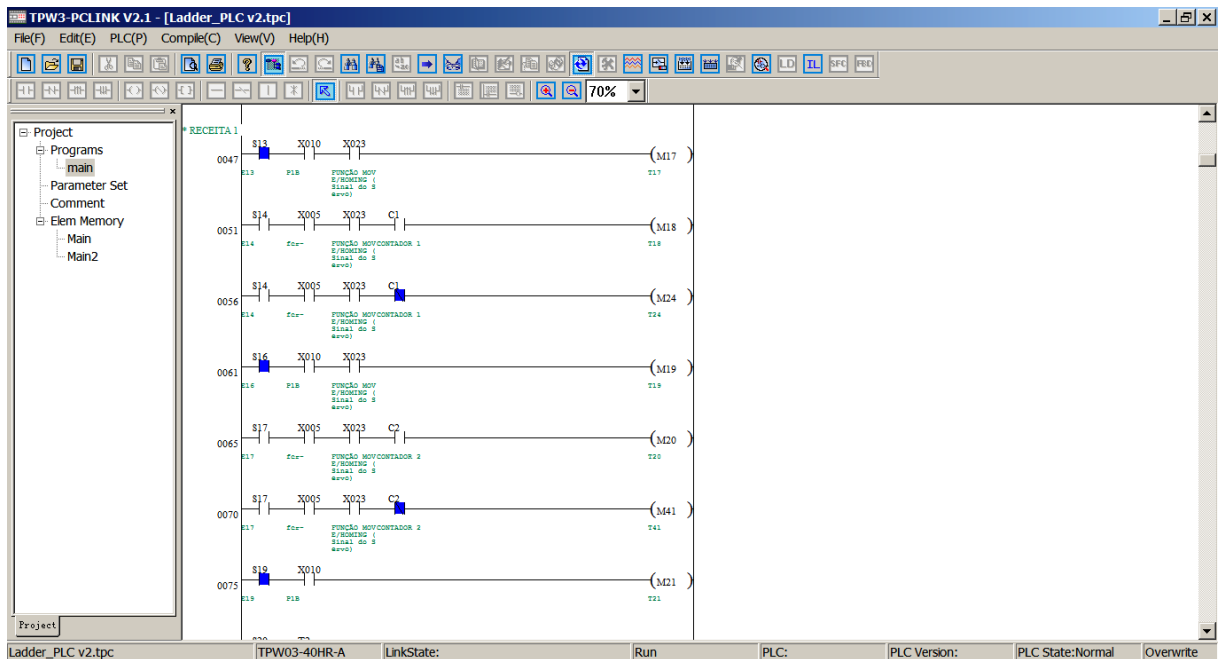


Figura 62 - Simulação do Diagrama de Contatos (*Ladder*) do PLC (parte 2).  
 Fonte: Autoria própria (2013), software TPW03-PCLink V. 2.1.

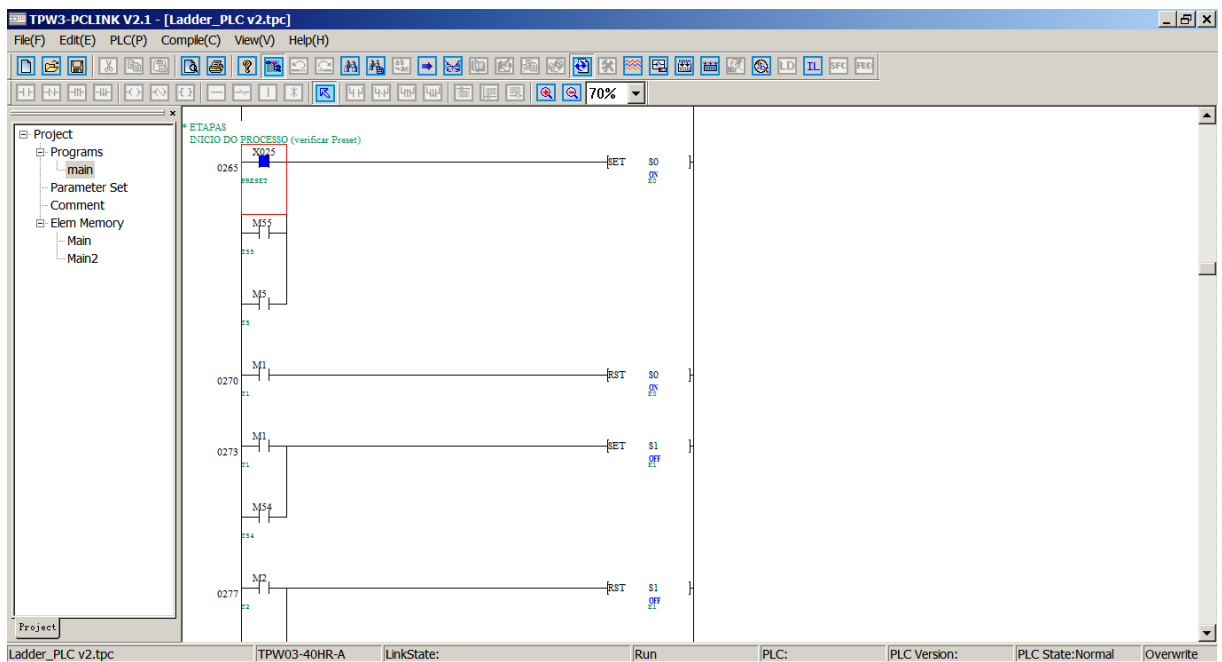
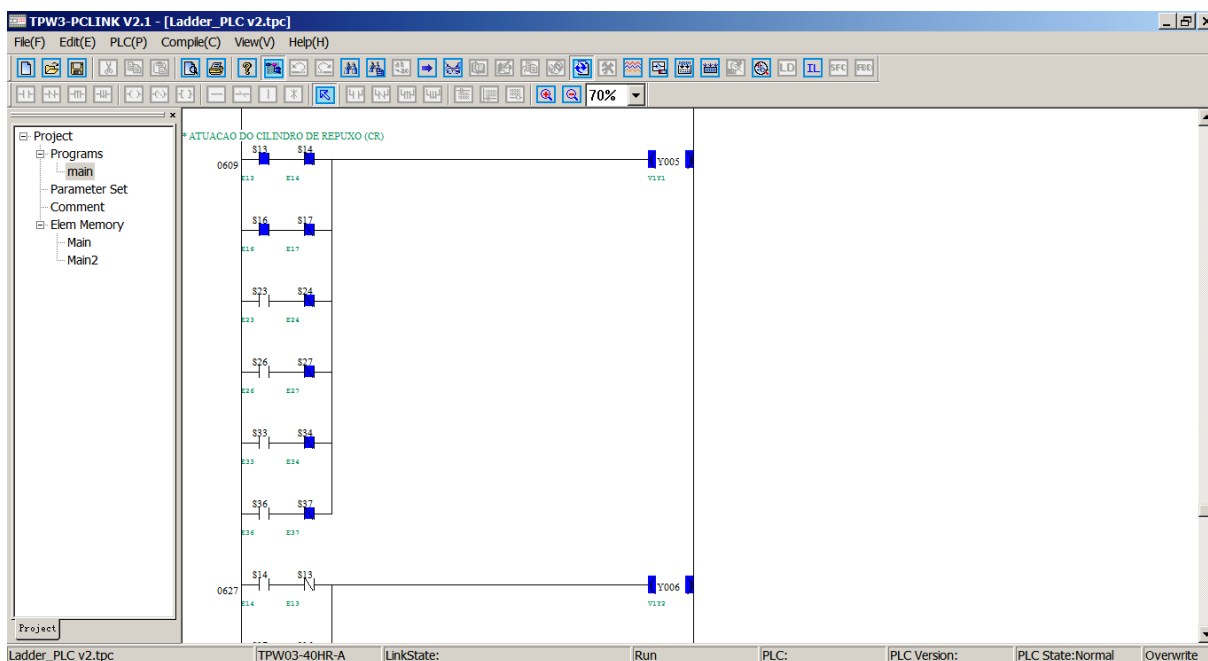


Figura 63 - Simulação do Diagrama de Contatos (*Ladder*) do PLC (parte 3).  
 Fonte: Autoria própria (2013), software TPW03-PCLink V. 2.1.



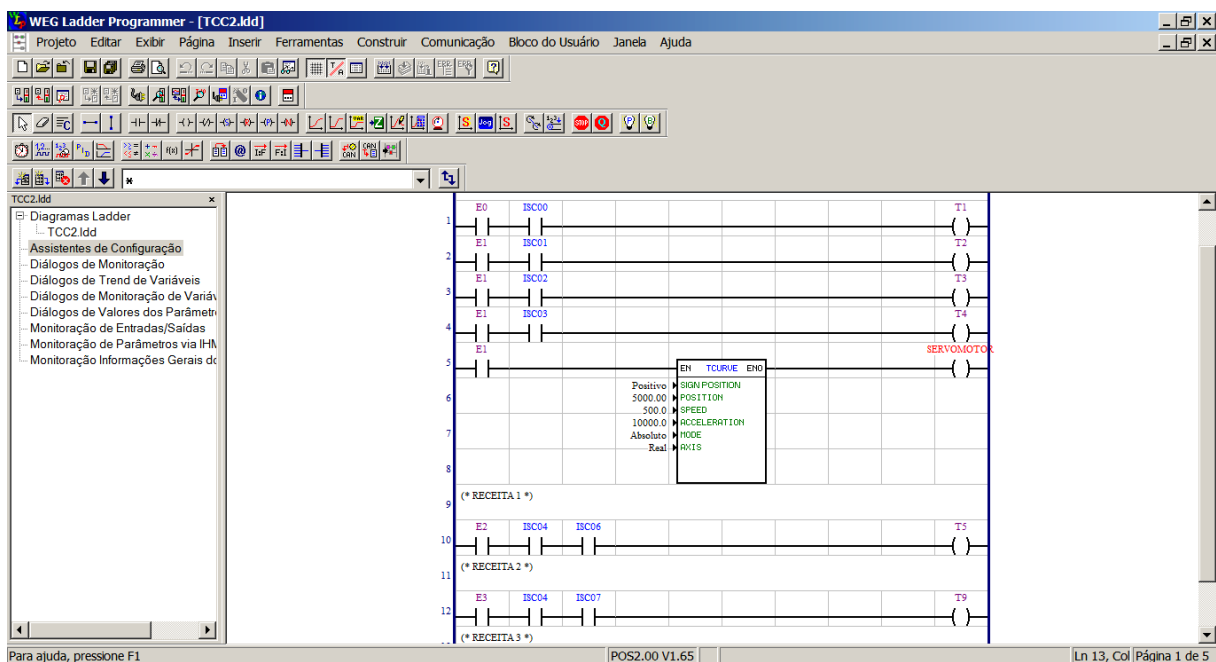
**Figura 64 - Simulação do Diagrama de Contatos (Ladder) do PLC (parte 4).**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software TPW03-PCLink V. 2.1.**

## 5.6.2 SERVOCONVERSOR

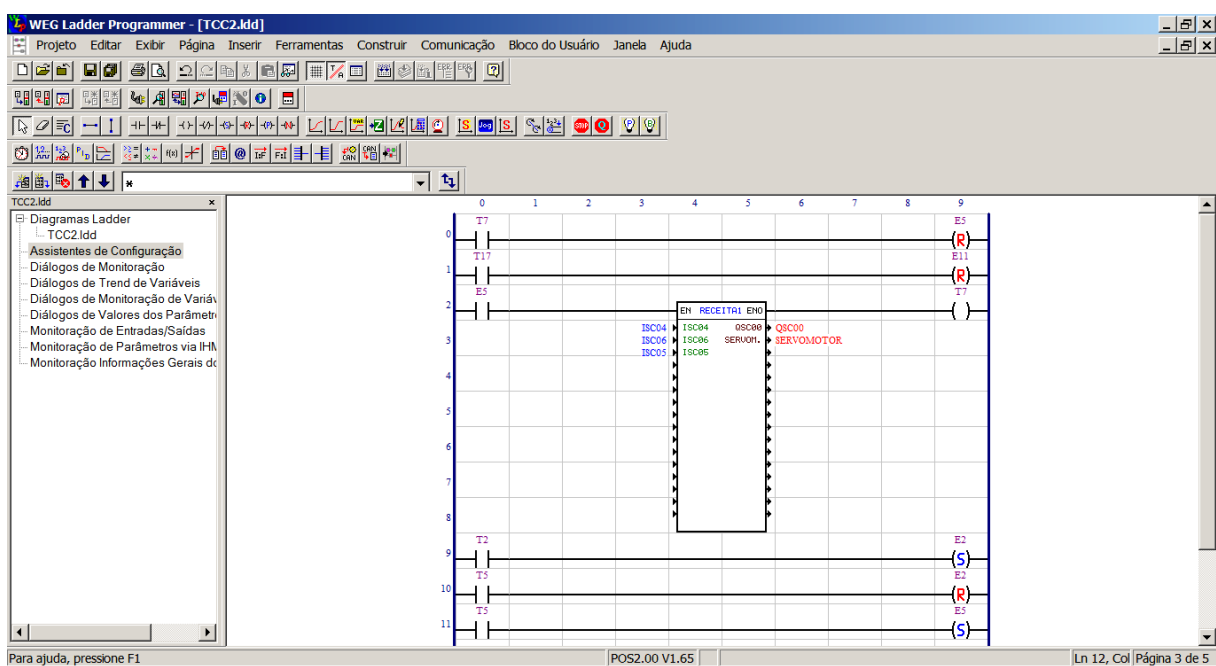
Para a simulação do Diagrama de Contatos do servoconversor foi utilizado o *software Weg Ladder Programmer (WLP)* da WEG. Esta ferramenta computacional é própria para esta aplicação uma vez que foi utilizada a placa posicionadora POS-02 podendo ser programada via *Ladder* (Diagrama de Relés) principalmente quando envolvem sistemas mais complexos. Segundo o Manual do Usuário do *Weg Ladder Programmer* (2012), anteriormente à simulação, deve ser escolhido o tipo de equipamento utilizado para desenvolver a programação, que neste caso é pela placa posicionadora POA-02, e após este processo deve-se colocar as variáveis de entrada e saída de acordo com o tipo de endereço estabelecido pelo WLP. Os endereços de entradas físicas são dados por %IX, as saídas físicas são especificados pó %QY, os marcadores auxiliares são apresentados como %MX e os parâmetros de usuário são dados por %UW.

Nesta ferramenta computacional é possível colocar “tags”, ou etiquetas, para demarcação de cada endereçamento assim facilitando a identificação das variáveis durante a simulação. Neste caso, foram utilizados para demarcação das “tags”, o mesmo endereço utilizado no Diagrama de Contatos do servoconversor demonstrado na Figura 60, tanto para etapas e transições quanto para entradas e saídas do

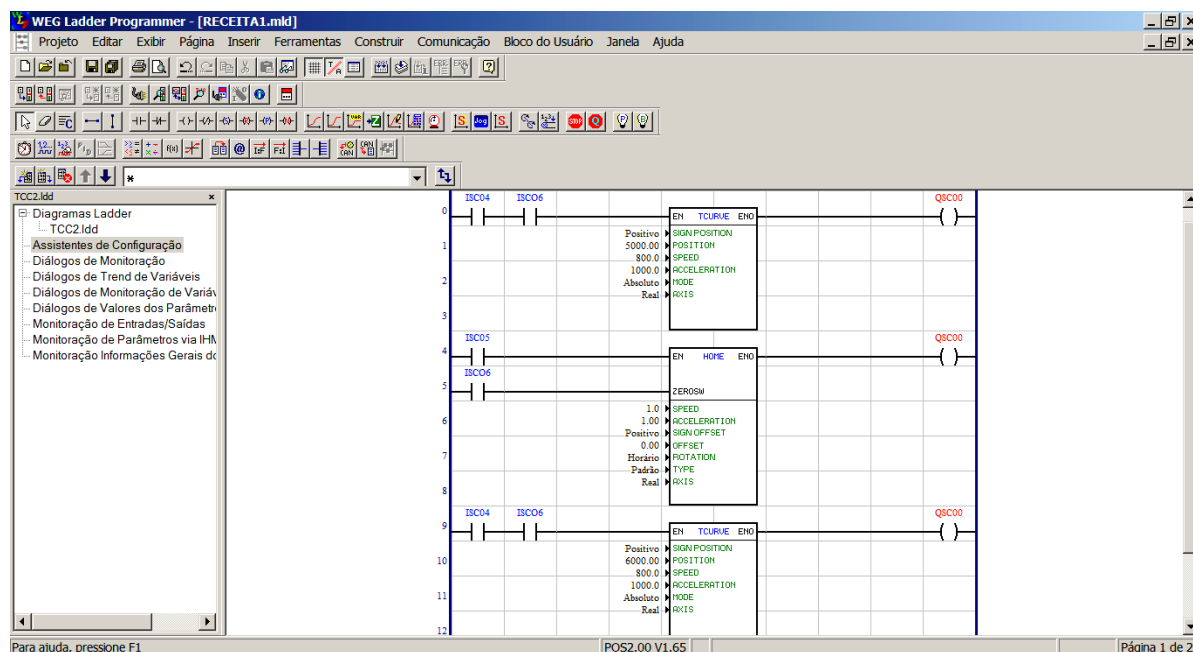
sistema. Algumas partes da simulação do *Ladder* do servoconversor SCA-05 com placa posicionadora POS-02 no software *Weg Ladder Programmer* são apresentadas da Figura 65 à Figura 67. Os blocos de funções utilizados foram: TCURVE, HOME e USERFB.



**Figura 65 - Simulação do Diagrama *Ladder* do servoconversor (parte 1).**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software *Weg Ladder Programmer* V. 9.11.**



**Figura 66 - Simulação do Diagrama *Ladder* do servoconversor (parte 2).**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software *Weg Ladder Programmer* V. 9.11.**



**Figura 67 - Simulação do Diagrama Ladder do servoconversor (parte 3).**  
**Fonte: Autoria própria (2013), software Weg Ladder Programmer V. 9.11.**

É importante ressaltar que o software *Weg Ladder Programmer* funciona somente através de monitoramento online, ou seja, a simulação só pode ser realizada com o computador conectado à placa posicionadora POS-02 inserida no SCA-05. Neste caso, foi utilizado o laboratório de servoacionamento da UTFPR para realização da simulação do programa do servoconversor.

## 5.7 CONCLUSÕES

Após a realização da programação através do GRAFCET e Diagrama de Contatos (*Ladder*) tanto para PLC quanto para o servoconversor, foi possível validar a lógica de programação executada para ambos os equipamentos através dos testes efetuados para cada dispositivo. As simulações realizadas através dos softwares TPW03-PCLink e *Weg Ladder Programmer*, demonstraram coerência nos resultados divulgando o que realmente se esperava com a lógica de programação para cada caso por meio da execução da malha de controle. Apesar dos equipamentos não estarem conectados fisicamente, pôde-se reproduzir perfeitamente a interação entre PLC e servoconversor, uma vez que as variáveis de entrada e saída foram cuidadosamente especificadas de um equipamento para outro, extinguindo, com isso, possíveis erros de sincronia no sistema.

## 6 VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO RETROFIT DO SISTEMA

Alguns métodos matemáticos são utilizados pelas empresas nas decisões para implementação de novos projetos. Geralmente, através de cálculos financeiros, a viabilidade técnico-econômica é analisada. Este trabalho utilizará dois desses métodos financeiros para análise da viabilidade técnico-econômica do *retrofit* do torno mecânico.

Em ambos os métodos, o fluxo de caixa é utilizado como uma de suas variáveis. Abaixo, a Figura 68 ilustra o fluxo de caixa de uma empresa e investimento do projeto.

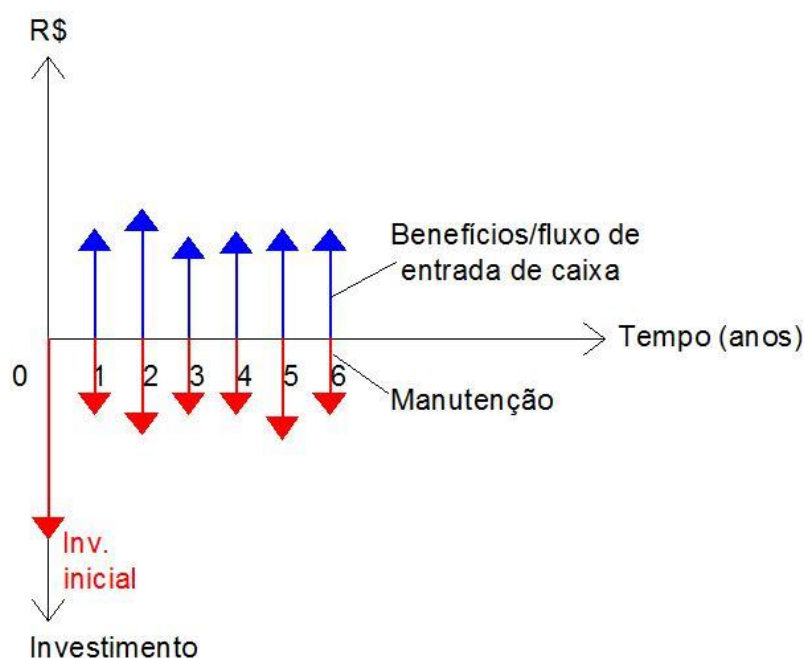


Figura 68 - Fluxo de caixa.  
Fonte: Gitman (2002).

O primeiro desses cálculos financeiros é o *payback*. De acordo com Gitman (2002), o termo *payback* ou tempo de retorno é usado para designar a avaliação de investimentos proposto em uma empresa. O período de *payback* é o período de tempo necessário para que o investidor recupere o valor total do investimento através do seu fluxo de entrada de caixa. A seguir, a Equação 1 demonstra o tempo de retorno e é representada por:

$$\text{PAYBACK [anos]} = \frac{I}{(B-M)} \quad (1)$$

Onde:

I: o valor do investimento [R\$]

B: benefício (capacidade de retorno para a empresa ou fluxo de entrada de caixa) [R\$/ano]

M: manutenção [R\$/ano]

Analisando a fórmula, pode-se concluir que quanto maior o tempo de *payback*/retorno, menos viável será o projeto proposto. Ou seja, quando o tempo de retorno é usado para aceitar ou rejeitar decisões, os seguintes critérios devem ser considerados: se o período de *payback* é menor do que o período máximo aceitável, o projeto é viável; caso esse período seja maior, o projeto deve ser rejeitado.

Apesar de este método ser muito utilizado e conhecido, ele é pouco preciso e menos sofisticado entre os outros artifícios de cálculo financeiro, pois, além de não usar taxas de juros, não considera o valor do dinheiro no tempo (GITMAN, 2002).

Outro método para analisar a viabilidade econômica de um novo projeto é Valor presente líquido (VPL). (URTADO et al., 2009). Este método é um dos mais usados para tomar decisões sobre investimentos. A Equação 2 demonstra o VPL, calculado da seguinte maneira:

$$VPL = -I + \sum_1^n \frac{(B-M)}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde:

B: benefício (capacidade de retorno para a empresa ou fluxo de entrada de caixa) [R\$/ano];

M: manutenção [R\$/ano];

i: Taxas de desconto do projeto;

n: vida útil do projeto/equipamento [anos].

A análise feita para a tomada de decisão de implementação ou não do novo projeto considera que o projeto pode ser aceito se o valor de VLP é maior que zero ( $VPL > 0$ ). Se o valor for menor que zero ( $VLP < 0$ ), o projeto é inviável.

Deste modo, conforme citado anteriormente, este trabalho irá analisar a viabilidade técnico-econômica do *retrofit* do torno mecânico da empresa DeLucca Alumínio utilizando os métodos de *payback* e do valor presente líquido. A seguir serão a-

presentados os valores do investimento e também as variáveis necessárias para os cálculos financeiros.

Foram realizados orçamentos dos equipamentos hidráulicos e de controle. A empresa C.O. Muller comércio de motores e bombas, localizada na Avenida Marechal Floriano Peixoto, na cidade de Curitiba, forneceu a cotação do item 1 ao item 5, da Tabela 3 apresentada abaixo.

**Tabela 3 - Investimento para implementação do braço mecânico.**

ITEM	MATERIAL	DESCRIÇÃO	QTD	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL
1	Sensor indutivo	SIPRATEC - sensor não faceado 30mm	10	R\$ 50,00	R\$ 500,00
2	Servoconversor	WEG - SCA05	1	R\$ 3.911,20	R\$ 3.911,20
3	Servomotor	WEG - SWA562-6,1-20	1	R\$ 2.909,04	R\$ 2.909,04
4	IHM	WEG - PWS 6400F-S	1	R\$ 1.359,00	R\$ 1.359,00
5	PLC	WEG - TPW03 20SR-A	1	R\$ 934,00	R\$ 934,00
6	Unidade Hidráulica	Parker	1	R\$ 85.000,00	R\$ 85.000,00
7	Cilindro Hidráulico	Parker	7	R\$ 2.500,00	R\$ 17.500,00
8	Kit conexões e mangueira		1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
9	Transdutor de Posição		6	R\$ 2.300,00	R\$ 13.800,00
10	Mão de obra	Serviço de programação/implementação/instalação	1	R\$ 30.000,00	R\$ 30.000,00
11	Estrutura mecânica	Mesa, trilhos, rosca sem fim e outras peças mecânicas	1	R\$ 10.000,00	R\$ 10.000,00
12	Quadro elétrico de força e comando		1	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00
<b>INVESTIMENTO TOTAL</b>				<b>R\$ 187.913,24</b>	

Fonte: C.O. Muller (2013) e Hidromatic (2013).

A empresa Hidromatic – ALS Automação industrial, também situada na cidade de Curitiba (PR), contribuiu com este trabalho elaborando a cotação do item 6 ao item 10, mostrados na Tabela 3. Esta tabela está apresentando os valores individuais de cada um dos principais equipamentos considerados neste trabalho. O investimento total do *retrofit* do torno também foi apresentado.

De acordo com dados fornecidos pela empresa DeLucca Alumínio, os valores vendidos comercialmente e custos embutidos em cada tipo de panela utilizada para o desenvolvimento deste trabalho estão listados na Tabela 4. Estes dados são ne-

cessários para os cálculos do *payback* e do valor presente líquido (VLP) que determinarão a viabilidade técnico-econômica deste projeto.

**Tabela 4 - Valores comerciais e preços de custo das panelas.**

ITEM	PREÇO COMERCIAL (Venda)	PREÇO DE CUSTO	LUCRO (%)	LUCRO (R\$)	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DIÁRIA (Painelas/Dia)
Painela nº 26	R\$ 20,47	R\$ 18,42	10	R\$ 2,05	150
Painela nº 34	R\$ 30,72	R\$ 27,65	10	R\$ 3,07	100
Painela nº 45	R\$ 61,00	R\$ 54,90	10	R\$ 6,10	80

Fonte: DeLucca Alumínio Ltda (2012).

A Tabela 4 apresenta os valores atuais de comercialização das painelas produzidas pelo torno e estudadas neste trabalho.

Segundo a empresa, a margem de lucro é a mesma para qualquer tamanho de painela fabricada. Os cálculos de *payback* e VPL serão feitos para os três tamanhos de painelas. A Tabela 4 mostra que para cada modelo de caçarola a capacidade de produção diária por unidade é distinta. Além disso, para os cálculos serão considerados 240 dias úteis no ano de fabricação de cada modelo de painela, ou seja, 8 horas por dia e 5 dias por semana. Também, será considerada uma vida útil (n) de 10 anos do equipamento e, um custo anual de manutenção R\$5.000,00.

Aplicando os dados fornecidos na equação de *payback* para a caçarola de número 26, tem-se:

$$B = \text{quantidade de painelas produzidas} \times \text{valor de venda}$$

$$B = (150\text{unid} \times 240\text{dias}) \times R\$20,47$$

$$B = 763.920,00 \text{ [R\$/ano]}$$

$$M = \text{valor manutenção} + \text{valor de custo}$$

$$M = R\$5.000,00 + (R\$18,42 \times 150\text{unid} \times 240\text{dias})$$

$$M = 668.120,00 \text{ [R\$/ano]}$$

$$\text{PAYBACK [anos]} = \frac{I}{(B - M)}$$

$$PAYBACK \text{ [anos]} = \frac{187.913,24}{(763.920,00 - 668.120,00)}$$

$$PAYBACK \text{ [anos]} = \mathbf{1,96 \text{ [anos]}}$$

Ou seja, de acordo com o cálculo de *payback*, a empresa irá recuperar o capital investido no prazo de 1,96 anos ou, aproximadamente, 24 meses.

Conforme citado, o VPL também será calculado.

$$VPL = -I + \sum \frac{(B - M)}{(1 + i)^n}$$

$$VPL = -187.913,24 + \sum_i^{10} \frac{(763.920,00 - 668.120,00)}{(1 + 0,05)^i}$$

$$VPL = -187.913,24 + 739.742,19$$

$$VPL = \mathbf{+551828,95}$$

Para a panela de número 34, tem-se:

*B = quantidade de painelas produzidas × valor de venda*

$$B = (100\text{unid} \times 240\text{dias}) \times R\$30,72$$

$$B = 737.280,00 \text{ [R\$/ano]}$$

*M = valor manutenção + valor de custo*

$$M = R\$5.000,00 + (R\$27,65 \times 100\text{unid} \times 240\text{dias})$$

$$M = 668.600,00 \text{ [R\$/ano]}$$

$$PAYBACK \text{ [anos]} = \frac{I}{(B - M)}$$

$$PAYBACK \text{ [anos]} = \frac{187.913,24}{(737.280,00 - 668.600,00)}$$

$$PAYBACK \text{ [anos]} = \mathbf{2,74 \text{ [anos]}}$$

De acordo com o cálculo de *payback*, a empresa irá recuperar o capital investido no prazo de 2,74 anos ou, aproximadamente, 33 meses.

O cálculo do VPL é mostrado abaixo.

$$VPL = -I + \sum \frac{(B - M)}{(1 + i)^n}$$

$$VPL = -187.913,24 + \sum_i^{10} \frac{(737.280,00 - 668.600,00)}{(1 + 0,05)^i}$$

$$VPL = -187.913,24 + 530.328,00$$

$$VPL = +\mathbf{342414,76}$$

E, os cálculos de *payback* e VPL para o modelo de número 45 são mostrados a seguir.

$B = \text{quantidade de painéis produzidas} \times \text{valor de venda}$

$$B = (80\text{unid} \times 240\text{dias}) \times R\$61,00$$

$$B = 1.171.200,00 [R\$/ano]$$

$M = \text{valor manutenção} + \text{valor de custo}$

$$M = R\$5.000,00 + (R\$54,90 \times 80\text{unid} \times 240\text{dias})$$

$$M = 1.059.080,00 [R\$/ano]$$

$$\text{PAYBACK [anos]} = \frac{I}{(B - M)}$$

$$\text{PAYBACK [anos]} = \frac{187.913,24}{(1.171.200,00 - 1.059.080,00)}$$

$$\text{PAYBACK [anos]} = \mathbf{1,676 [anos]}$$

Ou seja, de acordo com o cálculo de *payback*, a empresa irá recuperar o capital investido no prazo de 1,676 anos ou, aproximadamente, 21 meses.

A seguir, o cálculo do VLP:

$$VPL = -I + \sum \frac{(B - M)}{(1 + i)^n}$$

$$VPL = -187.913,24 + \sum_i^{10} \frac{(1.171.200,00 - 1.059.080,00)}{(1 + 0,05)^i}$$

$$VPL = -187.913,24 + 865.763,903$$

$$VPL = +\mathbf{677.850,663}$$

## 6.1 LINHAS DE CRÉDITO

Ao pensar na possibilidade de implementação do *retrofit* do torno mecânico, é indispensável avaliar algumas linhas de crédito que auxiliam o empresário no investimento inicial para o seu negócio. Linhas de crédito são limites de crédito ou empréstimos concedidos a pessoas físicas ou jurídicas. Esses empréstimos são oferecidos por Bancos e Financeiras para micro e pequenas empresas. O limite crédito é calculado através da análise de renda por mês. A Tabela 5 apresenta as linhas de crédito do Banco do Brasil.

Tabela 5 - Linhas de crédito do Banco do Brasil.

LINHAS DE CRÉDITO	PRAZOS (Meses)	TAXAS ANTIGAS (% ao mês)	TAXAS BOM PRA TODOS (% ao mês)
Crédito Veículo	02 a 58	a partir de 1,24	a partir de 0,77
Crédito Veículo Próprio	02 a 58	a partir de 2,57	a partir de 1,27
Financiamento Imobiliário	19 a 360	a partir de 8,4 (a.a)	a partir de 7,9 (a.a.)
Crédito Imóvel Próprio	02 a 180	----	1,45 a 1,53
Crédito Consignado INSS	02 a 58	0,85 a 2,04	0,79 a 1,69
Crédito Material de Construção	02 a 54	2,36 a 3,87	1,49 a 1,98
Crediário	02 a 48	3,31 a 3,82	1,88 a 1,95
Crediário Internet	02 a 58	3,31 a 4	1,88 a 1,98
Crédito Automático	02 a 58	3,39 a 6,75	1,87 a 3,88
Crédito Renovação	02 a 58	3,39 a 6,79	2,25 a 3,88
Crédito Parcelamento Cartão	02 a 24	----	1,94 a 2,88
Crédito Parcelamento Cheque Especial	02 a 24	----	2,88

Fonte: Banco do Brasil (2013).

A linha de crédito do Banco do Brasil que se encaixaria de forma mais adequada seria a linha do Crédito Material de Construção, porém faz-se necessária uma avaliação mais detalhada juntamente com a instituição.

Além do Banco do Brasil, o BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento, também apresenta linhas de crédito para pequenos e médios empresários. Através da página eletrônica na internet, efetuou-se uma simulação de linha de crédito para o caso específico da implementação do *retrofit* do torno mecânico e o resultado é mostrado na Figura 69.

Início Perfil Setor de Atividade Finalidade do apoio **Resultado**

Opções selecionadas: Pessoa Jurídica >> Empresário Individual >> Até R\$ 2,4 milhões >> PR: CURITIBA >> Cnae: C2511000 >> Máquinas e equipamentos (inclusive agrícolas >> Modernização


\* A contratação do financiamento está condicionada à análise de crédito

Veja abaixo as opções de apoio financeiro que mais se enquadram ao seu negócio:

Clique na opção de apoio desejada para obter maiores informações

Nome do apoio financeiro (*)	Taxa de juros	Quanto o BNDES financia	Prazo do financiamento
BNDES Fínime Moderniza BK - Fornecedor	Variável	até 90%	até 18 meses
Financiamento destinado à modernização de máquinas e equipamentos instalados no país. Este financiamento é realizado através dos agentes financeiros do BNDES (bancos comerciais, bancos de desenvolvimento, cooperativas de crédito etc). Há a possibilidade de utilização do Fundo Garantidor para Investimentos (BNDES FGI) para complementar as garantias das empresas com Receita Operacional Bruta (ROB) de até R\$ 90 milhões. Para mais informações clique aqui.			
BNDES Fínime Moderniza BK Proprietário - MPME	Variável	até 100%	até 48 meses
Financiamento destinado à modernização de máquinas e equipamentos instalados no país. Este financiamento é realizado através dos agentes financeiros do BNDES (bancos comerciais, bancos de desenvolvimento, cooperativas de crédito etc). Há a possibilidade de utilização do Fundo Garantidor para Investimentos (BNDES FGI) para complementar as garantias das empresas. Para mais informações clique aqui.			

< Voltar << Voltar para o início

 **BNDES** O banco nacional do desenvolvimento

**Figura 69 - Simulação de linha de crédito pelo BNDES.**  
**Fonte: BNDES (2013).**

Analisando os dados fornecidos pela simulação, notou-se que o prazo do financiamento pode ser de até 48 meses. Levando-se em consideração os cálculos de *payback* para o pior caso, que seria o caso da panela de referência número 34, com tempo de retorno de 2,74 anos ou aproximadamente 33 meses, esta linha de crédito seria compatível já que o tempo de retorno do investimento é menor que o prazo de financiamento da linha de crédito. Assim, é possível concluir que esta linha de crédito se adapta aos três casos aqui analisados da implementação do projeto de *retrofit*. Atualmente há várias instituições financeiras que amparam o empresário no que diz respeito aos investimentos em empreendimentos e projetos de modernização e, conforme citado, para cada caso o limite de crédito é calculado através da análise de renda por mês.

## 6.2 CONCLUSÕES

Com a análise da viabilidade técnico-econômica através dos métodos do *payback* e do valor presente líquido pode-se determinar que o projeto é viável eco-

nomicamente. Considerando um investimento total de R\$ 187.913,24 para implementação do *retrofit* do torno mecânico, pode-se concluir, através da análise do *payback*, que o tempo de retorno para este investimento é de 24 meses para a panela de referência número 26, 33 meses para a panela de referência número 34 e 21 meses para a panela de referência número 45. Portanto, o tempo de retorno do capital investido para qualquer uma das panelas é consideravelmente menor que a vida útil estimada para o conjunto torno, braço mecânico e sistema de controle, viabilizando, com isso, o projeto do *retrofit* do torno. Este resultado foi confirmado pelos cálculos do valor presente líquido de forma que todas as soluções para os três casos apresentaram valor maior que zero ( $VPL > 0$ ).

É importante destacar que a avaliação de viabilidade técnico-econômica para o *retrofit* do torno mecânico foi baseada na capacidade de produção atual de painéis, executada pelos operários de forma manual. Assim, este estudo, através dos cálculos de tempo de retorno do valor investido e VPL, admite o pior caso, o qual considera que a capacidade de produção com a automatização do processo de fabricação de painéis se mantenha igual à produção atual feita manualmente. No entanto, é perceptível através das simulações executadas da programação que, com o *retrofit* do torno mecânico, o tempo de atuação para se fabricar uma panela é menor que o tempo realizado atualmente, de forma que a capacidade de produção de painéis irá aumentar significativamente.

O valor de investimento pode ser facilitado através das linhas de crédito disponibilizadas por bancos e financeiras às empresas de pequeno e médio porte. Pela linha de crédito fornecida pelo Banco do Brasil, pode-se parcelar este capital investido em até 54 vezes com juros de até 1,98% ao mês. Já o BNDES fornece linhas de crédito para este valor de investimento com possibilidade de pagamento em até 48 meses, de acordo com a simulação realizada na internet.

## 7 CONCLUSÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido um projeto para realização do *retrofit* de um torno mecânico para fabricação de painéis de alumínio, seguindo uma metodologia aplicada a sistemas de controle proposta por Miyagi (2001). A partir do projeto eletromecânico do conjunto braço mecânico e sistema de controle acoplado a ele, foi possível analisar este projeto do ponto de vista técnico-operacional da automatização do sistema, e também do ponto de vista econômico para a possível implementação deste trabalho.

Através das simulações da programação referente a cada equipamento de realização de controle nos *softwares* TPW03-PCLink e *Weg Ladder Programmer*, foi possível verificar e validar a lógica de programação realizada através da técnica de GRAFCET e Diagrama de Contatos tanto para o PLC como para o servoconversor. Com isso, comprovou-se a sincronia entre IHM, PLC e servoconversor, através da devida alocação das entradas e saídas de um dispositivo para o outro. Apesar dos equipamentos não estarem conectados fisicamente, pôde-se validar a simulação efetuada de forma individual, pelo fato de terem sido conferidos cuidadosamente os sinais de entrada e saída de um equipamento e as correspondentes entradas e saídas referente ao outro equipamento. Portanto, pode-se dizer que, após a realização dos testes de simulação, o sistema proposto é viável quando analisado operacionalmente no que se refere à programação do sistema de controle.

Sob o ponto de vista financeiro, através dos cálculos de *payback* para os modelos de caçarola, observou-se que os três cálculos referentes às três painéis atenderam às condições para o projeto ser viável, ou seja, nos três casos, o período de recuperação do capital investido não foi muito longo, atestando sua viabilidade de implementação. Além disso, para os cálculos de Valor Presente Líquido observou-se que a solução foi maior que zero ( $VPL > 0$ ) para os três casos, confirmando, mais uma vez, a viabilidade de implementação do projeto. Portanto, notou-se que o projeto da automatização do torno através do braço mecânico pode ser considerado viável também economicamente considerando a fabricação de qualquer um dos três modelos de fabricação das painéis. O modelo de caçarola de número 45 (painéis de maior tamanho) demonstrou ter uma recuperação do capital investido mais rápida, de aproximadamente 21 meses, apesar da capacidade de produção diária ser inferior às outras. Embora as painéis de número 34 e número 26 (painéis de tamanho

médio e pequeno respectivamente) terem apresentado um tempo de retorno maior, esses períodos não foram muito longos quando comparados à panela de referência 45, demonstrando um tempo de retorno de 33 meses para a panela média e 24 meses para a panela pequena.

Assim, é possível concluir que o *retrofit* do torno mecânico para a fabricação de panelas de alumínio apresentou resultados que de fato comprovam a sua viabilidade tanto do ponto de vista técnico-operacional da automatização do sistema, como também do ponto de vista econômico.

## REFERÊNCIAS

ABB Ltda – *Discrete Automation & Motion*. **IHM – Interface Homem-Máquina Linha CP400**. São Paulo. Disponível em: <http://www.rgacomponentes.com.br/downloads-rga-abb/finish/48/44>. Acesso em: 21/06/2012.

ÂNGELO, Hugo; CARROLO, João; BEIRA, Ricardo. **Introdução ao SolidWorks**. Instituto Superior Técnico, 2002. Disponível em: [http://www.dem.ist.utl.pt/~m\\_desl/download/sebentastw\\_V2.pdf](http://www.dem.ist.utl.pt/~m_desl/download/sebentastw_V2.pdf). Acesso em: 13 Mar 2013.

AutoCAD. **Software AutoCAD 2008**. Versão 2008.

BANCO DO BRASIL. **Empréstimo- Bom pra todos**. Disponível em: <http://www.bb.com.br/portalbb/page3,19377,19435,21,0,1,1.bb?codigoNoticia=33898&codigoMenu=16856>. Acesso em: 20 Mar 2013.

BARBOSA, Danielle A.; DAMASCENO, Márcio D. S.; MOREIRA, André P. **Simulação de um retrofitting em um torno convencional**. IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Belém-PA, 2009. Disponível em: [http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69\\_3691\\_1816.pdf](http://connepi2009.ifpa.edu.br/connepi-anais/artigos/69_3691_1816.pdf). Acesso em: 4 Fev 2013.

BNDES. **Apoio Financeiro - aplicação**. Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/). Acesso em: 20 Mar 2013.

BOLTON, W. **Engenharia de Controle**. Tradução: Valceres Vieira Rocha e Silva; revisão técnica: Antônio Pertence Júnior. São Paulo: MAKRON, 1995.

CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. 2ª ed. São Paulo: Érica Ltda, 2006.

CARDOSO, Janette; VALETTE, Robert. **Redes de Petri**. Florianópolis, 1997. Disponível em: <http://dainf.ct.utfpr.edu.br/~maziero/lib/exe/fetch.php/software:redes-de-petri-cardoso-valette.pdf>. Acesso em: 4 Fev 2013.

CASTRUCCI, Plíneo L.; MORAES, Cícero C. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CENFIM-CENTRO DE FORMAÇÃO PROFISSIONAL DA INDÚSTRIA METALÚRGICA E MATELOMACÂNICA. **Torneamento**. Disponível em: <http://opac.iefp.pt:8080/images/winlibimg.exe?key=&doc=73388&img=1304>. Acesso em: 30 Jan 2013.

C.O. MULLER. **C.O. Muller comércio de motores e bombas Ltda**. Curitiba, 2013.

DELUCCA ALUMÍNIO. **DeLucca Alumínio Ltda**. Curitiba, 2013.

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. **Fundamentos de Engenharia de Software (Interface Homem Maquina)**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/rafaelqg/d/87479362-FATEC-SBC-Fundamentos-de-Engenharia-de-Software-Interface-Homem-Maquina>. Acesso em: 13 Abr 2012.

FREIRE, José de Mendonça. **Torno mecânico**. Rio de Janeiro: LTC- Livros técnicos e científicos editora S.A., 1984.

GEORGINI, Marcelo. **Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs**. 9 ed. São Paulo: Érica, 2007.

GHISI, E. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. 7ª edição. Editora Harbra: São Paulo. 2002.

HENRIOT, G; BRODBECK, G. *Le tourneur: construction mécanique*. Paris: Eyrolles, 1960.

HIDROMATIC. **Hidromatic – ALS automação industrial Ltda**. Curitiba, 2013.

LOPEZ, R. A. **Sistemas de Redes para Controle e Automação**. São Paulo: Book Express, 2000.

MACIEL, P. R. M; LINS, R. D.; CUNHA, P. R. F. **Introdução às Redes de Petri e aplicações**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.

MARRANGHELLO, N. **Redes de Petri: conceitos e aplicações**. Unesp, 2005. Disponível em : <http://www.dcce.ibilce.unesp.br/~norian/cursos/mds/ApostilaRdP-CA.pdf>. Acesso em: 4 Fev 2013.

MIYAGI, Paulo Eigi. **Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

MOORE, J. A. **Digital Control Devices: Equipament and applications**. ISA Press, 1986.

OLIVEIRA, Alisson Antônio de; LIMA, Carlos Raimundo Erig. **Proposta de laboratório multidisciplinar de servomotores**. XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Blumenau-SC, 2011. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2011/sexsoestec/art1771.pdf>. Acesso em: 01 Mar 2013.

OLIVEIRA, I. A. **Interface de Usuário: A Interação Homem-Computador através dos Tempos**. Olhar Científico - Revista de publicações da FAAr. Volume 1, Número 2, 2010. Disponível em: <http://www.olharcientifico.kinghost.net/index.php/olhar/article/viewFile/28/29>. Acesso em: 21/06/2012.

PARKER. **Catálogo de Produtos Gerais**. Disponível em: <http://www.parker.com/>. Acesso em: 15 Nov 2012.

PEREIRA, L. F. A. **Controle Digital**. Adaptado por: Pablo Alberto Spiller. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2003.

PINHEIRO, J. M. S. **Introdução às Redes de Supervisão e Controle**. São Paulo, 2006. Disponível em: [http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo\\_redes\\_de\\_supervisao\\_e\\_controle](http://www.projetederedes.com.br/artigos/artigo_redes_de_supervisao_e_controle). Acesso em: 19/06/2012.

PIRES, J. N. **Automação industrial**. Lisboa: ETEP - Edições Técnicas Profissionais, 2002.

PUPO, M. S. **Interface Homem-Máquina para a Supervisão de um CLP em Controle de Processos através da WWW**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2002.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2005.

ROSSETTI, T. **Manual prático do torneiro mecânico e do fresador**. São Paulo: Hemus Ltda, 1978.

SENAI-RJ. **Noções de tornearia**. Sistema Firjan. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/77622949/15/Sequencia-logica-para-usinagem-da-luva>. Acesso em: 13 Jun 2012.

SIBRATEC. **Catálogo de Produtos Gerais**. Rio do Sul. Disponível em: <http://www.sibratec.ind.br/index.php?pg=15&tipo=4>. Acesso em: 13 Dez 2012.

SILVA, Gustavo P.; ALVES, Abel F.; GEBARA, M. **Análise de interfaces Homem-Máquina (IHM) em equipamentos controlados eletronicamente**. Paraná, 2010.

SILVA, M. E. **Curso de Automação Industrial**. Escola de Engenharia de Piracicaba, 2007. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/3020515/Apostila-Automacao-Industrial>. Acesso em: 18/06/2012.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e controle discreto**. São Paulo: Érica Ltda, 1998.

SOLIDWORKS. **Software SolidWorks 2010**. Versão 2010.

TPW03-PCLink. **Software TPW03-PCLink**. Versão V.2.1. WEG. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/CLPs-e-Controle-de-Processos/TPW03>. Acesso em: 12 Jan 2013.

**Usinagem com torno mecânico**. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABM2gAB/usinagem-torno-mecanico>. Acesso em 13 Abr 2012.

URTADO, E. S.; SANTOS, V. S.; QUINTAIROS, P. R.; OLIVEIRA, E. A. A. Q. **Aplicação do método do valor presente líquido (VLP) na análise da viabilidade econômica de projetos na indústria Metal Mecânica: um estudo de caso**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em:

[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/0732\\_0960\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/0732_0960_01.pdf). Acesso em: 9 Mar 2013.

VIEIRA, S. **As Novas Tecnologias das IHMs. Mecatrônica Atual: Automação Industrial de Processos e Manufatura**. São Paulo, Ano 3 – número 17, 2004. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/428>. Acesso em: 18 Mar 2012.

VISUAL OBJECT NET. **Software Visual Object Net ++**. Versão V.1.44.2.

WEG LADDER PROGRAMMER. **Software Weg Ladder Programmer**. Versão 9.11. WEG. Disponível em: <http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Drives/Servoacionamentos/SCA05-Servoconvertores>. Acesso em: 18 Jan 2013.

WEG S. A. **Automação Controladores Lógicos Programáveis – CLPs e Relé Programável**. Catálogo. Santa Catarina, 2012.

\_\_\_\_\_. **Guia de Aplicação de Servoacionamentos**. Guia. Santa Catarina, 2012.

\_\_\_\_\_. **Automação Interfaces Homem Máquina**. Catálogo. Santa Catarina, 2012.

\_\_\_\_\_. **Automação Servoconvertores SCA-05 e Servomotores SWA**. Catálogo. Santa Catarina, 2012.

\_\_\_\_\_. **Manual de Programação TPW03-PCLink**. Manual Técnico. Santa Catarina, 2012.

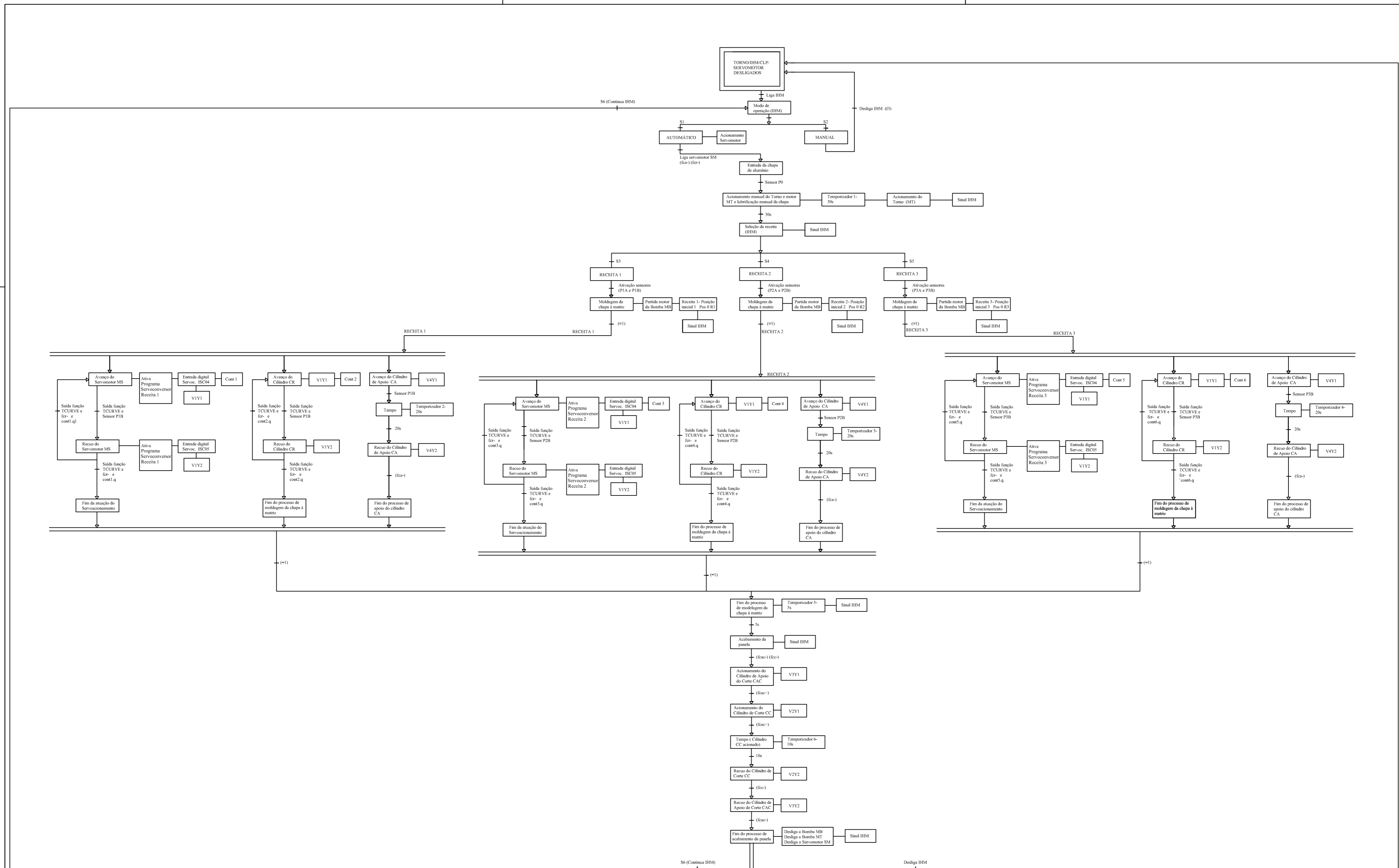
\_\_\_\_\_. **Manual do Usuário - Weg Ladder Programmer**. Manual Técnico. Santa Catarina, 2012.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – GRAFCET NÍVEL 1 DO PLC

Por meio de uma correta interpretação do diagrama operacional do sistema, considerando a ordem de funcionamento de todos os sensores de posição, finais de curso, válvulas e motores, foi possível avaliar cada etapa do processo de fabricação das painelas de forma sequencial e ordenada. A partir desta análise, um fluxograma que apresenta cada passo do sistema é gerado, destacando todas as partes envolvidas no processo de fabricação de painelas, desde a ativação do PLC e IHM até o seu desligamento. Por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, optou-se por colocar no texto um fluxograma simplificado da programação do PLC, não detalhando todos os processos envolvidos no programa. No entanto, a versão do fluxograma na íntegra se encontra neste apêndice, de forma a demonstrar detalhadamente todos os processos do fluxograma.

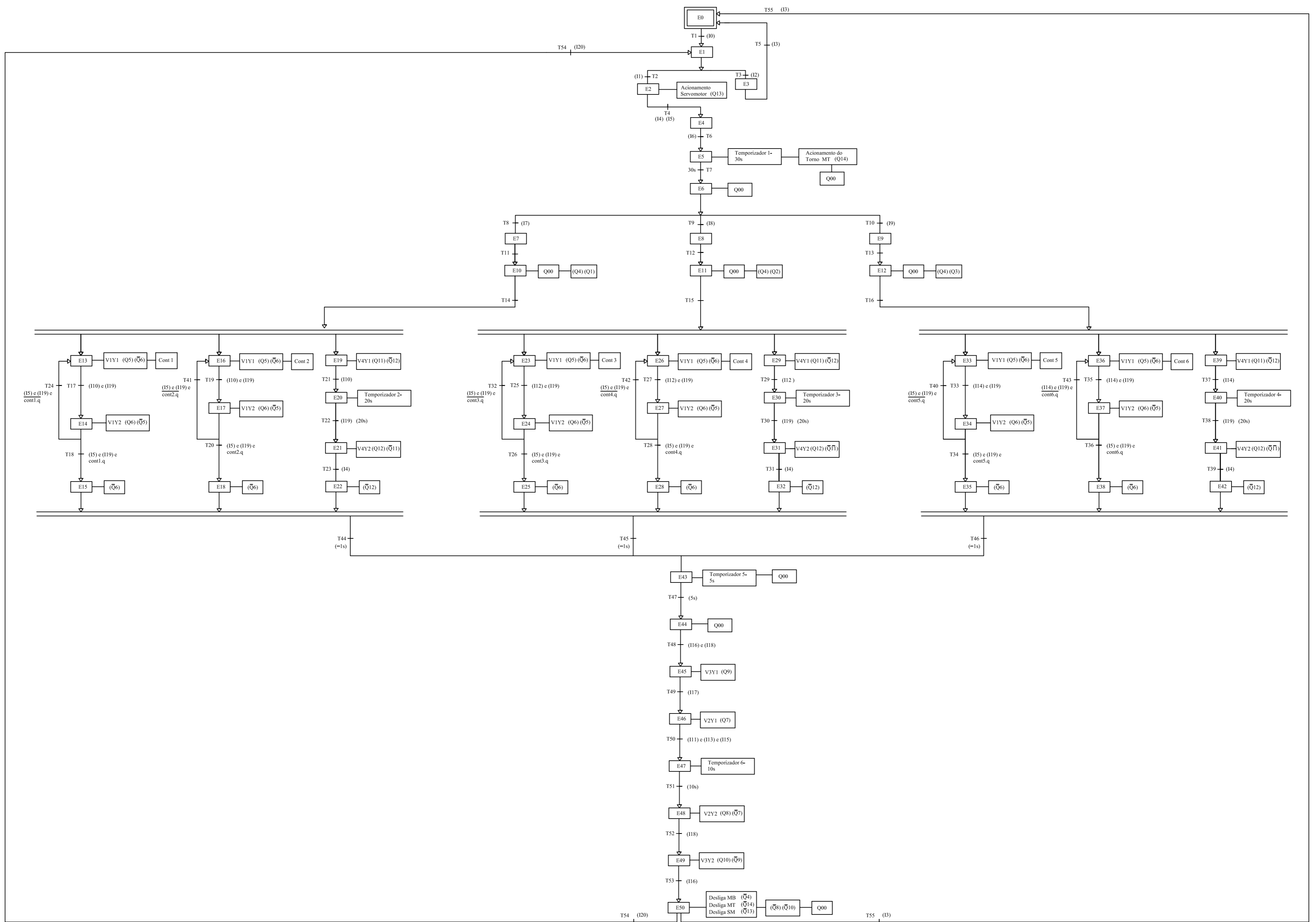
O GRAFCET nível 1 do PLC do sistema do *retrofit* do torno mecânico está apresentado neste apêndice, Apêndice A, a seguir, representando integralmente, de forma sequencial, o que deve ocorrer em cada etapa do processo, desde a inicialização do processo de fabricação das painelas, passando pela seleção das receitas, o processo de acabamento e a realimentação do sistema a partir da seleção do operador.



## APÊNDICE B – GRAFCET NÍVEL 2 DO PLC

O GRAFCET nível 2 do PLC com a descrição das etapas, transições, ações e receptividades é adquirido através da sequencialização dos arcos orientados realizada a partir do fluxograma já detalhado pelo GRAFCET nível 1 do PLC. A partir deste primeiro fluxograma, todas as etapas e transições devem ser devidamente enumeradas (E0, E1, E2,...,T1, T2, T3,...) bem como as receptividades (variáveis de entrada) e ações (variáveis de saídas), detalhadas de acordo com a respectiva porta de entrada e saída do PLC. Da mesma forma que o GRAFCET nível 1, por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, o GRAFCET nível 2 do PCL foi colocado no texto de maneira simplificada, não expondo todos os processos envolvidos no programa. Assim, a versão do GRAFCET nível 2 do PLC na íntegra se está neste apêndice, onde se encontra de forma detalhada todas as partes do GRAFCET nível 2 do PLC.

O GRAFCET nível 2 do PCL contendo as etapas, transições, receptividades e ações do sistema do *retrofit* do torno mecânico está representado integralmente neste apêndice, Apêndice B, a seguir, detalhando etapas e transições de forma enumerada sequencialmente bem como apresentando ações e receptividades do sistema.



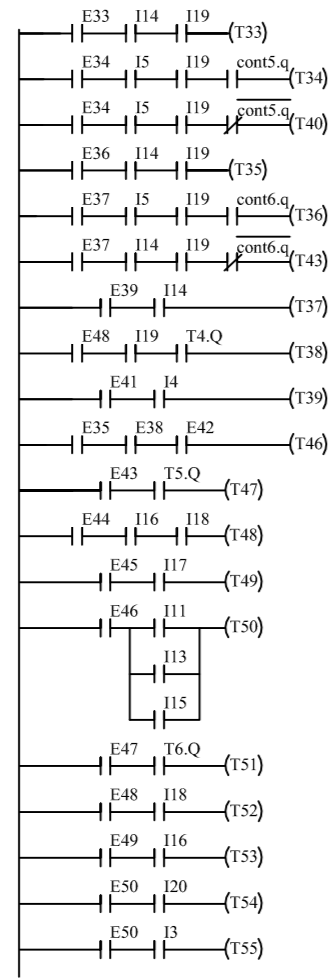
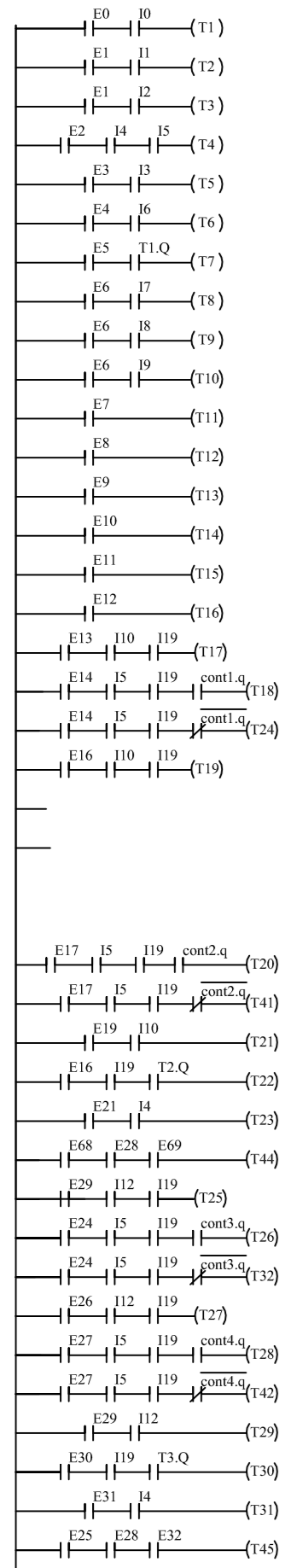
## APÊNDICE C – DIAGRAMA DE CONTATOS DO PLC

O Diagrama de Contatos, ou linguagem *Ladder*, exige a disposição das etapas, ações, transições e receptividades definidas pelo GRAFCET nível 2 do PLC de forma hierárquica. Assim, esta linguagem de programação requer uma cronologia de atuações no sistema, na qual as ações são realizadas a partir das etapas, e estas, por sua vez, têm origem nas transições.

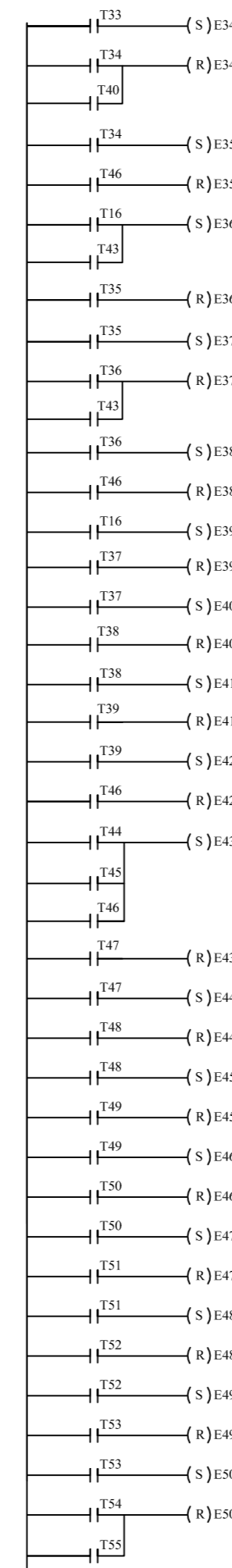
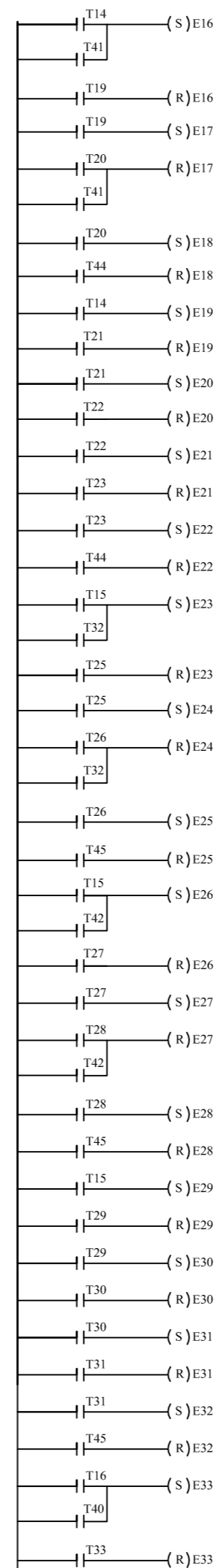
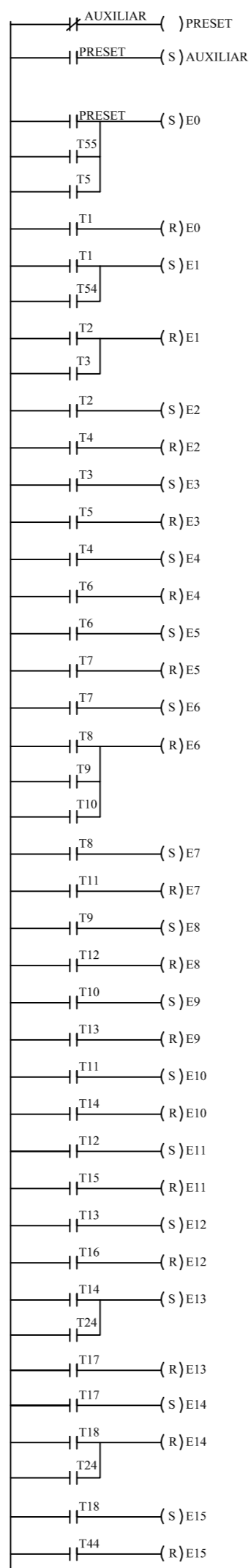
É possível perceber que o GRAFCET nível 2, apresentado com detalhes no Apêndice B, é bastante parecido com o GRAFCET nível 1 do PLC detalhado na íntegra no Apêndice A. Porém, os elementos de controle do segundo fluxograma estão diretamente relacionados com os elementos tecnológicos utilizados para a implementação do PLC. Com isso, é necessário utilizar o GRAFCET nível 2 do PLC para realizar a especificação do Diagrama de Contatos. Igualmente aos outros casos, por questões de limitação de espaço no corpo deste trabalho, o Diagrama de Contatos do PCL foi colocado no texto de maneira simplificada, apenas detalhando os processos mais importantes da programação.

A versão integral do Diagrama de contatos do PLC, ou linguagem *Ladder*, contendo todos os passos envolvidos no programa se encontra neste apêndice, Apêndice C, a seguir, especificando todas as etapas, transições e ações do sistema.

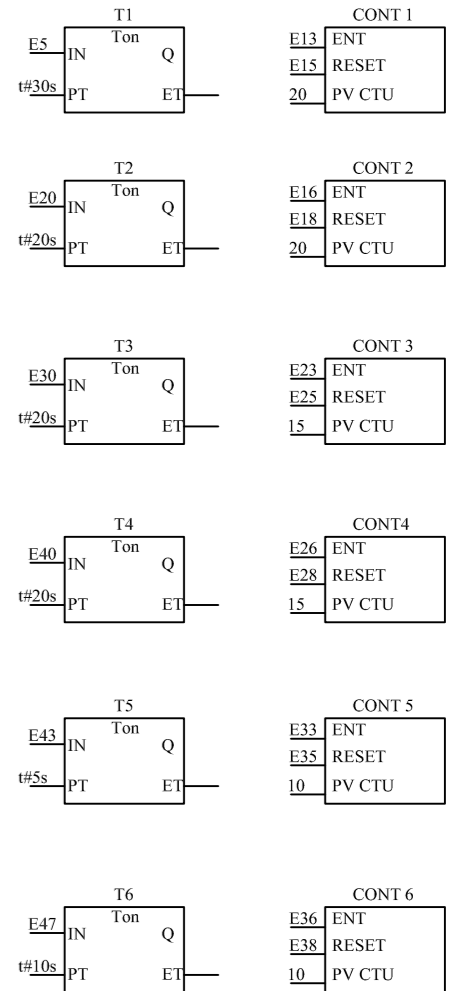
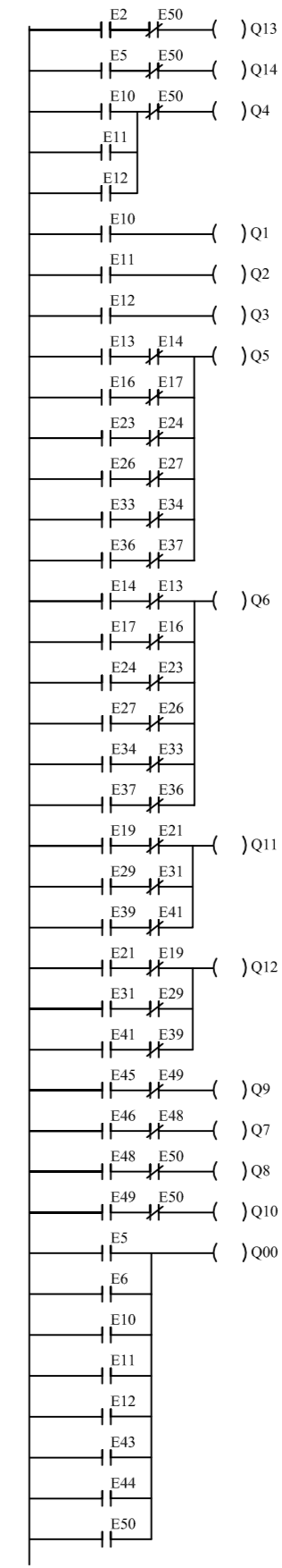
TRANSIÇÕES:



ETAPAS:



AÇÕES:

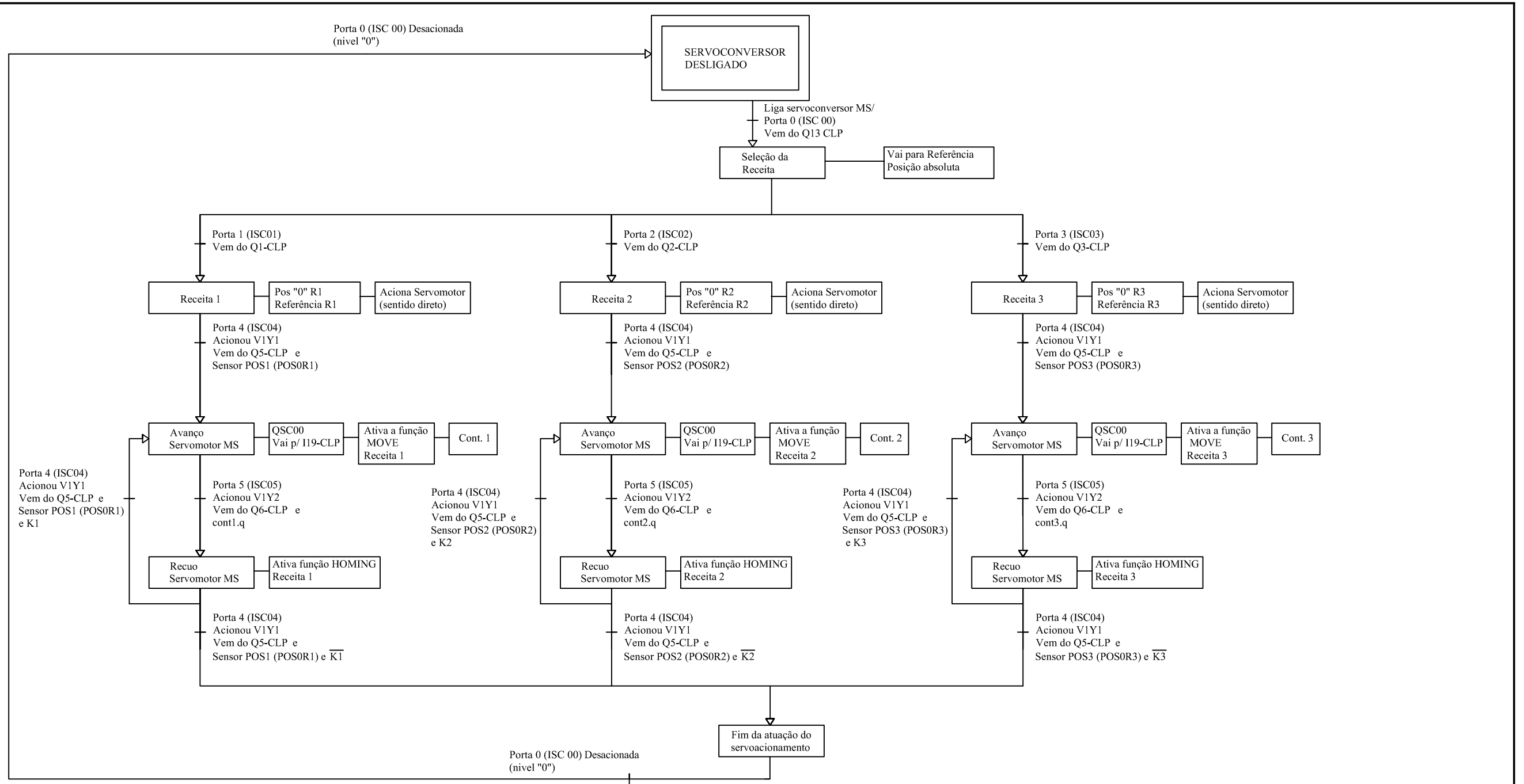


## **APÊNDICE D – GRAFCET NÍVEL 1 DO SERVOCONVERSOR**

Por meio da devida análise do diagrama operacional do sistema, considerando a ordem de funcionamento de todos os sensores de posição, finais de curso, válvulas e motores, foi possível avaliar cada etapa deste processo de forma sequencial, da mesma maneira como foi realizado para o PLC, mas agora sob o aspecto do servoconversor. A atuação do servoacionamento no sistema para a fabricação de painéis ocorre de forma simultânea e sincronizada com a atuação do cilindro de repuxo (CR) comandada pelo PLC. Este sincronismo, no que se refere às atuações do sistema, é descrito pela correta disposição dos sinais de entrada e saída de um equipamento e a correspondente entrada e saída do outro equipamento.

Com isso, pode-se descrever um fluxograma que apresenta cada passo do sistema, desde a ativação do servoconversor até o seu desligamento, passando pelos blocos de funções que são ativados e desativados. Este apêndice mostra o GRAFCET nível 1 do servoconversor destacando todas as etapas, transições e ações envolvidas na atuação do servomotor no sistema, detalhando o que deve ocorrer em cada um destes elementos de forma sequencial.

No corpo do texto, já foi apresentado o GRAFCET nível 1 de forma integral, no entanto, para que seja possível uma melhor visualização do fluxograma, será disponibilizada uma versão do GRAFCET nível 1 do servoconversor num tamanho maior e com pequenas alterações, contida neste apêndice, Apêndice D, a seguir.

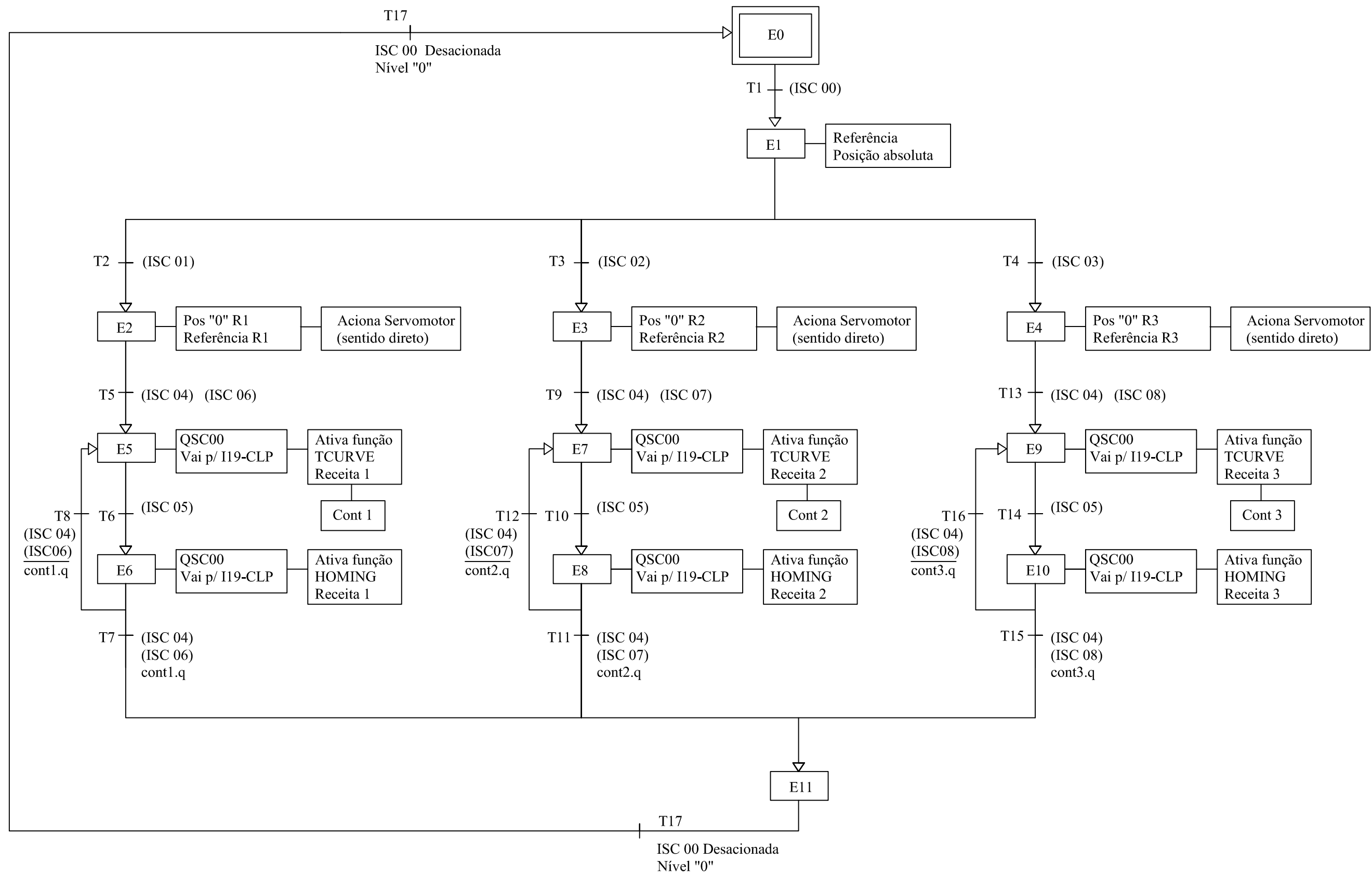


## APÊNDICE E – GRAFCET NÍVEL 2 DO SERVOCONVERSOR

O GRAFCET nível 2 do servoconversor é obtido através das etapas, transições, ações e receptividades expostas no GRAFCET nível 1 por meio da sequencialização dos arcos orientados realizada a partir do fluxograma detalhado anteriormente. Todas as etapas e transições devem ser devidamente enumeradas (E0, E1, E2,...,T1, T2, T3,...) bem como as receptividades (variáveis de entrada) e ações (variáveis de saída) apresentadas de acordo com a respectiva porta de entrada e saída.

O GRAFCET nível 2 do servoconversor com o detalhamento das etapas, transições, receptividades e ações do sistema do *retrofit* do torno mecânico e mais especificamente da atuação do servomotor neste sistema é apresentado neste apêndice.

No corpo deste trabalho, já foi apresentado O GRAFCET nível 2 de forma integral, no entanto, para que seja possível uma melhor visualização do fluxograma, será disponibilizada uma versão do GRAFCET nível 2 do servoconversor num tamanho maior e com pequenas alterações, contida neste apêndice, Apêndice E, a seguir.



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SERVOCONVERSOR  
GRAF CET  
NÍVEL 2

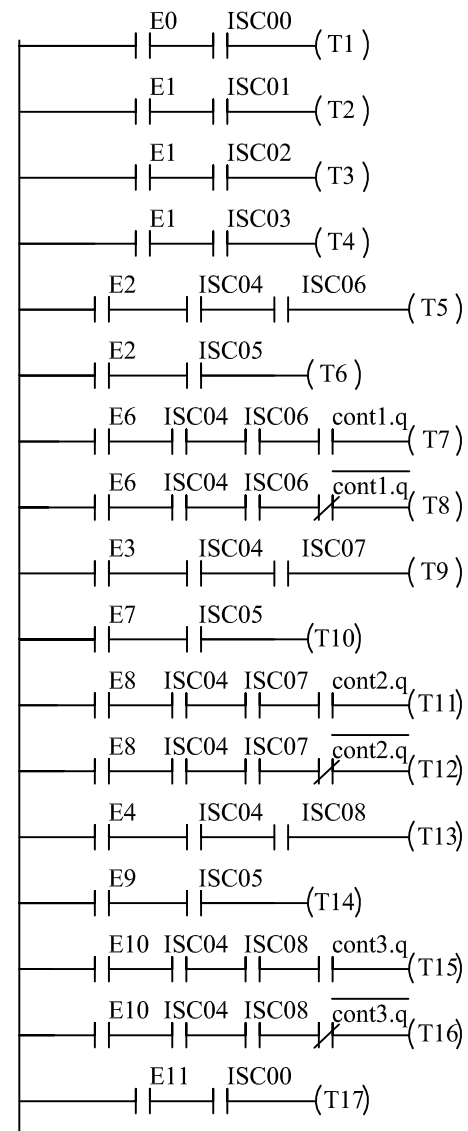
TRABALHO_DE_CONCLUSÃO_DE_CURSO		
Descrição: APÊNDICE-E		
Alunas: FERNANDA_GAZOLA_DA_SILVA JACQUELINE_BARREIRA_MANOEL KAMILE_FUCHS	Escala: S/E Data: 11/03/2013	Folha: 1/1

## APÊNDICE F – DIAGRAMA DE CONTATOS DO SERVOCONVERSOR

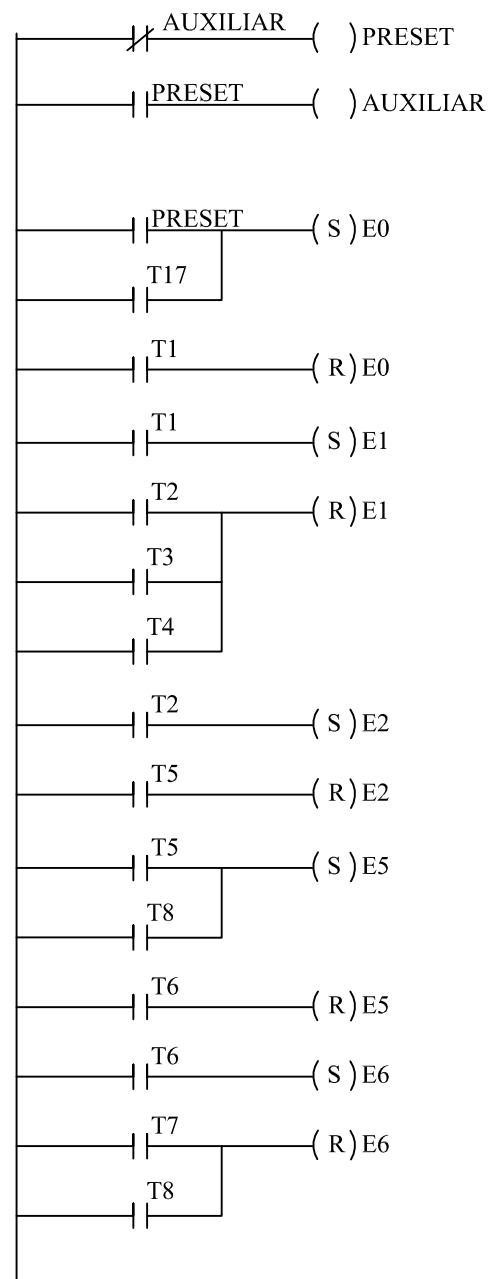
O Diagrama de Contatos do servoconversor, ou linguagem *Ladder*, exige a disposição das etapas, ações, transições e receptividades definidas pelo GRAFCET nível 2 do servoconversor de forma hierárquica, seguindo uma cronologia de atuações no sistema, da mesma forma como foi realizado na programação do PLC. Esta programação demonstra os contatos NA e NF para ativação das transições, etapas e ações do sistema.

No corpo do texto, já foi apresentado o Diagrama de Contatos (*Ladder*) de forma integral, no entanto, para que seja possível uma melhor visualização desta programação, será disponibilizada uma versão do Diagrama de Contatos (*Ladder*) do servoconversor num tamanho maior e com pequenas alterações, contida neste apêndice, Apêndice F, a seguir.

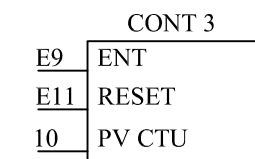
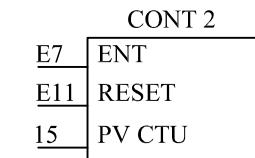
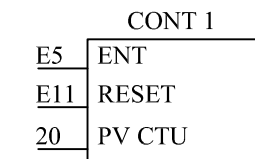
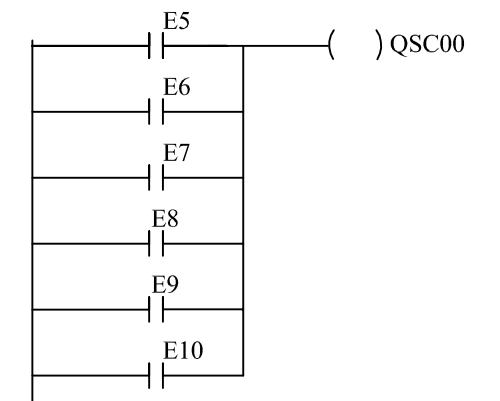
TRANSIÇÕES:



ETAPAS:



AÇÕES:



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SERVOCONVERSOR  
GRAFSET  
NÍVEL3

TRABALHO\_DE\_CONCLUSÃO\_DE\_CURSO

Descrição: APÊNDICE-F

Alunas: FERNANDA\_GAZOLA\_DA\_SILVA  
JACQUELINE\_BARREIRA\_MANOEL  
KAMILE\_FUCHS

Escala: S/E  
Data: 11/03/2013

Folha: 1/1