

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

FABIANO RIBEIRO

**AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE FURAÇÃO DE PEQUENAS  
PEÇAS**

MONOGRAFIA

CURITIBA  
2014

FABIANO RIBEIRO

## **AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE FURAÇÃO DE PEQUENAS PEÇAS**

Monografia de Especialização,  
apresentado ao Curso de Especialização  
em Automação Industrial, do  
Departamento Acadêmico de Eletrônica,  
da Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná – UTFPR, como requisito parcial  
para obtenção do título de Especialista.  
Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy  
Horikawa Nabas

CURITIBA  
2014

Ao meu filho, Filipe, que desde o ventre da minha graciosa esposa, é motivação para meu esforço em superar desafios a cada dia.

## **AGRADECIMENTOS**

Imprescindivelmente devo agradecimentos eternos à Deus, o centro da minha vida, que me sustentou e permitiu que eu pudesse realizar este desejo.

À minha querida esposa, Sandra, por sua compreensão e carinho nos momentos mais difíceis, além de todo o incentivo oferecido e por acreditar que realmente este trabalho poderia ser realizado.

Aos meus pais, Odil e Juraci, pelo amor e esforço para oferecer a mim a oportunidade de chegar aqui.

Ao meu irmão, Denis, por ter me ajudado e viabilizado a realização deste trabalho, através de idéias e por ceder o espaço da sua empresa.

Aos funcionários que contribuíram para esta pesquisa.

Ao prof. Kleber, que acreditou em mim e na minha proposta, orientando-me e possibilitando esta pesquisa.

A todos os professores do curso de Especialização em Automação Industrial, pelo esforço em compartilhar seus conhecimentos e experiência.

A todos aqueles que, de certa forma, me auxiliaram na realização deste trabalho.

## RESUMO

RIBEIRO, Fabiano. **Automação do Processo de Furação de Pequenas Peças**. 2014. 46 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

A pesquisa propõe um sistema de automação para o processo de furação de peças, a partir da necessidade de uma empresa do ramo de usinagem. Motivado pelo aumento na produtividade e pela prevenção de acidentes e doenças ocupacionais causadas por esforços repetitivos dos operadores, foi desenvolvido uma proposta de automação utilizando o controlador programável CLIC, produzido pela WEG Automação. Fundamentado por conceitos teóricos de automação, controladores lógicos programáveis e as linguagens de programação definidas pela norma IEC 61131-3, o trabalho apresenta como resultado a lógica de operação e funcionamento, e o programa escrito em *Ladder* para aplicação sobre o controlador mencionado anteriormente. Nas considerações finais observa-se que com a implementação dos objetivos propostos é possível alcançar resultados interessantes para a empresa em questão.

**Palavras chave:** Automação. Controlador lógico programável. Linguagens de programação.

## ABSTRACT

RIBEIRO, Fabiano. **Automation of the Drilling of Small Parts Process**. 2014. 46 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The research proposes a system for automating of the drilling of parts process, from the need for a branch company of machining. Motivated by the increase in productivity and the prevention of occupational accidents and diseases caused by repetitive efforts of operators, a proposal was developed using the programmable controller CLIC produced by WEG Automação. Substantiated by theoretical concepts of automation, programmable logic controllers and programming languages defined by IEC 61131-3, the work presents as a result of the logic of operation and functioning, and the program written in Ladder for application to the controller mentioned earlier. In the conclusion it is observed that with the implementation of the proposed objectives can be achieved interesting results for the company in question.

**Keywords:** Automation. Programmable Logic Controller. Programming Languages.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de corte no torno automático .....	10
Figura 2 - Conceito abrangente de automação .....	14
Figura 3 - Pirâmide de automação .....	16
Figura 4 - Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável.....	17
Figura 5 - Fluxograma Básico do Sistema de Operação de um CLP .....	18
Figura 6 - Esquema de uma partida direta de motor em <i>Ladder</i> .....	19
Figura 7 - Exemplo de Programa em Lista de Instruções (IL) .....	21
Figura 8 - Exemplo de programação em Texto Estruturado (STL).....	22
Figura 9 - Exemplo de programação em Diagrama de Blocos Funcionais (FBD) .....	23
Figura 10 - Bloco biestável SR (algoritmo interno em FBD).....	23
Figura 11 - Exemplo de estruturação de programa por SFC.....	24
Figura 12 - Ciclo do processo de escarear.....	25
Figura 13 - Diagrama de movimentos .....	26
Figura 14 - Furadeira automática .....	27
Figura 15 - Diagrama pneumático .....	28
Figura 16 - Grafcet programa principal.....	29
Figura 17 - Grafcet programa M1 .....	30
Figura 18 - Diagrama básico de ligação do CLP .....	33

## LISTA DE SIGLAS

CNC	Comando Numérico Computadorizado (ou <i>Computer Numeric Control</i> )
CLP	Controlador Lógico Programável
ERP	<i>Enterprise Resources Planning</i>
FBD	<i>Function Block Diagram</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IHM	Interface Homem Máquina
IL	<i>Instructions List</i>
LD	<i>Ladder Diagram</i>
MRP	<i>Material Requirement Planning</i>
MRP II	<i>Manufacturing Resources Planning</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
POU	<i>Program Organization Units</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>
STL	<i>Structured Text List</i>



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1	TEMA.....	9
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	10
1.3	PROBLEMA.....	10
1.4	OBJETIVOS .....	11
1.4.1	Geral.....	11
1.4.2	Objetivos Específicos .....	11
1.5	JUSTIFICATIVA.....	11
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	11
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO .....	12
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....	14
2.2	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS.....	16
2.3	LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO.....	18
2.3.1	Diagrama Ladder.....	19
2.3.2	Lista de Instruções .....	19
2.3.3	Texto Estruturado .....	21
2.3.4	Diagrama de Blocos Funcionais .....	22
2.3.5	Diagrama Funcional Sequencial.....	23
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>25</b>
3.1	LÓGICA DE OPERAÇÃO .....	25
3.2	HARDWARE.....	31
3.3	SOFTWARE .....	34
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>
4.1	TRABALHOS FUTUROS.....	44
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentado o tema, descrição do problema e premissas, os objetivos gerais e específicos, justificativa, procedimentos metodológicos, embasamento teórico e estrutura do trabalho.

## 1.1 TEMA

Em todo o mundo, fabricantes estão em uma corrida por produtividade. Motivados por uma ampla gama de tecnologias de automação, a competitividade vem exigindo destes fabricantes investimentos nestas tecnologias, pois a mão de obra de baixo custo como vantagem principal do negócio está diminuindo em todo o mundo, devido o aumento dos salários. Com isso, para competir efetivamente, adotar a tecnologia de automação para melhorar a precisão, produtividade, confiabilidade e qualidade, torna-se muito atrativo. Por exemplo, a China tem feito grandes investimentos na robotização. Entre 2006 e 2012 houve um aumento de 51 para 213 robôs a cada 10.000 funcionários. A indústria automotiva tem sido pioneira a adotar a tecnologia de automação e outros segmentos da indústria de transformação normalmente a seguem. Outra tendência de automação ganhando popularidade na Ásia é a adaptação de máquinas-ferramenta manuais de três eixos. A automatização de máquinas-ferramenta pode ser feita através da substituição de comandos manuais por controladores programáveis e motores elétricos. Ou seja, todas as vantagens competitivas são diferenciais. As empresas que exploram a vantagem de uma nova tecnologia antes de seus concorrentes vão assumir a liderança no mercado. Mais tarde, todos os concorrentes terão de adotar estas tecnologias para simplesmente se manter competitiva. (LYDON, 2014).

Dentre as tecnologias de automação destaca-se o controlador lógico programável, também conhecido como CLP ou PLC (*Programmable Logic Controller*). Segundo Immel (2012), o CLP é um dos mais importantes avanços da automação industrial de todos os tempos. Por ser uma solução personalizável e adaptar-se por praticamente qualquer aplicação, podendo ditar movimentos de uma máquina CNC ou, até mesmo, gerir a resposta de encerramento para uma parada de emergência em uma linha de produção, o CLP se mostra como um dos dispositivos mais usados nos projetos de automação industrial.

Diante deste cenário, em função a grande necessidade de do aumento da produtividade, este trabalho irá explorar o uso de controladores lógicos programáveis (CLP) na indústria de manufatura.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho será desenvolvido em uma empresa de usinagem, sobre o processo para escarear furos em pequenas peças produzidas em tornos automáticos.

A pesquisa desenvolvida ficará delimitada ao controle automático da máquina, eximindo-se do projeto eletrotécnico, mecânico e estrutural. Focando-se apenas no controle automatizado pelo uso de controladores lógicos programáveis.

Os custos do projeto desenvolvido será patrocinado pela empresa em questão, cabendo à ela a decisão sobre a implementação total ou parcial do projeto, inclusive o cronograma de implantação.

## 1.3 PROBLEMA

Na produção de peças em tornos automáticos, onde a alimentação de material é feita automaticamente por barras metálicas de grande comprimento, é necessário o corte da peça por uma ferramenta de corte chamada “bedame”, conforme pode ser visto na Figura 1 (ferramenta S1). No entanto, muitas destas peças possuem furos passantes, desta forma, a operação de corte com bedame não faz o acabamento do furo na face onde ocorreu o corte, conseqüentemente, é necessária uma nova operação para escarear o furo da face cortada.

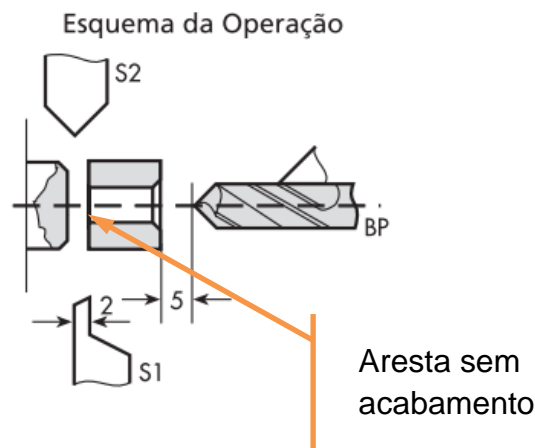


Figura 1 - Esquema de corte no torno automático  
Fonte: adaptado de Ferrari (2004, p. 15)

Atualmente, a operação de escarear o furo é feita em uma furadeira de coluna, onde o operador prende a peça em uma morsa e executa o avanço da broca manualmente, esta operação leva em torno de 20 segundos por peça. Além do tempo elevado, ocorre o esforço repetitivo do operador em grandes lotes de produção, em torno de 10.000 peças.

Esses fatos motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Geral

Automatizar processo de escarear furos em peças pequenas.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Especificar os movimentos automáticos necessários para execução do processo;
- Especificar os componentes a serem utilizados para automação do processo;
- Desenvolver o programa do CLP que irá controlar o processo;
- Testar e comprovar os resultados.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Diante do grande volume requerido de produção, o tempo gasto na operação de escarear os furos das peças produzidas no torno automático torna-se um fator relevante para a competitividade da empresa em questão.

Outro fator que motiva o investimento nesta automação refere-se à saúde dos operadores no que tange as lesões musculares por esforços repetitivos.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Silva e Menezes (2005), esta pesquisa se classifica como de natureza aplicada, por trabalhar com conhecimentos para aplicação prática com o intuito de solucionar um problema. Do ponto de vista de abordagem é considerada basicamente como qualitativa. Do ponto de vista dos objetivos, enquadra-se em

exploratória, pois busca uma solução através da explicitação do problema. Quanto aos procedimentos técnicos se utiliza de pesquisa bibliográfica e experimental.

Esta pesquisa será desenvolvida a partir da análise do processo para escarear furos em peças. Para tanto será necessário o acompanhamento do processo executado atualmente, de forma manual. A partir disto, em discussão com o pessoal que realiza as operações, focaremos nas oportunidades de ganho com a automação do processo, seja relacionado ao tempo de ciclo ou ao esforço humano empregado no processo.

Diante destas informações faz-se claro os movimentos automáticos que serão necessários, desta forma, possibilitando o desenvolvimento da lógica de controle e a programação do CLP.

## 1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

O tema automação será embasado em Rosário (2009) e Moraes e Castrucci (2007). Para o desenvolvimento do descritivo relacionado aos controladores lógicos programáveis, serão usados como referencial Georgini (2000) e artigos, tais quais, Immel (2012) e Lewotsky (2010). No que tange as linguagens de programação o embasamento sera Guimarães (2005).

Para o desenvolvimento do trabalho serão usados os manuais dos dispositivos utilizados, tais quais, WEG (2010).

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho estará organizado de forma a fornecer uma base conceitual da solução adotada sobre a problemática apresentada.

Contemplará na apresentação informações preliminares sobre o assunto. A seguir, uma breve descrição sobre automação industrial e controladores lógicos programáveis. Já na terceira parte serão explanadas as técnicas utilizadas, a lógica de funcionamento, a especificação do sistema de controle a ser utilizado e o programa desenvolvido e aplicado no CLP. Dessa forma seguindo a seguintes estrutura:

**Capítulo 1 - Introdução:** será apresentado o tema, as delimitações da pesquisa, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa, os

procedimentos metodológicos, as indicações para o embasamento teórico, e, por fim, a estrutura do trabalho.

**Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** será abordado a teoria acerca de automação industrial e controladores lógicos programáveis, inclusive um descritivo sobre as linguagens de programação estabelecidas pela norma IEC 61131-3.

**Capítulo 3 – Apresentação e Análise dos Resultados:** com base nos procedimentos metodológicos, neste capítulo serão descritos o processo de furação em questão, os dispositivos utilizados para compor o *hardware* e o *software* com o programa de aplicação, objeto deste trabalho.

**Capítulo 4 – Considerações Finais:** neste capítulo apresentaremos os principais benefícios a serem alcançados, a partir da implementação do que foi proposto por este trabalho, suas implicações em termos de custos e, por fim, serão sugeridos trabalhos futuros que podem ser realizados, aprofundando-se no tema deste estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que se possa desenvolver este trabalho é necessário alguns conhecimentos sobre automação industrial, controladores lógicos programáveis e por sua vez, as linguagens de programação definidas pela norma IEC 61131-3. A seguir uma explanação sobre estes assuntos.

### 2.1 AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Rosário (2009), o conceito de automação muitas vezes é confundido com o de automatização. Este último está relacionado à realização de movimentos automáticos e repetitivos, podendo ser traduzido em mecanização. Entretanto, automação está relacionada ao uso de técnicas de construção de sistemas capazes de atuar sobre o processo com uma eficiência otimizada pelo uso de informações recebidas do meio. O sistema executa ações corretivas em função das informações recebidas por meio de sensores ligados ao processo, comportando-se como um operador humano. De modo mais abrangente, o conceito de automação pode ser entendido como a integração de técnicas que substituem a observação, os esforços e as decisões humanas por meio de dispositivos e softwares, conforme ilustrado na Figura 2.

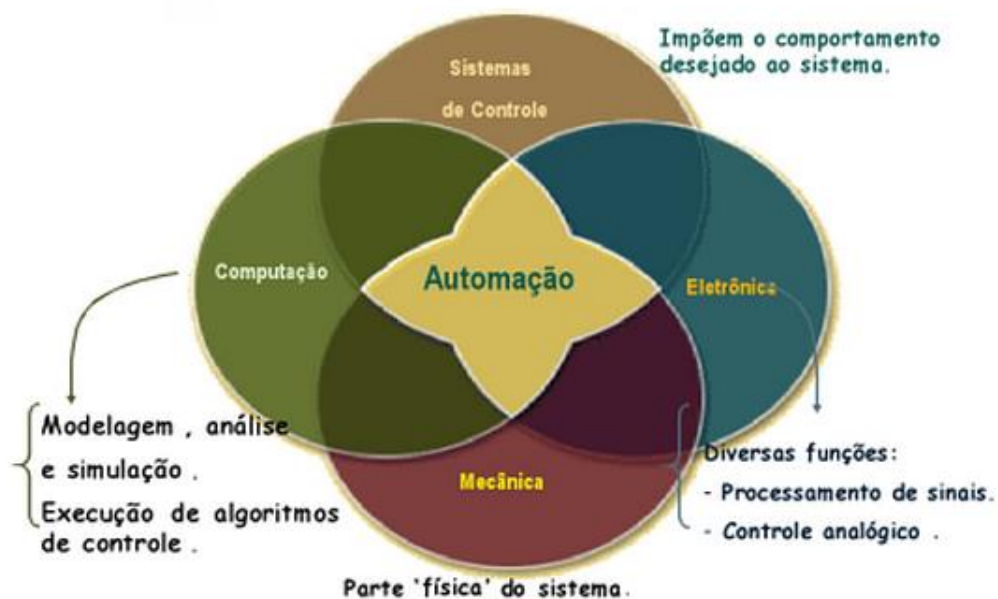


Figura 2 - Conceito abrangente de automação  
 Fonte: adaptado de Rosário (2009, p. 24)

De acordo com Moraes e Castrucci (2007), automação é definida como qualquer sistema que substitui o trabalho humano, apoiado por computadores, de modo a favorecer a segurança das pessoas, qualidade do produto, velocidade de produção ou redução de custos. Além disso, a automação pode ser dividida em 5 níveis dentro das indústrias, conforme mostra a Figura 3. Tais quais, vão desde setores de fabricação e chão de fábrica até os mais altos setores administrativos.

O nível 1 é caracterizado por máquinas e dispositivos de campo, tais como, motores, prensas, geradores, embaladoras, robôs, sensores, válvulas, entre outros. Já o nível 2, trata dos controladores que irão atuar sobre os componentes do nível 1 em função dos dados recebidos deste nível. Neste nível encontram-se os computadores industriais, controladores lógicos programáveis (CLP), interfaces homem-máquina (IHM), conversores de frequência, drives de controle de servomotores, controles numéricos computadorizados (CNC), etc..

No nível 3 é executado o controle do processo como um todo através de bancos de dados, relatórios de alarmes, variáveis do processo, indicadores e estatísticas do processo. Os sistemas de supervisão (SCADA) são os mais usuais para este nível, a partir deste nível observa-se o uso de softwares com interfaces cada vez mais amigáveis, facilitando a operação até mesmo por leigos em automação industrial. O nível 4 é responsável pelo planejamento e programação da produção. Neste nível ocorre o controle da logística de suprimento, estoques, expedição, etc, auxiliado por softwares de planejamento de recursos materiais, conhecidos por MRP (*Material Requirement Planning*), ou ainda, conforme convencionado, MRP II (*Manufacturing Resources Planning*). De uma forma mais ampla, o nível 5 é disposto de sistemas gerenciais de administração dos recursos das empresas. Aqui estão classificados os softwares de gestão financeira, vendas, recursos humanos, qualidade, etc.. Usualmente, neste nível estão os softwares de gestão integrada e planejamento dos recursos, conhecidos pela sigla ERP, provinda do inglês, *Enterprise Resource Planning*.



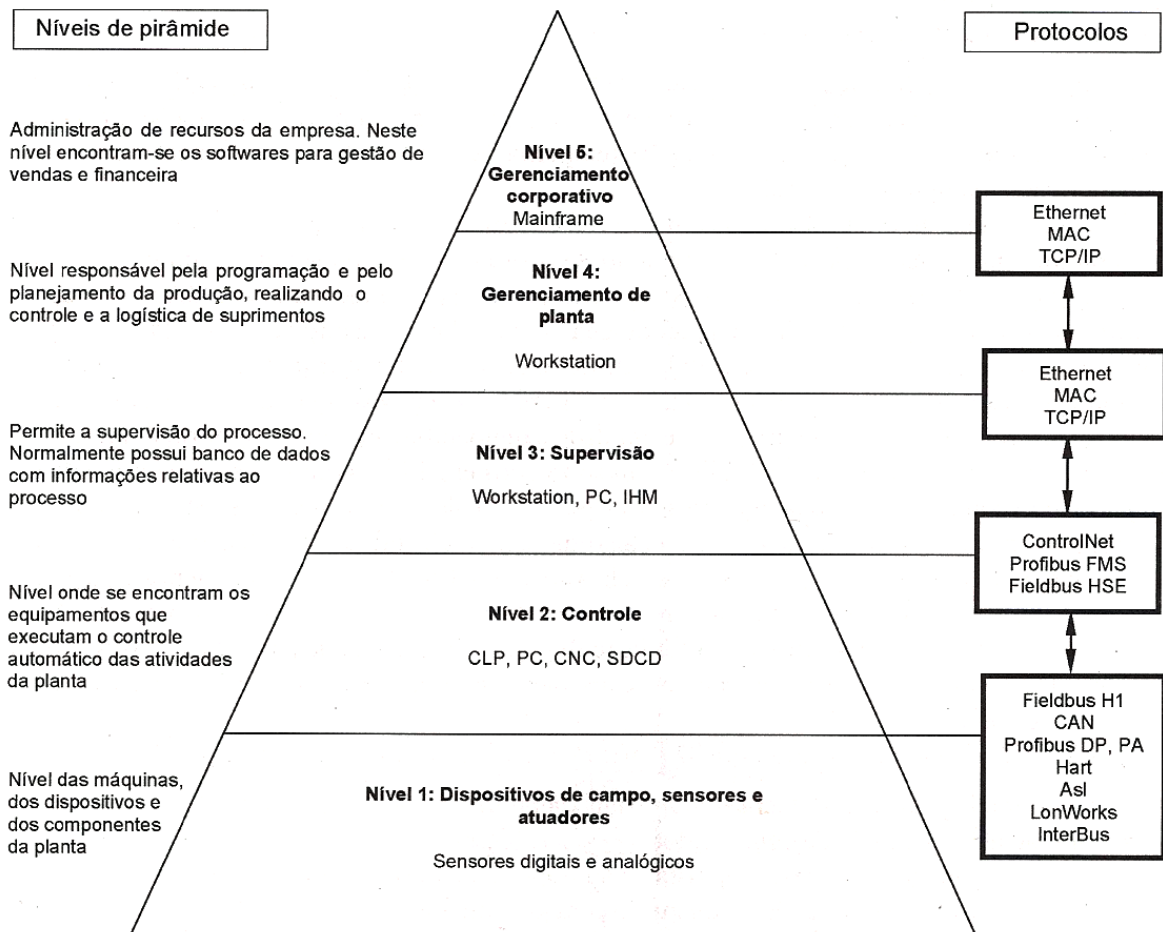


Figura 3 - Pirâmide de automação  
Fonte: adaptado de Moraes e Castrucci (2007, p.13)

Inserido neste contexto, este trabalho irá aos níveis 1 e 2, portanto, cabe estudar as tecnologias de sensores e controladores programáveis utilizados atualmente, as quais serão explanadas nos próximos capítulos.

## 2.2 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS

Segundo Immel (2012), os controladores lógicos programáveis, ou simplesmente CLP, é um computador digital genérico que, com a programação, pode ser utilizado para automatizar praticamente qualquer processo eletromecânico. Os CLPs podem ser utilizados para controlar desde parques de diversões, sistemas de climatização até mesmo linhas de montagem; são fabricados para ser confiável e resistir a ambientes agressivos, tornando-os ideal para a fabricação industrial.

De acordo com Georgini (2000), o CLP, também conhecido como PLC (*Programmable Logic Controller*), pode ser considerado um computador industrial, no qual instruções armazenadas podem realizar funções de controle, operações

lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em redes, desta forma, senso usados nos mais diversos sistemas automatizados.

## CLP - Definição

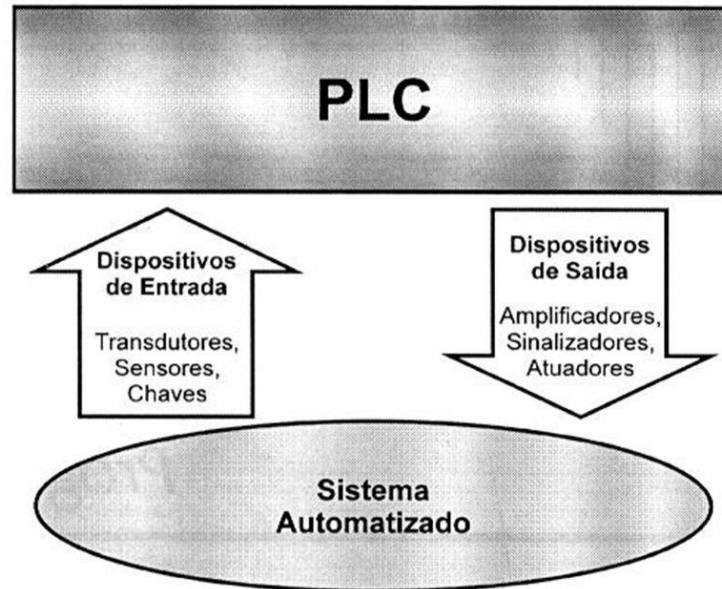


Figura 4 - Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável  
Fonte: adaptado de Georgini (2000, p.48).

O CLP executa suas funções ciclicamente. A Figura 5 mostra um fluxograma básico destas funções. Os segmentos vistos estão presentes em todos os CLPs disponíveis no mercado. (Georgini, 2000)

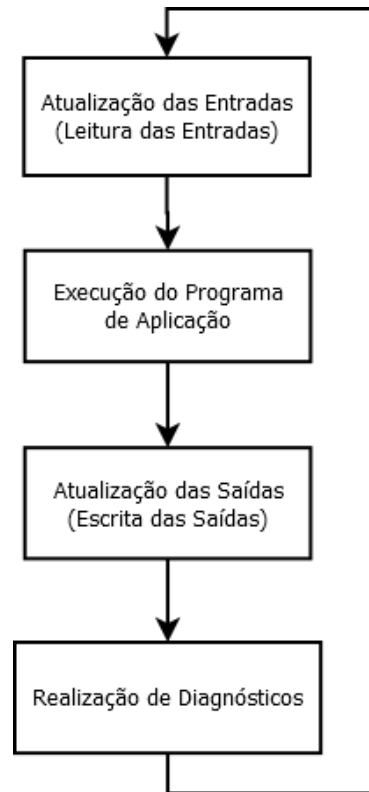


Figura 5 - Fluxograma Básico do Sistema de Operação de um CLP  
 Fonte: adaptado de Georgini (2000, p. 93)

Primeiramente o CLP faz a leitura das entradas e armazena na tabela de imagem das entradas, ou seja, armazena cada ponto de entrada em uma posição de memória específica. A seguir estas informações são processadas pelo programa de aplicação que executa as instruções de relação entre as condições das entradas e a atuação das saídas. Após isso, cada ponto de saída é atualizado. Para finalizar o ciclo, o CLP executa os diagnósticos, dentre os quais, os mais importantes são o cálculo do *Scan Time* e o controle do *Watchdog Timer* (Georgini, 2000).

### 2.3 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

O nível do programa é onde está a ação. A norma 61131 parte 3 trata a programação nas unidades organizacionais do programa (POUs) constituídos por funções e blocos de funções que se integram ao código em qualquer uma das cinco linguagens suportadas: LD (*Ladder Diagram* – Diagrama Ladder), IL (*Instructions List* – Lista de instruções), STL (*Structured Text List* – Lista de texto estruturado), FBD (*Function Block Diagram* – Diagrama de blocos de funcionais, SFC (*Sequential Function Chart* – Diagrama Funcional Sequencial) (LEWOTSKY, 2010).

### 2.3.1 Diagrama Ladder

O diagrama *Ladder* (LD) tem uma característica de degraus, na forma de escada, de onde advém o nome. Esta linguagem assemelha-se com diagramas elétricos com relés, onde há contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados e bobinas (GEORGINI, 2007).

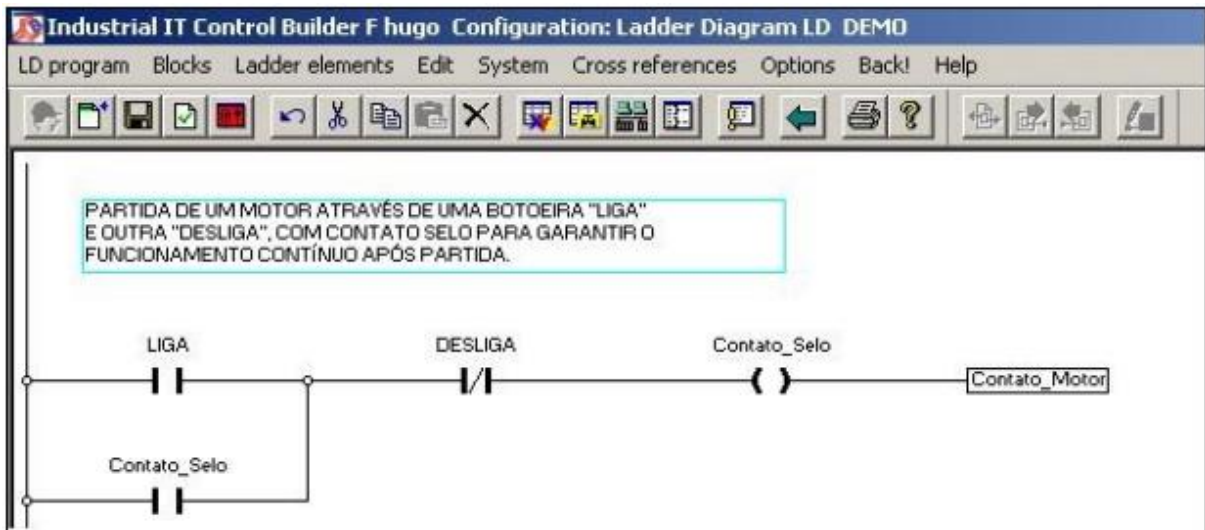


Figura 6 - Esquema de uma partida direta de motor em *Ladder*  
Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 49)

Os diversos fabricantes de controladores podem aplicar blocos funcionais e funções que vão além dos padrões definidos pela norma, de forma a aumentar o ramo de aplicações da linguagem, e assim, diferenciando-se dos seus concorrentes (GUIMARÃES, 2005).

### 2.3.2 Lista de Instruções

A Lista de Instruções (IL) é uma linguagem textual, considerada de baixo nível, e assemelha-se ao *Assembly*. Usualmente aplicada em problemas simples, com poucos desvios na execução do programa, e onde é requerido um código otimizado para trechos de desempenho crítico (GUIMARÃES, 2005).

Quando for de conhecimento intelectual e capacidade do programador é vantajosa a tradução do código de alto nível, se possível, para o de baixo nível ou a programação direta na Lista de Instruções, pois em partes de programa onde se necessita de melhor desempenho de processamento e alocação de dados na memória, limitados por equipamentos de hardware ou não, a linguagem de baixo nível é a indicada.

Toda vez que o programa de baixo nível for executado a etapa de compilação será economizada aumentando a performance da CPU. (GUIMARÃES, 2005, p. 55)

A semântica aplicada em Lista de Instruções é a aplicação, em cada linha do programa, de uma função seguida dos operandos:

Instrução = Operador + Operandos

Os principais operadores, os operadores de comparação e controle de fluxo podem ser observados nos

Quadro 1 Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 53)

Quadro 2.

Quadro 1 - Principal Operador de Lista de Instruções (IL)

<b>Operador</b>	<b>Modificador</b>	<b>Operando</b>	<b>Comentários</b>
LD	N	Qualquer	Carrega operando no acumulador
ST	N	Qualquer	Armazena acumulador no operando
ST		BOOL	Reset operando para TRUE
R		BOOL	Reset operando para FALSE
AND	N, (	BOOL	E booleano
&	N, (	BOOL	Equivalente a E
OR	N, (	BOOL	OU booleano
XOR	N, (	BOOL	OU exclusivo
ADD	(	Qualquer	Adição
SUB	(	Qualquer	Subtração
MUL	(	Qualquer	Multiplicação
DIV	(	Qualquer	Divisão

Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 53)

Quadro 2 - Operadores de Comparação e Controle de Fluxo de Listas de Instruções (IL)

Operador	Modificador	Operando	Comentários
GT	(	Qualquer	Compara maior que
GE	(	Qualquer	Compara maior ou igual
EQ	(	Qualquer	Comparação igual
NE	(	Qualquer	Comparação diferente
LE	(	Qualquer	Compara menor ou igual
LT	(	Qualquer	Compara menor que
JMP	C, N	Label	Salta para label
CAL	C, N	Nome	Chamada de bloco funcional
RET	C, N		Retorno de função ou bloco funcional
)			Executa o último operador adiado

Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 54)

A Figura 7 ilustra um exemplo simples de programação em Lista de Instruções.

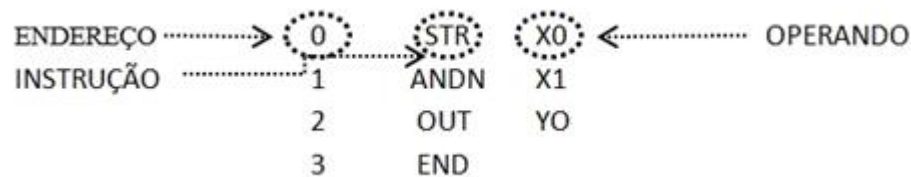


Figura 7 - Exemplo de Programa em Lista de Instruções (IL)

Fonte: adaptado de Georgini (2007, p. 8)

### 2.3.3 Texto Estruturado

A linguagem denominada de Texto Estruturado (STL) é uma linguagem textual, no entanto, ao contrário do que visto na linguagem de lista de instruções, é considerada de alto nível. Esta linguagem é estruturada em blocos, semelhantemente ao Pascal. Geralmente usada para expressar declarações complexas, onde há uma ampla faixa de dados de diferentes tipos, sejam valores analógicos ou digitais. Esta linguagem suporta a interação de *loops*, tais qual, *REPEAT UNTIL* (repita até), execução de comparações condicionais, como, *IF-THEN-ELSE* (se-então-senão), e, até mesmo, funções matemáticas e aritméticas, como *SQRT* (raiz quadrada) e *SIN* (seno) (GEORGINI, 2007).

$Y0 := X0 \text{ AND NOT } X1$

Figura 8 - Exemplo de programação em Texto Estruturado (STL)  
Fonte: adaptado de Georgini (2007, p. 86)

O

Quadro 3 mostra alguns operadores padrões para a linguagem Texto Estruturado (STL).

Quadro 3 - Operadores padrões para Texto Estruturado (STL)

Operador	Descrição	Precedência	
(...)	Expressão com parênteses	Maior	
FUNÇÃO (...)	Lista de parâmetros de uma função	⋮ ⋮ ⋮	
**	Exponenciação		
-	Negação		
NOT	Complemento booleano		
*	Multiplicação		
/	Divisão		
MOD	Operador de módulo		
+	Adição		
-	Subtração		
<, >, <=, >=	Comparação		
=	Igualdade		
<>	Desigualdade		
AND, &	E booleano		
XOR	OU exclusivo booleano		
OR	OU booleano		Menor

Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 43)

### 2.3.4 Diagrama de Blocos Funcionais

O Diagrama de Blocos Funcionais classifica-se como uma linguagem gráfica, representada por blocos conectados entre si de forma semelhante a um diagrama de circuito elétrico (GEORGINI, 2007).

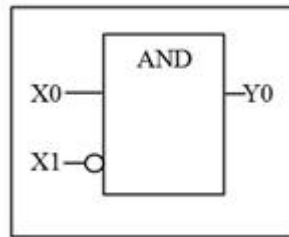


Figura 9 - Exemplo de programação em Diagrama de Blocos Funcionais (FBD)  
 Fonte: adaptado de Georgini (2007, p. 86)

Esta linguagem é compatível com a norma IEC 617-2 (*Graphical symbols for diagrams*), que define blocos funcionais básicos usados frequentemente para representar blocos complexos (GUIMARÃES, 2005).

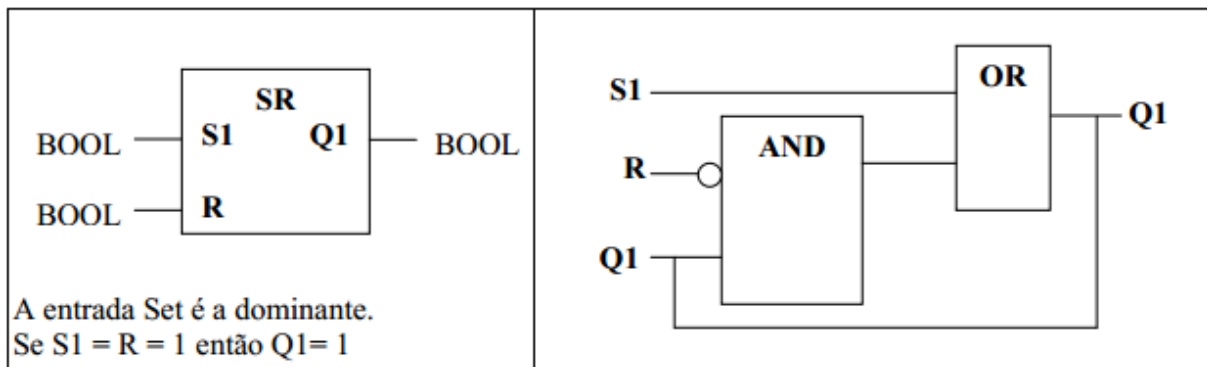


Figura 10 - Bloco biestável SR (algoritmo interno em FBD)  
 Fonte: adaptado de Guimarães (2005, p. 46)

### 2.3.5 Diagrama Funcional Sequencial

A linguagem nomeada de Diagrama Funcional Sequencial (SFC) é estruturada, basicamente, em passos na forma retangular conectados por linhas verticais com uma barra horizontal, que representam as condições para a comutação de um passo para outro subsequente. (GUIMARÃES, 2005).

Baseada na norma IEC 60848, o SFC é considerado como uma linguagem gráfica usada para estruturar a organização interna de um programa, podendo auxiliar na decomposição do problema de controle em partes menores. Os elementos do SFC são as etapas, ações associadas às etapas, transições, condições associadas às transições e ligações orientadas, podendo ser programado em qualquer uma das linguagens definidas na norma IEC 61131-3. (GEORGINI, 2007)



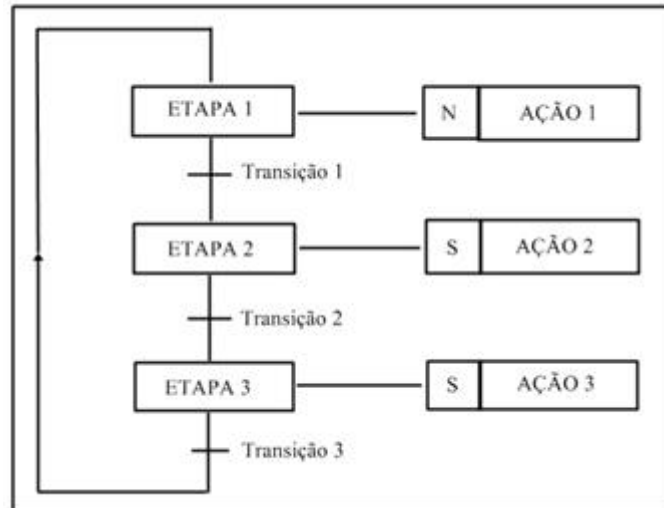


Figura 11 - Exemplo de estruturação de programa por SFC  
Fonte: adaptado de Georgini (2007, p. 87)

### 3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta as tecnologias e métodos utilizados para solucionar a problemática exposta no capítulo 1.

#### 3.1 LÓGICA DE OPERAÇÃO

Para iniciar a apresentação deste capítulo, cabe entender a lógica de operação do processo de escarear furos.

O ciclo básico do processo pode ser representado conforme a Figura 12.

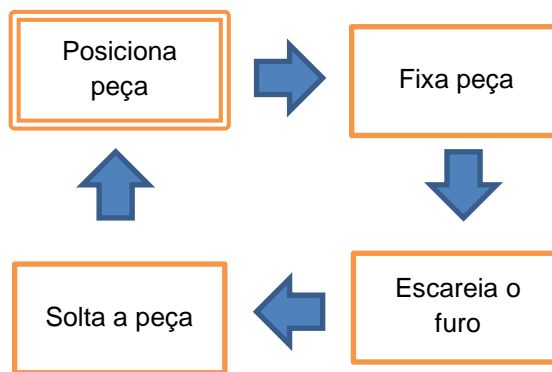


Figura 12 - Ciclo do processo de escarear  
Fonte: o Autor

A partir destas 4 etapas, observa-se a necessidade de movimentos retilíneos e de rotação da ferramenta de corte, seja broca ou escareador. Na Figura 13 esses movimentos podem ser vistos de forma mais clara; onde o posicionador de peças empurra a peça inferior da coluna de peças para a posição de usinagem. Depois disso, o fixador de peças fecha as garras contra a peça, seguido do avanço da ferramenta sobre a peça. Finalizando o processo, a peça é solta e, gravitacionalmente, sai do processo.

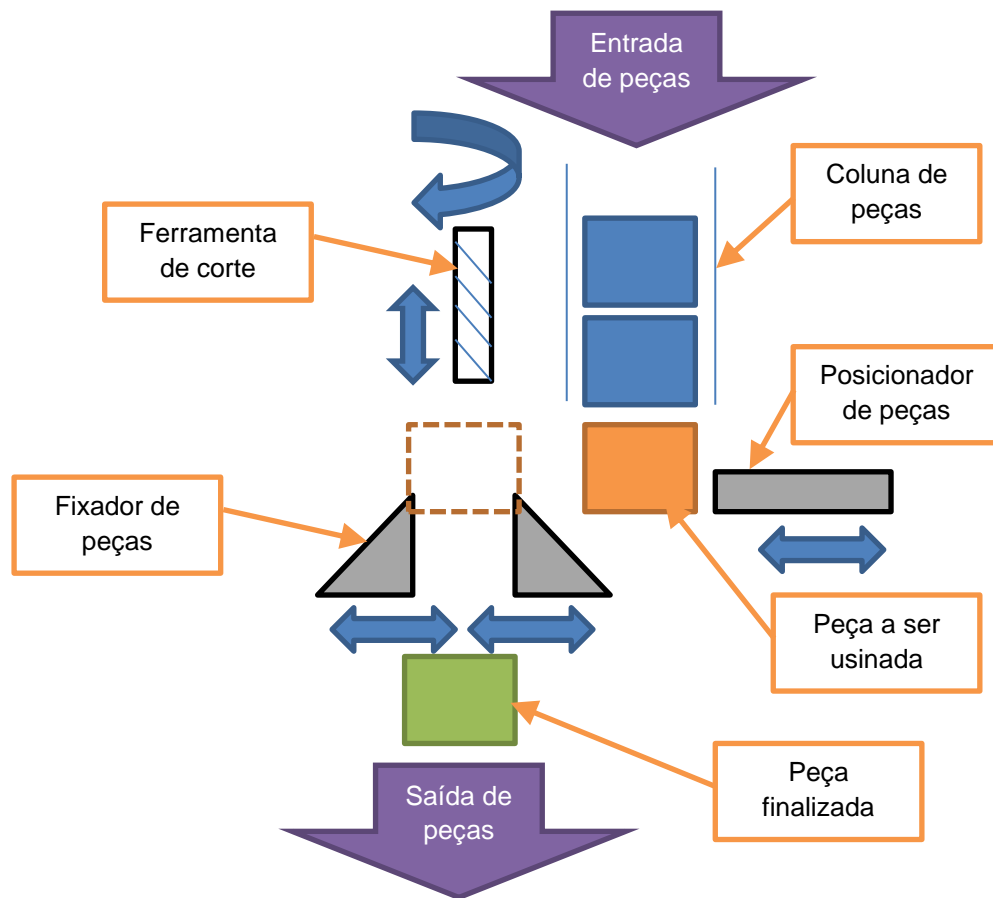


Figura 13 - Diagrama de movimentos  
 Fonte: o Autor

Diante das premissas de movimento, foi desenvolvido um sistema eletropneumático, composto por 3 atuadores pneumáticos para os movimento retilíneos e um motor elétrico para o movimento de rotação.

A Figura 14 mostra o projeto da máquina a ser usada na furação de pequenas peças. Pode ser denominada de furadeira automática. O motor elétrico será nomeado como M1 e fará o movimento de rotação da ferramenta, os atuadores receberão o nome de S1, S2 e S3.

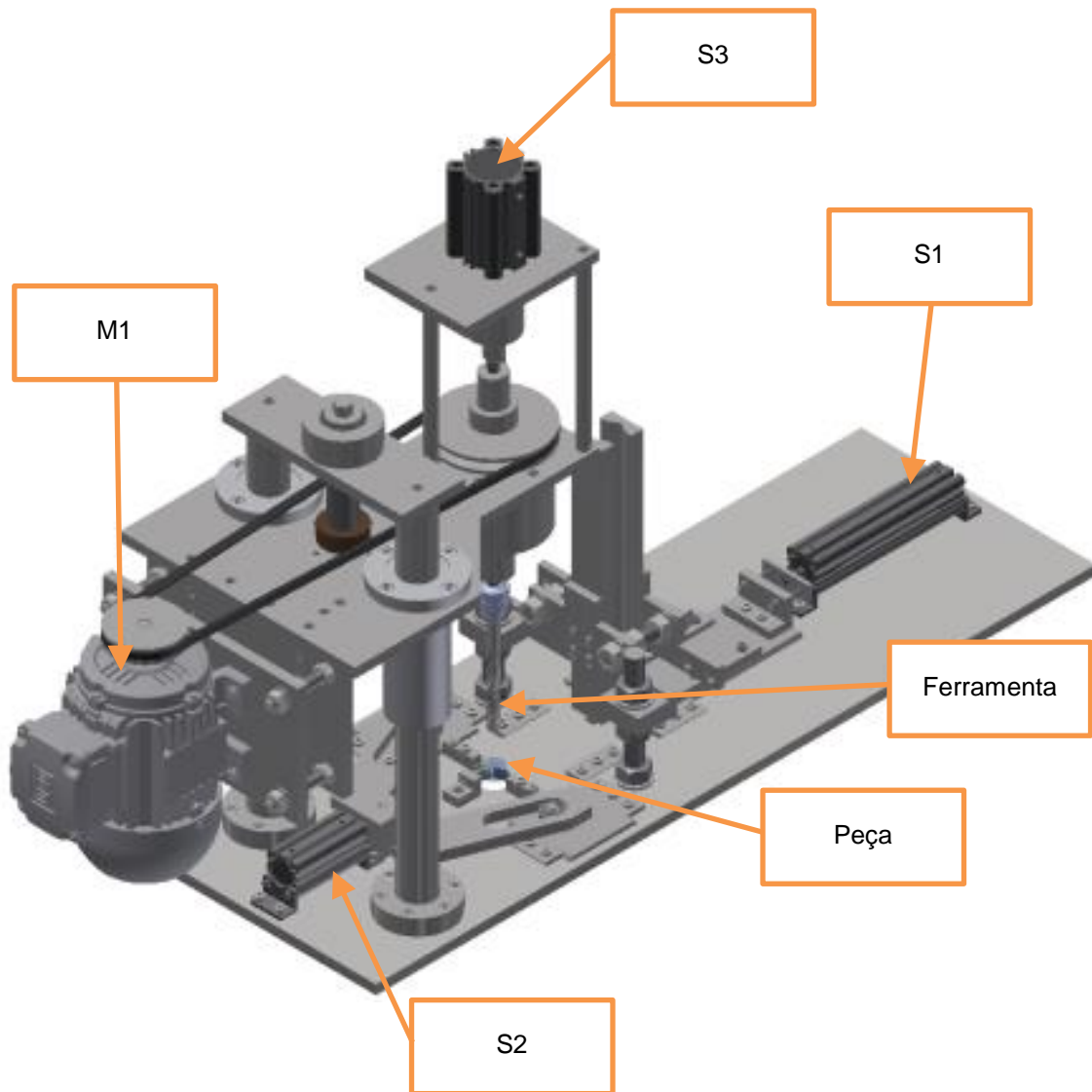


Figura 14 - Furadeira automática  
Fonte: o Autor

O sistema pneumático pode ser visualizado na Figura 15, onde o atuador S1 fará o posicionamento da peça; o atuador S2 será responsável pela fixação da peça e o atuador S3, por sua vez, fará o avanço da ferramenta sobre a peça. As válvulas direcionais de 5 vias e 2 posições nomeadas Y1, Y2 e Y3 farão o acionamento dos atuadores S1, S2 e S3 respectivamente.

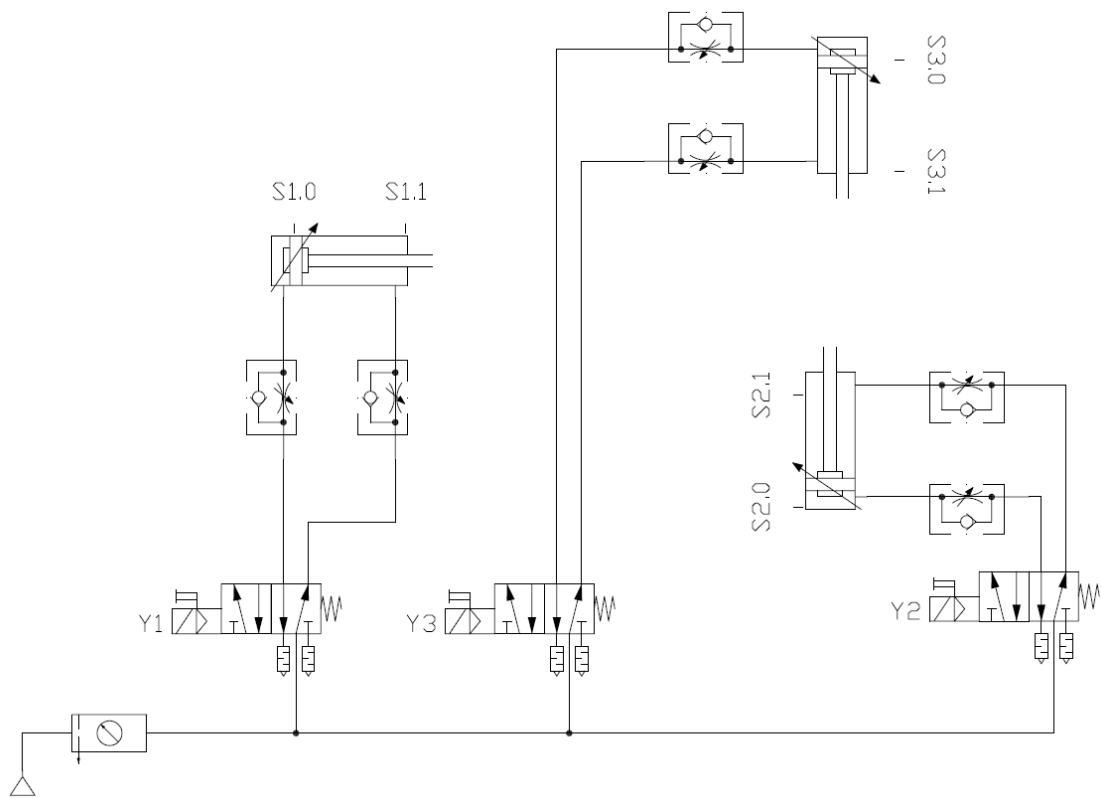


Figura 15 - Diagrama pneumático  
Fonte: o Autor

As Figura 16 e Figura 17 representam a lógica de funcionamento baseada-se na linguagem de programação SFC.

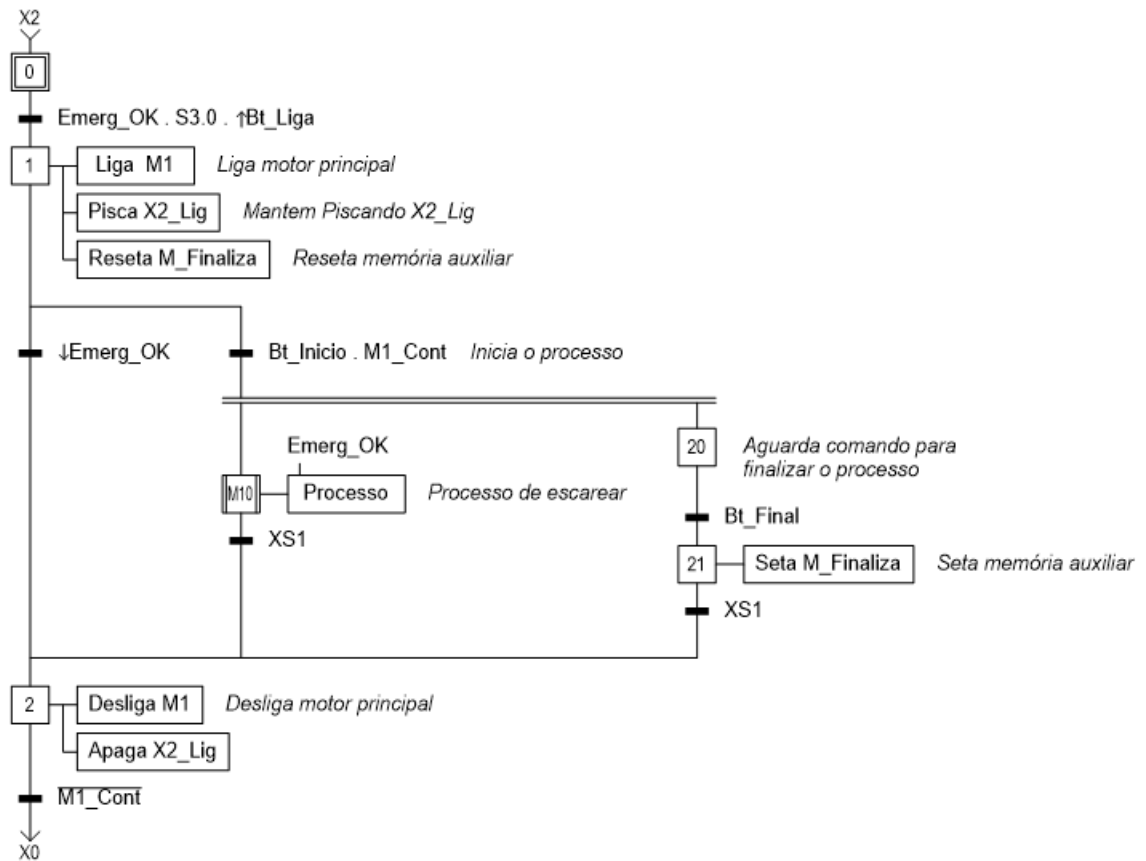


Figura 16 - Grafcet programa principal  
 Fonte: o Autor

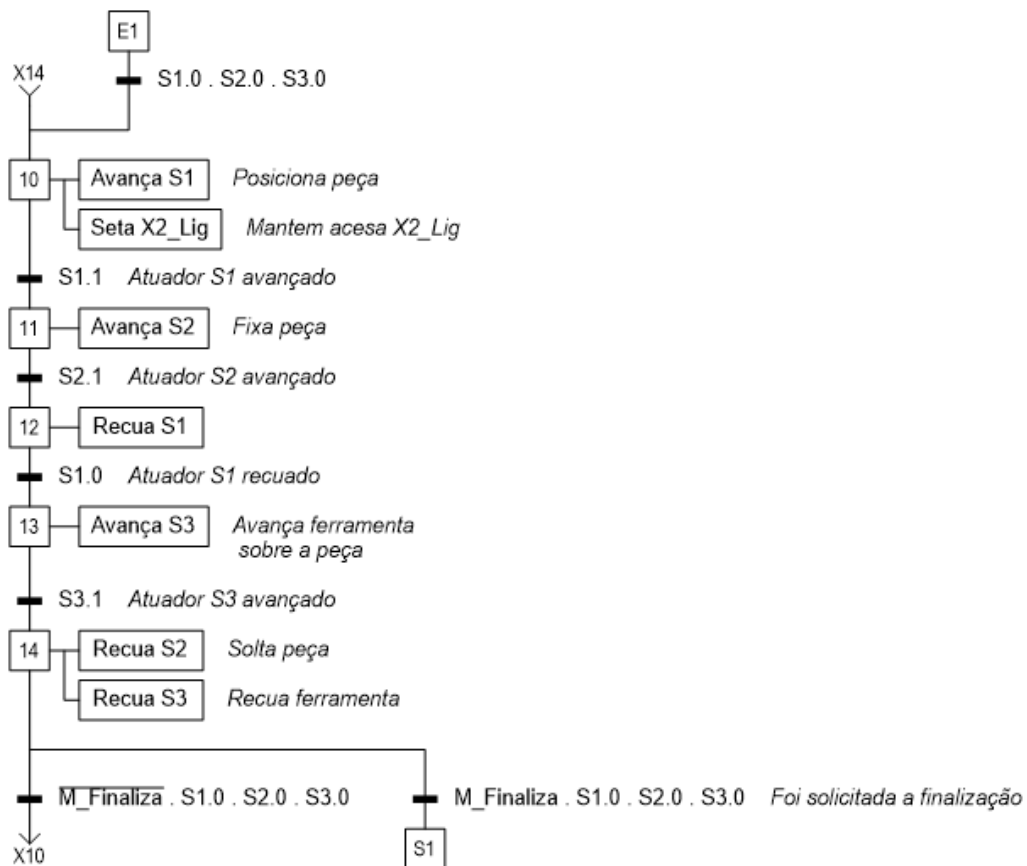


Figura 17 - Grafcet programa M1  
Fonte: o Autor

A interação do meio externo com o sistema pode ser feito através de botões nomeados de “Bt\_Liga”, “Bt\_Inicio” e “Bt\_Final”. Além disso, o sistema está dotado de um botão de emergência, o qual terá sua ligação detalhada a seguir. Como resposta à ação de controle do operador, o sistema será composto por dois indicadores luminosos nomeados de “X1\_Com” e “X2\_Lig”.

Sempre que o sistema for energizado e o CLP estiver em estado “Run”, ou seja, executando o programa de aplicação, o luminoso “X1\_Com” deve permanecer aceso, indicando que o equipamento está energizado e que, possivelmente, poderá executar algum movimento automaticamente.

O botão nomeado de “Bt\_Liga” será responsável por ligar o motor elétrico. Neste instante o luminoso “X2\_Lig” passará a piscar indicando que o motor foi ligado e que a máquina está pronta para iniciar o processo. Assim que o botão “Bt\_Inicio” for acionado, o processo começa a ser executado e as peças processadas pelo sistema, mantendo o ciclo continuamente.

Ao acionar o botão “Bt\_Final”, faz-se o desligamento do equipamento de forma que, a peça que está sendo processada no momento de acionamento deste botão finalize seu processamento e, então, seja interrompido o ciclo contínuo do processo e desligado o motor.

O botão de emergência, quando acionado, para o processo instantaneamente, independentemente de qual etapa está em execução, e desliga o motor, mantendo os atuadores pneumáticos na posição do último comando executado pelo programa de aplicação. Isso também ocorre em caso de atuação por sobrecarga do disjuntor de proteção do motor.

### 3.2 HARDWARE

Buscando o desempenho compatível com o objetivo deste trabalho e o menor custo possível, para escolha dos dispositivos a serem usados foram priorizados os CLPs de baixo custo e com software de programação distribuído gratuitamente. Nesta caso, foi escolhido o CLP da linha *CLIC-02* do fabricante WEG, pois atende as necessidades de programação, possui software de programação gratuito.

Muitas vezes, devida a simplicidade deste CLP, é chamado de relé programável, ou relé inteligente. A versão de firmware utilizada é a V3.x, o qual, possui uma capacidade de programação em *Ladder* de até 300 linhas (ou 260 blocos em FBD) e um display de 4 linhas de 16 caracteres (WEG, 2010).

Dentre os modelos disponíveis, o especificado para este trabalho foi o CLW-02/20HT-D, com seguintes características técnicas:

Quadro 4 - Características do CLP WEG CLW-02/20HT-D

<b>Tensão de alimentação</b>	24 VCC	
<b>Entradas digitais</b>	8 (12)	As entradas de 9 à 12 podem ser usadas como analógica ou digital.
<b>Saídas digitais</b>	8	Tipo transistor
<b>Máximo de E/S</b>	44 + 4	Se o modelo básico tiver teclado e display, a quantidade máxima de E/S pode ser incrementada pelas teclas (Z01 – Z04)
<b>Velocidade de processamento</b>	10 ms/ciclo	

Fonte: Adaptado de WEG (2010, p. 4-1 e 4-4)

As entradas e saídas estão ligadas eletricamente da seguinte forma:



Quadro 5 - Lista de dispositivos ligados ao CLP

<b>E/S</b>	<b>Tipo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Símbolo</b>
I01	DI	Relé de segurança	RI_Emerg
I02	DI	Botão para ligar motor	Bt_Liga
I03	DI	Botão de inicio do processo	Bt_Inicio
I04	DI	Botão de parada do processo	Bt_Final
I05	DI	Atuador S1 recuado	S1.0
I06	DI	Atuador S1 avançado	S1.1
I07	DI	Atuador S2 recuado	S2.0
I08	DI	Atuador S2 avançado	S2.1
I09	DI	Atuador S3 recuado	S3.0
I0A	DI	Atuador S3 avançado	S3.1
I0B	DI	Disjuntor Motor Ligado	M1_Disj
I0C	DI	Motor Ligado	M1_Cont
O01	DO	Lâmpada Comando Ligado	X1_Com
O02	DO	Lâmpada Sistema Ligado	X2_Lig
O03	DO	Avança S1	Y1
O04	DO	Avança S2	Y2
O05	DO	Avança S3	Y3
O06	DO	Liga Motor	M1_Lig

Fonte: o Autor

Na Figura 18 pode-se observar o diagrama básico de ligação dos itens listados anteriormente.

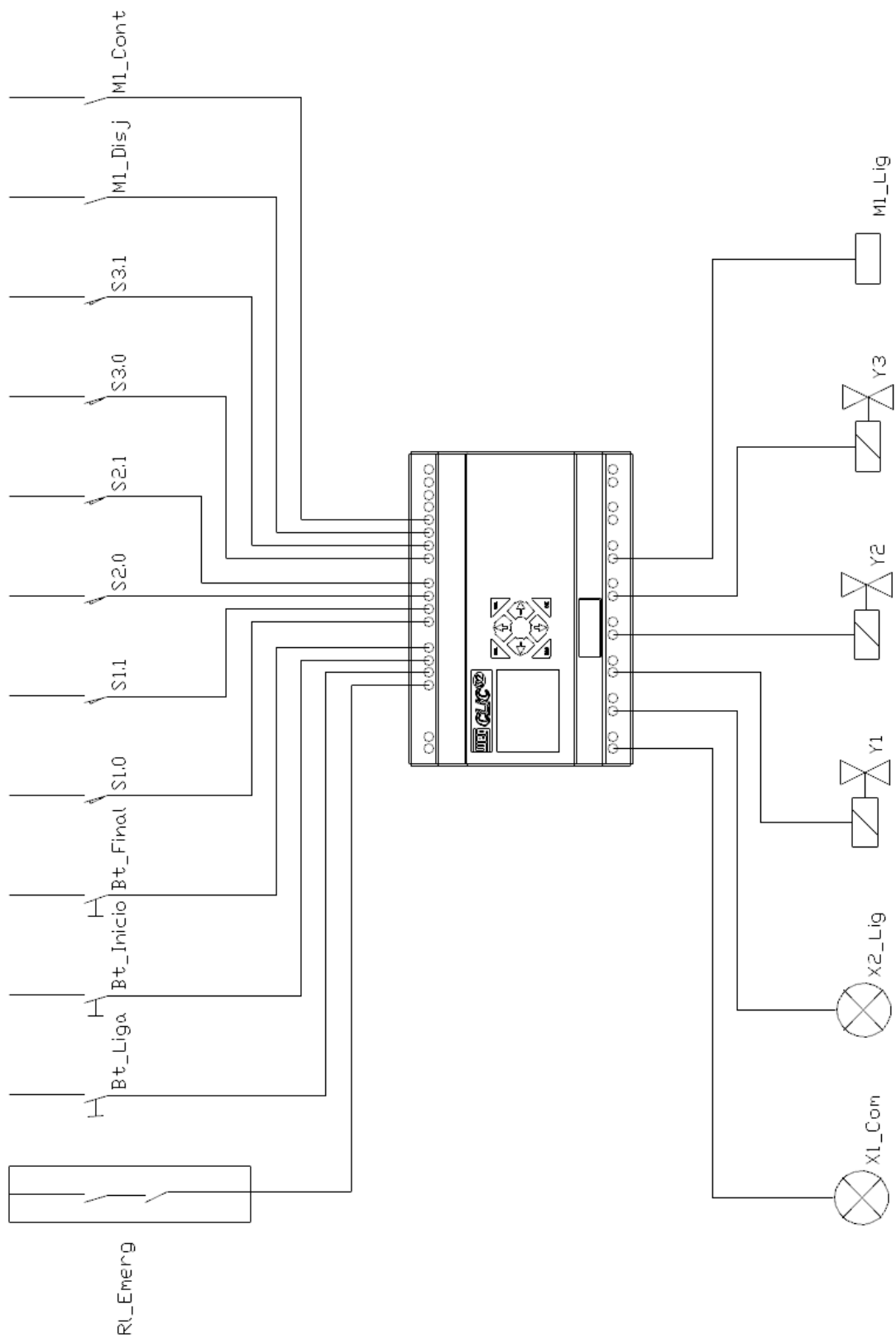


Figura 18 - Diagrama básico de ligação do CLP  
 Fonte: o Autor

### 3.3 SOFTWARE

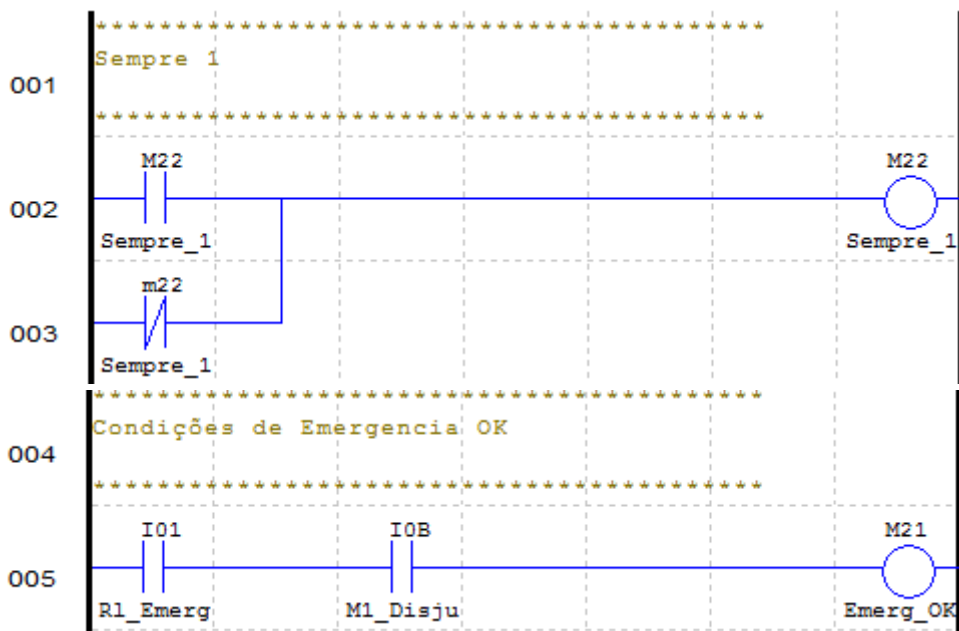
Para programação do CLP foi utilizado o software Clic02 Edit V3. Este software permite que o programa de aplicação seja desenvolvido em Diagrama Ladder (LD) e em Diagrama de Blocos de Funcionais (FBD).

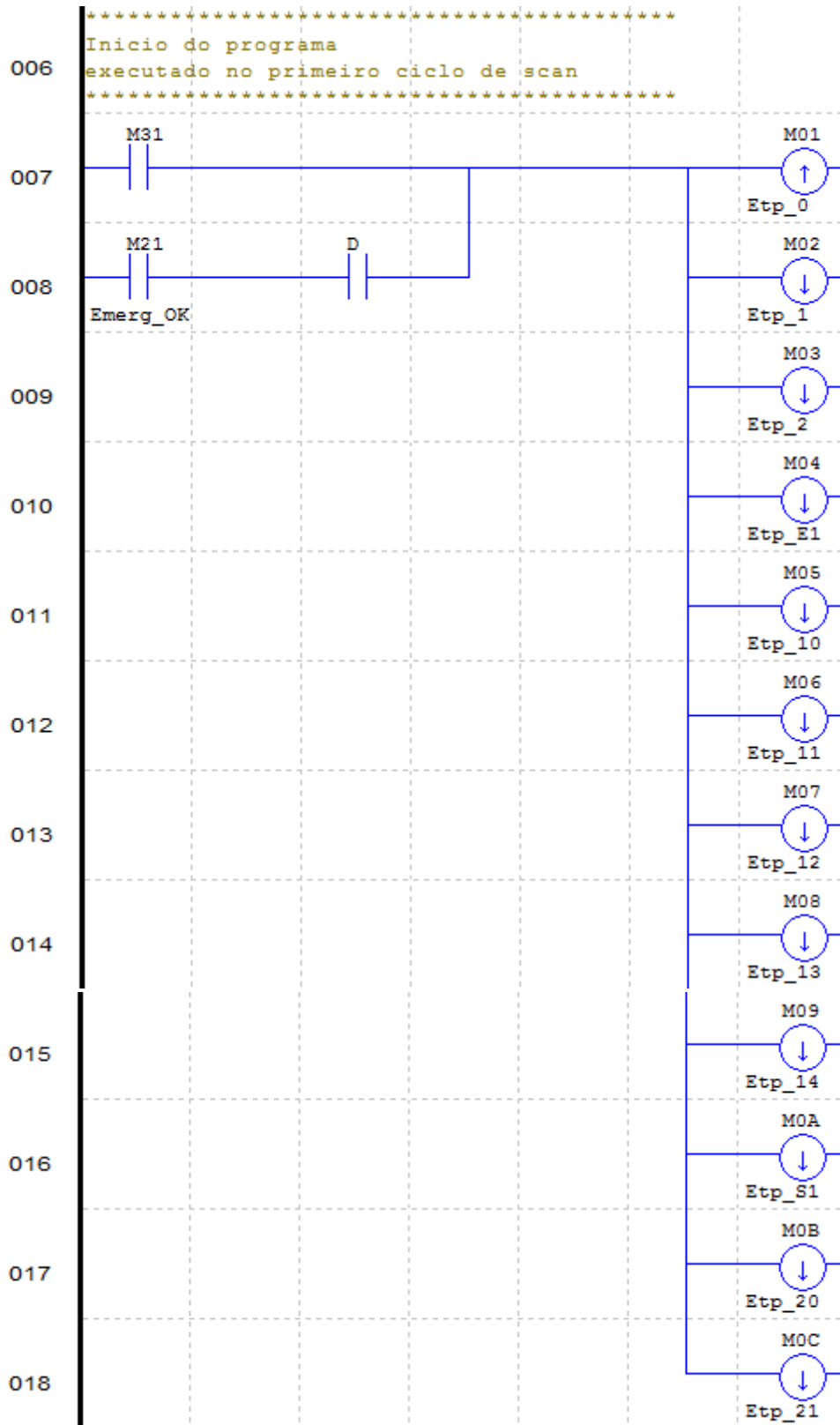
Para desenvolvimento do programa de aplicação foi necessário o uso de algumas variáveis de memória. Observa-se, entre as linhas 001 e 003, a execução de uma função na qual a memória “M22” é manipulada para que e todo o ciclo de *scan* ela retorne o esta lógico alto (True), por isso chamada de “Sempre\_1”. Essa memória será usada para manter a lâmpada “X1\_Com” acesa.

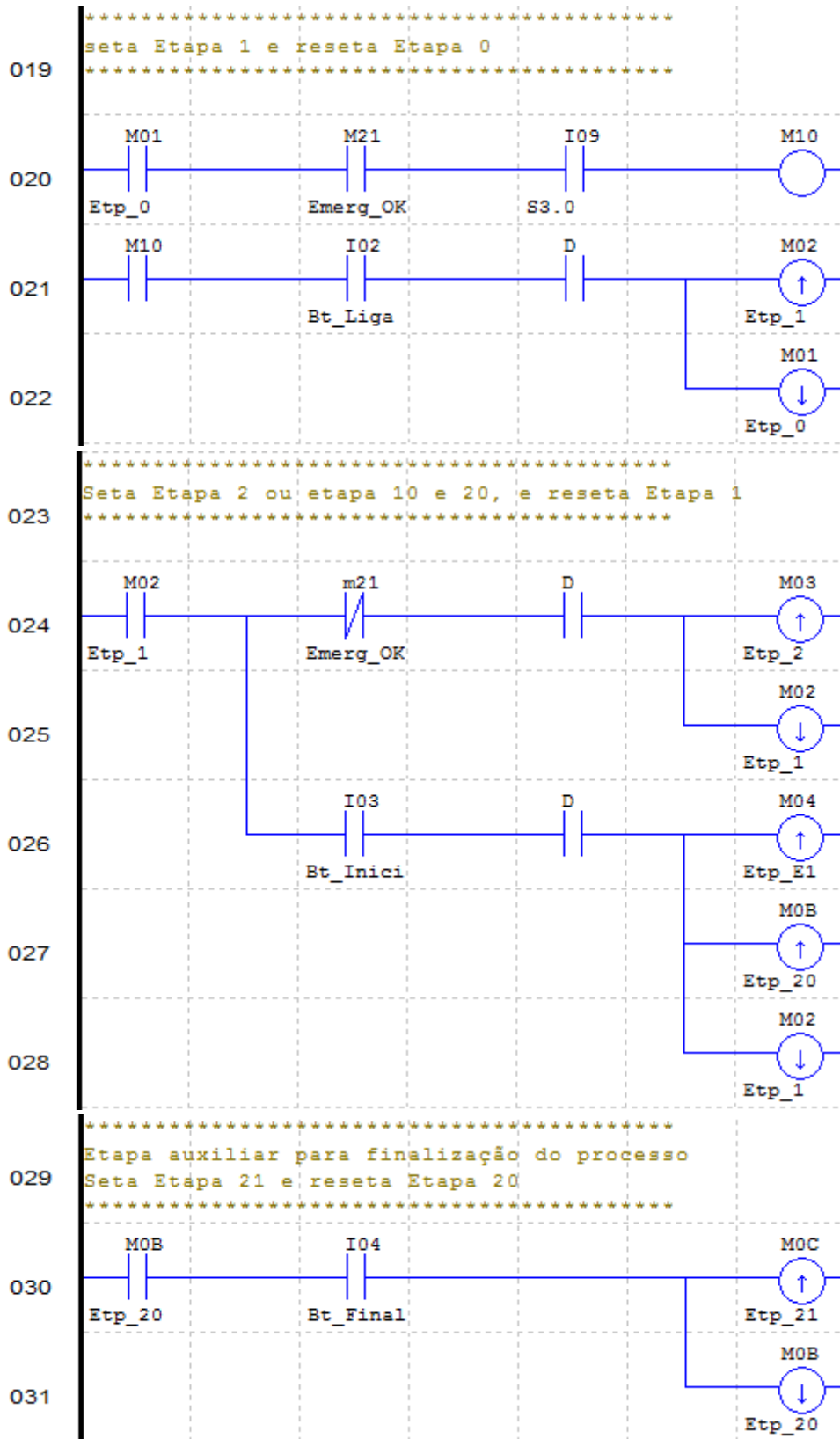
O código da linha 005, verifica as condições de segurança, ou seja, se o relé de segurança está funcional e se o disjuntor do motor está ligado, comutando assim, a memória “M21” para o estado lógico alto. Qualquer combinação diferente do que foi descrita anteriormente a memória “M21” será comutada para o estado lógico baixo.

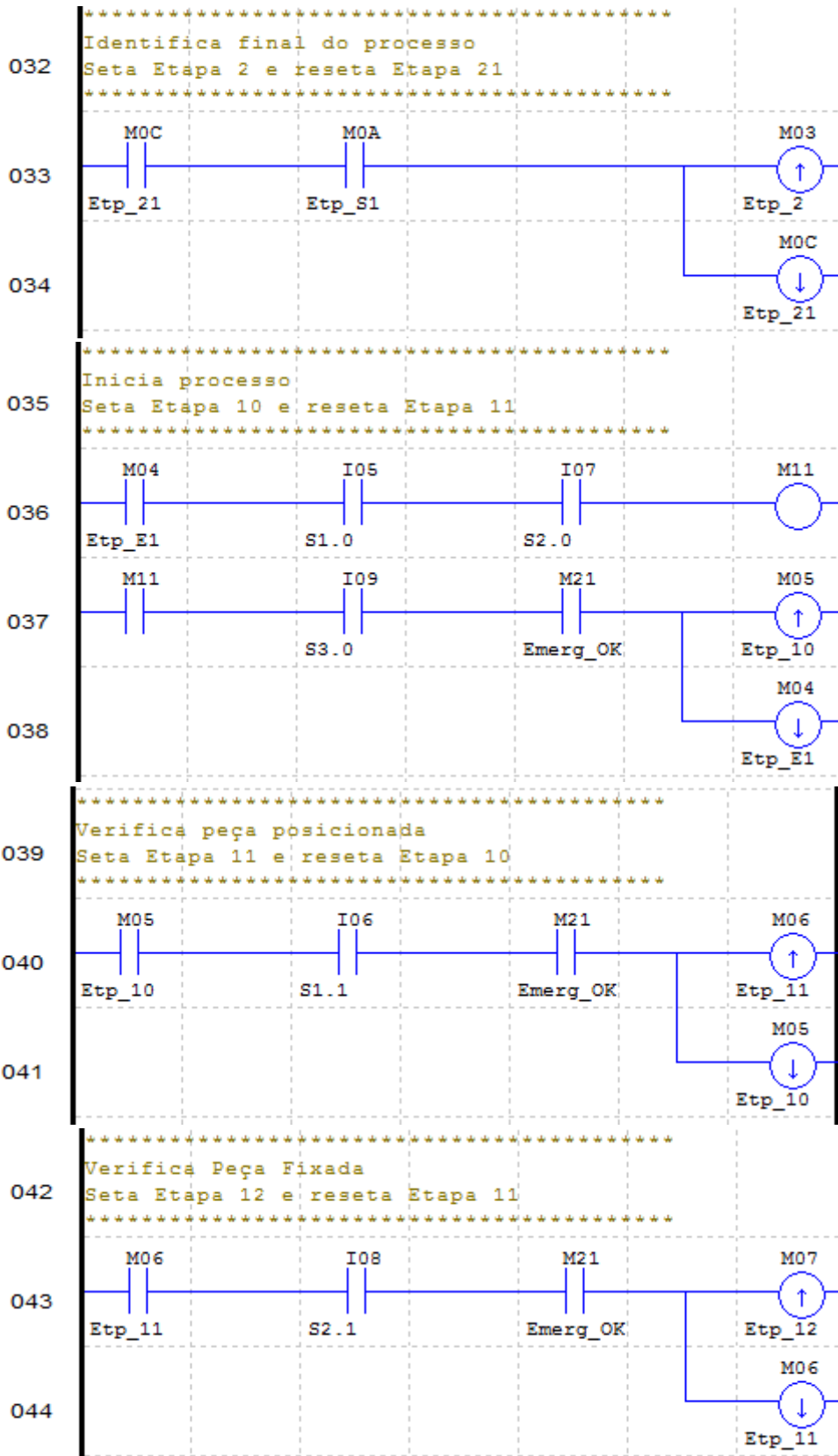
As linhas de código entre 006 e 064 representam as transições entre os passos descritos nos Grafcet das Figura 16 e Figura 17. Já, as linhas entre 065 e 098 executam as ações a serem executadas pela máquina.

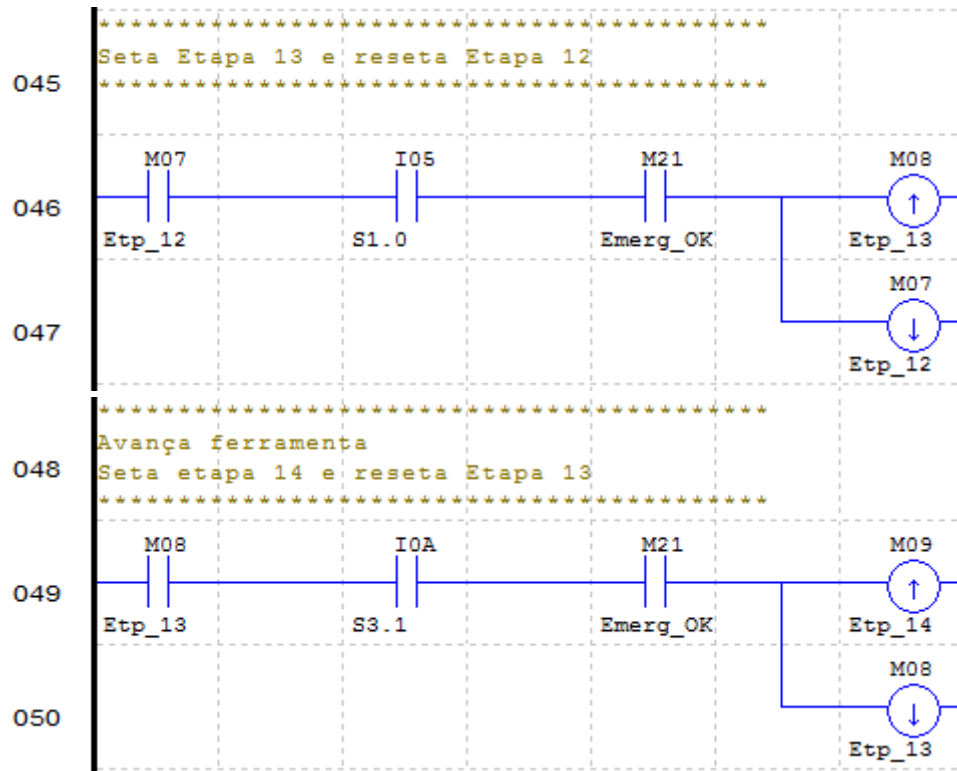
A seguir o código completo do programa em *Ladder*:

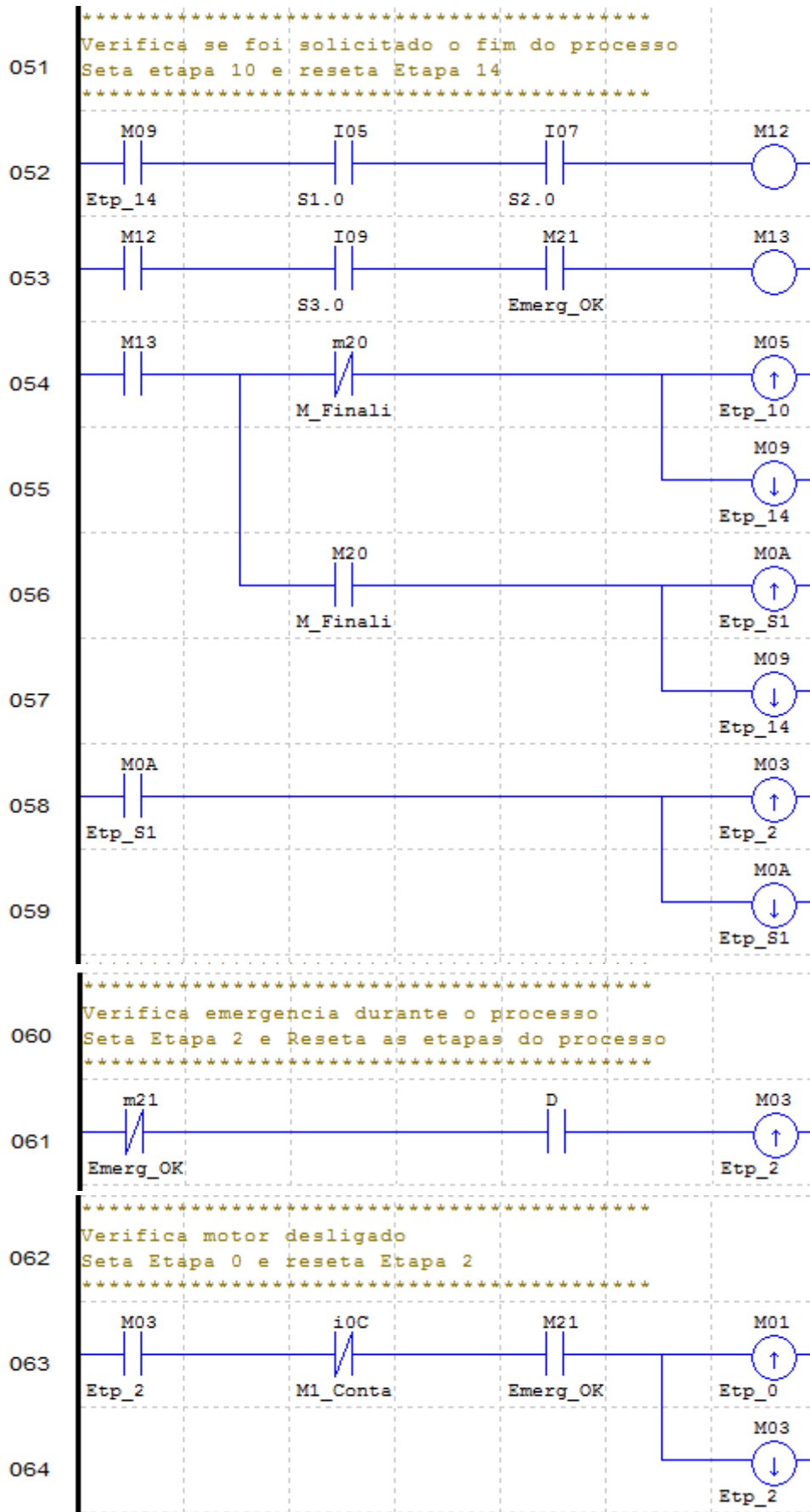




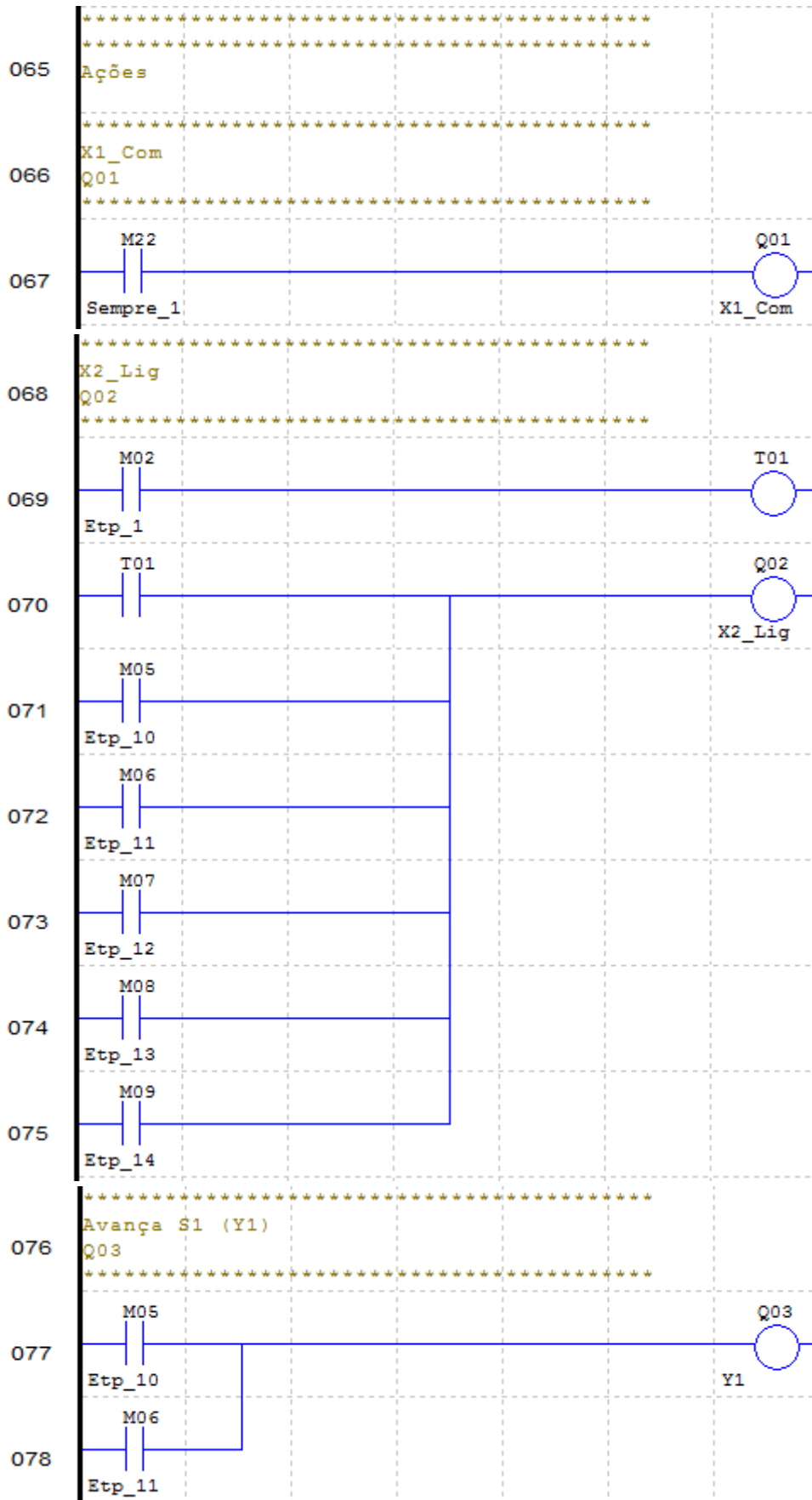


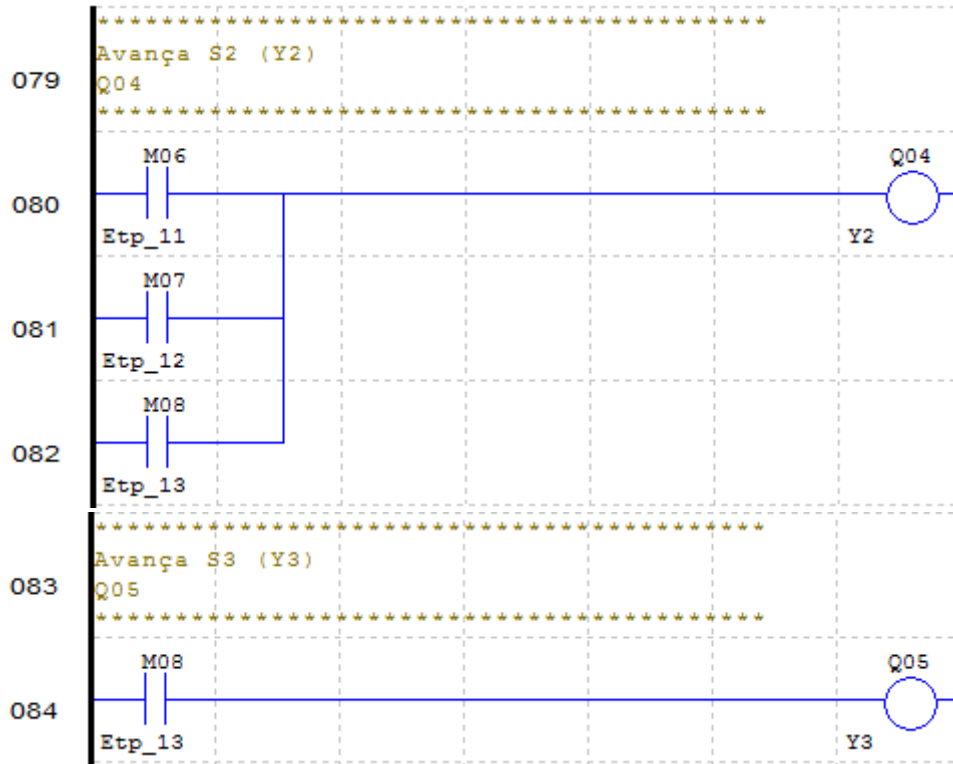


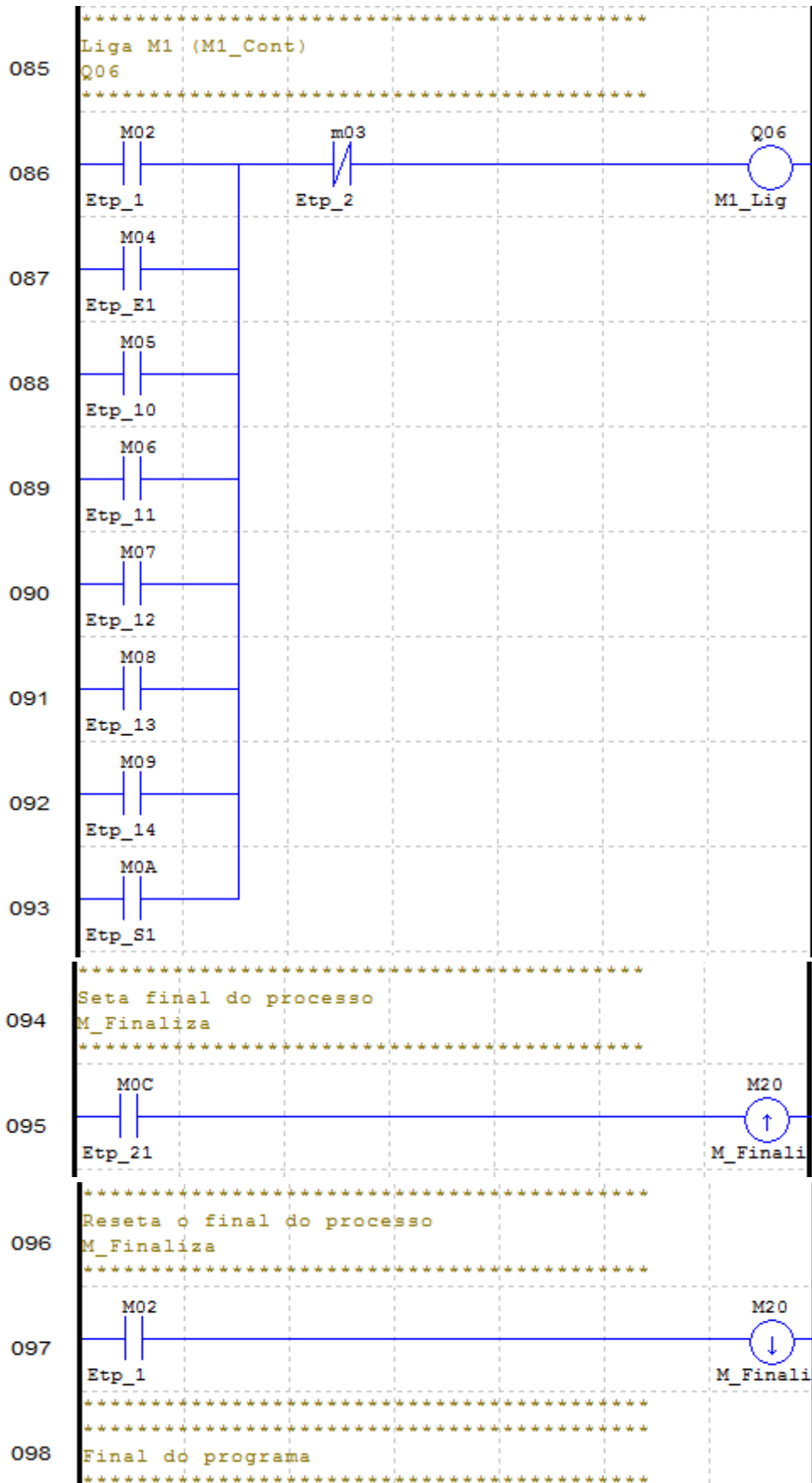












## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho fornece uma base para a automação do processo de furação de peças, sendo que a implementação do proposto cabe à empresa na qual foi desenvolvido. No entanto, apesar do objetivo deste trabalho ser a automação do processo de escarear furos, os ganhos sobre os aspectos que motivaram sua elaboração, são evidentes, por isso a aceitação pelos gestores e a programação da implantação assim que possível, conforme cronograma elaborado pela empresa.

Com a implementação deste trabalho, há uma redução imediata dos riscos de lesões por esforços repetitivos dos operadores, uma vez que, a ação de operação fica limitada na supervisão visual do processo, na alimentação de peças e na retirada das peças já processadas.

Do ponto de vista de segurança, a máquina está equipada com um sistema de parada de emergência e, devido aos poucos esforços empregados pelo operador, há uma redução nos fatores de cansaço que possam influenciar na atenção do operador e na segurança do processo.

Já, em termos de ganhos na produtividade, estima-se reduzir o tempo por gasto por peça de aproximadamente 20 segundos para menos de 10 segundos. O que representa o dobro da produtividade atual, vindo de encontro com o tema descrito no Capítulo 1.

Sobre o desenvolvimento deste trabalho cabe ressaltar que a utilização do Grafcet como técnica para descrever a lógica de funcionamento e operação facilitou muito a programação na linguagem *Ladder*, uma vez que, ficam claros os passos e as ações a serem executados pelo controlador. Com a elucidação das condições da máquina nas quais cada ação será executada torna mais fácil a compreensão do funcionamento, além de melhorar a visualização do processo como um todo.

Quanto à programação, observa-se que o software utilizado neste trabalho dispõe apenas duas linguagens definidas pela norma IEC 61131-3: Diagrama *Ladder* e Diagrama de Blocos Funcionais. Para este trabalho foi optado pelo uso do diagrama *Ladder* devido a facilidade de conversão do Grafcet para esta linguagem.

Outra ferramenta indispensável para a elaboração deste trabalho foi a possibilidade de simulação do programa de aplicação, característica muito importante para evitar danos físicos à máquina ou, até mesmo, acidentes devido movimentos indesejados, os quais não foram atentados durante à programação. Por

esta razão foram feitas exaustivas simulações das condições de operação, a fim de evitar quaisquer danos à máquina e, principalmente, a integridade física dos operadores.

#### 4.1 TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, observa-se uma tendência ao uso de IHM (Interface Homem-Máquina) integradas com controladores programáveis no mesmo dispositivo, ou seja, uma IHM com entradas e saídas programáveis. Isso seria interessante quando o operador precisa de dados estatísticos da máquina ou do lote que está sendo produzido, tais como, quantidade de peças processadas, tempo de operação, previsão do instante de manutenção preventiva, tempo para lubrificação, entre outras informações. Usualmente essas informações podem ser compartilhadas em rede, podendo chegar até os níveis hierárquicos de gestão da empresa.

## REFERÊNCIAS

FERRARI, A. V. F. **A anatomia dos tornos automáticos de acionamentos mecânicos.** São Paulo: Ergomat, 2004. Disponível em: <[http://www.tornoautomatico.com.br/downloads/Anatomia\\_tornos.pdf](http://www.tornoautomatico.com.br/downloads/Anatomia_tornos.pdf)>. Acesso em: 14 set. 2014.

GEORGINI, M. **Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs.** São Paulo: Érica: 2000.

GUIMARÃES, H. C. F. **Norma IEC 61131-3 Para Programação de Controladores Programáveis: Estudo e Aplicação.** 2005. 82f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Engenharia Elétrica), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

IMMEL, R. L. **Programmable Logic Controller Evolution.** Madison: Manufacturing Business Technology, 2012. Disponível em: <<http://www.mbtmag.com/articles/2012/03/programmable-logic-controller-evolution>>. Acesso em: 24 set. 2014.

LEWOTSKY, K. **IEC61131 Standardizes PLC Programming.** 2010. Disponível em: <<http://www.motioncontrolonline.org/i4a/pages/index.cfm?pageID=4099>>. Acesso em: 01 out. 2014.

LYDON, B. **Manufacturing Technology Race: Leveling the Playing Field.** Automation.com, 2014, Disponível em: <<http://www.automation.com/portals/factory-discrete-automation/programmable-logic-controller-plc/manufacturing-technology-race-leveling-the-playing-field#>>. Acesso em: 18 set. 2014.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial.** São Paulo: Baraúna, 2009.

SILVA, Edna L.; MENEZES, Estera M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. rev. e atual. Florianópolis: UFSC, 2005. Disponível em: <[http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc/comum/metodologia\\_da\\_pesquisa.pdf](http://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc/comum/metodologia_da_pesquisa.pdf)>. Acesso em: 08 out. 2014

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA Federal do Paraná. **Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos/** Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. - Curitiba: UTFPR, 2008.

WEG. **Micro Controlador Programável CLIC-02:** Manual do Usuário. 2010.