

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO



**PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPEZA DAS
MANGAS FILTRANTES USANDO CLP, IHM E A LINGUAGEM
LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA QUE ATUA NA
PRODUÇÃO DE ENERGIA.**

ÁREA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

por

ROBSON SOUSA MONTEIRO

Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva, Doutor
Orientador

André Luís Gomes de Sousa, Especialista
Co-orientador

São Luís - MA

2017

ROBSON SOUSA MONTEIRO

**PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPEZA DAS
MANGAS FILTRANTES USANDO CLP, IHM E A LINGUAGEM
LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA QUE ATUA NA
PRODUÇÃO DE ENERGIA.**

ÁREA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia de Computação, da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Computação.

**Orientador: Leonardo Henrique Gonsioroski
Furtado da Silva, Doutor**

**Co-orientador: André Luís Gomes de Sousa,
Especialista**

São Luís - MA

2017

ROBSON SOUSA MONTEIRO

**PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPEZA DAS
MANGAS FILTRANTES USANDO CLP, IHM E A LINGUAGEM
LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA QUE ATUA NA
PRODUÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia de Computação, da Universidade Estadual do Maranhão, como pré-requisito para a obtenção de título de Bacharel em Engenharia de Computação.

**Orientador: Leonardo Henrique Gonsioroski
Furtado da Silva, Doutor**

**Co-orientador: André Luís Gomes de Sousa,
Especialista**

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. M.Sc. Madson Cruz Machado
Universidade Estadual do Maranhão

Prof.^a. Elane Estrela Baldez de Sousa
Universidade Estadual do Maranhão

Monteiro, Robson Sousa.

Projeto de um sistema automático de limpeza das mangas filtrantes usando CLP e IMH e a linguagem ladder: estudo de caso em uma empresa que atua na produção de energia / Robson Sousa Monteiro. – São Luís, 2018.

71 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva.

1. CLP. 2. Mangas filtrantes. 3. Linguagem ladder. 4. IHM. I. Título.

CDU 004:681.5

“Eu faço da dificuldade a minha motivação. A volta por cima, vem na continuação. O que se leva dessa vida é o que se vive, é o que se faz...”

Charlie Brown Jr.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelas oportunidades diárias de uma nova conquista, pela liberdade das minhas escolhas e pelo livre arbítrio.

Agradeço ao meu pai João da Costa Monteiro (In Memória) por todo o apoio e conselho que me deu durante sua jornada em vida e a minha mãe Arlete Maria Sousa Monteiro pelo amor, dedicação e sacrifícios que você fez em razão da minha educação, e nós sabemos que não foram poucos. Ao meu irmão Rodrigo Sousa Monteiro por toda a ajuda e conselho durante essa minha caminhada. E a Rayanne Sales, melhor presente que a faculdade poderia ter me dado, por toda a dedicação e companheirismo que teve comigo ao longo da minha formação. Agradeço também a toda a sua família.

Agradeço também por todos os amigos que fiz durante todo esse tempo na universidade, em especial aos meus novos irmãos Eryck de Araújo, Rodrigo Frazão e Lucas Pires, que sempre estiveram junto apoiando e ajudando nas grandes e pequenas dificuldades da vida e da faculdade.

Agradeço ao Prof. André Luís, Prof.^a Elane Estrela e a Ronaldo Pestana pela confiança no meu serviço e pela oportunidade de mostrar meus conhecimentos adquiridos na universidade e de poder está junto a sua empresa aprendendo muito mais e somando cada vez mais para sua empresa.

Por fim agradeço a todo o corpo docente do curso de Engenharia de Computação, pelas oportunidades e ensinamentos empregados durante toda minha formação, e ao Orientador e pela paciência e esforço empregados neste trabalho.

LISTA DE ACRÔNIMOS

A	Amperes
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A/D	Analógico/Digital
AC/CA	Corrente Alternada
CC/DC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Process Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
DCS	<i>Distributed Control Systems</i>
E/S	Entrada/Saída
FET	<i>Field Effect Transistor</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IHM	Interface Homem Máquina
I/O	Input/Output
IP	<i>Internet Protocol</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
mA	Miliampère
NA	Normalmente Aberto
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association</i>
NF	Normalmente Fechado
NF	Normalmente Fechado
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama básico do CLP (ALVES, 2013).....	19
Figura 2. Subdivisões da memória do CLP (PRUDENTE, 2013).	20
Figura 3. Mapa de memória da área de entrada/saída. (SILVEIRA,1968).	20
Figura 4. Módulo de saída a relé. (MORAES,2013).....	21
Figura 5. Módulo de saída a triac. (MORAES,2013).....	21
Figura 6. Módulo de saída a transistor. (MORAES,2013).....	20
Figura 7. Diagrama de interface digital. (SILVEIRA,1968).....	23
Figura 8. Diagrama de interface analógico. (SILVEIRA,1968).....	23
Figura 9. Exemplo de programa em linguagem Ladder. (MORAES, 2013).....	26
Figura 10. Instruções elementares da linguagem Ladder. (PAREDE, 2011).....	26
Figura 11. Instruções elementares do diagrama elétrico. (PAREDE, 2011).	27
Figura 12. Instruções elementares da linguagem Ladder. (PAREDE, 2011).....	27
Figura 13. Instrução contato NA. (AUTOR, 2017).....	28
Figura 14. Instrução contato NF. (AUTOR, 2017).	28
Figura 15. Instrução bobina. (AUTOR, 2017).	28
Figura 16. Instrução SET. (AUTOR, 2017).	20
Figura 17. Instrução RESET. (AUTOR, 2017).....	30
Figura 18. Instrução E. (AUTOR, 2017).....	30
Figura 19. Instrução OU. (AUTOR, 2017).	31
Figura 20. Solução do problema exemplo. (AUTOR, 2017).	32
Figura 21. Exemplos de IHMs. (AUTOR, 2017).....	33
Figura 22. Vista explodida do Filtro de Mangas. (VENTEC AMBIENTAL, 2017).	37
Figura 23. Fluxo de ar dentro do filtro de manga. (VENTEC AMBIENTAL, 2017).....	38
Figura 24. Diagrama de componentes do sistema. (AUTOR, 2017).....	41
Figura 25. Fluxograma da rotina de partida no modo automático. (AUTOR, 2017).....	44
Figura 26. Trecho do código fonte (Configuração MODBUS). (AUTOR, 2017).	45
Figura 27. Trecho do código fonte (Operação Ciclo). (AUTOR, 2017).	46
Figura 28. Trechos do código fonte (Configuração do tempo). (AUTOR, 2017).....	46
Figura 29. Trechos do código fonte (Acionamento das saídas). (AUTOR, 2017).....	47
Figura 30. Interior do antigo painel. (AUTOR, 2017).	48
Figura 31. Interior do novo painel. (AUTOR, 2017).	49
Figura 32. Interface de acionamento do antigo painel. (AUTOR, 2017).....	49
Figura 33. IHM do novo painel. (AUTOR, 2017).....	50
Figura 34. Código fonte (networks 1-7). (AUTOR, 2017).	55
Figura 35. Código fonte (networks 8-16). (AUTOR, 2017).	56
Figura 36. Código fonte (networks 17-25). (AUTOR, 2017).	57
Figura 37. Código fonte (networks 26-34). (AUTOR, 2017).	58
Figura 38. Código fonte (networks 35-43). (AUTOR, 2017).	59
Figura 39. Código fonte (networks 44-52). (AUTOR, 2017).	60
Figura 40. Código fonte (networks 53-61). (AUTOR, 2017).	61
Figura 41. Código fonte (networks 62-70). (AUTOR, 2017).	50
Figura 42. Código fonte (networks 71-79). (AUTOR, 2017).	63
Figura 43. Código fonte (networks 80-84). (AUTOR, 2017).	64
Figura 44. Código fonte (network 85). (AUTOR, 2017).	65
Figura 45. Tela inicial. (AUTOR, 2017).....	66
Figura 46. Tela de escolha do filtro a ser controlado. (AUTOR, 2017).....	66
Figura 47. Tela de definição de parâmetros e escolha do modo de operação. (AUTOR, 2017).....	67
Figura 48. Tela de acesso ao modo de operação restrito com senha. (AUTOR, 2017).....	67
Figura 50. Tela de acionamento individual das saídas no modo MANUTENÇÃO. (AUTOR, 2017).	68
Figura 52. Tela de ajuste de configurações. (AUTOR, 2017).....	69
Figura 53. Tela de DATA/HORA. (AUTOR, 2017).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de redes em escala. (AUTOR, 2017).....	23
Tabela 2. I/Os digitais do filtro de manga. (AUTOR, 2017).....	43

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar um estudo de caso de um projeto de automação industrial de um filtro de manga, usado para separar as partículas existentes no fluxo de gases industriais, utilizando um CLP, IHM e a linguagem de programação *Ladder*. Para a criação do projeto foi inicialmente estabelecido os requisitos que o sistema demandava para realizar as rotinas e as funcionalidades do processo. Com base nisso, foi criado o código em linguagem *Ladder* que atendia a necessidade do processo para a automatização da limpeza dos acumulados nas mangas filtrantes. O projeto surgiu da necessidade, em primeiro lugar, de modernizar o sistema de limpeza dos acumulados no filtro de manga usando um CLP e uma IHM. Em segundo lugar, a automação deveria promover a facilidade na utilização e manutenção dos equipamentos automatizados. Com a implementação do projeto, o sistema de limpeza foi modernizado e a monitoração das etapas automáticas do filtro que foram implementados, simplificaram o processo, provendo maior nível de segurança durante o funcionamento.

Palavras-chave: CLP. IHM. Linguagem Ladder. Mangas Filtrantes.

ABSTRACT

This study aims to present a case study of an industrial automation design of a sleeve filter, used to separate the particles in the industrial gases flow, using a PLC, HMI and Ladder programming language. For the creation of the project was initially established the requirements that the system demanded to perform the routines and the functionalities of the process. Based on this, the Ladder code was created that met the need of the process for automating the cleaning of the accumulated ones in the filter sleeves. The project arose from the need, firstly, to modernize the cleaning system of the accumulated in the sleeve filter using a PLC and a HMI. Second, automation should promote ease of use and maintenance of automated equipment. With the implementation of the project, the cleaning system was modernized and the monitoring of the automatic filter steps that were implemented simplified the process, providing a higher level of safety during operation.

Keywords: *CLP. HMI. Ladder Language. Filter Sleeves.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
1.2. METODOLOGIA	15
1.3. JUSTIFICATIVA	16
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	17
2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	18
2.2.1. Unidade Central de Processamento	19
2.2.2. Memória	20
2.2.3. Interface de Entradas/Saídas	21
2.2.4. Fontes de Alimentação	24
2.3. FUNCIONAMENTO	25
2.4. LINGUAGEM <i>LADDER</i>	25
2.4.1. Instruções Elementares da Linguagem <i>Ladder</i>	27
2.4.2. Operações Lógicas	31
2.4.3. Exemplo de Aplicação	32
2.5. IHM	34
2.6. FILTRO DE MANGAS	36
2.6.1. Princípio de Funcionamento	39
2.6.2. Processo de Limpeza	40
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	41
3.1. ELEMENTOS DO FILTRO DE MANGA	41
3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES	42
3.3. I/OS ANALÓGICAS E DIGITAIS DO SISTEMA	43
3.4. INTERTRAVAMENTOS DE SEGURANÇA	43
3.5. SEQUÊNCIAS DE PARTIDA	43
3.5.1. Descrição dos Passos	44
3.6. TRECHOS DO CÓDIGO <i>LADDER</i>	46
4. RESULTADOS	49
4.1. PAINÉIS NOVO E ANTIGO	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
4.2. IHM	50
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS	54
GLOSSÁRIO	55
APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE	56
APÊNDICE B – TELAS DA IHM	67

1. INTRODUÇÃO

Para Moraes (2013), entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços.

Seguindo estes conceitos pode-se avaliar o grau de importância da automação para processos industriais na qual pontua-se inúmeras vantagens da automatização de etapas do setor industrial, que se tornam números positivos para a economia da empresa, superando o investimento do sistema. Essa manobra proporciona amplos resultados positivos, como por exemplo, maior flexibilidade dos exemplares para o mercado, maior nível de qualidade, maior proteção para empregados responsáveis pela operação, etc.

A vantagem de utilizar sistemas que envolvam diretamente a informatização é a possibilidade da expansão utilizando recursos de fácil acesso; nesse contexto são de extraordinária importância os controladores lógicos programáveis (CLP), que tornam a automação industrial uma realidade onipresente (MORAES, 2013).

Dos diversos equipamentos industriais que proporcionam os benefícios citados anteriormente, levando em consideração a interligação e a facilidade de acesso, temos também a Interface Homem-Máquina (IHM), que garantem uma maior disponibilidade de operação do sistema, facilitando o dia-a-dia dos operadores que monitoram e controlam os dispositivos programados segundo a obrigação do processo.

Em cargo das circunstâncias exigidas pelo sistema, estes equipamentos precisam ser operados conforme as normas institucionais e globais descritas pela empresa, na qual as vezes exigem uma rotina de funcionamento bastante elaborada, seguindo uma ordem específica de acionamento, porém, com a utilização dos equipamentos adequados, podemos alinhar perfeitamente a necessidade do sistema com as exigências do fabricante, mantendo a qualidade e segurança do conjunto automatizado.

1.1. OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.1.1. Objetivo Geral

Apresentar um estudo de caso de um projeto de automação que tem como objetivo substituir o sistema de limpeza dos filtros de manga usado em uma empresa que atua na geração e comercialização de energia elétrica, antes controlada por um circuito elétrico com microcontroladores, por um novo quadro elétrico, contendo CLP e IHM.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Modernizar o sistema de limpeza dos filtros de manga;
- Implementar novas funções de segurança e prevenção de falha;
- Implementar uma rotina de funcionamento automático de limpeza das mangas filtrantes;
- Supervisionar de forma contínua as etapas de acionamentos das saídas e acionar o sistema de segurança se caso for necessário;
- Elaborar uma coleção de telas da IHM permitindo que o operador possa monitorar e operar o sistema por completo.

1.2. METODOLOGIA

O presente trabalho está dividido em cinco etapas principais, que são:

- 1º etapa: pesquisa e fundamentação teórica para desenvolvimento do sistema;
- 2º etapa: levantamento em campo das necessidades do sistema a ser implementado, buscando atender os requisitos mínimos de segurança exigidos pelo engenheiro responsável pela automação.
- 3º etapa: implementação do código fonte na linguagem de programação escolhida, implementação das telas de monitoramento e controle do processo automatizado;
- 4º etapa: instalação do projeto e a realização dos testes em campo com ajustes finos no projeto.
- 5º etapa: elaboração da documentação do projeto.

Nas etapas 1 e 2 realizou-se uma abordagem do problema, justificando-se a necessidade do desenvolvimento do sistema proposto, pois para a substituição do sistema sem apresentar nenhuma melhoria não seria viável a empresa que pretendia implementar o projeto.

Após o levantamento dos requisitos, prosseguiu-se para a etapa 3, etapa responsável pelo desenvolvimento da automação e das interfaces afim de facilitar o dia-a-dia do operador, atendendo a todos os requisitos exigidos e acrescentando melhorias ao projeto, tanto na parte da segurança quanto na confiabilidade do sistema.

Na etapa 4, os equipamentos definidos no orçamento assinado pela empresa contratante foram instalados e devidamente interligados conforme o cenário industrial em campo, dentre elas, os espaços para futuras ligações de novos sistemas solicitados.

Na última etapa, foi criada uma documentação responsável por informar detalhes aos operadores e engenheiros responsáveis pela elaboração do projeto, nela contém o passo a passo de operação do equipamento e algumas informações para instalação do equipamento e eventuais problemas que poderiam acontecer.

1.3. JUSTIFICATIVA

O filtro de mangas apontado neste estudo de caso é um filtro que já funciona a um longo tempo na empresa que atua na geração de energia e até o momento da realização do projeto todo o sistema funcionava através de um dispositivo sequenciador utilizando um microprocessador programável, sendo este dispositivo pouco apropriado para as condições da empresa devido ao baixo poder tecnológico e difícil manutenção. Contudo, com o uso de um controlador lógico programável e uma interface homem-máquina ficou mais viável reparar os principais problemas levantados pela empresa e aumentando a capacidade de inteligência com novos artifícios implementados no sistema solicitado pela empresa.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado, em seu primeiro capítulo, com uma introdução sobre o tema, apresentando os objetivos específicos e gerais do projeto, bem como uma justificativa para a elaboração do sistema e a metodologia abordada para obter sucesso na entrega da automação.

Seguido para o segundo capítulo, temos uma fundamentação sobre os principais componentes do projeto, bem como conceitos pertinentes a linguagem de programação e toda a arquitetura que envolve um sistema de limpeza do ar no setor industrial, tudo isso serviu como base para entendimento dos requisitos e adequação da aplicação para que pudesse condizer com a realidade sem deixar passar os itens de segurança do sistema.

Em seu terceiro capítulo, é feita uma descrição detalhada do desenvolvimento do projeto, bem como alguns componentes do filtro de manga e alguns trechos do código desenvolvido para a aplicação.

Já nos capítulos 4 e 5, cabe apresentar os resultados obtidos depois que finalizadas as etapas estabelecidas no início do projeto, em seguida as conclusões são mostradas e junto a ela as sugestões apontadas para algumas adaptações possíveis buscando os melhores resultados na eficiência do sistema.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo Parede (2011), automação industrial é uma área de pesquisa que vem ampliando sua atuação gradativamente nos últimos anos. O uso de dispositivos e a aplicação de soluções desenvolvidos em automação industrial tem grande repercussão sobretudo no setor industrial. Por se tratar de um setor que está em constante plano de evolução e funcionamento, a área industrial precisa acompanhar o desenvolvimento tecnológico buscando sempre aperfeiçoar suas técnicas de atividades e de segurança.

Muitas pessoas acreditam e temem que a automação representa a perda de empregos no campo das indústrias, enquanto é capaz de acontecer o contrário. De fato, a falta de automação pode colocar muita gente para trabalhar. Entretanto, estas empresas não conseguem competir economicamente com outras devido a sua baixa produtividade por conta da falta de automação e por isso elas são obrigadas a demitir operadores ou até mesmo encerrar suas atividades. Para Parede (2011), as aplicações não se resumem a substituir o trabalho humano em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas; elas trazem melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos. Dessa forma, automação pode constituir ganho e estabilidade do emprego, por causa do aumento da economia, eficiência e produtividade.

Existem vários dispositivos usados para automatizar um processo industrial, contudo, o controlador lógico programável (CLP) é um dos mais importantes. O primeiro CLP surgiu no final da década de 1960 na indústria automobilística e revolucionou os comandos e controles industriais. Nessa época, o procedimento era realizado praticamente somente por relés baseada em uma lógica fixa, ou lógica hardware, o que resultava em grandes armários de relés eletromecânicos interligados por circuitos elétricos e extensas fiações. A utilização dessa nova tecnologia permitiu o processo de substituição da lógica programada através de uma simples programação do dispositivo PLC ao invés da substituição de todo o painel elétrico reduzindo o tempo de produção das peças automobilísticas.

Em síntese, das vantagens com a automação industrial temos o aumento da produtividade, da qualidade do produto, da eficiência do serviço, flexibilidade do sistema e

segurança. Porém, para essa automatização exige-se um investimento inicial geralmente bastante significativo para capacitação dos operadores e implantação das novas tecnologias.

2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Para a *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), trata-se de um “aparelho eletrônico digital que utiliza uma memória programável para o armazenamento interno de instruções para implementações específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, para controlar através de módulos de entrada e saída vários tipos de máquinas e processos”. Já para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), CLP é um “equipamento eletrônico digital com hardware e software compatíveis com aplicações industriais”.

Devido à ampla gama de equipamentos e sistemas disponíveis para controle industrial, aliada à crescente capacidade de recursos que o CLP vem agregando, existe a possibilidade de confundir outros equipamentos com ele (SILVEIRA, 1968). Com isso, é necessário distinguir algumas características indispensáveis que auxiliam na diferenciação entre um aparelho eletrônico usado para controle industrial e um controlador lógico programável, são elas:

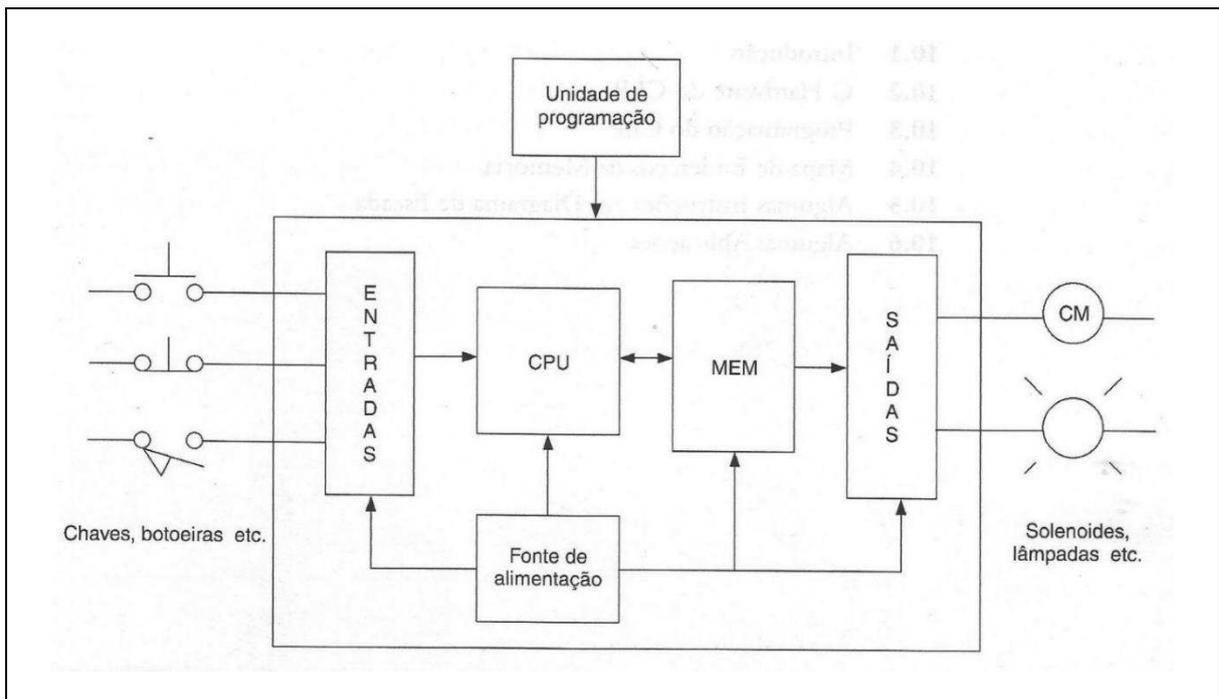
- O equipamento deve obedecer uma rotina de execução cíclica de operação enquanto estiver em modo ativo de funcionamento;
- Respeitar uma forma básica para programação que deve ser concretizada a partir de uma linguagem baseada nos diagramas elétricos de relés;
- O produto precisa ser projetado seguindo as normas concretizadas que caracterizam um CLP, dentre elas, as orientações para operação em ambiente industrial sujeito a condições ambientais adversas.

Diante o surgimento dos circuitos integrados, foi possível viabilizar e difundir a aplicação do CLP em larga escala, aprimorando a capacidade de processamento e diminuindo consideravelmente o tamanho dos equipamentos. Esse avanço está ligado, em grande parte, ao desenvolvimento tecnológico dos computadores, até mesmo em sua arquitetura de hardware e software. Com o uso de microcontroladores e microprocessadores de última geração, aliada às novas técnicas de processamento paralelo e às redes de comunicação, colaboraram para o sucesso desse equipamento industrial.

No início, o Controlador Lógico Programável basicamente substituiria relés, recebendo sinais de dispositivo de entrada como teclas, chaves-limite ou chaves digitais (*thumb-wheel*), acionando as saídas conforme o programa do usuário armazenado na sua memória de modo a dar partida em motores sequencialmente, válvulas solenoides ou alarmes.

A Figura 1 ilustra esse processo.

Figura 1. Diagrama básico do CLP.



Fonte: (ALVES, 2013).

Um CLP moderno é basicamente constituído por uma unidade central de processamento (CPU), memória, interfaces de Entrada/Saída e fonte de alimentação, apresentados com mais detalhes nos próximos tópicos.

2.2.1. Unidade Central de Processamento

A CPU segue padrões similares às arquiteturas dos computadores digitais, os quais são compostos basicamente por um processador, um banco de memória (tanto para dados como para programas) e um barramento para interligação (controle, endereçamento de memória e fluxo de dados) entre os elementos do sistema (SILVEIRA, 1968). O módulo processador é o responsável pela gerência do sistema, através do sistema operacional, armazenamento dos programas aplicativos, armazenamento dos estados de entradas e saídas e execução do programa aplicativo.

A CPU lê os sinais de entrada, carrega as informações provenientes da máquina adquiridas por meio de um botão, interruptor de posição, sensores e/ou transdutor.

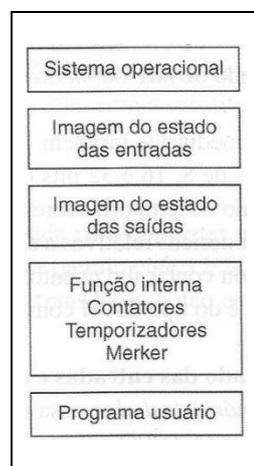
2.2.2. Memória

O termo programável do CLP sugere uma ideia de que as orientações escritas podem sofrerem alterações ou serem acessadas a todo instante, como numa sequência de instruções, o programa, que deve estar armazenada e disponível em algum local. Tal região é denominada sistema de memória, que deverá estar organizada de modo a formar o “mapa de memória”.

De acordo com Prudente (2013), o sistema de memória de um CLP é composto de duas grandes áreas: a memória de sistema e a memória de aplicação. Normalmente se entende por memória do PLC somente as memórias que contém o programa aplicativo. Na realidade, no PLC a memória é subdividida em diversas zonas, cada uma apta a uma tarefa diferente. Embora as soluções adotadas pelos fabricantes sejam muito diferentes entre si, pode-se em geral considerar a memória subdivididas nas seguintes partes (veja na Figura 2):

- Memória para o programa usuário (memória do programa);
- Memória para as funções internas (memória de dados);
- Memória para o estado das entradas e das saídas (memória de dados);
- Memória para o software do sistema operacional.

Figura 2. Subdivisões da memória do CLP.



Fonte: (PRUDENTE, 2013).

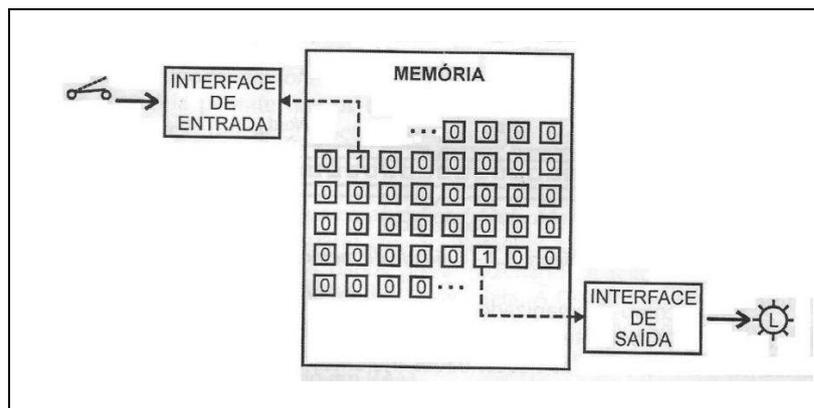
2.2.3. Interface de Entradas/Saídas

O sistema de entrada/saída é responsável por realizar as conexões físicas entre a CPU e o componentes externos por meio de vários de circuitos de interfaceamento. Em particular, estes circuitos possuem padrões semelhantes nos diversos equipamentos.

A unidade de entrada opera sob o sinal de entrada proveniente dos sensores da instalação para torna-la compatível com a CPU do CLP. Já a unidade de saída trata os sinais emitidos pela CPU para enviá-los aos dispositivos que devem ser acionados, chamados atuadores (motor elétrico, lâmpadas, válvulas pneumáticas e outros).

É no campo dedicado às entradas e saídas do CLP que se encontram as informações, referentes ao estado de cada um dos dispositivos ligados a ele. Na Figura 3, pode-se verificar um exemplo de como é constituída uma área de memória para entradas/saídas.

Figura 3. Mapa de memória da área de entrada/saída.



Fonte: (SILVEIRA,1968).

A seguir, será feita menção a eles, subdividindo-os nos de natureza discreta (ou de um único bit de informação) também chamados de interface E/S digital e naqueles de natureza numérica (analógicos ou de vários bits), também conhecidos como interface I/O analógico.

2.2.3.1. Interface E/S Discreto (Digital)

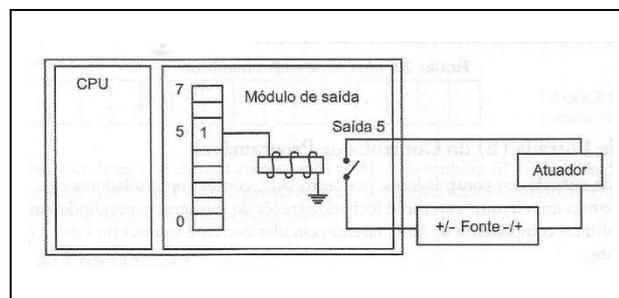
Os módulos de Entradas/Saídas Digitais são os tipos mais comumente encontrados em sistemas automatizados com CLP, onde nesse tipo de interface, a informação consiste em um único bit cujo estado pode apresentar duas possíveis situações: ligado ou desligado (daí sua característica discreta), estes módulos contêm usualmente isoladores ópticos para as entradas como forma de proteção entre campo e o interior do CLP, enquanto para as saídas são utilizados

relés isoladores, podendo ser do tipo contato seco ou tiristores, com a finalidade de fornecer segurança para o dispositivo.

Basicamente, os módulos de saída dos controladores são acionados por um dos três métodos abaixo:

- Saída a Relé: quando ativado o endereço da palavra-imagem de saída, um solenóide correspondente a ele é ativado, fechando-se o contato (seco) na borneira de saída do controlador, como mostra a figura 4 a seguir.

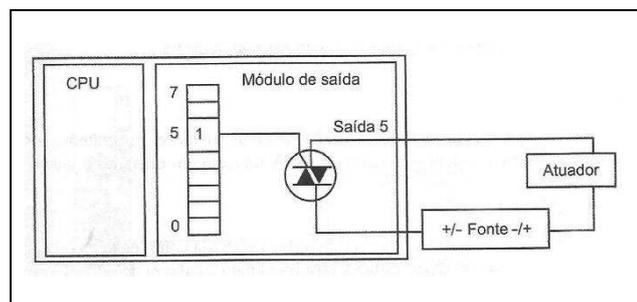
Figura 4. Módulo de saída a relé.



Fonte: (MORAES,2013).

- Saída a Triac: Nesse caso, o elemento acionador é um triac (estado sólido). Pela própria característica do componente, esse elemento é utilizado quando a fonte é de corrente alternada.

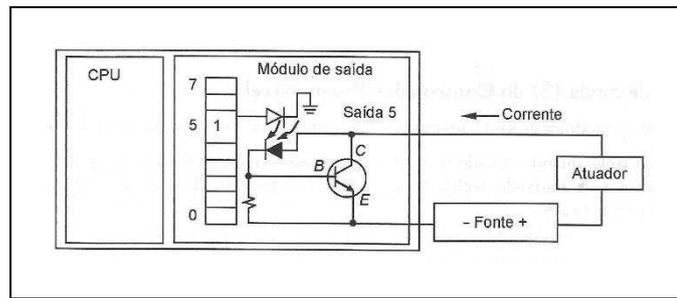
Figura 5. Módulo de saída a triac.



Fonte: (MORAES,2013).

- Saída a Transistor: o elemento acionador pode ser um transistor comum ou do tipo efeito de campo (FET). Esse tipo de módulo, normalmente o mais usado, é recomendado quando são utilizadas fontes em corrente contínua. Sua capacidade pode chegar até 1,0 A, permitindo 10×10^6 acionamentos ao longo de sua vida útil.

Figura 6. Módulo de saída a transistor.



Fonte: (MORAES,2013).

2.2.3.2. Interface E/S Numérica (Analógica)

Os módulos de Entrada/Saída Analógica possuem versões que aceitam receber de 1 a 10 Vcc ou corrente de 4 a 20 mA usualmente. A recepção ou envio de sinais numéricos se faz principalmente por meio de pontos de entrada/saída analógicos, o que implicitamente significa que dentro do CLP há um circuito conversor analógico-digital (A/D) ou digital-analógico (D/A) conforme a necessidade. A diferença marcante em relação aos sinais discretos é que mais de um bit deverá ser manipulado, seja pela conversão do sinal analógico, seja pelo tratamento de dispositivos multibits.

Cada um dos dispositivos analógicos, em particular, é acionado por fontes de alimentação distintas e que normalmente não são de mesma magnitude ou natureza. Por essa razão, as interfaces com dispositivos de entrada/saída analógicas são disponíveis em várias faixas de tensão ou corrente, conforme a tabela 1.

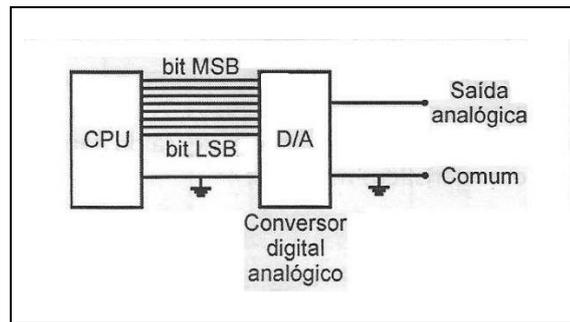
Tabela 1 - Classificação de redes em escala.

CORRENTE CC:	0 a 20 mA	4 a 20 mA	
TENSÃO CC:	0 a 1 V	0 a 5 V	0 a 10 V
	-10 V a +10V	-5 V a +5V	+1 V a +5V

Fonte: (Próprio autor, 2017)

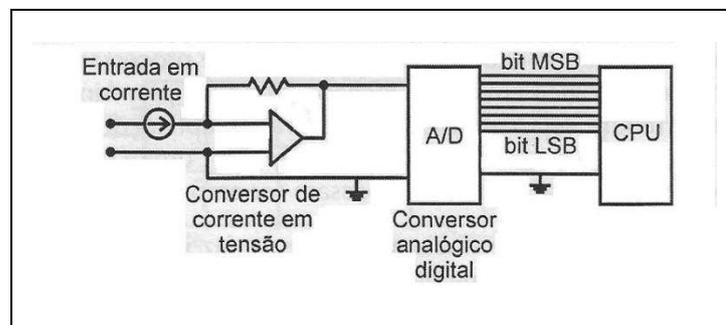
Nas Figura 7 e 8, são apresentados diagramas de interfaces de entrada/saídas do tipo analógicas:

Figura 7. Diagrama de interface digital.



Fonte: (SILVEIRA,1968).

Figura 8. Diagrama de interface analógico.



Fonte: (SILVEIRA,1968).

2.2.4. Fontes de Alimentação

Nos CLPs, as fontes de alimentação podem ser internas ou externas em relação a CPU. Algumas fornecem saída de 24 VCC, de baixa potência (~2 A), destinada à alimentação dos módulos de E/S, sensores e atuadores. Se a exigência de potência dos módulos for maior, o projetista deverá necessariamente incluir uma fonte externa.

Normalmente utilizam-se fontes chaveadas, alimentadas com tensão DC (entre 18 a 36 V ou AC de 90 a 240 V). O consumo é outro fator que tem de ser considerado, já que, em função do número de pontos a serem utilizados, há condições de dimensionar a fonte. Assim, a fonte deve ser selecionada por último, analisando com o fabricante qual o modelo de fonte mais apropriado ao processo que se deseja automatizar. Geralmente, para os CLPs de baixo custo, a fonte é incorporada ao módulo da CPU, visando a economia de espaço e, em consequência, barateando o produto. Nesse caso, a preocupação se resume à alimentação do conjunto, uma vez que tanto as tensões como as potências envolvidas serão logicamente compatíveis com o produto.

2.3. FUNCIONAMENTO

O funcionamento do CLP baseia-se em um conjunto de instruções conhecido como programa, desenvolvido para atender às rotinas do usuário. Os sinais dos sensores ou transdutores acoplados à máquina ou equipamento são aplicados às entradas do controlador. Em cada ciclo, denominado *scan* ou varredura, há três etapas (PAREDE,2011):

- Etapa de entrada – Todos os sinais vindos do meio externo e aplicados às entradas são lidos e transferidos para uma área da unidade de memória interna do CLP, chamada tabela imagem da entrada.
- Etapa de programa – O programa é executado, usando os sinais adquiridos durante a etapa de entrada e decidindo quais serão os valores dos sinais de saída digitais e analógicos. Esses valores são guardados em uma região de memória denominada imagem de saída. Durante a execução do programa, os sinais de saída não são alterados, a menos que sejam ativadas entradas de elevada prioridade. Tais entradas são utilizadas para emergências, que não podem esperar o término do *scan*. Nesse caso, interrompemos o trabalho do CLP, rodando um programa que atende à interrupção. Terminado o atendimento à interrupção, retornamos ao programa principal.
- Etapa de saída – Todos os valores de saída estabelecidos pelo programa e armazenados na imagem de saída são aplicados aos módulos de saída.

Terminadas as três etapas, reinicia-se o ciclo de *scan*, com a etapa de entrada (operação cíclica). Em algumas situações, por exemplo, ao utilizar controladores PID, torna-se necessário fazer as aquisições de sinais (etapa de entrada) em intervalos fixos. Nesse caso, ao terminar a etapa de saída, o CLP fica esperando o instante predefinido para reiniciar o *scan* (operação periódica).

2.4. LINGUAGEM LADDER

A linguagem *Ladder* (ou Diagrama de *Ladder*) foi uma das primeiras linguagens que surgiu para a programação de CLPs. Avaliando que na época, os engenheiros e técnicos eletricitas normalmente eram os responsáveis na manutenção no chão de fábrica, a linguagem *Ladder* deveria ser algo familiar para esses profissionais. Com isso, sua criação baseada nos diagramas elétricos de relés foi pensada para permitir que técnicos e engenheiros de automação

com pouca ou nenhuma experiência com programação de computadores em linguagens de auto nível conseguissem programar um CLP. Esse foi um fator importante para torná-la a linguagem mais popular entre os programadores de CLPs.

O Diagrama de *Ladder* também chamado de diagrama elementar ou diagrama de linha, é uma representação ordenada em forma de escada de componentes e conexões de um circuito elétrico. O termo *ladder* (escada) se aplica porque o formato particular da representação parece com uma escada, contendo degraus. Dentre as linguagens conhecidas hoje, essa é a mais utilizada no campo internacional para a programação do CLP. Ela é constituída de uma série de sinais gráficos e resulta preferida pela programação com conhecimento de lógica eletromecânica porque requer um conhecimento do esquema relé.

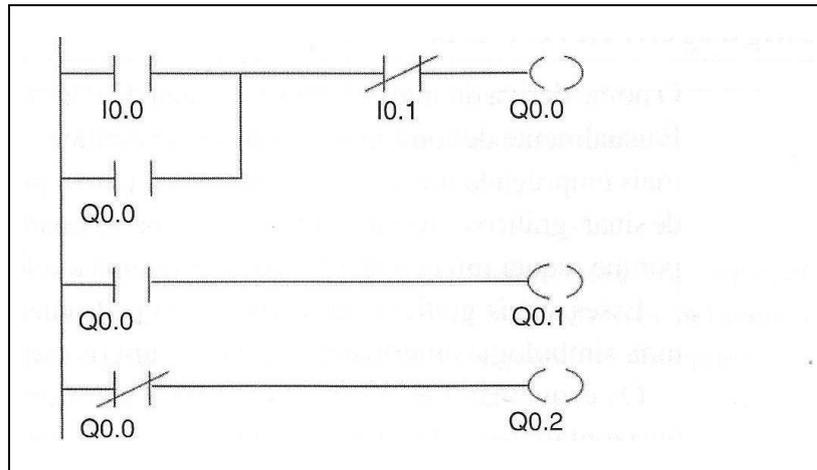
Automatizar um sistema significa fazer uso de funções lógicas, representadas, por sua vez, por portas lógicas que podem ser implementadas, como veremos, fazendo o uso de componentes, independente do nível de sua tecnologia, ou seja, relé, diodo, transistor, circuito integrado, etc.

Esses sinais gráficos particulares são padronizados pela Norma IEC 61131-3 e derivam de uma simbologia americana já em uso para os esquemas funcionais.

Os esquemas de *Ladder* são compostos estruturalmente de duas linhas verticais e de linhas horizontais (escada), sob as quais são desenhados os elementos constituintes do sistema a controlar. Veja figura 9. Graficamente, as regras que constituem os elementos básicos – bobina, contatos e linhas – são:

- Bobinas sempre ficam totalmente à direita das linhas horizontais;
- Linhas verticais são tituladas linhas-mãe;
- Das linhas verticais partem linhas horizontais que podem ligar-se a mais linhas verticais, e assim por diante;
- As sequências de causa e efeito orientam-se da esquerda para a direita e de cima para baixo;
- A habilitação das linhas horizontais, da qual decorre o acionamento das bobinas, depende da afirmação dos contatos à sua esquerda.

Figura 9. Exemplo de programa em linguagem *Ladder*.



Fonte: (MORAES, 2013).

2.4.1. Instruções Elementares da Linguagem *Ladder*

O diagrama de *ladder* é a forma mais clara para apresentar uma lógica de controle aos técnicos e engenheiros eletricitas, uma vez que a própria apresentação dos contatos NA (normalmente aberto), NF (normalmente fechado) e bobinas ou relés é familiar, respectivamente mostrados na Figura 10.

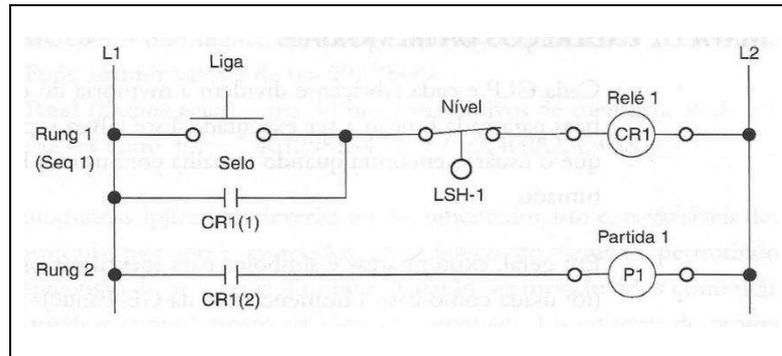
Figura 10. Instruções elementares da linguagem *Ladder*.

Representação	Significado
	Contato normalmente aberto – NA Continuidade lógica quando o estado da variável associada é 1
	Contato normalmente fechado – NF Continuidade lógica quando o estado da variável associada é 0
	Bobina O estado lógico da bobina acompanha o estado da linha

Fonte: (PAREDE, 2011).

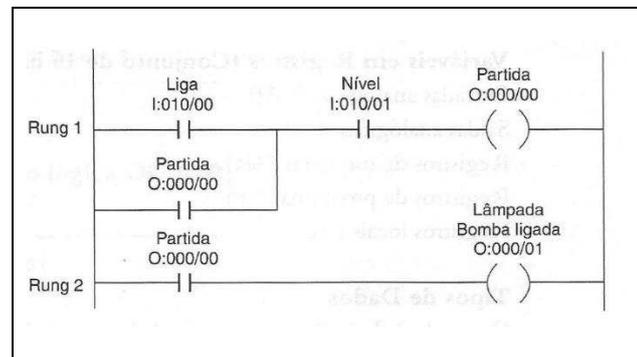
Para verificar a semelhança entre o diagrama elétrico e a linguagem ladder, temos as figuras 11 e 12.

Figura 11. Instruções elementares do diagrama elétrico.



Fonte: (PAREDE, 2011).

Figura 12. Instruções elementares da linguagem Ladder.

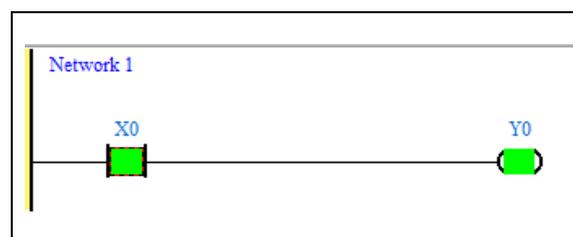


Fonte: (PAREDE, 2011).

2.4.1.1. Contato NA

Essa instrução funciona do seguinte modo: no estado de repouso não conduz. Só deixa passar corrente se o contato for comutado (fechado). Caso o botão NA esteja em um circuito elétrico, ocorrerá a passagem de corrente elétrica nos componentes do circuito. Se houver uma carga em série com esse botão e uma tensão de alimentação, a carga será acionada, a Figura 13 ilustra esta instrução.

Figura 13. Instrução contato NA.

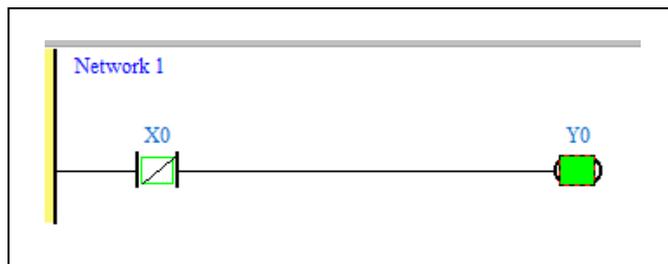


Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.1.2. Contato NF

Essa instrução funciona de forma inversa do contato NA, de modo que: conduz no estado de repouso e interrompe a condução se for comutado (aberto). Caso o botão NF esteja em um circuito elétrico, não ocorrerá a passagem de corrente elétrica nos componentes do circuito.

Figura 14. Instrução contato NF.

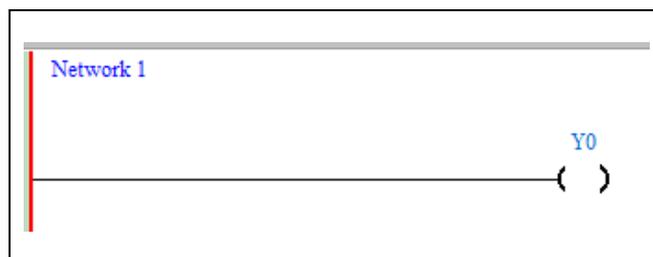


Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.1.3. Bobina

Essa instrução, ao ser acionada, transfere para o endereço associado a ela o valor da tensão que estiver em sua entrada. Por exemplo, em circuitos elétricos, utilizam-se diretamente relés ou contatores para acionar cargas como motores, resistências etc. A Figura 15 ilustra essa instrução.

Figura 15. Instrução bobina.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.1.4. Temporizador

Em automação, muito frequentemente surge a necessidade de subordinar algumas ações no transcorrer do tempo ou então de gerar sinais de comando de duração preestabelecida. Nesses casos, a instrução temporizador (ou *timer*) deve ser empregada a fim de definir um

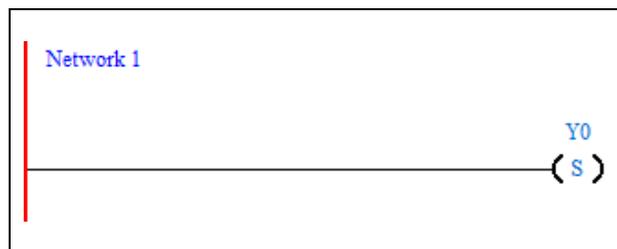
intervalo de tempo entre duas operações, verificar se uma operação ocorre dentro do tempo esperado ou definir o tempo de duração de uma operação.

Os temporizadores possuem um parâmetro que precisa ser ajustado conforma a aplicação, esse parâmetro é chamado de resolução do temporizador ou mais conhecido como base de tempo, este determina a duração de cada intervalo temporal. Quando a temporização estiver completa está instrução eleva a nível 1 um bit próprio na memória de dados e aciona o operando a ela associado. Para cada temporizador destina-se um endereço de memória de dados.

2.4.1.5. Set

Uma forma alternativa e recomendável de efetuar a memorização de um valor numa variável do CLP, é pela instrução de “SET”. A principal vantagem obtida na utilização dessa instrução é a economia de uma linha de programação, conforma na figura 16.

Figura 16. Instrução SET.

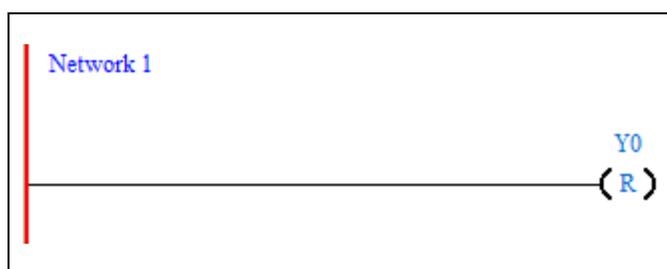


Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.1.6. Reset

A instrução que prove o desligamento de uma memória previamente ‘setada’ é a “RST” ou “RES” (que advém da palavra em inglês RESET), que apresenta comportamento de prioridade para o desligamento que varia de acordo com sua disposição nas linhas de comando.

Figura 17. Instrução RESET.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

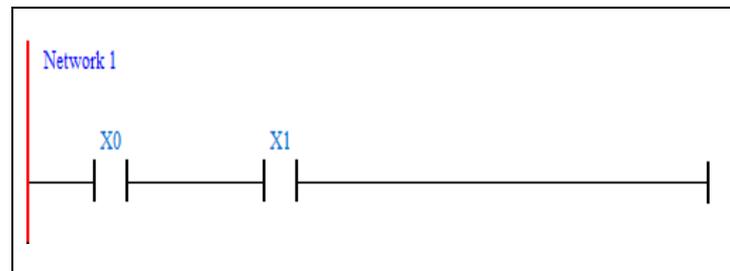
2.4.2. Operações Lógicas

Os circuitos digitais processam informações utilizando-se do sistema de numeração binária que correlaciona os níveis lógicos de acordo com os princípios da lógica booleana, ou seja, alto e baixo, como sendo 0 e 1, respectivamente. Com esse princípio, presume-se que diversos equipamentos usados em indústrias podem ser pensados como existindo em apenas um de dois únicos estados, 1 ou 0, que podem representar, aberto ou fechado, ligado (ON) ou desligado (OFF), verdadeiro ou falso, etc. Tais combinações de estados das entradas resultam nas operações lógicas que operam somente sobre esses tipos de dados, descritos em detalhes a seguir.

2.4.2.1. Operação Lógica “E”

Os contatos em série executam a lógica “E”, pois, a bobina só será acionada quando todos os contatos estiverem fechados. A porta lógica “E” possui dois ou mais sinais de entrada, mas somente um sinal de saída. De acordo com o operador lógico “E”, todas as entradas devem estar no nível lógico “1”(Vcc) para que se obtenha um nível lógico “1”(Vcc) na saída da porta lógica.

Figura 18. Instrução E.

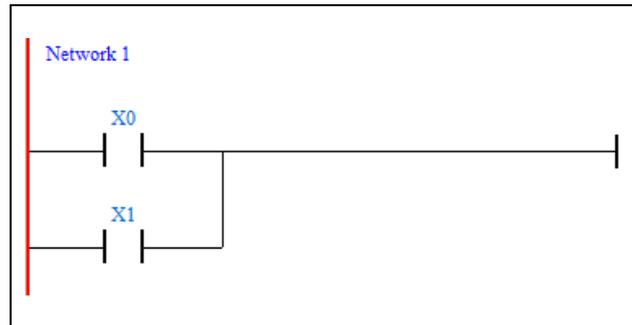


Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.2.2. Operação Lógica “OU”

A lógica OU é conseguida com a associação paralela, acionando a saída desde que pelo menos um dos ramos paralelos estejam fechados. A porta lógica “OU” possui dois ou mais sinais de entrada, mas somente um sinal de saída. De acordo com o operador lógico “OU”, pelo menos uma das entradas deve estar no nível lógico “1”(Vcc) para que se obtenha um nível lógico “1”(Vcc) na saída da porta lógica.

Figura 19. Instrução OU.



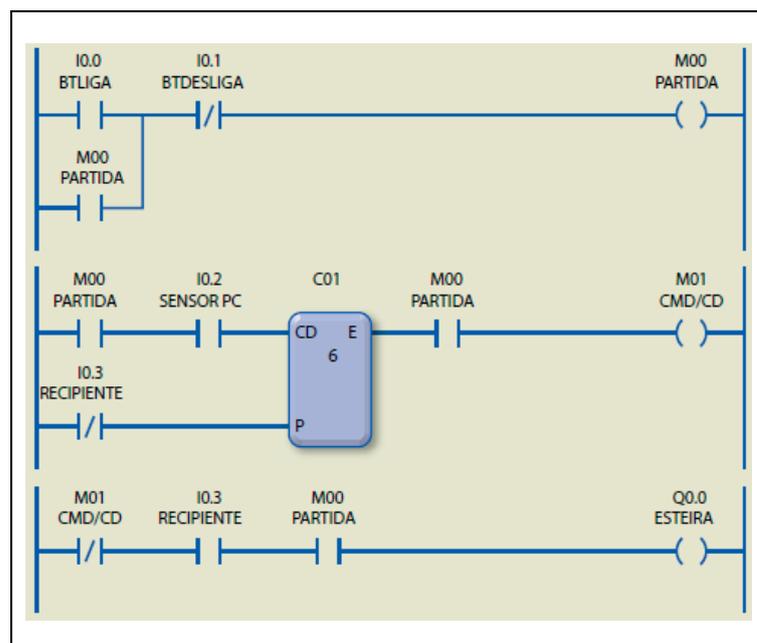
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

2.4.3. Exemplo de Aplicação

A seguir é apresentado um pequeno exemplo de um problema didático de automação industrial o qual foi resolvido usando-se a linguagem *Ladder* e seus elementos e instruções básicos.

Segundo Parede (2011), em um sistema produtivo, foi implantado um dispositivo que retira peças de uma esteira e as coloca em um recipiente que comporta seis peças. Quando o recipiente estiver cheio, o sistema deve parar a esteira e sinalizar ao operador para a retirada do recipiente com as peças produzidas. Quando o operador colocar um recipiente vazio na esteira, o sistema deve reiniciar, a Figura 20 abaixo ilustra uma possível solução implementada.

Figura 20. Solução do problema exemplo.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Abaixo é descrito o programa em linguagem *Ladder* usado para resolver o problema proposto (PAREDE, 2011).

- Linha 1 - serve para ligar e desligar o sistema. O selo é usado para manter o sistema em funcionamento mesmo depois que o botão de partida (BLIGA) tiver sido liberado.
- Linha 2 - apresenta o funcionamento do contador DOWN. O endereço start (M00) aparece como bloqueio, para que não haja contagem sem o sistema estar ligado. O endereço recipiente (I0.3), quando acionado, atualiza o valor do contador, preparando-o para uma nova contagem. O endereço CMD/CD (M01) atua diretamente sobre o funcionamento da esteira. Quando acionado, desliga a esteira e, quando desacionado, prepara o sistema para ser ligado.
- Linha 3 - tem o funcionamento dependente de três endereços: (M01), (I0.3) e (M00). Quando os três são verdadeiros, a esteira (Q0.0) é acionada.

2.5. IHM

Em um processo industrial, é a rede de comunicação de dados que possui a principal tarefa de levar a informação do nível de planejamento para o nível de controle, tornando possível tal integração do nível de supervisão e controle, de forma a estabelecer uma rede local, dentro das diversas topologias e protocolos existentes. Para ilustrar esse nível de supervisão e controle, temos a IHM (Interface Homem Máquina), ou em inglês, HMI (*Human Machine Interface*), como forma de dotar um sistema automatizado com maior grau de flexibilidade e produtividade.

As IHMs são sistemas normalmente utilizados em automação no chão-de-fábrica, geralmente caracterizado por um ambiente agressivo. Possuem construção extremamente robusta, resistente a jato de água direto, umidade, temperatura e poeira de acordo com o IP (grau de proteção) necessário (MORAES, 2013).

Com o intuito de substituir os antigos painéis de operação, essas interfaces dotadas de tela gráfica colorida, caracteres alfanuméricos, LEDs e teclado e mouse, confere ao sistema melhores condições para o controle e supervisão do extenso número de variáveis existentes num processo produção. Disponíveis em modelos bastante sofisticados, com displays gráficos coloridos e tela sensível ao toque (*touch screen*). Para o controle de processos mais simples, são indicados os modelos com um número menor de recursos, já para projetos mais elaborados são necessárias IHMs mais avançadas com recursos mais detalhados que permitem que se criem telas coloridas exibindo diagramas de partes do processo, animações, botões virtuais, etc.

Figura 21. Exemplos de IHMs.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Com o desenvolvimento tecnológico para atender a essa demanda, surgiram os *displays* e as chaves digitais (*thumbwheel switches*). Os *displays* permitiam visualizar os valores das variáveis do processo e as chaves mudar parâmetros predefinidos, como, por exemplo, valores temporizados ou contadores.

No entanto, esse tipo de interface trazia dois problemas claros: o primeiro era a dimensão da superfície do painel, que muitas vezes necessitava ser ampliada somente para alojar tantos botões ou informações que eram necessárias, e o segundo toda a complexa fiação para interligar os sensores e atuadores aos *displays* e chaves digitais (MORAES, 2013). O desenvolvimento desses dispositivos, trouxe alguns benefícios, tais como:

- Economia de fiação e acessórios, pois a comunicação com o Controlador Programável se baseia em uma transmissão serial com um ou dois pares de fio trançados, economizando 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 apenas a IHM é montada;
- Eliminação física do painel sinótico;
- Aumento da capacidade de comando e controle, pois IHM pode auxiliar o CLP em algumas funções, como, por exemplo, massa de memória para armazenar dados, etc;
- Fácil programação e manutenção;
- Maior flexibilidade frente a alterações necessárias em campo.

Uma IHM é hardware industrial composto normalmente por uma tela de cristal líquido e um conjunto de teclas para a navegação ou inserção de dados que utiliza um software proprietário para sua programação. Há diversas aplicações e utilização para esse dispositivo, tais como:

- Visualização de alarmes gerados por alguma condição anormal do sistema;
- Visualização de dados dos motores e/ou 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 configuração de equipamentos.

2.6. FILTRO DE MANGAS

A preservação do meio ambiente tem sido tema para várias palestras, congresso e encontros nacionais e internacionais, mais do que uma tarefa para as indústrias, essa preocupação é um dever que, quando não cumprido, é passível de advertências e até multas. A indústria vem sendo exposta aos processos judiciais por não cumprir as leis e normas e acabam assumindo o risco de causar danos ao meio ambiente e, dependendo do setor, a integridade física dos colaboradores e populações ao redor da fábrica.

A emissão de poluentes tipo particulado e poluentes gasosos acima dos limites definidos pela Legislação Ambiental acarreta em autos de infração, multas e interdição do processo gerador de poluição, uma vez que a Agência Ambiental responsável pela fiscalização tem esta prerrogativa. Fora isso, podem haver processos judiciais relacionados a segurança do trabalho (funcionários) ou de saúde pública (ministério público) em função do dano que estas emissões tenham causado a saúde das pessoas dentro e fora da unidade fabril.

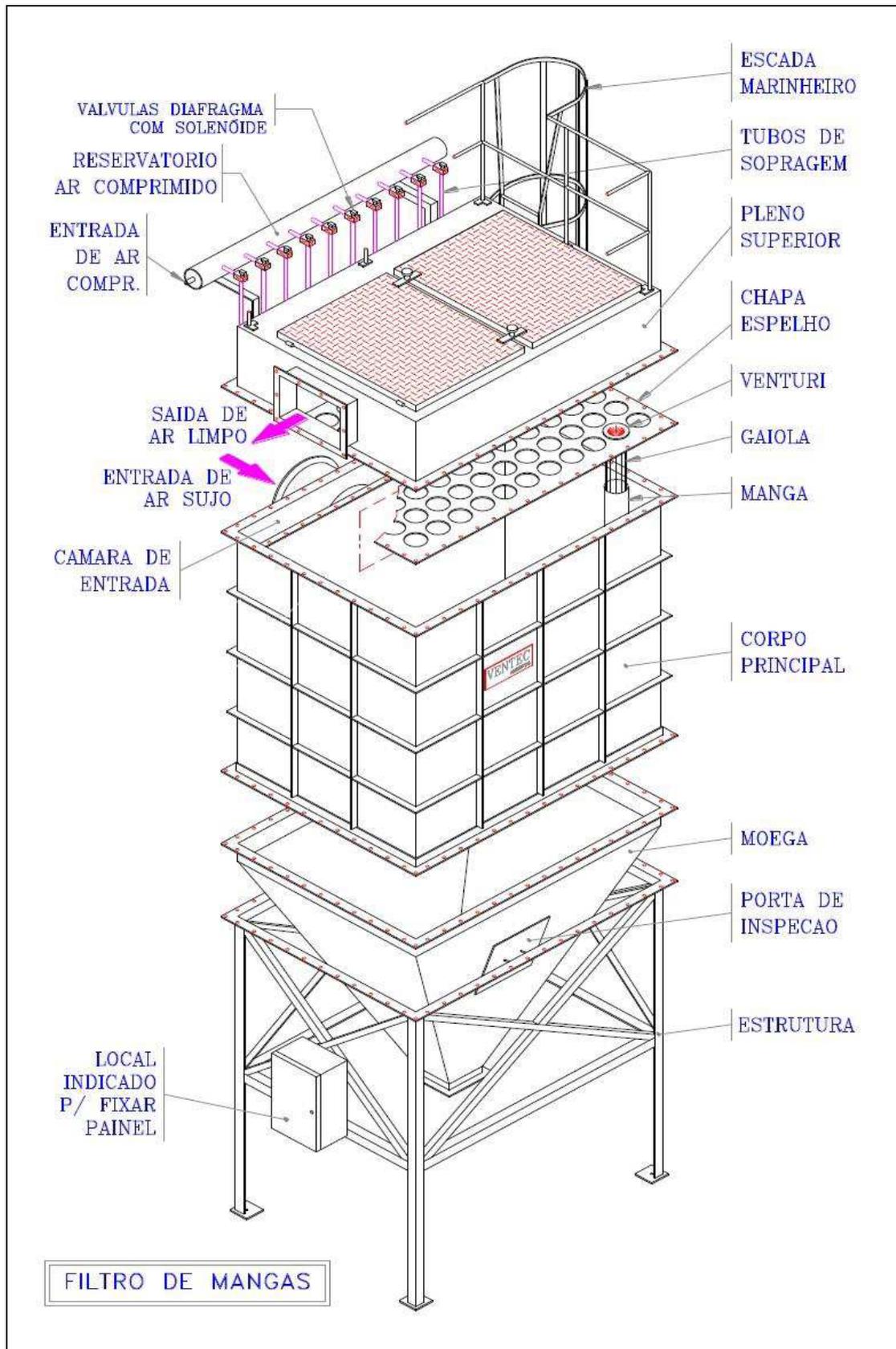
A utilização do filtro de mangas é uma das formas para controlar a emissão de poluentes na atmosfera, estes equipamentos são muito eficientes para esta finalidade, além de apresentar um bom custo benefício, eles são empregados em larga escala para controle da emissão de particulado, sendo a alternativa preferencial em relação a outros tipos de equipamentos, como precipitadores eletrostáticos, ciclones ou lavadores de gases, devido à ótima relação custo benefício.

O Filtro de mangas é um equipamento que tem por objetivo dissipar o ar contaminado proveniente das operações industriais e separar o material particulado por meio de mangas de filtragem, obtendo-se um ar dentro dos padrões de emissão, com possibilidade de reaproveitamento do material. O Filtro de Mangas, que é basicamente composto por Plenum Superior, Válvulas Solenoides, Corpo Principal e Moega de Recolhimento, veja na Figura 22, onde é previsto para operar em condições rígidas e contínuas, sendo dotado de um Sistema Automático de Limpeza das mangas filtrantes.

Esse equipamento é constituído por pedaços de pano costurado em forma de cilindros ou envelopes e montados. Durante a operação, o ar de exaustão é direcionado através do tecido por um ventilador, e as partículas tanto são coletadas pelo próprio tecido como por uma camada de pó criada na superfície deste tecido (por acumulo de pó), e depois são recolhidos por uma corrente de exaustão de saída. O ar normalmente penetra pela parte interna, quando a boca do saco de tecido fica embaixo, e sai deixando as impurezas no lado de dentro. Quando se emprega uma armação interna de vergalhões para manter a manga com a forma cilíndrica, o ar penetra de fora para dentro e sai pela parte central pela boca colocada na parte superior.

Eles são capazes de remover a maior parte de partículas tão pequenas quanto $0,5 \mu\text{m}$ e também removerão substancial quantidades de partículas tão pequenas quanto $0,1 \mu\text{m}$. Sua arrumação pode ser pequena o bastante para caber numa pequena sala, ou ser tão grande, que o tamanho da edificação da própria indústria irá parecer pequena, proporcionalmente ao seu compartimento - “baghouse”.

Figura 22. Vista explodida do Filtro de Mangas.



Fonte: (VENTEC AMBIENTAL, 2017).

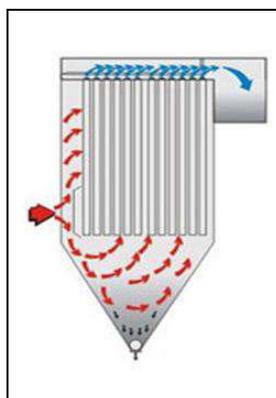
2.6.1. Princípio de Funcionamento

O princípio de funcionamento consiste na introdução do ar contaminado no corpo central do filtro, através de antecâmara lateral devidamente dimensionada no sentido de evitar o choque direto do particulado com as mangas, assim como, reduzir a velocidade do fluxo e precipitar, por efeito de gravidade, o particulado de maior granulometria. O ar, ainda contaminado, é então conduzido para o interior do corpo central.

A Filtragem nos filtros de manga é realizada pela passagem do ar carregado de partículas através de mangas onde partículas ficam retidas na superfície e nos poros dos fios, formando um bolo que atua também como meio filtrante. Para reduzir a resistência ao fluxo do ar o bolo deve ser periodicamente desalojado, para esse processo de desalojamento utilizamos um sistema automático de limpeza das mangas filtrantes. Na sequência o ar, já isento de impurezas, passa para o plenum superior, saindo do filtro por meio de bocal (ais) localizado (s) em uma de suas laterais.

A camada de pó que ficou depositada na superfície da manga é removida periódica e automaticamente por um dos três métodos: vibração mecânica, fluxo de ar reverso ou jato pulsante de ar comprimido, que é atualmente o mais utilizado. Vale ressaltar que o elemento vital de um filtro é a manga, isto é, é o agente que provoca a separação do contaminante. É confeccionada com dois tipos de pano: o tecido e o feltro. A imagem abaixo mostra o funcionamento básico de um filtro de manga, onde a Figura 23 representa o fluxo de ar contaminado (vermelho) e após a passagem das mangas filtrantes (azul) liberando para o ambiente externo.

Figura 23. Fluxo de ar dentro do filtro de manga.



Fonte: (VENTEC AMBIENTAL, 2017).

2.6.2. Processo de Limpeza

As mangas de filtração são montadas sobre gaiolas aramadas, que visam à manutenção de seu perfil cilíndrico quando em operação e respectivo aumento de vida útil, dotadas em sua extremidade superior de um Venturi, cuja finalidade é provocar a aceleração do ar comprimido de limpeza quando injetado no interior de cada manga.

O processo de limpeza consiste fundamentalmente na injeção de ar comprimido no interior das mangas, proporcionado por um sistema que poderá ser acionado por tempo ou por diferença de pressão no filtro de mangas. Tal programa é projetado no sentido de permitir perfeito comando e controle do sistema, inclusive no que pertence à regulagem do tempo de injeção do ar comprimido em cada fila de mangas, assim como, no intervalo de tempo decorrido entre a limpeza de uma fila e sua subsequente.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo será apresentado todo o processo de desenvolvimento das etapas de controle utilizado para controlar a limpeza das mangas filtrantes de forma automática, além de implementar o monitoramento contínuo das etapas de acionamentos das saídas. A figura 22 mostra alguns elementos presentes no filtro de manga, que serão descritos abaixo.

Os elementos que serão destacados são,

- (1) Mangas Filtrantes;
- (2) Gaiolas;
- (3) Venturi;
- (4) Solenóide;
- (5) Válvulas de Diafragma;
- (6) Painelelétrico;

3.1. ELEMENTOS DO FILTRO DE MANGA

A seguir serão descritos alguns dos principais elementos, do ponto de vista da automação, que compõem a caldeira.

- **Mangas Filtrantes** – São elementos filtrantes de feltro agulhado, através das quais ocorre a separação do ar e do pó, já que o ar atravessa o elemento filtrante e as partículas sólidas ficam retidas em sua parede externa. Após um determinado tempo, as mangas ficam impregnadas com pó, necessitando então que se faça uma limpeza. Esta limpeza é feita através de jatos de ar comprimido e ou, em alguns casos, lavagem;

- **Gaiolas** – São armações metálicas que servem de sustentação para as mangas filtrantes, formando um conjunto cilíndrico e rígido. A parte inferior é fechada e a superior é aberta, contendo um ejetor venturi;

- **Venturis** – São tubos metálicos aceleradores que transformam a energia de velocidade do ar comprimido injetado em energia de pressão, induzindo ar através da manga

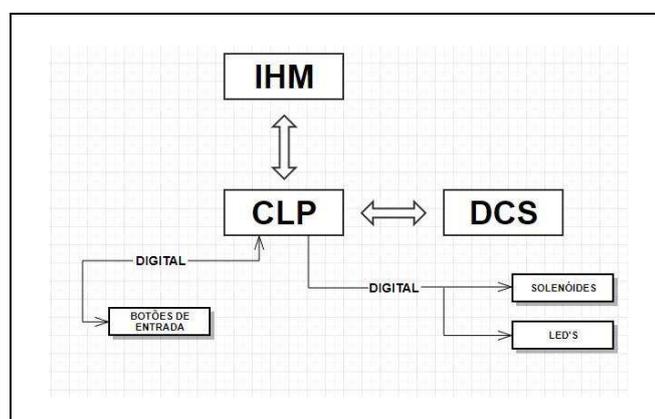
filtrante e, devido à sua magnitude para o fluxo normal de ar, transmitindo uma onda de choque à manga, promovendo sua limpeza e desalojando o material impregnado. A pressão do ar comprimido é determinada em função da geometria ou configuração do ejetor Venturi, assim como da permeabilidade da manga a ser limpa;

- **Solenóide** – Elementos destinados a transformar os impulsos elétricos gerados no programador sequenciador temporizado eletrônico, em impulsos pneumáticos que vão atuar sobre as válvulas de diafragma;
- **Válvulas de Diafragma** – Também conhecidas como escape rápido, são válvulas que permitem a passagem de um fluxo de ar comprimido para a limpeza das mangas. Estas válvulas são abertas através dos impulsos pneumáticos produzidos pelas solenóides;
- **Painel Elétrico** – O primeiro é responsável por medir a pressão interna da caldeira, e o segundo por converter o sinal gerado pelo sensor em um sinal de corrente do tipo 4-20 mA;

3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES

A Figura 24 mostra o diagrama de componentes do sistema, especificando as conexões entre os elementos do sistema, além de detalhes a respeito do tipo de sinal elétrico utilizado para conectá-los. A IHM se comunica diretamente com o CLP através do meio físico RS-485 e de um link de comunicação que utiliza o protocolo MODBUS. Já a conexão entre o CLP e os atuadores, LEDs e botões de entrada do filtro se dá através de conexão direta, na forma de sinais de tensão. Os detalhes da conexão entre o CLP e o DCS do sistema não serão mencionados.

Figura 24. Diagrama de componentes do sistema.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

3.3. I/OS ANALÓGICAS E DIGITAIS DO SISTEMA

A Tabela 2, logo abaixo, mostra os sinais digitais que foram usados para controlar o sistema.

Tabela 2. I/Os digitais do filtro de manga.

Nome	Entrada/Saída	Digital/Analógico
Botão de Emergência	Entrada	Digital
LEDs Indicadores de Funcionamento	Saída	Digital
Atuadores	Saída	Digital

Fonte: (Próprio Autor, 2017).

3.4. INTERTRAVAMENTOS DE SEGURANÇA

Intertravamentos de segurança são condições que devem ser satisfeitas para que haja o funcionamento das estruturas de partida (automática, manual ou remoto) e para que possa ser executado e mantido em operação. São monitorados continuamente pelo CLP independente do estágio do processo de partida ou funcionamento no qual o sistema esteja.

Abaixo estão listados e descritos todos os intertravamentos de operação.

- **Botão de emergência** – Caso o botão de emergência seja pressionado pelo operador da caldeira a mesma deve ser desligada imediatamente;
- **Falha na COM2 (RS-485)** – Devido ao sistema ser projeto para a inserção de novos sistemas, foi projeto um sistema de segurança para que não haja conflito na recepção de dados através do protocolo MODBUS;
- **Falha na Fonte 125Vcc** – Uma fonte para alimentar as solenoides foi implementada no painel elétrico, caso ele esteja em curto ou falha, o LED de falha é acionado e uma mensagem de aviso de falha é apresentada na IHM;

3.5. SEQUÊNCIAS DE PARTIDA

O programa é composto basicamente por uma rotina bem simples e elaborada, projetada especialmente de acordo com os requisitos técnicos do projeto. A sequência e tempo de limpeza das mangas, através das válvulas diafragma com solenóides, serão definidos pelo operador e comandados pelo programa.

A ação de limpeza segue de uma fileira para outra, enquanto o fluxo de ar carregado com pó entra no filtro continuamente. Cada fileira de mangas é limpa com um sopro curto de 1/20 segundos em média, sendo que o intervalo de limpeza entre uma fileira e outra pode ser ajustado através da função implementada pela IHM, que é montada em painel de controle eletrônico. Assim, praticamente toda a área filtrante do Filtro de Mangas está em operação contínua. Para o funcionamento do projeto foram observados alguns requisitos e a partir deles foi criado condições para a realização do trabalho, são eles:

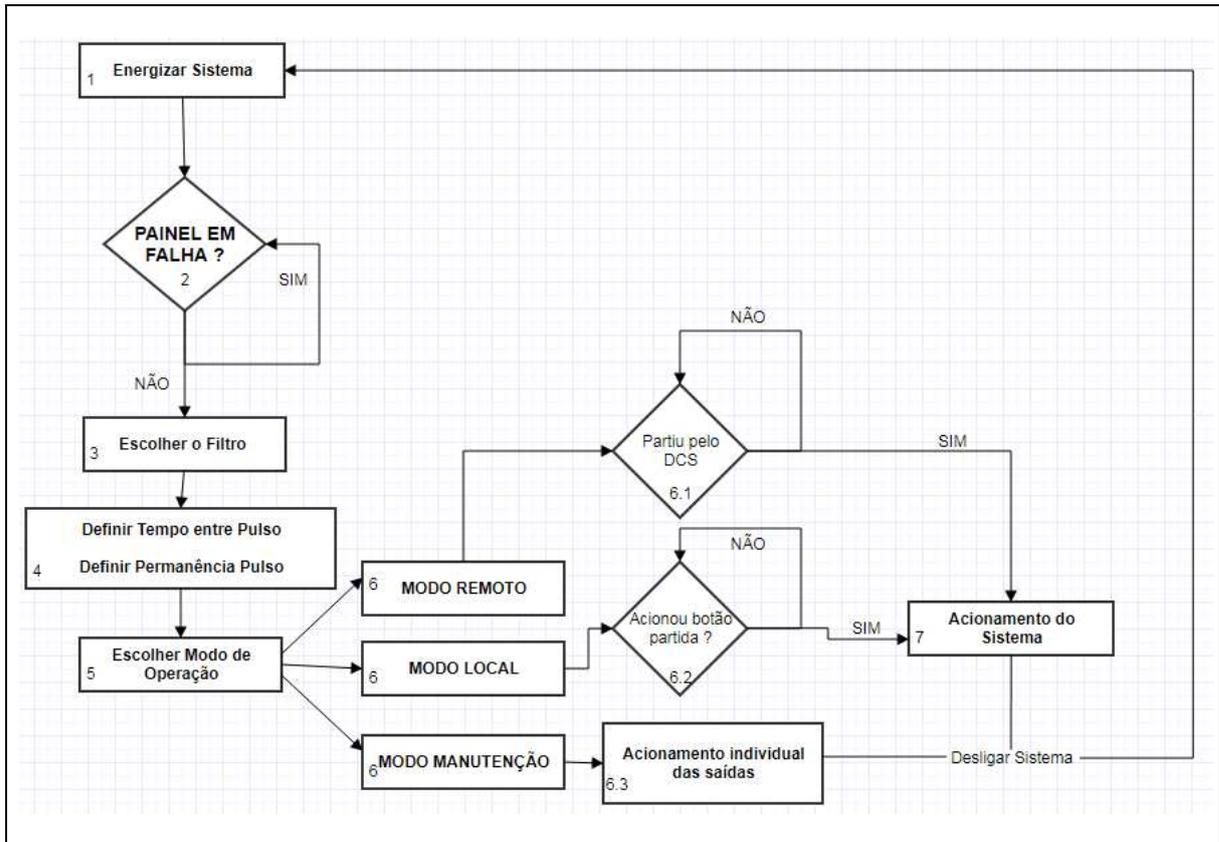
- **Intervalo entre Pulsos:** refere-se ao tempo de intervalo para acionamentos das saídas em segundos (seg's), que deverá ser previsto um campo para futuras alterações do tempo, de acordo com a necessidade do operador;
- **Permanência de Pulsos:** refere-se ao tempo de acionamento individual de cada uma das saídas em segundos (seg's);
- **Botão de Operação:** refere-se ao modo de funcionamento para acionamento das saídas, podendo ser: 1- LOCAL/ 2- REMOTO/3- MANUTENÇÃO;
- **Acionamento enfileirado:** o acionamento das 40 saídas deve seguir a seguinte lógica, de acordo com o estabelecido pela empresa:
 - Ativar duas saídas ao mesmo tempo;
 - A primeira e a última, a segunda e penúltima, e assim por diante. Exemplo: 1º acionamento: saídas 1 e 40, 2º acionamento: saídas 2 e 39;

Com a orientação de se utilizar uma estrutura de IHM, foi elaborado um esboço com as principais telas para a interação com o sistema, sendo elas:

3.5.1. Descrição dos Passos

O fluxograma mostrado na figura 24 apresenta em detalhes da rotina do sistema que é executada pelo CLP, quando a mesma não está com o botão de emergência acionado ou nenhuma falha está impedindo o funcionamento normal do sistema.

Figura 25. Fluxograma da rotina de partida no modo automático.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Descrição dos passos,

- 1 – Energização do Painel e Inicialização do Sistema;
- 2 – Monitoramento do Painel em Falha (Intertravamento de Segurança);
- 3 – Escolha do Filtro para operação;
- 4 – Definição dos parâmetros de tempo;
- 5 – Escolher o Modo de Operação de acordo com a necessidade;
- 6 - Modos de Operação:
 - 6.1 Modo Remoto: Espera sinal do DCS para partida do sistema de forma remota via DCS;
 - 6.2 Modo Local: Espera sinal da IHM para partida do sistema de forma local através da IHM manipulada pelo operador.

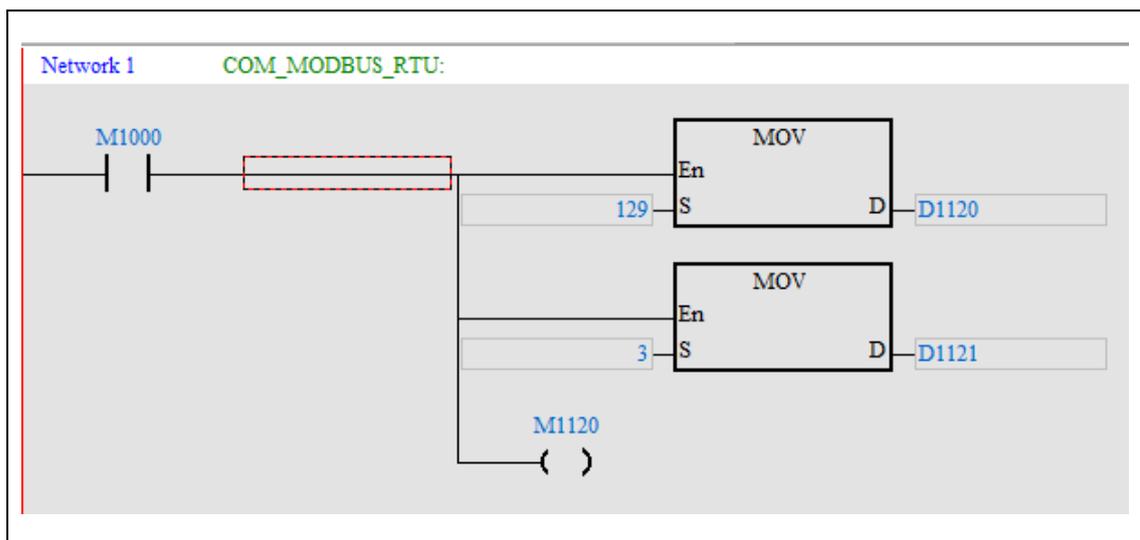
- 6.3 Modo Manutenção: Acionamento Individual das saídas para realização da manutenção das válvulas de ar, onde cada saída possui o intertravamento de segurança para ser exclusivamente acionada uma de cada vez.

3.6. TRECHOS DO CÓDIGO *LADDER*

A seguir são mostrados alguns trechos importante do código em linguagem *Ladder* executado pelo CLP para controlar o sistema.

A Figura 26 mostra o trecho do código em que é configurado a porta de comunicação COM2 – RS485 para o protocolo MODBUS. Cada filtro possui um endereço diferente na sua configuração, sendo está a responsável por diferenciar os filtros entre si no mesmo sistema.

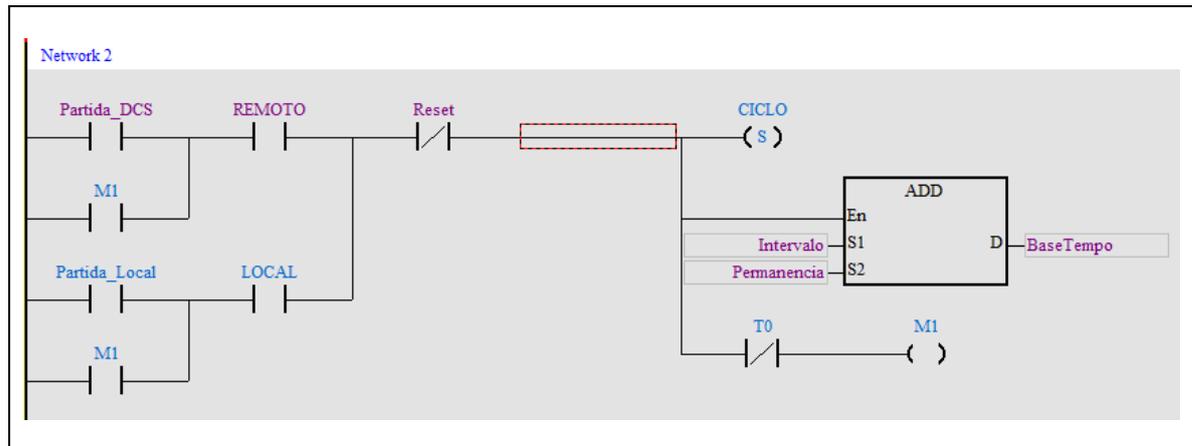
Figura 26. Trecho do código fonte (Configuração MODBUS).



Fonte: (Próprio Autor, 2017)

A próxima imagem, figura 27, mostra o trecho responsável pela escolha do modo de operação do ciclo, onde os valores escolhidos para os parâmetros de tempo são alocados no bloco ADD (Soma) produzindo um resultado armazenado em BASETEMPO. O botão RESET é responsável por interromper o funcionamento do CICLO.

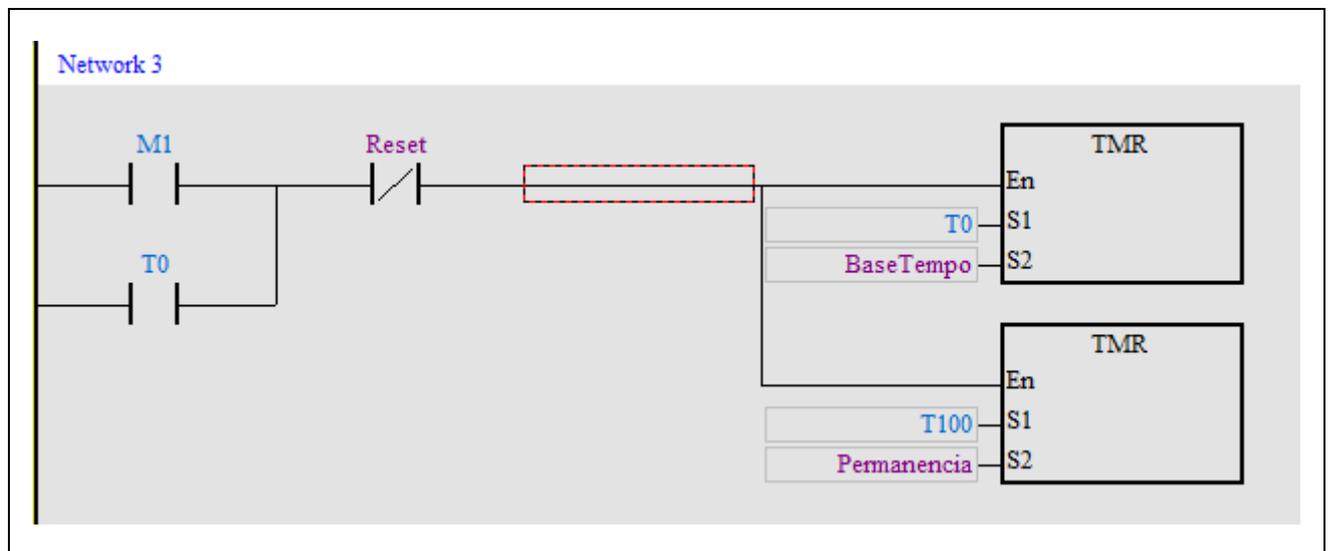
Figura 27. Trecho do código fonte (Operação Ciclo).



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

A próxima imagem, figura 28, podemos perceber que o endereço M1 que é responsável pelo primeiro passo para início do ciclo de acionamento das 40 saídas, onde os valores de tempo definido pelo operador serão alocados para dois temporizadores T0 e T100 que serão responsáveis pelo tempo da sequência de acionamentos das válvulas de ar.

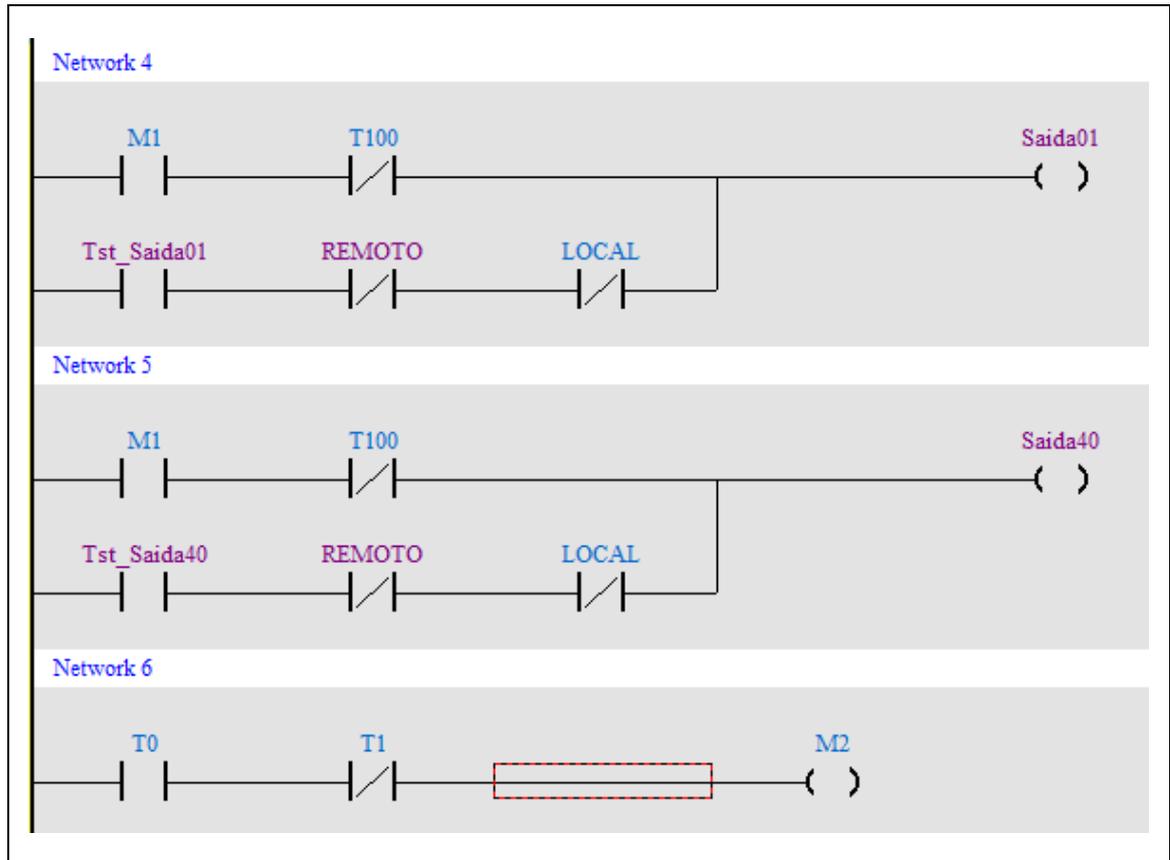
Figura 28. Trechos do código fonte (Configuração do tempo).



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Na Figura 29, podemos observar o acionamento das saídas 1 e 40 ao mesmo tempo, conforme especificado nos requisitos de funcionamento do sistema. Logo em seguida a condição M2 é vista, onde fica responsável por dar continuidade ao sistema e eventual o acionamento das saídas 2 e 39, conforme determinado nos requisitos do sistema.

Figura 29. Trechos do código fonte (Acionamento das saídas).



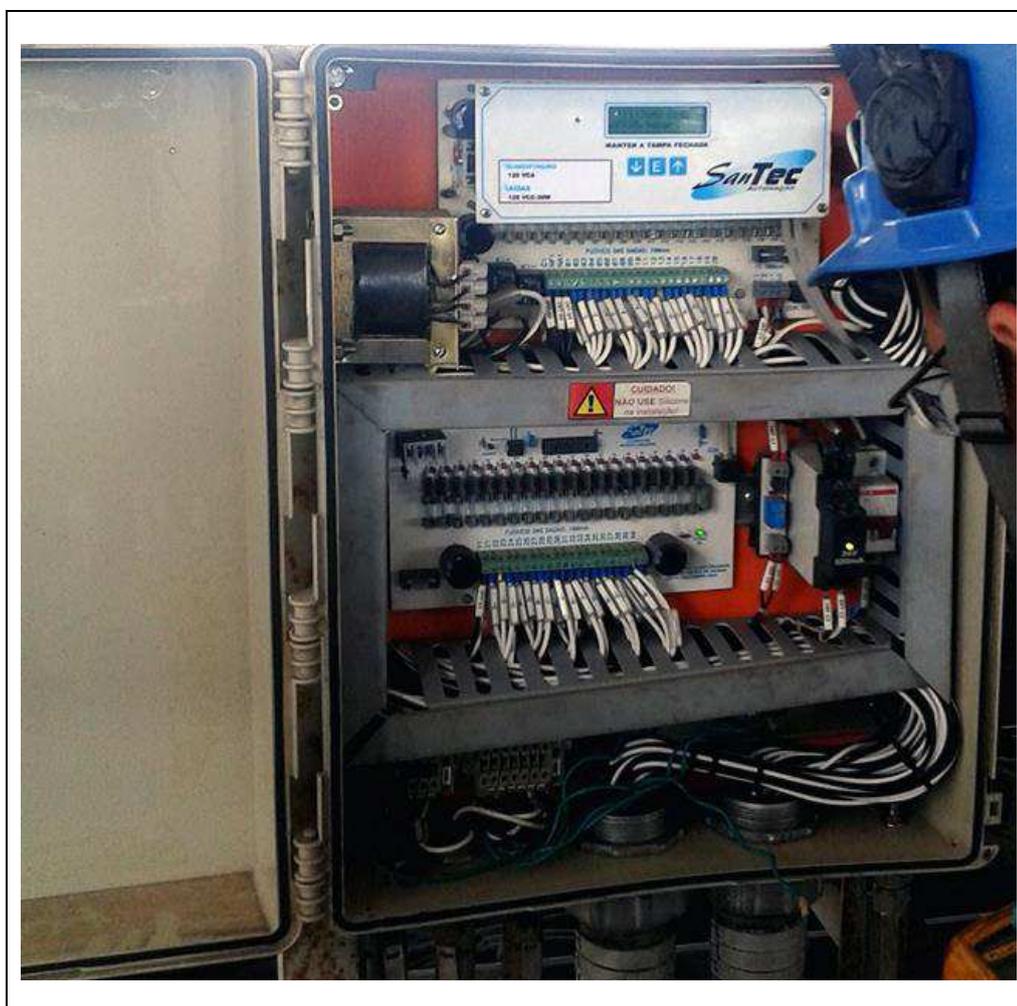
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

4. RESULTADOS

4.1. MELHORIAS DOS PAINÉIS

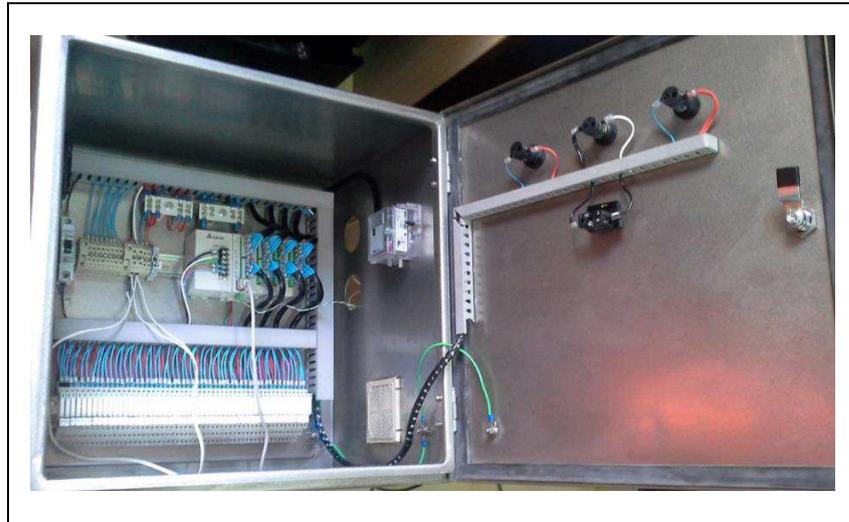
As Figuras 30 e 31 mostram respectivamente o antigo e o novo painel elétrico, na qual podemos observar algumas vulnerabilidades, como por exemplo, estrutura de plástico do painel, circuito integrado desprotegido sem proteção a poeira, corrosão e interferência eletromagnética e o novo painel que foi instalado com as devidas requisições atendidas.

Figura 30. Interior do antigo painel.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 31. Interior do novo painel.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Pelo fato de ter sido construído recentemente, o novo painel utiliza componentes elétricos mais modernos (contatores, disjuntores, cabos elétricos, CLP, etc.) e possui cabeamento organizado, o que lhe confere mais confiabilidade quando estiver em operação, em relação ao painel elétrico anteriormente utilizado, composto de componentes elétricos antigos, com bastante tempo de uso, fiação visível e desorganizada, podendo inclusive causar curto circuitos, que por sua vez, poderiam causar acidentes de trabalho.

4.2. MELHORIAS NA INTERFACE HOMEM -MÁQUINA (IHM)

A Figura 32 e 33 mostram a IHM antiga e nova (respectivamente) instalada no novo painel elétrico com as interfaces do sistema de limpeza das mangas filtrantes que antes no antigo painel elétrico era controlado por apenas três botões e um painel de texto bem pequeno, dificultado as operações diárias do sistema.

Figura 32. Interface de acionamento do antigo painel.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 33. IHM do novo painel.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Observando as imagens acima é possível concluir que a nova interface (IHM) para monitoramento e controle do sistema, é bem mais moderna e elaborada em relação ao antigo sistema de comando, pois a mesma disponibiliza ao operador uma maior quantidade de informações (informações de operação e diagnóstico de falhas) e maior controle sobre o sistema (maior quantidade de parâmetros ajustáveis).

O painel possui ainda um led indicativo de energização, onde facilita a rotina diária do operador em campo, indicando quando há uma possível falha de energização do painel da IHM.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do sistema antigo oferecer todo um suporte automatizado para o sistema, foram apontadas diversas irregularidades que comprometia a operação normal (sem falhas) da automatização. Para o setor industrial, apesar das inúmeras soluções existentes, a utilização de CLPs continua sendo a mais viável atualmente, por ser considerado um equipamento robusto, de fácil instalação, manutenção e programação, além de já estarem a bastante tempo no mercado tendo sua eficiência e eficácia comprovadas ao longo dos anos, e que foram mais uma vez comprovadas durante o desenvolvimento deste projeto.

A utilização da Linguagem *Ladder* sucedeu excelentes resultados em relação as outras linguagens existentes para programação em CLP, se mostrando bastante eficiente durante a fase de programação do sistema, devido a sua simplicidade de acesso as funções e fácil entendimento, com um único impasse em relação ao espaço ocupado pelo código na tela do computador (bem maior comparando-se a outras linguagens de programação, exemplo as textuais) durante a programação o que acaba causando um necessidade constante do uso da barra de rolagem da tela, porém, nada que comprometa o desempenho da linguagem e nem a sua facilidade de uso.

O novo sistema de automação desenvolvido usando o conjunto CLP e IHM para o controle e monitoração do sistema de limpeza das mangas filtrantes cumpriu com todos os seus objetivo esperados, de modernizar o sistema de acionamento e principalmente aumento do nível de segurança operacional, pois antes o sistema era considerado frágil e simplista, e não incluía um sistema de falhas, já agora é feita de forma automática pelo CLP e caso alguma anomalia de funcionamento ocorra o equipamento é desativado por completo antes que situações de risco possam ocorrer.

Outra facilidade compreendida após a finalização do processo é a manutenção do equipamento projetado, o que antes era feito manualmente pelo operador, oferecendo risco de acidente, atualmente é realizado através da IHM ou remotamente pelo operador em sala. E por ser um sistema com uma enorme facilidade de mudança, qualquer alteração em relação a programação ou adição de novas funcionalidades (tanto controle como monitoração) ou novos conjuntos de sistema pode ser realizada em sala e posteriormente alterada em campo.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Implementar uma funcionalidade para controle entre a vazão de ar a ser tratado e do ar já tratado para monitorar a eficiência das mangas e economizar energia quando não for necessário realizar a limpeza dos filtros;
- Implementar uma funcionalidade para monitoração da pressão do ar comprimido do sistema.
- Automatizar o processo baseado no horário e dia da semana para que seja acionado automaticamente sem precisar do operador local.

REFERÊNCIAS

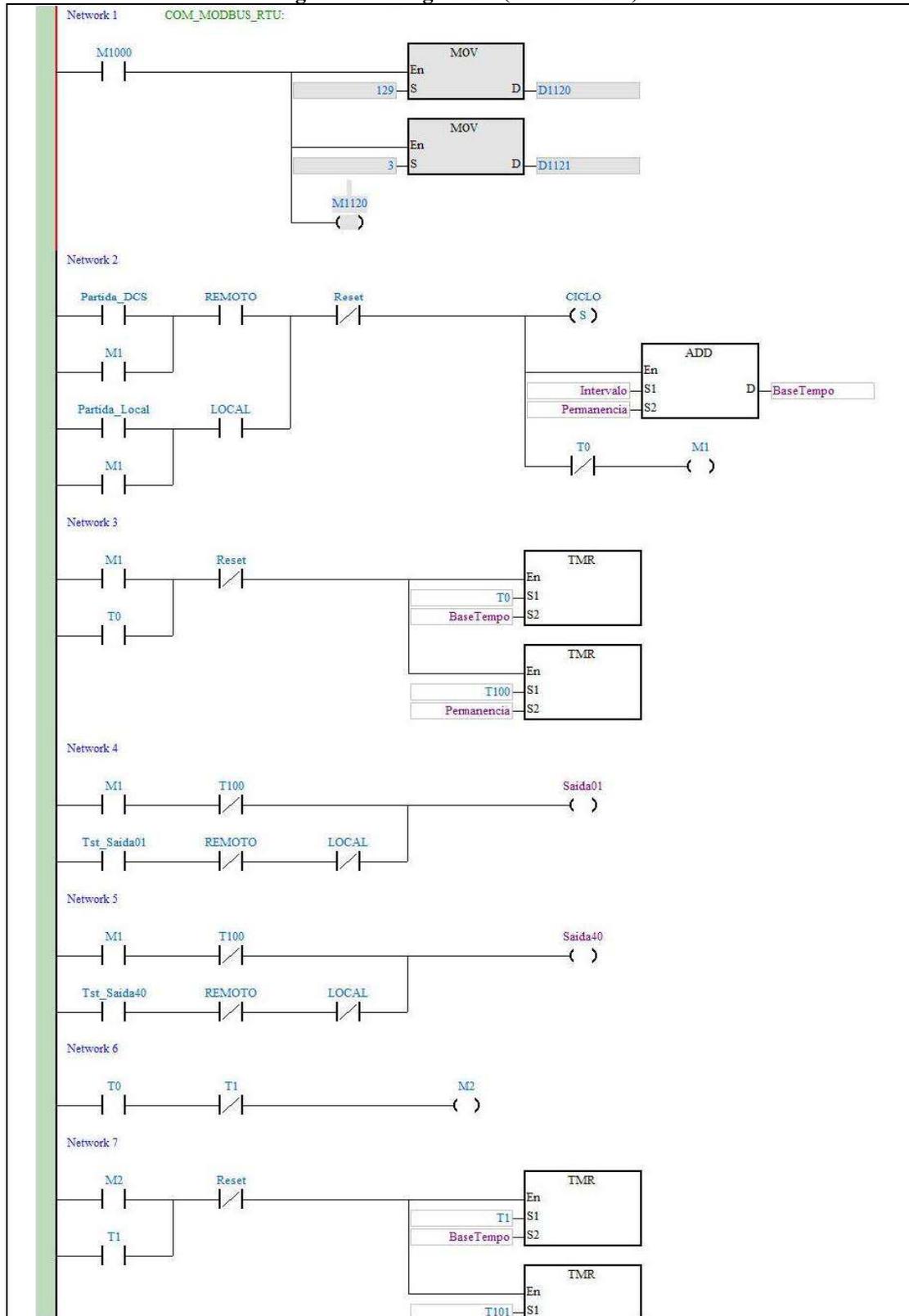
- [1] ALVES, José Luiz Loureiro, **Instrumentação, controle e automação de processos**. 2.e.d. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [2] MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro, **Engenharia de Automação Industrial**. 2.e.d. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [3] PAREDE, Ismael M., GOMES, Luiz E. L., **Eletrônica - Automação Industrial**, Centro Paula Souza, 2011.
- [4] PRUDENTE, Francesco, **Automação industrial PLC: teoria e aplicações: curso básico**. 2.e.d. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- [5] SILVEIRA, Paulo Rogério da; SANTOS, Winderson E. dos, **Automação e controle discreto**. 2.e.d. – São Paulo: Érica, 1998.
- [6] VENTEC AMBIENTAL EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES LTDA. **Manual Técnico de Instalação, Operação e Manutenção Filtro de Mangas**. Disponível em: <http://www.ventec.com.br/downloads/manuais_ventec/alt27-10-08/Manual_Filtro_de_Mangas.pdf>. Acesso em: 21 Set. 2017.
- [7] VIANNA, Mario L. R., **Mecânica - Automação**, Centro Paula Souza, 2011.
- [8] BOLTON, William, **Programmable Logic Controllers**, 5th Edition, Newnes, 2009.
- [9] BRYAN, L. A., BRYAN, E. A., **Programable Controllers – Theory and Implementation**, 2nd Edition, Industrial Text, 2003.

GLOSSÁRIO

<i>Intertravamento</i>	Condição que deve ser satisfeita para um determinado evento possa acontecer.
<i>Scan</i>	Tempo de varredura que o CLP leva para dar um loop completo voltando para o início.
<i>Display</i>	Dispositivo para a apresentação de informação, de modo visual ou tátil, adquirida, armazenada ou transmitida sob várias formas.
<i>Baghouse</i>	Reservatório dos acumulados sujos extraídos do ar.
<i>Ladder</i>	Linguagem de baixo nível utilizada para programar CLPs, capaz de realizar o controle de sistemas críticos e/ou industriais, substituindo os antigos circuitos controladores a relés que eram caros e de difícil manutenção, além de menos seguros.
<i>Touchscreen</i>	Tela de computador que pode ser usada tocando-a com o dedo ao invés de usar um mouse e teclado.
<i>Modbus</i>	Protocolo industrial desenvolvido em 1979 para possibilitar a comunicação entre dispositivos de automação.
<i>Network</i>	Linhas de programação do CLP.

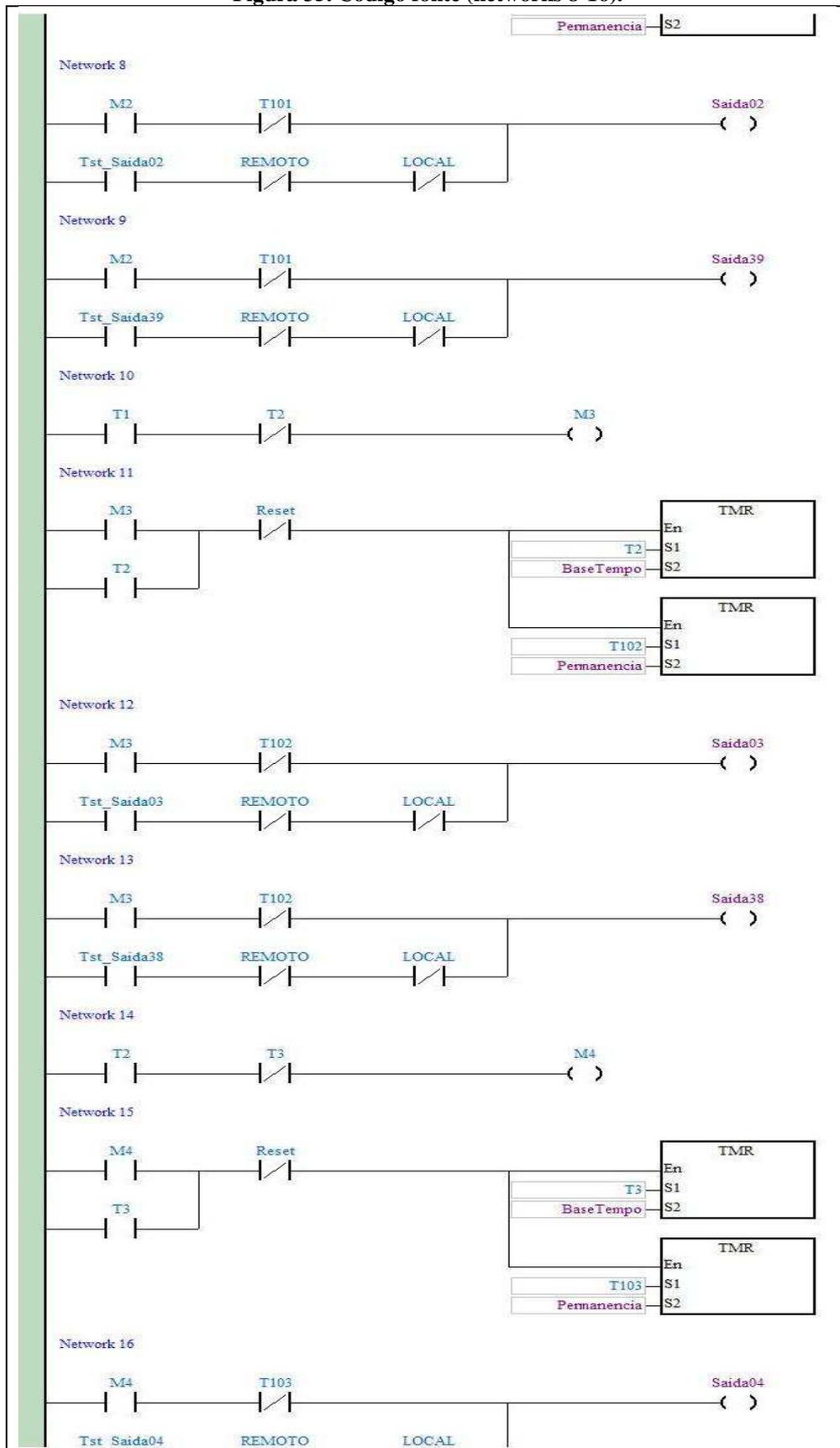
APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

Figura 34. Código fonte (networks 1-7).



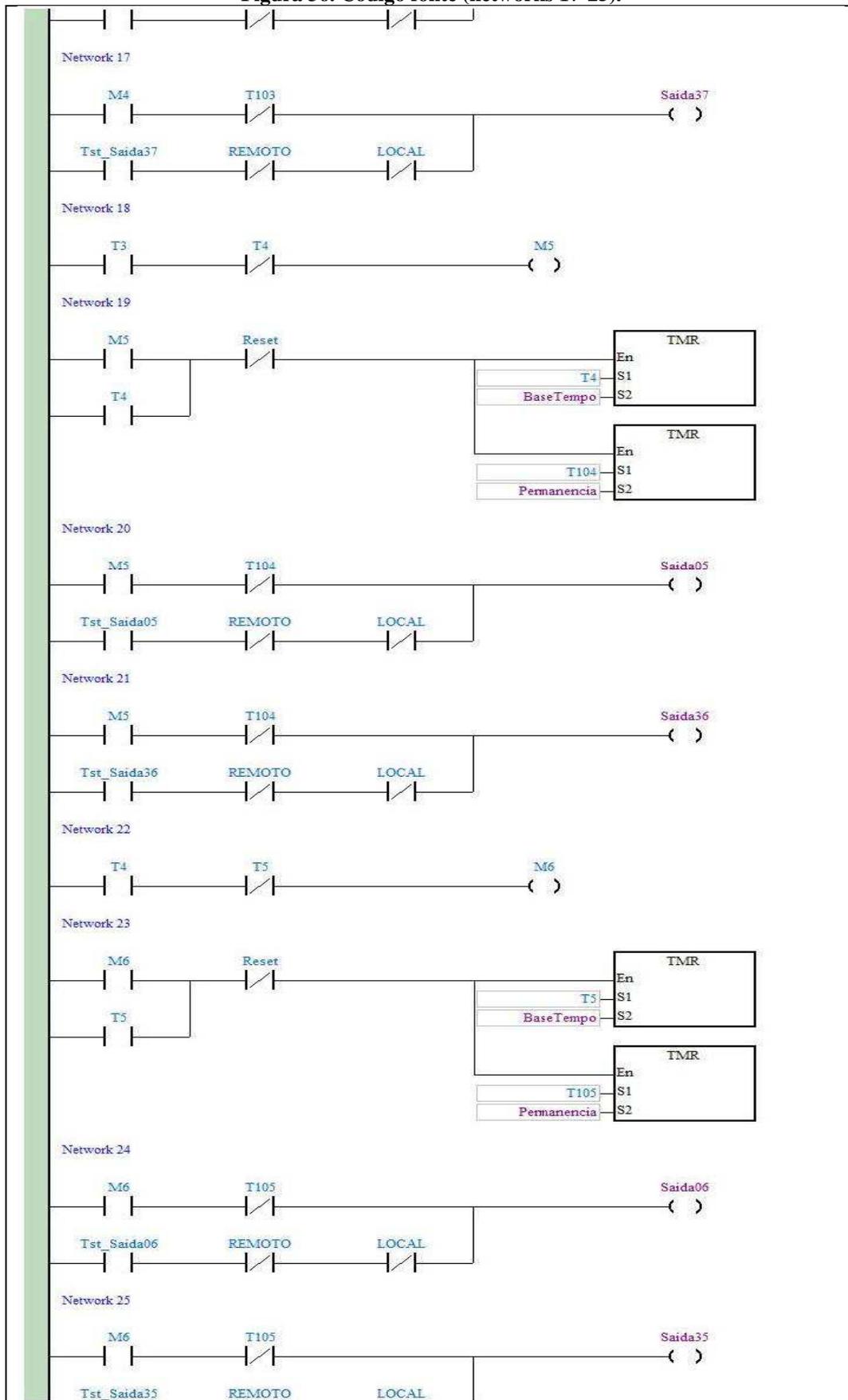
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 35. Código fonte (networks 8-16).



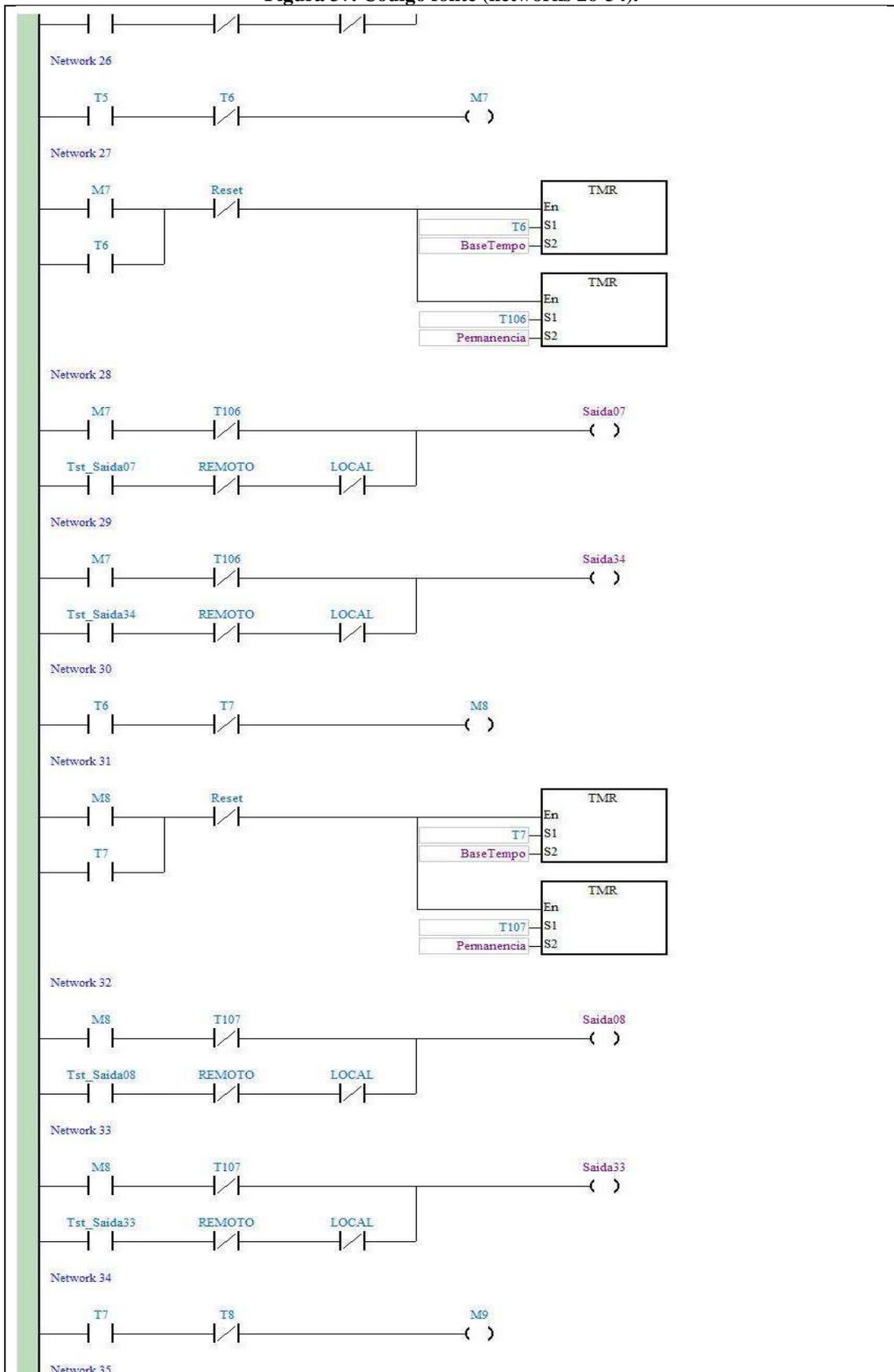
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 36. Código fonte (networks 17-25).



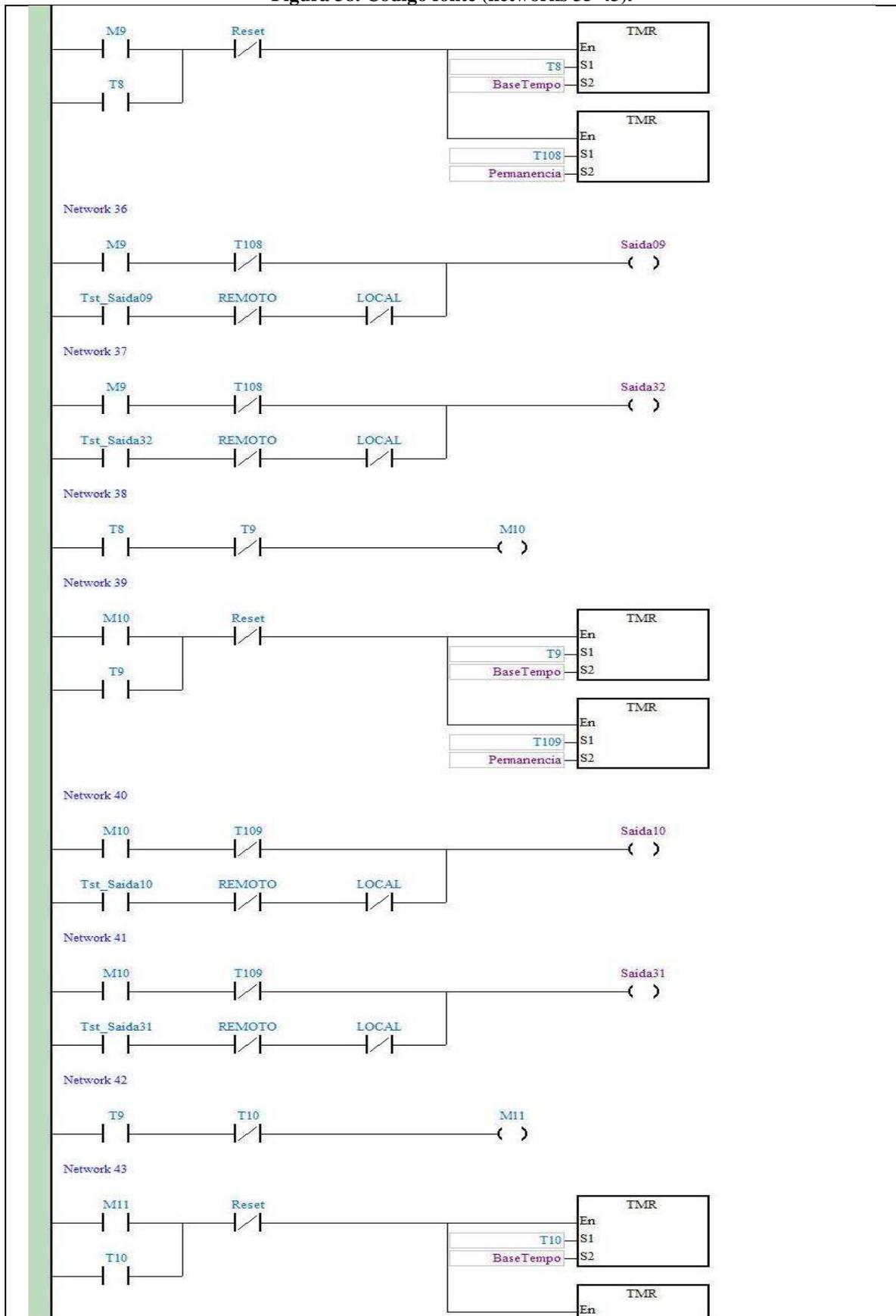
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 37. Código fonte (networks 26-34).



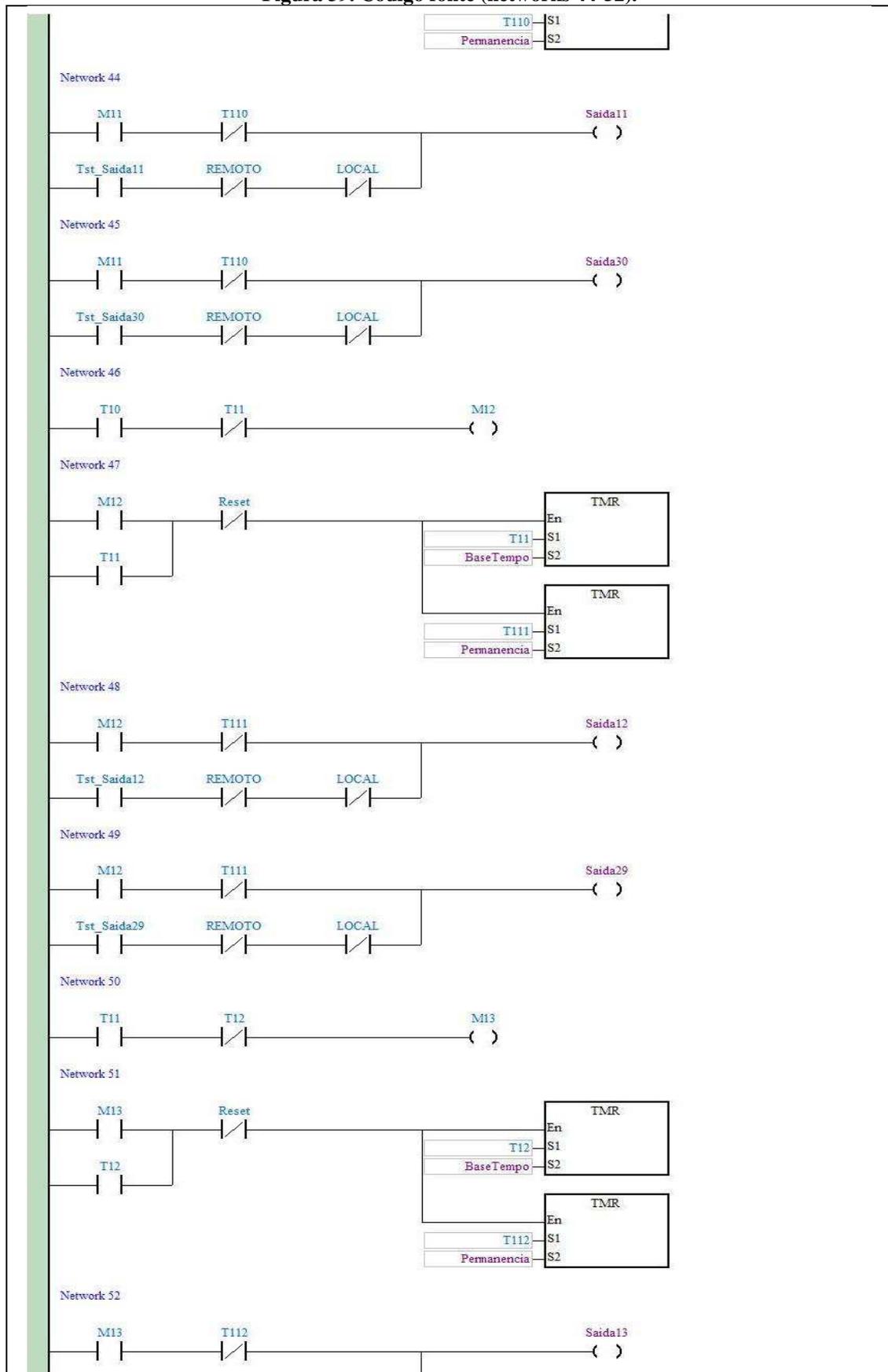
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 38. Código fonte (networks 35-43).



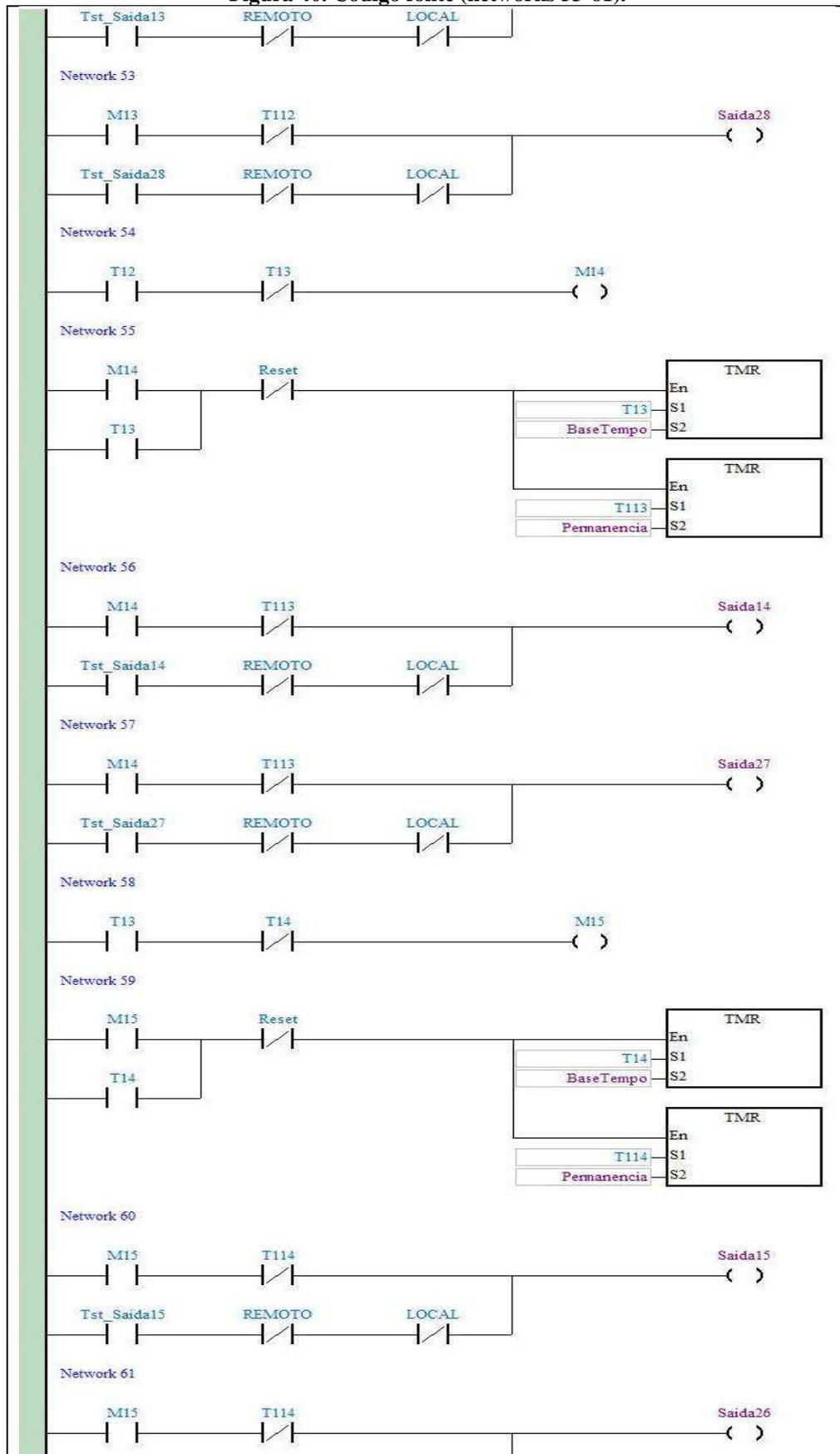
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 39. Código fonte (networks 44-52).



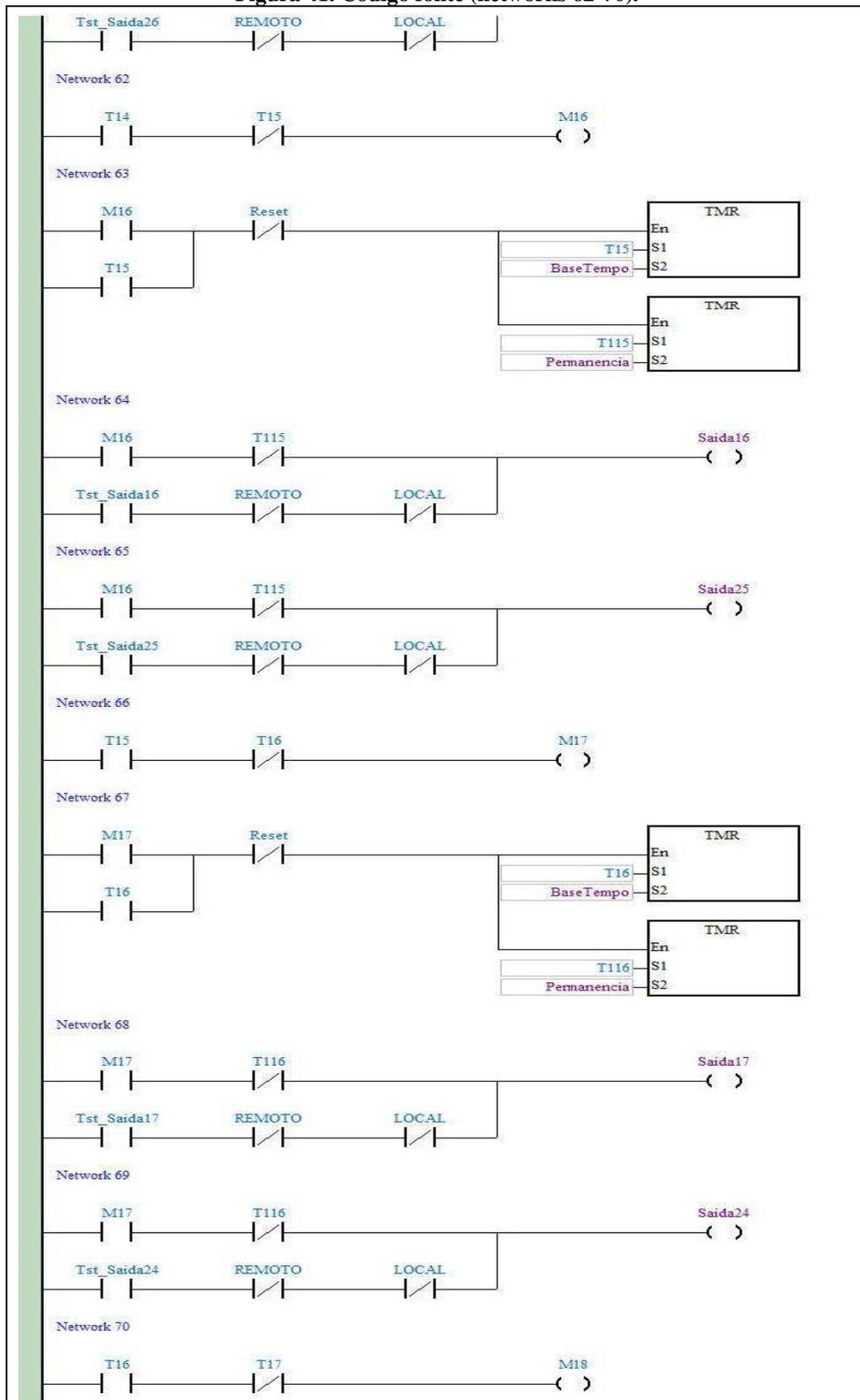
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 40. Código fonte (networks 53-61).



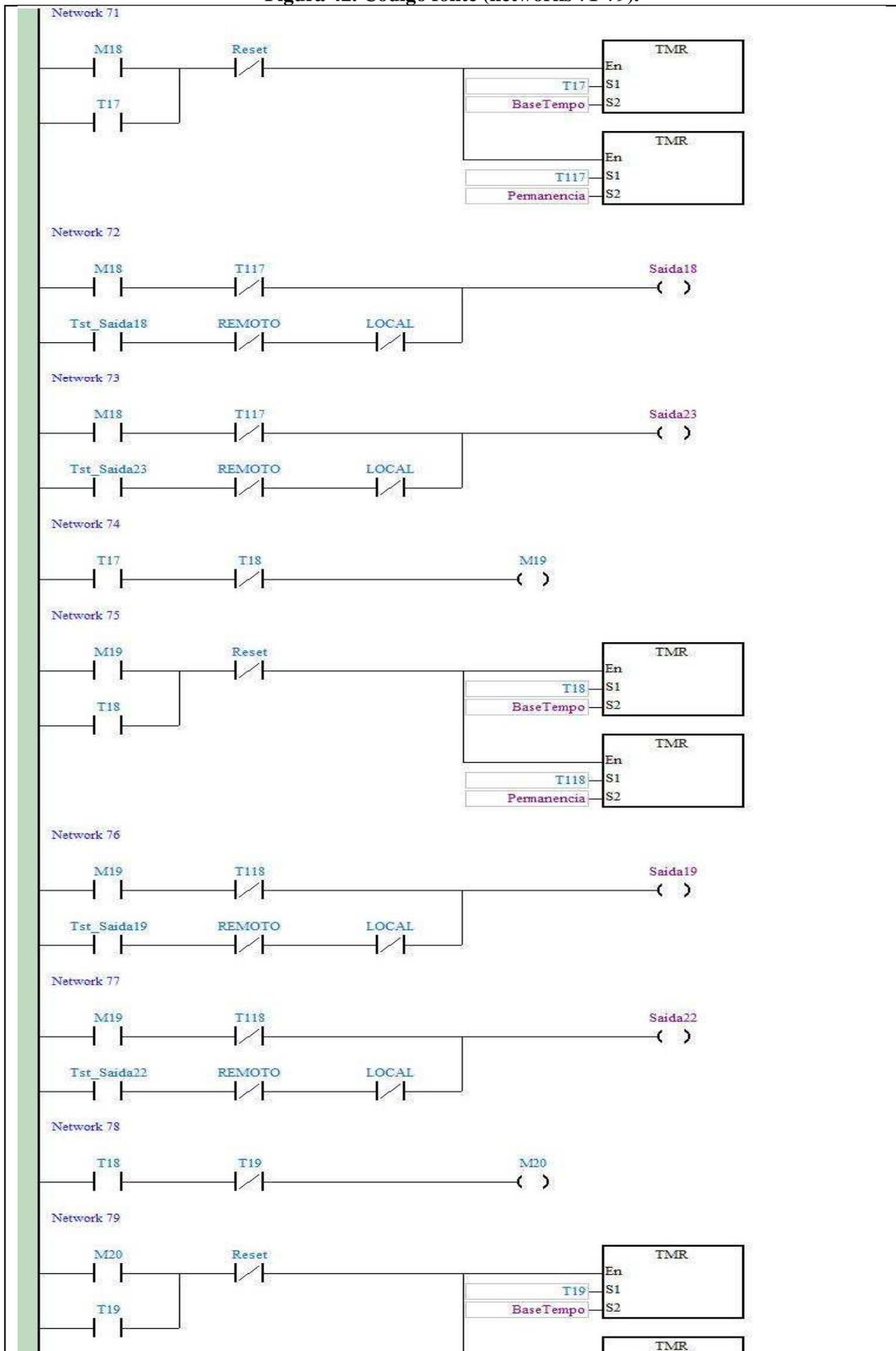
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 41. Código fonte (networks 62-70).



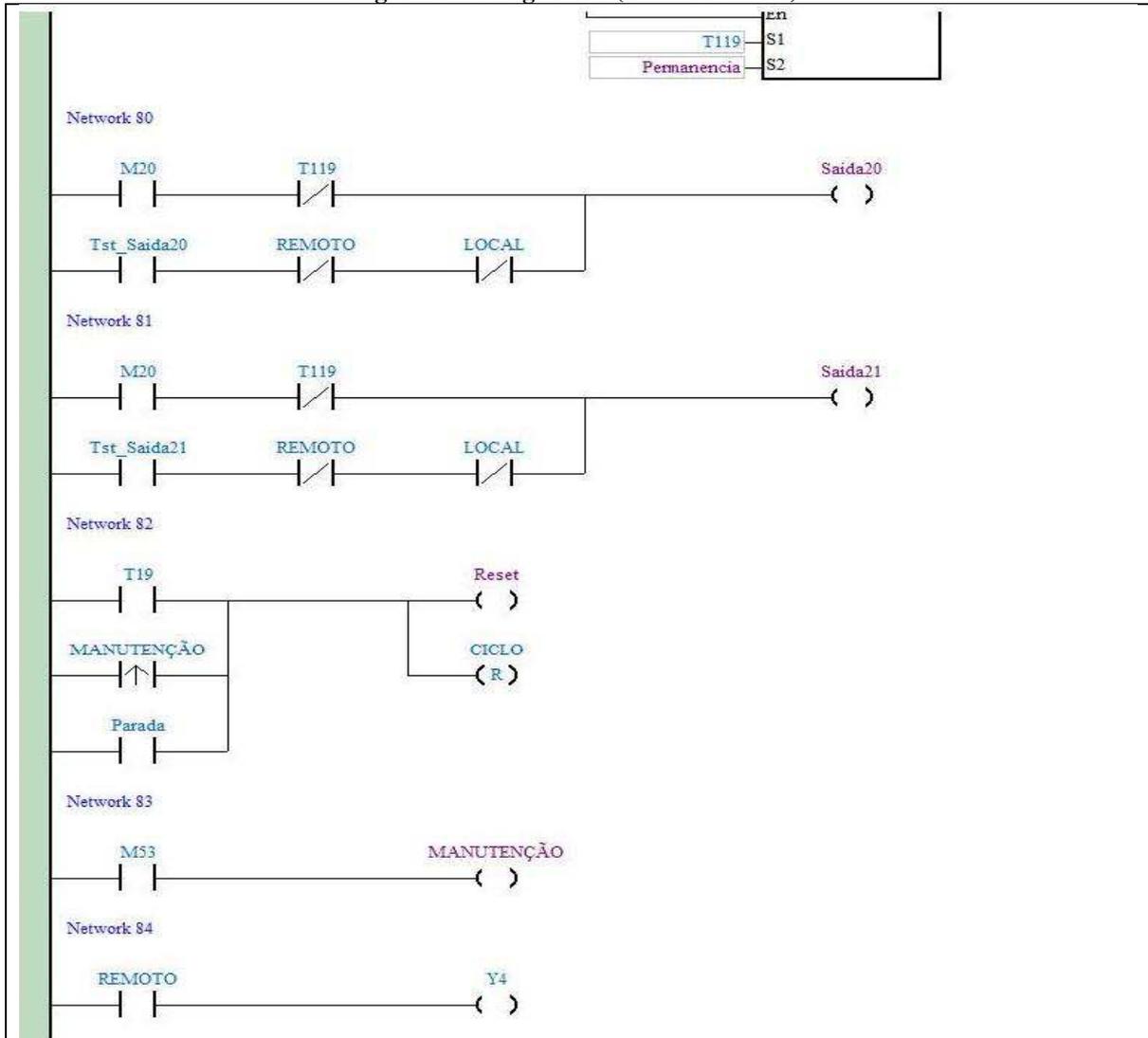
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 42. Código fonte (networks 71-79).



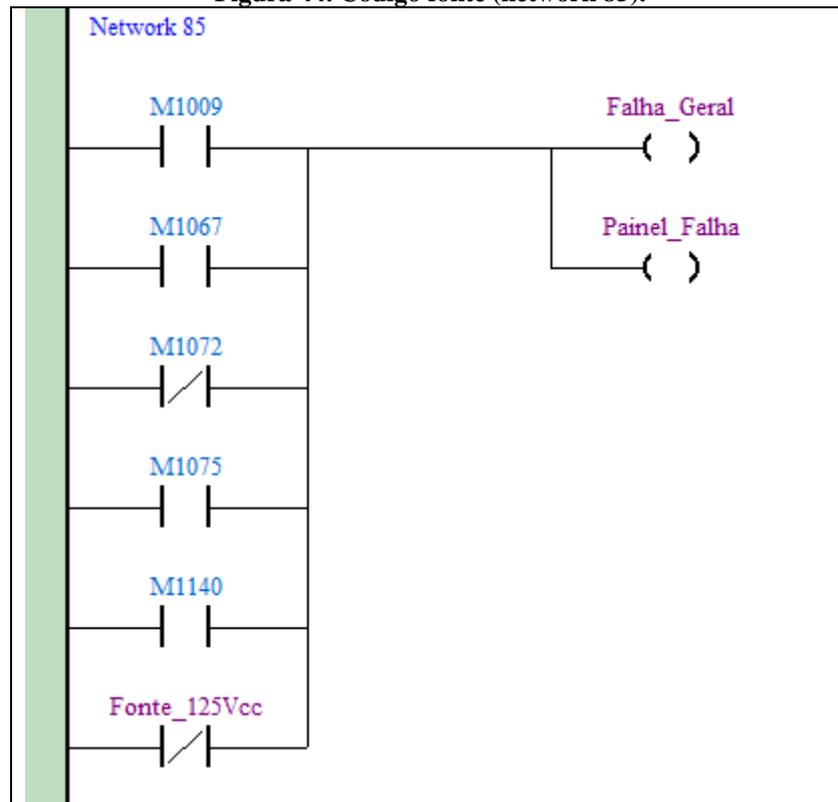
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 43. Código fonte (networks 80-84).



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 44. Código fonte (network 85).



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

APÊNDICE B – TELAS DA IHM

Figura 45. Tela inicial.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 46. Tela de escolha do filtro a ser controlado.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 47. Tela de definição de parâmetros e escolha do modo de operação.

Filtro - 01

TEMPO ENTRE PULSOS: 0.0 s

PERMANÊNCIA PULSO: #.# s

MODO DE OPERAÇÃO: **REMOTO**

ESTADO DO CICLO: **OFF**

REMOTO

LOCAL

MANUTENÇÃO

Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 48. Tela de acesso ao modo de operação restrito com senha.

Filtro - 01

TEMPO ENTRE P

PERMANÊNCIA P

MODO DE OPERA

ESTADO DO CIC

REMOTO

LOCAL

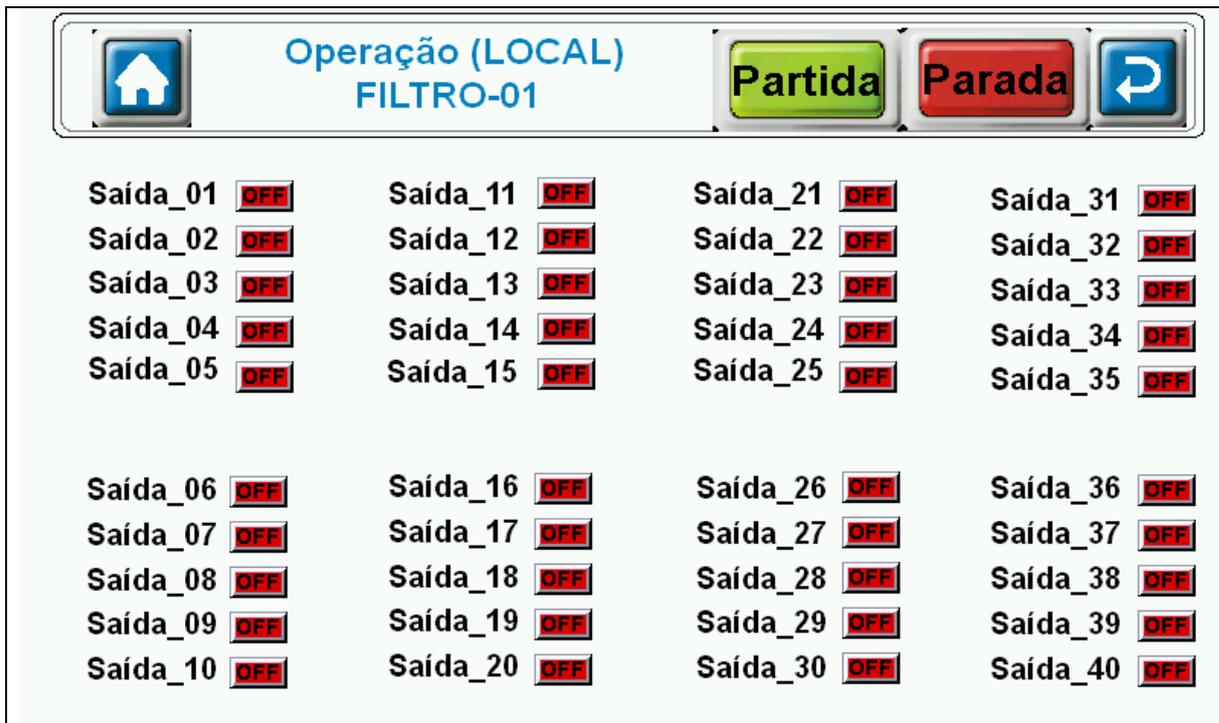
MANUTENÇÃO

Password KeyPad

0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	A	B
C	D	E	F
CLR	Enter		

Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 49. Tela de partida/parada e monitoração do modo LOCAL.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 50. Tela de acionamento individual das saídas no modo MANUTENÇÃO.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 51. Tela de monitoração no modo REMOTO.



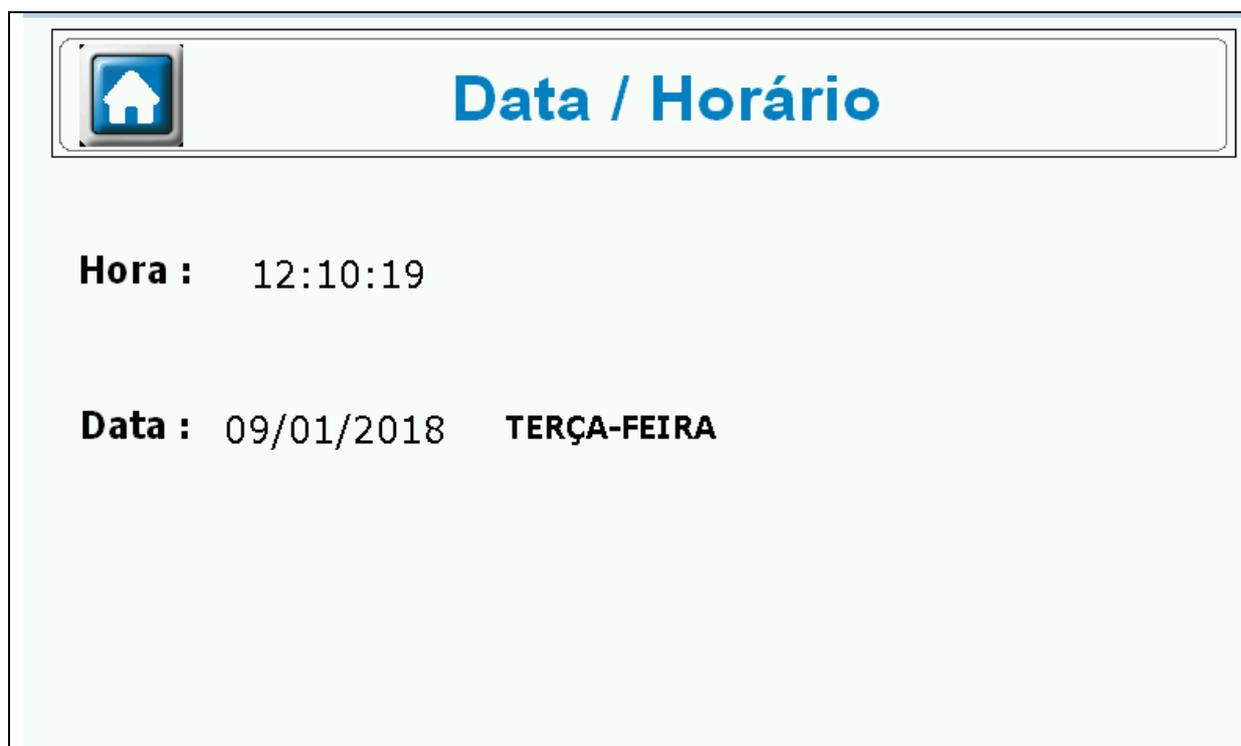
Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 52. Tela de ajuste de configurações.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).

Figura 53. Tela de DATA/HORA.



Fonte: (Próprio Autor, 2017).