

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



**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE UMA CALDEIRA INDUSTRIAL USANDO
CLP, IHM E A LINGUAGEM LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA
FÁBRICA DE BEBIDAS**

Área de Automação Industrial

por

Isaac Souza Silva

Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado da Silva, Doutor
Orientador

André Luis Gomes de Sousa, Especialista
Co-orientador

São Luís (MA), 07 de Dezembro de 2016

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



PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE UMA CALDEIRA INDUSTRIAL USANDO CLP, IHM E A LINGUAGEM LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE BEBIDAS

Área de Automação Industrial

por

Isaac Souza Silva

Monografia apresentada à Banca Examinadora do
Curso de Engenharia de Computação para análise
e aprovação.

Orientador: Leonardo Henrique Gonsioroski
Furtado da Silva, Doutor

Co-orientador: André Luis Gomes de Sousa,
Especialista

São Luís (MA), 07 de Dezembro de 2016

ISAAC SOUZA SILVA

**PROJETO DE AUTOMAÇÃO DE UMA CALDEIRA INDUSTRIAL USANDO
CLP, IHM E A LINGUAGEM LADDER: ESTUDO DE CASO EM UMA
FÁBRICA DE BEBIDAS**

Monografia apresentada à Banca Examinadora do
Curso de Engenharia de Computação para análise
e aprovação.

Orientador: Leonardo Henrique Gonsioroski
Furtado da Silva, Doutor

Co-orientador: André Luis Gomes de Sousa,
Especialista

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. M.Sc. Antônio Fernando Lavareda Jacob Junior
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. PhD. Ivanildo Silva Abreu
Universidade Estadual do Maranhão

Silva, Isaac Souza.

Projeto de automação de uma caldeira industrial usando CLP, IHM e a linguagem Ladder: estudo de caso em uma fábrica de bebidas / Isaac Souza Silva. – São Luís, 2016.
79f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia da Computação, Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado.

1. CLP. 2. Caldeira industrial. 3. Linguagem Ladder. I. Título.

CDU 004.438:663

“Quem não consegue mudar de ideia não consegue mudar nada.”

George Bernard Shaw

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por ter me dado a oportunidade de focar somente nos estudos.

Ao Orientador e ao Co-orientador pela paciência e esforço empregados neste trabalho.

Aos amigos e colegas pelo incentivo e ajuda no desenvolvimento desta monografia.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo Geral	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	5
2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	5
2.2.1. Processador	7
2.2.2. Memória	7
2.2.3. Interface de I/O	8
2.2.4. Fonte de Energia	10
2.2.5. Automação Industrial usando CLPs	11
2.3. LINGUAGEM <i>LADDER</i>	11
2.3.1. Instruções Elementares da Linguagem <i>Ladder</i>	13
2.3.2. Operações Lógicas Elementares	15
2.3.3. Exemplo de Aplicação	17
2.4. IHM	18
2.5. CALDEIRAS INDUSTRIAIS	21
2.5.1. Princípio Básico de Funcionamento	22
2.5.2. Caldeiras Flamotubulares	23
2.5.3. Caldeiras Aquatubulares	24
2.5.4. Comparativo Entre Caldeiras Flamotubulares e Aquatubulares	25
3. PROJETO	27
3.1. ELEMENTOS DA CALDEIRA	28
3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES	29
3.3. I/OS ANALÓGICAS E DIGITAIS DO SISTEMA	29
3.4. INTERTRAVAMENTOS DE SEGURANÇA	30
3.5. SEQUÊNCIAS DE PARTIDA	31
3.5.1. Partida Automática	32
3.5.2. Partida Manual	34
3.5.3. Partida de Segurança	34
3.6. ALARMES DE SEGURANÇA	34
3.7. TRECHOS DO CÓDIGO <i>LADDER</i>	35
4. RESULTADOS	39
4.1. PAINÉIS NOVO E ANTIGO	39
4.2. IHM	40
4.3. MODO AUTOMÁTICO	41
4.4. SEGURANÇA	41
5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS	45

LISTA DE ACRÔNIMOS

CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
I/O	Input/Output
IHM	Interface Homem Máquina
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de varredura do CLP [5].....	7
Figura 2. Mapa de memória simplificado [5].....	8
Figura 3. CLP com entradas fixas (à esquerda) e modular (à direita) [2].....	9
Figura 4. Diferentes tipos de saídas de CLP [2].....	9
Figura 5. Exemplo de programa em linguagem <i>Ladder</i> [1].....	12
Figura 6. Instruções elementares da linguagem <i>Ladder</i> [1].....	13
Figura 7. Instrução contato NA [8].	13
Figura 8. Instrução contato NF [8].	14
Figura 9. Instrução bobina [8].	14
Figura 10. Exemplo de utilização da instrução temporizador [1].	15
Figura 11. Exemplo de utilização da instrução contador [1].....	15
Figura 12. Instrução E [4].	16
Figura 13. Instrução OU [4].	16
Figura 14. Solução do problema exemplo [1].	17
Figura 15. Exemplos de IHMs [2].....	19
Figura 16. Exemplos de telas de uma IHM textual [1].	20
Figura 17. Exemplos de telas de uma IHM gráfica.	20
Figura 18. Ilustração da estrutura das primeiras caldeiras [10].....	21
Figura 19. Ilustração de uma caldeira [10].....	22
Figura 20. Representação de uma caldeira flamotubular [13].	23
Figura 21. Representação de uma caldeira aquatubular [13].	25
Figura 22. Situação atual da caldeira.	27
Figura 23. Diagrama de componentes do sistema.	29
Figura 24. Fluxograma da rotina de partida no modo automático.	33
Figura 25. Trecho do código fonte (linha de segurança).....	35
Figura 26. Trecho do código fonte (instruções PID).....	36
Figura 27. Trechos do código fonte (alarme de emergência).....	37
Figura 28. Interior do antigo painel.....	39
Figura 29. Interior do novo painel.....	39
Figura 30. IHM do novo painel.....	40
Figura 31. Interface de acionamento do antigo painel.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo entre caldeiras flamo e aquatubulares [10].	25
Tabela 2. I/Os analógicos e digitais da caldeira.	30
Tabela 3. Ciclos de trabalho dos alarmes sonoros.	35

RESUMO

O presente trabalho se propõe a demonstrar um estudo de caso de um projeto de automação de uma caldeira industrial, usada em uma fábrica de bebidas, utilizando um CLP, IHM e a linguagem de programação *Ladder*. Durante o desenvolvimento do projeto, foi inicialmente desenvolvido um fluxograma que sintetiza a rotina de partida e o funcionamento da caldeira, a partir do qual foi criado o código em linguagem *Ladder* que implementa o controle automático da caldeira. O projeto visa, em primeiro lugar, modernizar o sistema de acionamento da caldeira fazendo uso de um CLP e uma IHM. Em segundo lugar, prover maior nível de segurança durante o funcionamento da caldeira, implementando o monitoramento automático dos parâmetros de segurança da caldeira. Com a implementação do projeto, o sistema de acionamento foi modernizado e a partida e controle automáticos da caldeira foram implementados, simplificando e provendo maior nível de segurança durante funcionamento.

Palavras-chave: CLP. Caldeira industrial. Linguagem Ladder.

ABSTRACT

This study aims to demonstrate a case study of an automation project of an industrial boiler, used in a beverage factory, using a PLC, HMI and Ladder programming language. During the development of the project, a flowchart was developed that synthesizes the starting routine and operation of the boiler, from which the Ladder language code that implements the automatic control of the boiler was created. The project aims, first of all, to modernize the drive system of the boiler making use of a PLC and a HMI. Secondly, to provide a higher level of safety during boiler operation by implementing automatic monitoring of boiler safety parameters. With the implementation of the project, the drive system was modernized and the automatic start and control of the boiler were implemented, simplifying and providing a higher level of safety during operation.

Keywords: *PLC. Industrial Boiler. Ladder logic*

1. INTRODUÇÃO

Segundo [1], automação é uma área que vem ampliando sua atuação gradativamente nas últimas décadas. O uso e aplicação de dispositivos e soluções desenvolvidos para a automação tem grande repercussão sobretudo no setor industrial. As aplicações não se resumem a substituir o trabalho humano em tarefas exaustivas, monótonas e perigosas, pois também visam trazer melhoria na qualidade de processos, otimização dos espaços, redução no tempo de produção e custos.

De acordo com [2], os CLPs representam hoje a tecnologia de controle de processos industriais de maior utilização na indústria. O CLP é um computador industrial capaz de ser programado para executar funções de controle, lógicas, sequências, etc., promovendo a eliminação de grande parte do cabeamento associado com circuitos de controle a relés convencionais além do tamanho físico dos painéis de controle. Outros benefícios incluem fácil programação e instalação, alta velocidade de processamento, compatibilidade com redes de comunicação industriais, facilidade na solução de problemas e alta confiabilidade.

De acordo com [1], as vantagens da utilização do CLP em aplicações industriais são inúmeras e cada dia surgem novas, que resultam em maior economia, superando o custo do equipamento. Essa evolução oferece grande número de benefícios, por exemplo, maior produtividade, menor necessidade de espaço nas fábricas, melhoria na qualidade do produto final, maior segurança para os operadores, etc.

Vários são os equipamentos e máquinas industriais que podem se beneficiar das vantagens citadas anteriormente proporcionadas pelo controle automático, disponibilizado por um CLP e outros equipamentos, entre eles as IHMs, entre eles as caldeiras industriais, que são equipamentos, em geral, de grande porte usados para gerar vapor em grandes quantidades e sob altas pressões e temperaturas. Em função das condições extremas durante o funcionamento, esses equipamentos devem ser operados segundo as prescrições do fabricante, o que muitas vezes inclui uma rotina de partida não trivial na qual uma sequência específica de acionamentos deve ser executada afim de fazer com que a caldeira entre em modo de operação, essas por sua vez podem perfeitamente ser implementadas usando o conjunto CLP e IHM, afim de garantir a correta execução dos passos com segurança e eficiência, se mostrando assim uma excelente alternativa para a automatização de caldeiras industriais ao mesmo tempo que fornece ao operador uma interface intuitiva além de disponibilizar informações importantes a respeito do processo.

1.1. OBJETIVOS

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

1.1.1. Objetivo Geral

Demonstrar um estudo de caso de um projeto de automação que visa substituir o sistema de acionamento de uma caldeira industrial, usada em uma indústria de refrigerantes e bebidas, previamente controlada manualmente por uma painel elétrico, por um novo painel elétrico composto de um CLP e IHM.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Modernizar o sistema de acionamento da caldeira;
- Implementar a partida e funcionamento automáticos da caldeira;
- Monitorar de forma continua os parâmetros de segurança da caldeira e desativar a mesma caso situações de perigo possa ocorrer;
- Implementar um conjunto de telas da IHM para permitir que o operador da caldeira possa monitorar e operar a mesma.

1.2. JUSTIFICATIVA

A caldeira considerada neste estudo de caso é uma caldeira antiga e já está em operação a bastante tempo, além disso é acionada manualmente através de um painel elétricos também antigo e em condições precárias, não existe um monitoramento automático dos parâmetros de segurança e também não existe um sistema que controle de forma automático o funcionamento caldeira. Porém, com a utilização de um CLP e uma IHM é possível sanar os principais problema atuais do sistema de acionamento da caldeira, sendo o CLP responsável por implementar o controle automático da caldeira e monitorar continuamente os parâmetros de segurança e a IHM utilizada para oferecer uma interface simples e intuitiva, permitindo a alteração e monitoramento dos parâmetros de funcionamento e segurança da máquina.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da forma como segue. No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica dos principais temas relacionados ao trabalho. O Capítulo 3 apresenta a desenvolvimento do estudo de caso, abordando aspectos como o funcionamento da caldeira, suas

principais partes constituintes, os modos de funcionamento manual e automático, etc. No capítulo 4 serão apresentados os resultados alcançados após a implementação do projeto. Finalmente no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

Segundo [3], a automação industrial pode ser conceituada como o uso de dispositivos eletrônicos (CLPs, sensores, atuadores, IHMs, etc.) para automatizar o funcionamento de processos/máquinas em uma indústria, com a finalidade principal de substituir operadores humanos. Anteriormente, o propósito da automação industrial era aumentar a produtividade, uma vez que sistemas automatizados podem trabalhar 24 horas por dia, e reduzir o custo associado com operadores humanos (salários, benefícios, etc.). No entanto, hoje em dia, o foco da automação industrial também passou a ser o aumento da qualidade final dos produtos. Ainda de acordo com [3], na indústria automotiva, por exemplo, a instalação de pistões dentro dos motores era executada manualmente com uma taxa de erro de 1 a 1.5%, hoje, atualmente, com o advento da automação industrial esta tarefa é realizada com uma taxa de erro de 0.00001%.

Uma das maiores vantagens da automação industrial é a redução do custo operacional, pois elimina os gastos com cuidados médicos férias remuneradas durante feriados. Além disso, a automação industrial não necessita de outros benefícios dos empregados (bônus, cobertura de pensão, etc.). Acima de tudo, embora esteja associada a um alto custo inicial, leva a uma redução considerável nos gastos com salários mensais dos trabalhadores. O custo de manutenção associado com equipamentos para a automação industrial é menor porque falhas ocorrem com menor frequência [3].

Em resumo, algumas das vantagens da automação industrial são aumento da produtividade, qualidade, flexibilidade, precisão e segurança. Entretanto a automação industrial exige um alto custo inicial de implantação e necessita de recursos humanos altamente capacitados.

2.2. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

Um controlador lógico programável, ou CLP, é um tipo especial de computador baseado em microprocessador capaz de executar instruções (lógicas, de sequenciamento, temporização, contagem, aritmética, etc.) armazenadas em memória programável afim de implementar algoritmos de controle usados para controlar máquinas/processos industriais. É projetado para ser operado por engenheiros e técnicos com limitado conhecimento em arquitetura e linguagens de programação de computadores [4].

O termo “lógico” é usado porque a utilização de CLPs, logo após seu surgimento, era principalmente relacionada à implementação de operações lógicas e de comutação, por exemplo, se A ou B ocorrem, desligar C; se D e E ocorrem, ligar C.

Para que o CLP possa controlar o processo/máquina ao qual eles será conectado, é necessário que o operador entre com uma sequência de instruções, que formam um algoritmo de controle, na memória do CLP, que então passa a monitorar as entradas e manipular as saídas de acordo com o algoritmo com o qual foi programado.

Algumas das características únicas que distinguem CLPs de computadores convencionais são listadas abaixo [4]:

- São robustos e projetados para resistir a vibrações, temperatura extremas, poeira, umidade, interferências eletromagnéticas, ruídos, etc., comumente encontrados em ambiente industrial;
- Possuem interfaces projetadas especificamente para serem conectadas à dispositivos de campo (sensores, atuadores, controladores dedicados, etc.);
- Oferecem uma linguagem de programação (linguagem *Ladder*) de fácil compreensão e que foca principalmente com operações lógicas e de comutação.

De forma simplificada, o funcionamento de um CLP pode ser descrito da seguinte forma: inicialmente, o estado lógico de todos os dispositivos de entrada são lidos e seus respectivos valores são armazenados em memória; em seguida, o algoritmo de controle é executado pelo processador e o resultado, o estado lógico que as saídas devem assumir, é armazenado em memória: por último, as saídas físicas do CLP são atuadas (ligadas/desligadas) de acordo com o resultado da execução do algoritmo de controle. Este processo, que é conhecido como *scan cycle* ou ciclo de varredura, é executado pelo CLP em um intervalo de tempo chamado de *scan time* ou tempo de varredura, na ordem de milissegundos. Além disso, é executado continuamente enquanto o CLP estiver em funcionamento [5], a Figura 1 ilustra esse processo.

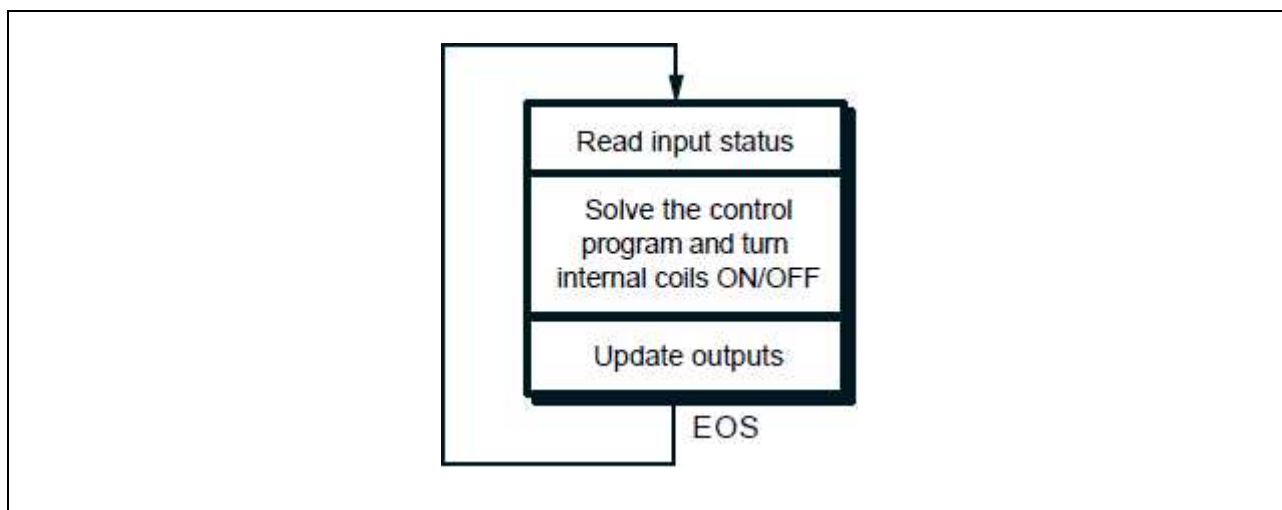


Figura 1. Ciclo de varredura do CLP [5].

Os elementos principais que compõem qualquer CLP moderno são o processador, memória, interfaces de I/O e fonte de energia, descritos em mais detalhes nos próximos tópicos.

2.2.1. Processador

O processador, considerado o cérebro do CLP, interpreta os sinais de entrada, executa o algoritmo de controle e gera os sinais de saída necessários para implementar determinado controle sobre processos/máquinas industriais. O processador de um CLP é basicamente o mesmo tipo de processador encontrado em computadores domésticos. A diferença é que o sistema operacional executado pelo processador do CLP foi inteiramente projetado para facilitar o controle industrial. A CPU é então responsável por executar o sistema operacional, gerenciar a memória, monitorar as entradas, executar o algoritmo de controle e atuar as saídas adequadamente [2].

2.2.2. Memória

É o componente do CLP onde todas as instruções são armazenados. As seções de memória que contêm as instruções do algoritmo de controle podem ser alteradas, ou reprogramadas pelo usuário, para adaptar o CLP à novos requisitos do sistema, além de permitir que o mesmo CLP seja usado em uma outra aplicação totalmente diferente, bastando apenas reprogramá-lo com um novo algoritmo de controle.

O sistema de memória de um CLP é composto de duas grandes áreas: a memória de sistema e a memória de aplicação. A primeira, subdividida em *Executive* (executiva), *Scratch Pad* (rascunho), armazena o sistema operacional que supervisiona e direciona todas as atividades do CLP (execução

do algoritmo de controle, comunicação com dispositivos periféricos, leitura das entradas, gravação das saídas, etc.), é também a parte da memória onde dados temporários são armazenados. A segunda parte da memória, subdividida em *Data Table* (tabela de dados) e *User Program* (programas do usuário), fornece uma área de armazenamento para as instruções programadas pelo usuário, que formam o algoritmo de controle [5].

A Figura 2 ilustra, de forma simplificada, como o sistema de memória é organizado.

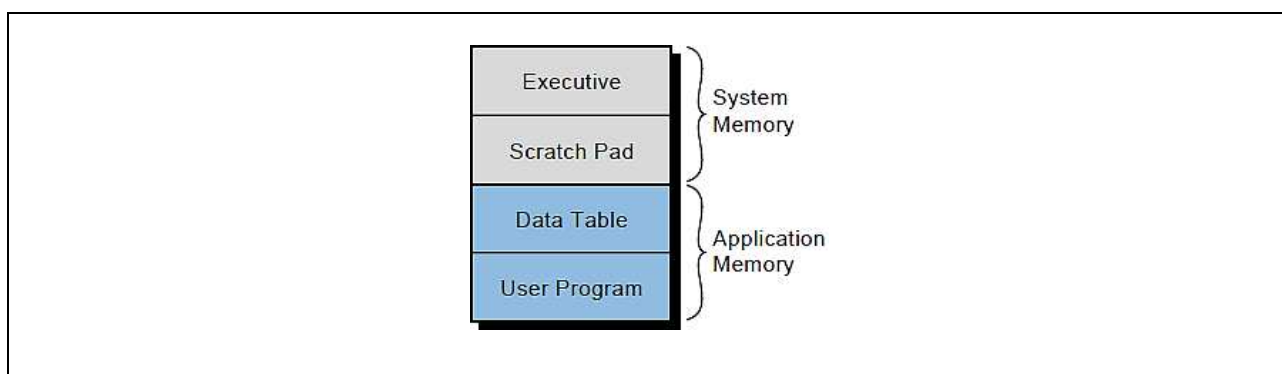


Figura 2. Mapa de memória simplificado [5].

2.2.3. Interface de I/O

A interface de entrada e saída (I/O) de um CLP é a seção na qual todos os dispositivos de campo estão conectados, fornecendo a interface entre eles e o processador. Podem ser fixas ao CLP, ou no caso de CLPs modulares, são encontradas na forma de cartões de I/O que são conectadas ao CLP, permitindo flexibilidade de expansão futura caso seja necessário.

A Figura 3 mostra dois tipos de CLPs mencionados acima, à esquerda um modelo com estradas e saídas fixas e à direita um modelo de CLP modular.

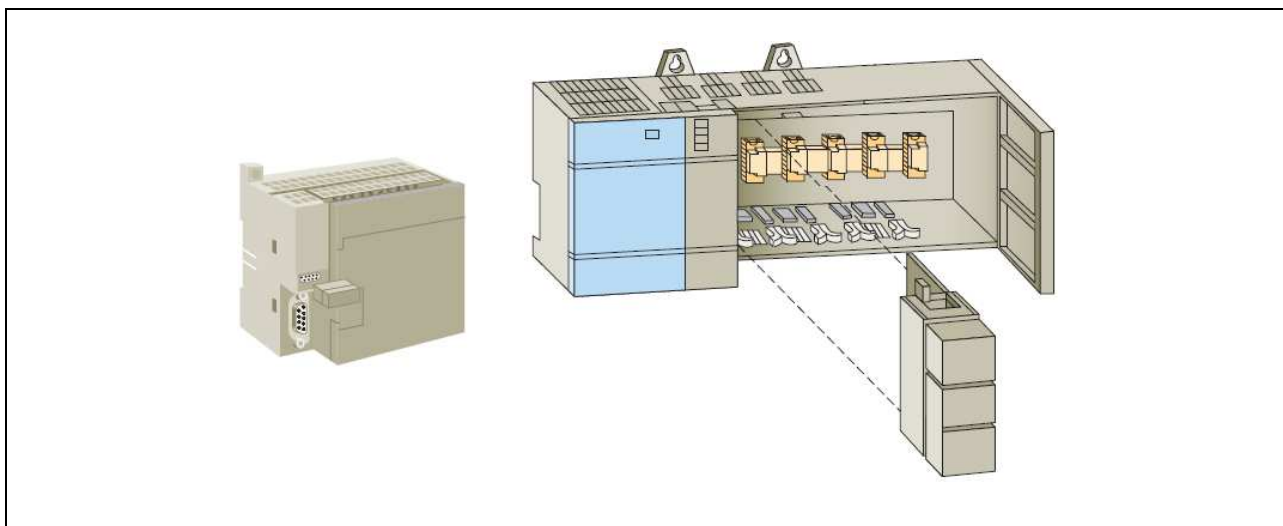


Figura 3. CLP com entradas fixas (à esquerda) e modular (à direita) [2].

Módulos de entrada aceitam sinais provenientes dos dispositivos que compõem o processo/máquina sendo controlado e converte-os em sinais que são usados pelo processador. Módulos de saída convertem sinais gerados pelo processador em sinais usados para atuar o processo/máquina sendo controlado. Existem basicamente dois tipos de cartões de I/O, digital e analógico.

O tipo mais comum de módulo de I/O é o tipo digital (ou discreto). Esse tipo de interface é conectada a dispositivos de entrada que apresentam somente dois estados, ligado ou desligado (ou *on/off*, alto/baixo, 1/0, *true/false*, etc.) chaves seletoras, botoeiras e chaves fim de curso, são apenas alguns dispositivos que se comportam dessa forma.

Semelhantes às entradas digitais, as saídas digitais são limitadas a dispositivos como lâmpadas sinalizadoras, relés, solenoides e contadores, que também possuem apenas dois estados, ligado/desligado. As saídas digitais de um CLP podem ser do tipo relé, TRIAC ou transistor, como mostra a Figura 4.

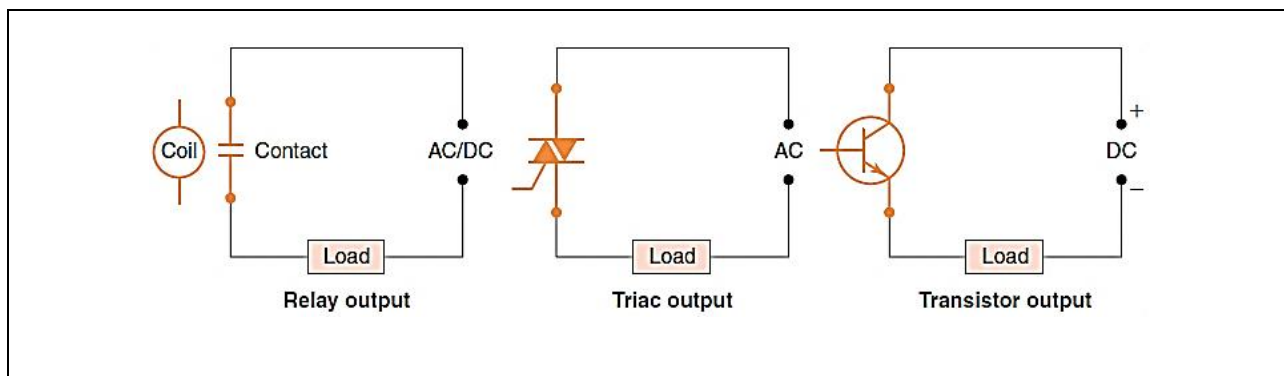


Figura 4. Diferentes tipos de saídas de CLP [2].

Na maioria dos sistemas automatizados, especialmente os de pequeno porte, apenas I/Os digitais são suficientes. Às vezes, porém, haverá a necessidade de manipular sinais elétricos que podem assumir diversos valores em um intervalo pré-determinado, ao contrário dos digitais, sinais desse tipo são conhecidos como analógicos. Exemplos típicos são, sinais provenientes de sensores de temperaturas, pressão, fluxos, etc. Um CLP também pode ter a necessidade de gerar sinais de saída analógicos para controlar certos dispositivos de campo que podem assumir diversos valores dentro de um intervalo pré-determinado [6].

O padrão mais comum usado industrialmente para se representar sinais analógicos, é um sinal de corrente no intervalo de 4 a 20 mA, sendo que 4 mA representa o nível mínimo, e 20 mA, o máximo. O fato de 4 mA sinalizar o "zero" se deve principalmente diagnosticar a ocorrência de danos no transdutor ou cabo, pois caso um dos dois falhe, a corrente gerada será zero, assim o CLP reconhecerá a condição de erro, podendo utilizar essa informação para gerar um alarme. Escolheu-se representar sinais analógicos por corrente elétrica, pois esta é menos suscetível a ruídos do que a representação por níveis de voltagem [6].

2.2.4. Fonte de Energia

Nos CLPs, as fontes de alimentação podem ser internas ou externas. A voltagem de saída mais comum é 24 VCC, destinada à alimentar os componentes internos do CLP, além dos módulos de E/S, sensores e atuadores.

Um fator que tem de ser analisado com cuidado é a potência da fonte de alimentação, pois, em função da quantidade de pontos a serem utilizados, pode haver a necessidade de dimensionar a fonte. Portanto, a fonte deve ser escolhida por último afim de escolher um modelo capaz de fornecer a quantidade de energia adequada. Para os CLPs de baixo custo, a fonte é incorporada ao corpo do CLP, visando a diminuir o tamanho físico e, em consequência, reduzindo o custo final do produto [1].

Além de disponibilizar a tensão no nível e forma corretos, as fontes também servem para isolar o CLP das variações de tensão que normalmente existem em ambientes industriais. Além disso, também protegem o CLP de interferências eletromagnéticas que por ventura podem ser transmitidas pela rede elétrica, o que frequentemente acontece em instalações com motores elétricos de alta potência.

2.2.5. Automação Industrial usando CLPs

Sendo um dos principais equipamentos da automação industrial é o CLP, responsável por processar todas as informações coletadas em campo e realizar o controle do processo/máquina de acordo com instruções pré-programadas em sua memória. Como resultado de um rápido progresso tecnológico, processos/máquinas complexos podem ser automatizados utilizando-se CLPs, que cabem na palma da mão, e dispositivos associados (sensores e atuadores) [7].

Em processos automatizados, o CLP geralmente é a parte central de um sistema que através da execução de um algoritmo de controle, armazenado em memória, e do monitoramento contínuo do status de sinais enviados por dispositivos de campo, determina quais ações necessárias a serem tomadas e atua as saídas de modo a gerar o controle desejado sobre determinado processo/máquina industrial.

Quando é necessário o controle de processos/máquinas muito complexos, torna-se necessário a utilização de vários CLPs interligados através de uma rede de comunicação industrial, cada um monitorando e controlando um determinado subsistema [7].

2.3. LINGUAGEM *LADDER*

A linguagem *Ladder* foi uma das primeiras linguagens desenvolvidas para a programação de CLPs e tem suas bases nos diagramas elétricos de relés. Desde início foi pensada para permitir que técnicos e engenheiros de automação com pouca ou nenhuma experiência com programação de computadores em linguagens de alto nível (C, Pascal, etc.) conseguissem programar um CLP. Esse foi um fator importante para torná-la a linguagem mais popular entre os programadores de CLPs [1].

Os diversos elementos que compõe um diagrama *Ladder* (contatos, bobinas, memória ou contato virtual, temporizadores, contadores, etc.) são denominados operandos. O CLP executa um programa que realiza operações lógicas e aritméticas sobre esses operandos. Na linguagem *Ladder*, as linhas que compõe as instruções possuem a aparência de degraus (*rungs*) de uma escada (*Ladder*), por isso o nome linguagem *Ladder*. Estes podem ser associados a uma estrutura de colunas e linhas, como mostra a Figura 5. Em cada linha, as instruções à esquerda, correspondem as entradas do programa e o resultado à direita corresponde à saída, nesse caso uma bobina [8].

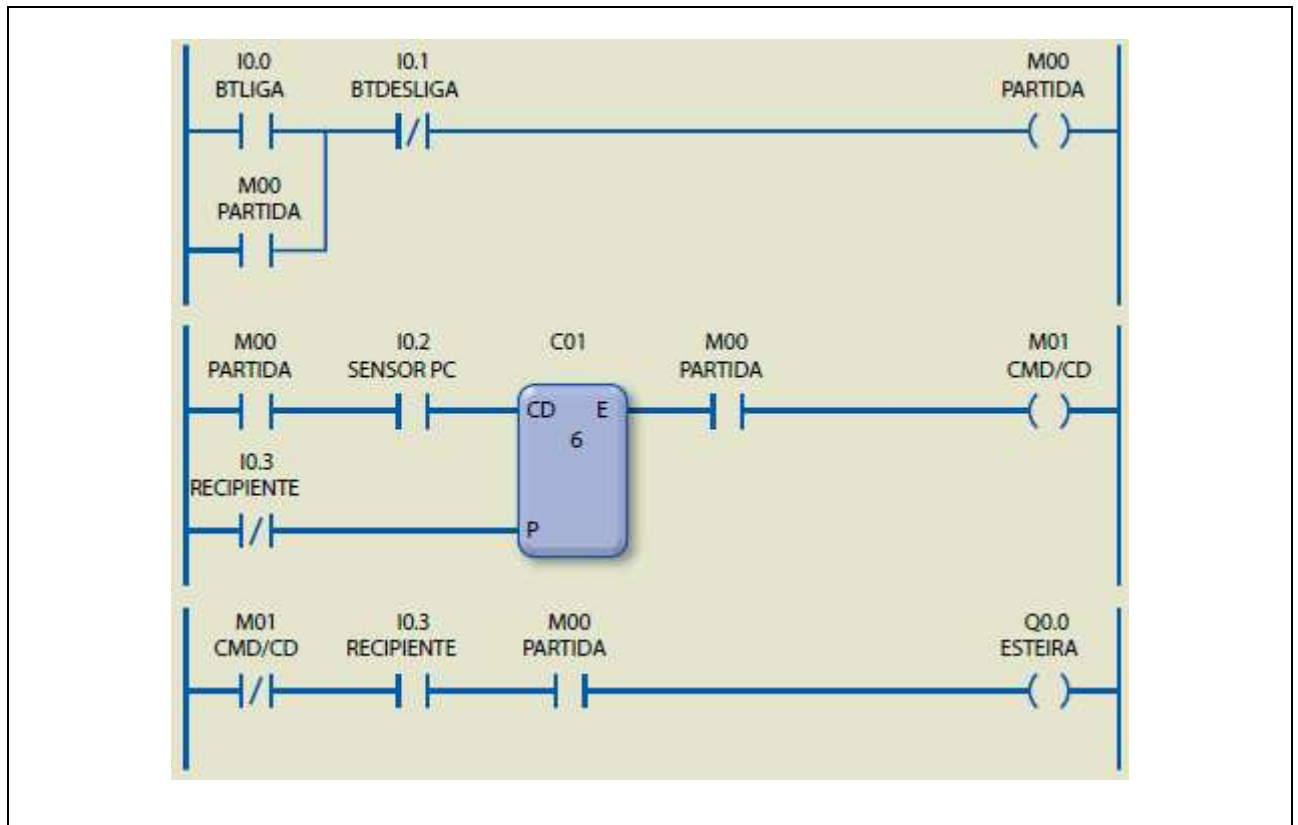


Figura 5. Exemplo de programa em linguagem *Ladder* [1].

Os operandos podem ser de três tipos:

- **Memória Virtual** – Não estão associados com as entradas e nem com as saídas físicas do CLP e servem para o armazenamento de resultados parciais ou intermediários. Esses operandos podem ser livremente lidos e escritos pelo programa.
- **Entrada** – Estão associados aos módulos de entrada. Podem ser lidos pelo programa, mas escritos apenas pelos módulos de entrada.
- **Saída** – Estão associados aos módulos de saída. Podem ser livremente lidos e escritos pelo programa.

Os operandos, por sua vez, são divididos, inicialmente, em três tipos¹, segundo sua utilização e número de bits:

- **Bit** – Utilizados para a implementação de lógica, ocupam 1 bit de memória.

¹ Tipos de dados adicionais podem existir dependendo do fabricante.

- **Word** – Utilizados para o armazenamento de valores numéricos inteiros, ocupam 16 bits.
- **Double Word** – Semelhante ao tipo Word, porém ocupa 32 bits.

2.3.1. Instruções Elementares da Linguagem *Ladder*

Programas escritos em linguagem *Ladder* funcionam de forma semelhante a um esquema elétrico cujas instruções mais elementares mais são o contato NA (normalmente aberto), contato NF (normalmente fechado), bobina, temporizadores e contadores, respectivamente mostrados na Figura 6.

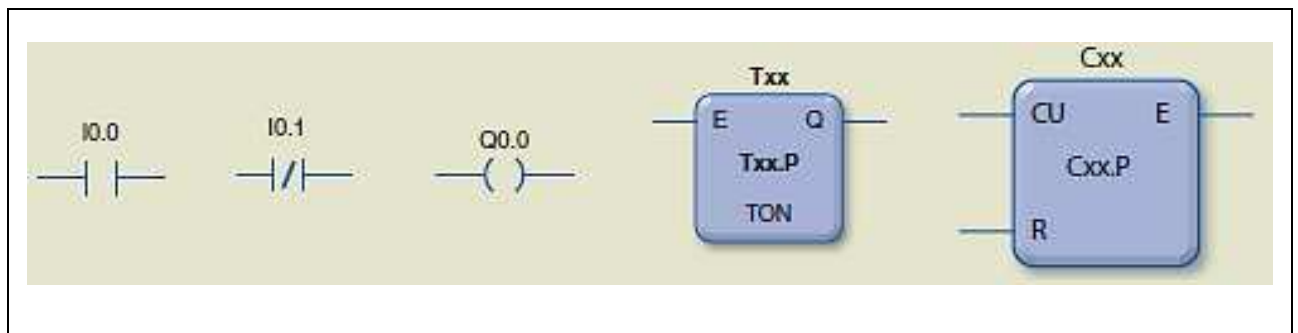


Figura 6. Instruções elementares da linguagem *Ladder* [1].

2.3.1.1. Contato NA

Essa instrução funciona do seguinte modo: quando o bit associado a um contato normalmente aberto for acionado, o contato fechará; caso contrário, ele permanecerá aberto. 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 [1], a Figura 7 ilustra esta instrução.

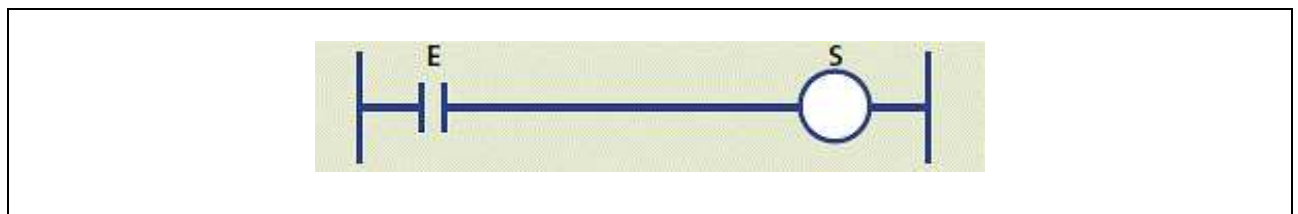


Figura 7. Instrução contato NA [8].

2.3.1.2. Contato NF

Quando o bit associado a um contato NF for acionado, o contato abrirá; caso contrário, ele permanecerá fechado. Caso o botão NF esteja em um circuito elétrico, não ocorrerá passagem de corrente elétrica. Se houver uma carga em série com esse botão e uma tensão de alimentação, a carga será desligada [1], a Figura 8 ilustra esta instrução.

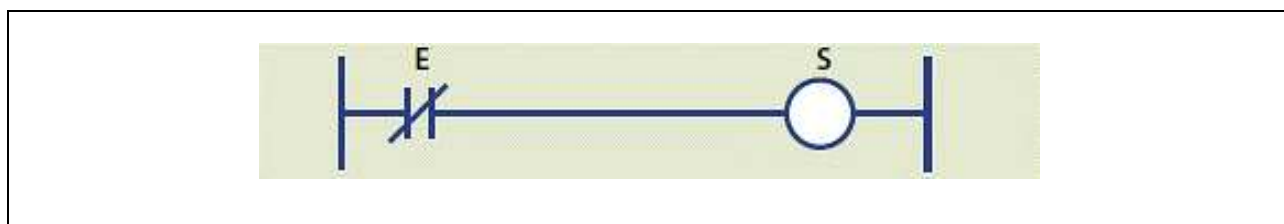


Figura 8. Instrução contato NF [8].

2.3.1.3. Bobina

A bobina tem por base a ideia de continuidade lógica entre os dois extremos de uma determinada linha de programação. Uma saída será ativada se todas as instruções declaradas na linha lógica forem verdadeiras, quando isso acontece é ativa a saída física do CLP associada à bobina [1], a Figura 9 ilustra essa instrução.

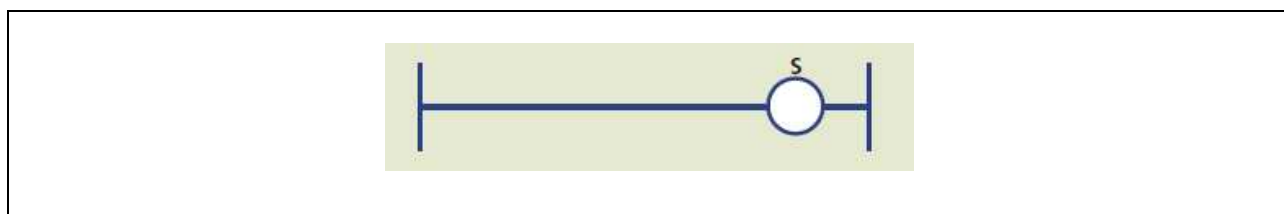


Figura 9. Instrução bobina [8].

2.3.1.4. Temporizador

Em sistemas automatizados, é comum incluir a variável tempo no processo. Nesses casos, a instrução temporizador (ou *timer*) pode ser utilizada para definir o intervalo de tempo entre duas operações, verificar se uma operação ocorre dentro do tempo esperado ou definir o tempo de duração de uma operação [1].

Essa instrução compara o intervalo de tempo transcorrido desde sua ativação até esta se igualar ao tempo preestabelecido, quando completar a temporização, a CPU coloca em nível lógico alto um

bit na memória de dados associado ao temporizador que pode ser utilizada para acionar uma saída [8], a Figura 10 ilustra um exemplo de uso da instrução temporizador.

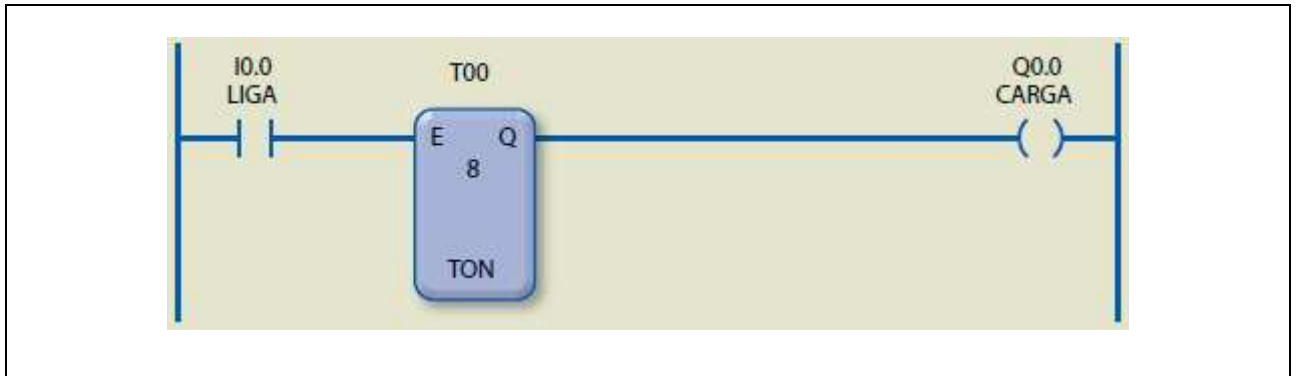


Figura 10. Exemplo de utilização da instrução temporizador [1].

2.3.1.5. Contador

A instrução contador (ou *counter*) pode ser usada quando se deseja contar o número de vezes que determinado evento ocorre (peças produzidas, operações realizadas, etc.) [1]. Quando a contagem atingir o valor preestabelecido, essa instrução colocará em nível lógico alto um bit interno da memória associado ao contador, o qual pode ser utilizado para acionar ou desacionar uma saída, a Figura 11 ilustra um exemplo de utilização desta instrução.

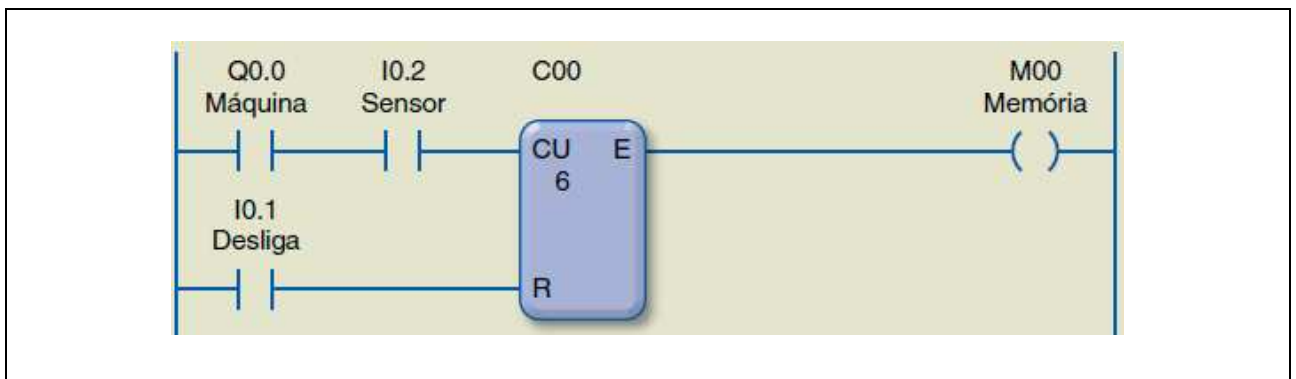


Figura 11. Exemplo de utilização da instrução contador [1].

2.3.2. Operações Lógicas Elementares

O CLP, como todos os equipamentos digitais, opera de acordo com os princípios da lógica booleana. Seguindo esse princípio, assume-se que muitos equipamentos usados em indústrias podem ser pensados como existindo em apenas um de dois únicos estados, 1 ou 0, que podem representar ON ou OFF, aberto ou fechado, verdadeiro ou falso, alto ou baixo, etc. E as operações lógicas

elementares operam exclusivamente sobre esses tipos de dados, chamados de booleanos ou binários [2], as quais serão descritas em mais detalhes adiante.

2.3.2.1. Operação Lógica “E”

Uma instrução “E” é uma instrução com dois ou mais operandos e uma única saída. O resultado desta instrução é 1, ou verdadeiro, apenas se todas as entradas são também 1 [2]. Essa instrução pode ser implementada na linguagem *Ladder* usando-se dois ou mais contatos em série, como ilustra a Figura 12, nesse caso a saída “*Output*” somente será acionada quando ambas as entradas “*Input A*” e “*Input B*” seja acionadas ao mesmo tempo.

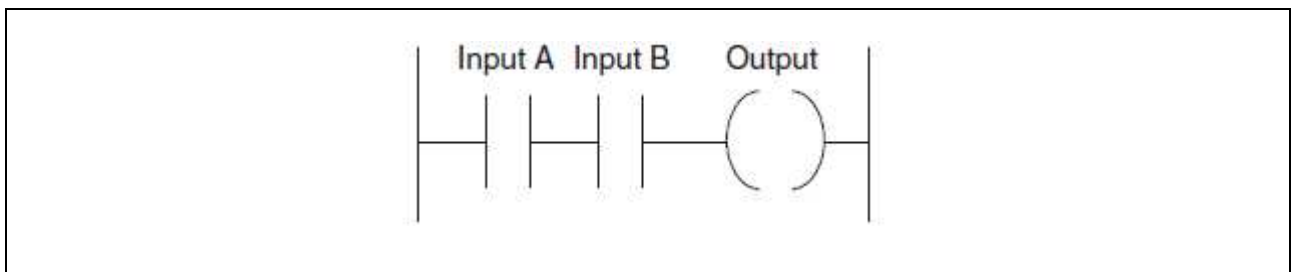


Figura 12. Instrução E [4].

2.3.2.2. Operação Lógica “OU”

Uma instrução “OU” é uma instrução com dois ou mais operandos e uma saída. A saída desta instrução é 1, ou verdadeira, quando pelo menos uma das entradas é 1 [2]. Essa instrução pode ser implementada usando a linguagem *Ladder* por meio de dois ou mais contatos em paralelo, como ilustra a Figura 13, nesse caso a saída “*Output*” será acionada caso qualquer uma das entradas “*Input A*” ou “*Input B*” seja acionadas.

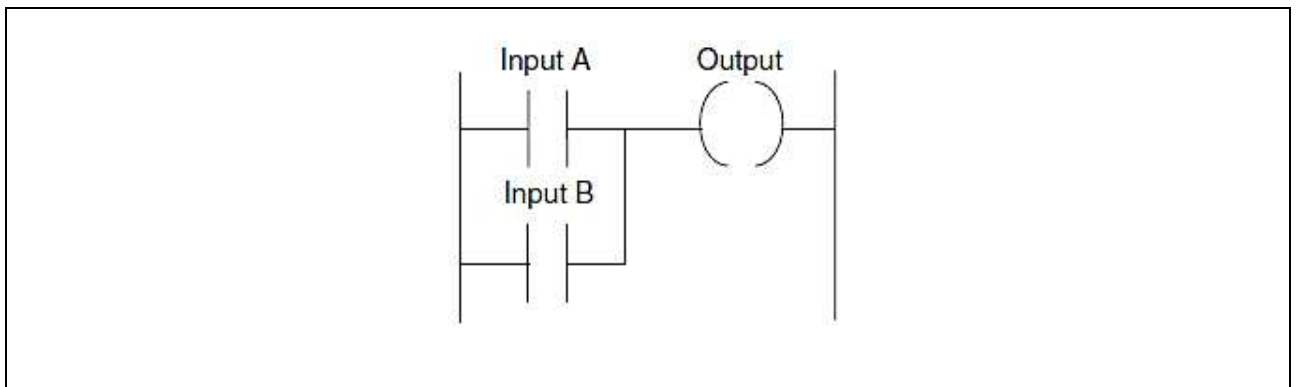


Figura 13. Instrução OU [4].

- 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.

2.4. IHM

IHM (Interface Homem Máquina), ou em inglês, HMI (*Human Machine Interface*), é um dispositivo usado pelo operador para dar comandos ao CLP e visualizar informações referentes ao processo/máquina sendo controlado pelo mesmo. Por meio de uma IHM o operador pode interagir com o sistema controlado, pois ele pode realizar intervenções que mantenham a segurança, o bom funcionamento e a perfeita operação de serviços. Mesmo nas IHMs mais simples, o operador pode monitorar e comandar a lógica do CLP. Por meio de telas pré-programadas, é possível acessar às variáveis relativas ao processo/máquina de interesse, atuando quando necessário, pois visualiza os alarmes e as falhas ocorridas [1].

Há no mercado IHMs simples, capazes de mostrar apenas caracteres alfanuméricos, LEDs e botões, bem como modelos mais sofisticados, com displays gráficos coloridos e tela sensível ao toque (*touch screen*). Os modelos mais simples são adequados para o controle de pequenos equipamentos e os avançados permitem que se criem telas coloridas exibindo diagramas de partes do processo, animações, botões virtuais, etc. [1], a Figura 15 mostra exemplos de IHM, à esquerda IHMs com telas de alta resolução e sensíveis ao toque e à direita IHMs com botões físicos e tela de baixa resolução.



Figura 15. Exemplos de IHMs [2].

Existem muitos fabricantes de IHM, porém o software de programação é quase sempre específico do fabricante, não havendo padronização. Isso gera alguns inconvenientes, como o tempo gasto pelo programador na aprendizagem e sua dificuldade em utilizar diversos ambientes [1].

As IHMs costumam ser utilizadas para:

- Indicar falhas em máquinas e processos;
- Mostrar status das máquinas e processos;
- Permitir intervenção do operador no processo;
- Monitorar variáveis de processo, como contagem de componentes, tempos de fabricação, temperatura e pressão, etc.

A aplicação de IHM a um sistema deve levar em conta o conjunto operador e processo/máquina a ser automatizado. Do ponto de vista do operador, consideram-se aspectos baseados em ergonomia, grau de intervenção, nível de segurança, proteção das informações, etc. Do ponto de vista do CLP, aspectos ligados à estrutura de dados, à estrutura do programa, partida da máquina/processo, etc. Do ponto de vista do processo, aspectos relacionados à sua operação, a falhas possíveis, a estratégias de recuperação de falhas, estratégias de manutenção preventiva, etc. [1]. As Figura 16 mostra exemplos de telas de uma IHM textual enquanto a Figura 17 mostra exemplos de telas de uma IHM gráfica.



Figura 16. Exemplos de telas de uma IHM textual [1].

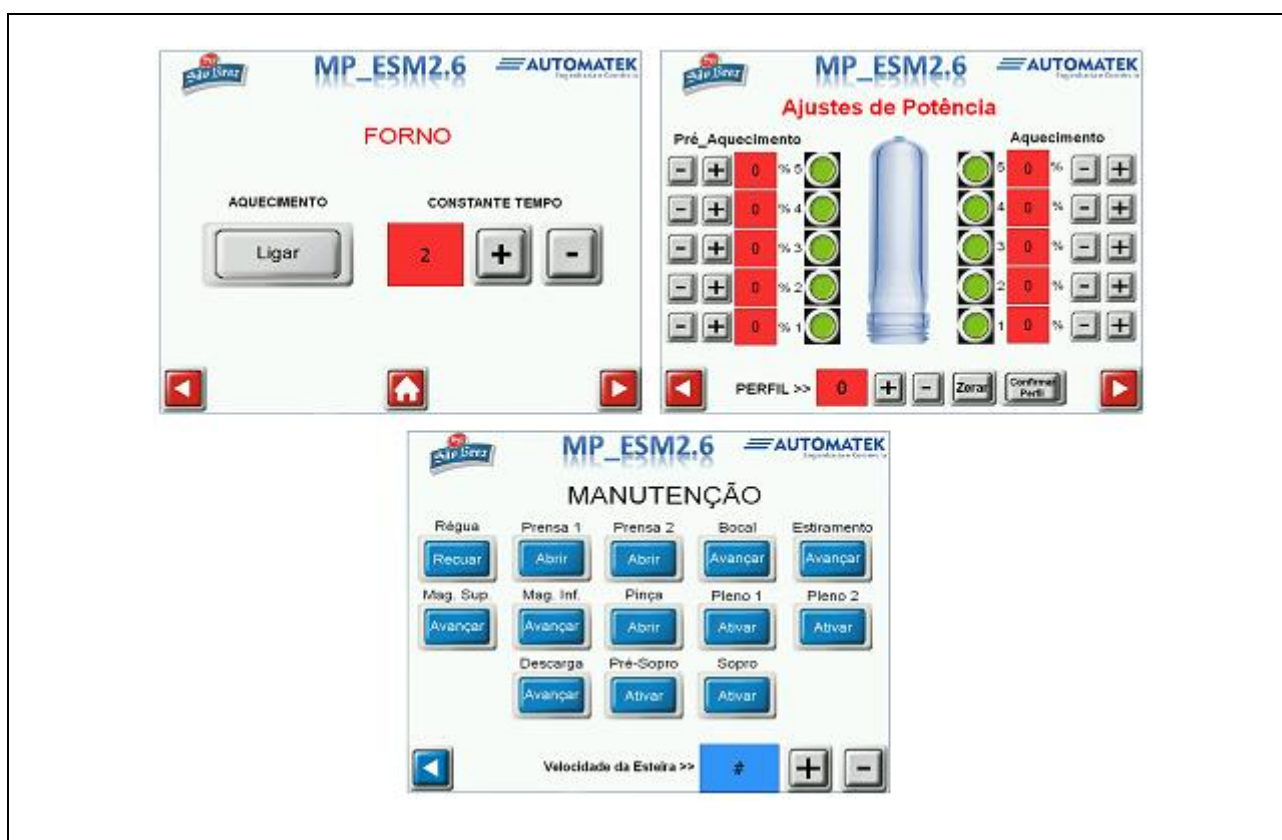


Figura 17. Exemplos de telas de uma IHM gráfica.

2.5. CALDEIRAS INDUSTRIAIS

Caldeiras ou Geradores de vapor são equipamentos usados para gerar vapor através de uma troca térmica entre a queima do combustível e a água, sendo as caldeiras construídas por chapas e tubos cuja finalidade é fazer com que água se aquece e passe do estado líquido para o gasoso por meio do calor liberado pelo combustível que faz com as partes metálicas da mesma se aqueçam e transfiram calor à água, que eventualmente atingira a temperatura de ebulição, transformando-se em vapor [9].

As primeiras caldeiras, bastante primitivas, eram basicamente grandes recipientes de água montados sobre uma estrutura fechada de tijolos, como mostra a Figura 18, o combustível era queimado sobre uma grelha no interior de estrutura de tijolos, sendo o calor direcionado para a parte inferior do recipiente, sendo elas muito ineficientes uma vez que a maior parte do calor era liberado para a atmosfera pela chaminé [10].

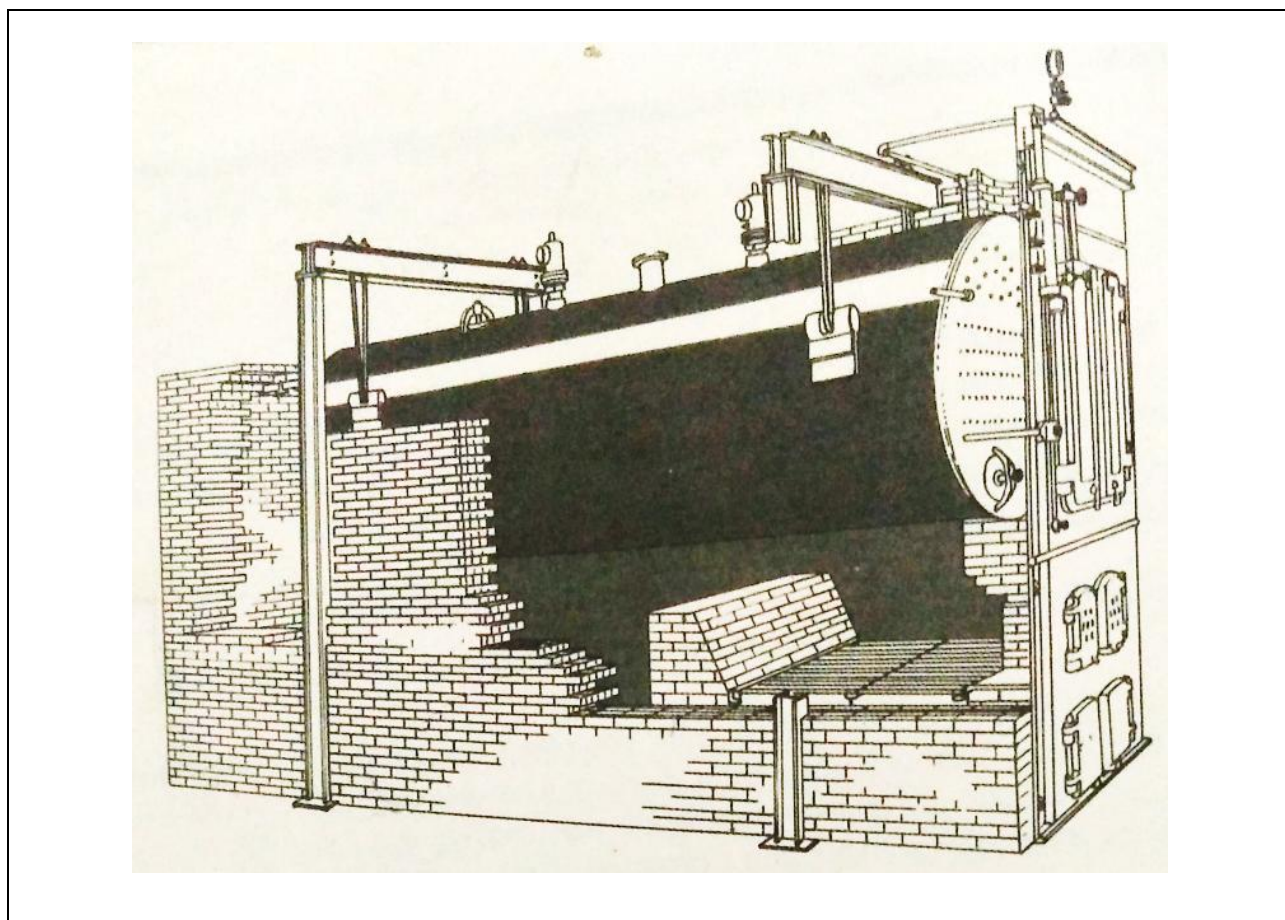


Figura 18. Ilustração da estrutura das primeiras caldeiras [10].

Após perceber a ineficiência do método de construção de caldeiras, mostrado acima, os projetistas de caldeiras decidiram que era necessário uma forma de transferência de calor entre os gases quentes e água mais eficiente, uma forma de fazer isso foi canalizar os gases quentes através de tubos dispostos no interior da caldeira, como mostra a Figura 9.

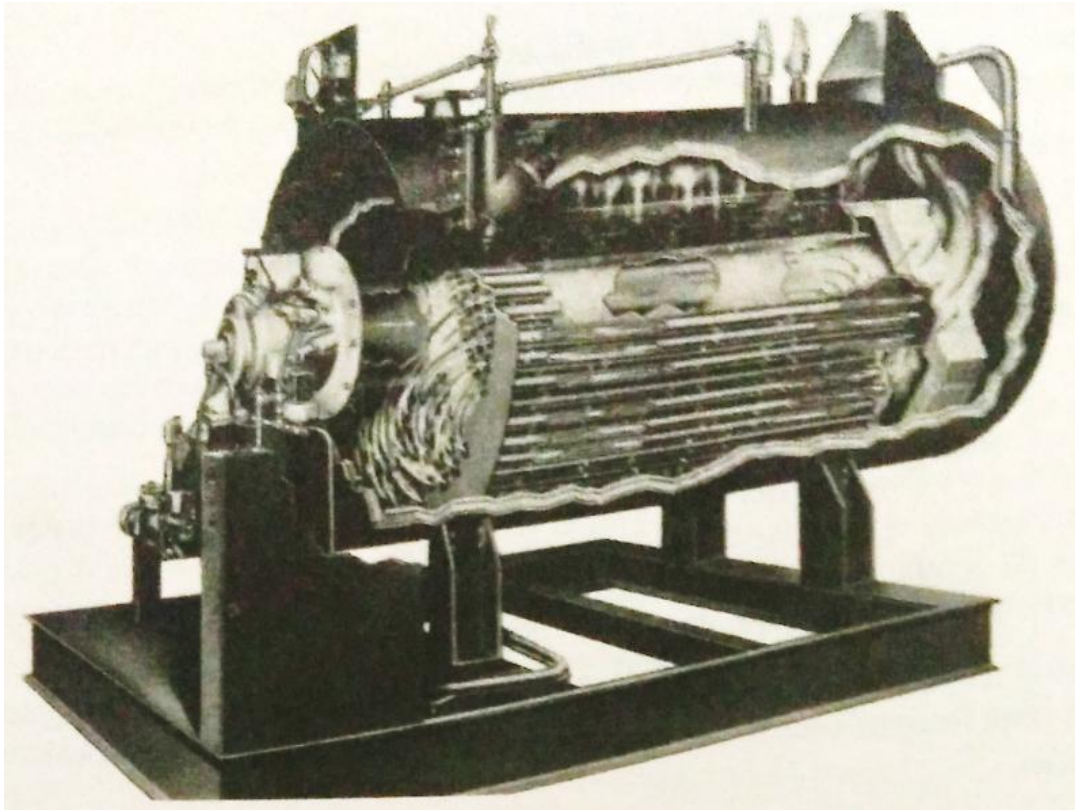


Figura 19. Ilustração de uma caldeira [10].

2.5.1. Princípio Básico de Funcionamento

Durante o processo de geração de vapor o seguinte processo genérico se desenvolver dentro da caldeira [10],

- O combustível é queimado gerando calor;
- O calor é transferido para a água por meio da superfície de aquecimento;
- Com o aumento da temperatura, a água eventualmente atinge o ponto de ebulição, transformando-se em vapor, sob pressão superior à pressão atmosférica.

Ao final do processo, a potência calorífica do combustível converte-se em energia potencial no vapor, que por sua vez se transforma em energia mecânica por meio de máquinas térmicas adequadas para a obtenção de energia elétrica [10].

Caldeiras podem ser classificadas de acordo com as seguintes categorias [11],

- Flamotubulares;
- Aquatubulares.

2.5.2. Caldeiras Flamotubulares

Nesse tipo de caldeira os gases quentes vindos da fornalha ou câmara de combustão escoam no interior de tubos circundados pela água a ser evaporada, que se situa no interior de uma estrutura de chapas de aço soldadas [12], como mostra a Figura 20. São empregadas apenas para pequenas capacidades e quando se quer apenas vapor saturado de baixa pressão [9].

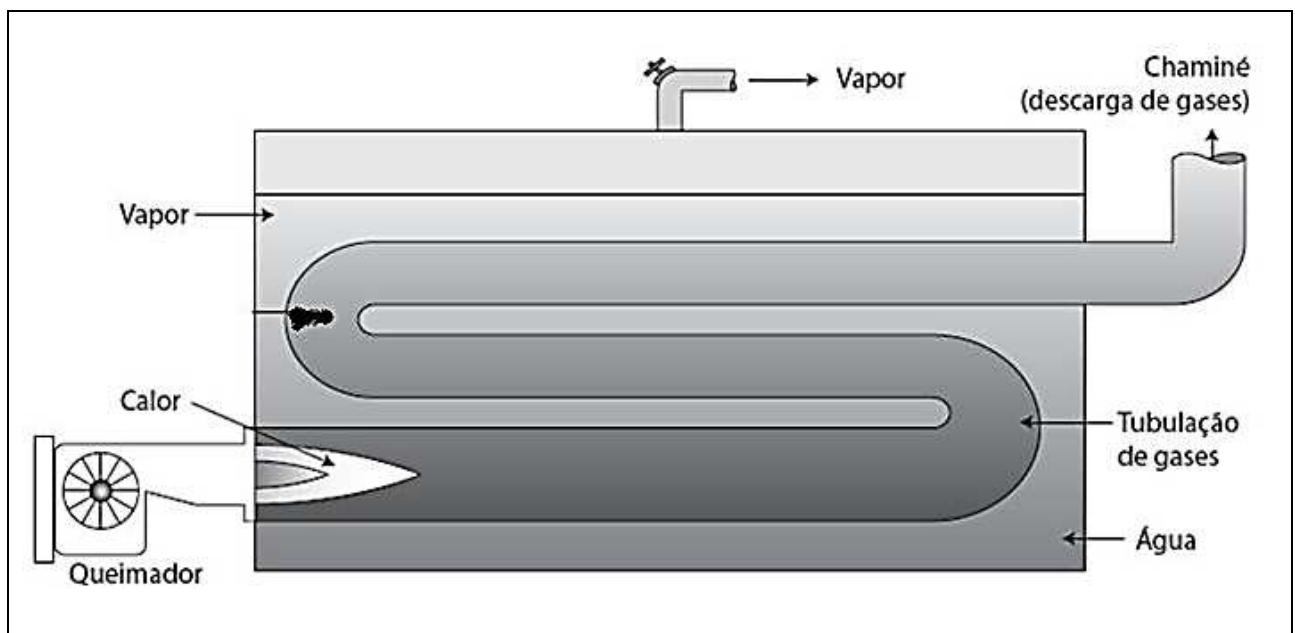


Figura 20. Representação de uma caldeira flamotubular [13].

Podem ainda ser classificadas em

- Geradores de chama de retorno de simples ou dupla face;
- Geradores de chama direta.

Nos geradores de vapor de chama da retorno de simples ou dupla face os gases provenientes da queima passam através da fornalha ou câmara de combustão e no sentido oposto pelas tubulações das tubulações envoltas em água. No segundo tipo, os gases quentes percorrem um caminho direto que se inicia na fornalha, passando pelos tubos até chegar à chaminé [10].

Possui as seguintes vantagens a fácil substituição do sistema de tubulação, dispensa a necessidade de tratamento de água que seria necessário caso a mesma estivesse transitando dentro dos tubos, limpeza fácil da fuligem dentro dos tubos e custo relativamente reduzido. Porém possui as seguintes desvantagens, demora para atingir a pressão de regime (devido ao grande volume de água dentro da caldeira), não são capazes de gerar vapor sob altas pressões e necessitam de bomba de água para manter o nível da mesma constante [12].

2.5.3. Caldeiras Aquatubulares

Diferem das caldeiras flamotubulares pelo fato de a água circular pelo interior das tubulações, são utilizadas quando se deseja gerar grandes quantidade de vapor à pressões relativamente altas, pois devido as suas características construtivas, os esforços mecânicos gerados nas tubulações são de tração ao invés de compressão, rendendo à mesma elevada resistência a altas pressões [11].

A quantidade de água contida na mesma é relativamente pequena ao mesmo tempo que possui um grande superfície de contato, resultando em um arranjo eficiente para a transmissão do calor proveniente dos gases quentes para a água. Considerando as características anteriores, a vaporização específica desse tipo de caldeira é muito superior ao que se pode obter com caldeiras do tipo flamotubulares, resultado assim em uma relação peso/potência consideravelmente menor [10].

Podem ser classificadas de como,

- Caldeiras de tubos retos;
- Caldeiras de tubos curvos;
- Caldeiras de circulação forçada.

A Figura 21 mostra uma ilustração de uma caldeira do tipo aquatubular.

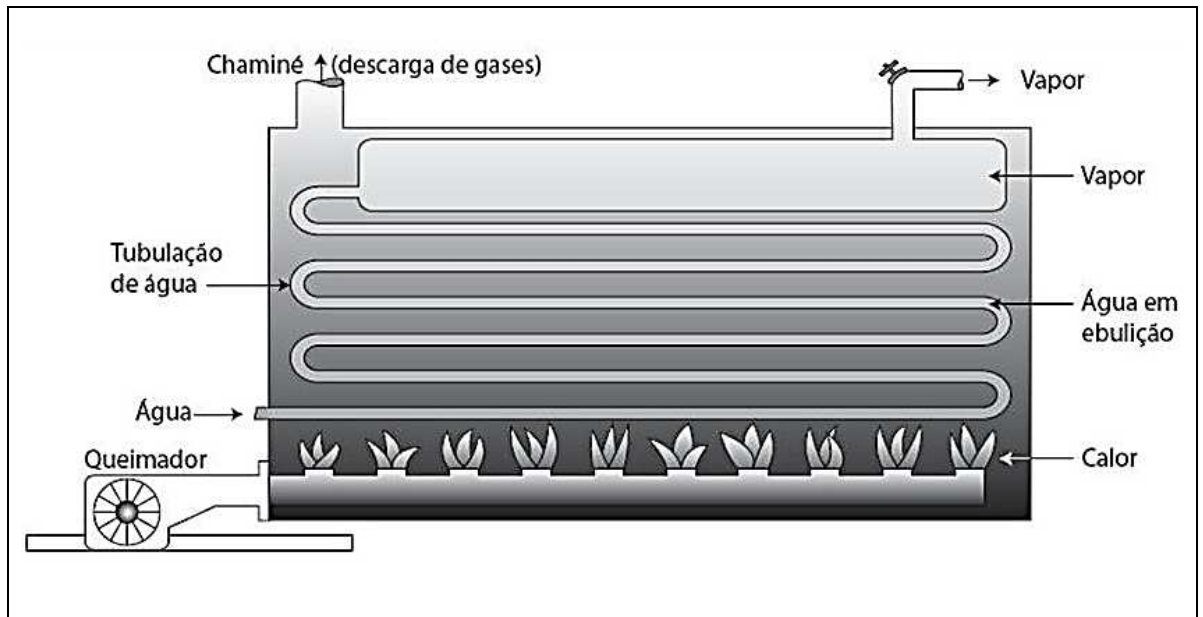


Figura 21. Representação de uma caldeira Aquatubular [13].

2.5.4. Comparativo Entre Caldeiras Flamotubulares e Aquatubulares

A Tabela 1, logo abaixo, apresenta um comparativo entre algumas das características mais pertinentes à caldeiras industriais do tipo Flamotubulares e Aquatubulares.

Tabela 1. Comparativo entre caldeiras flamo e aquatubulares [10].

Característica	Aquatubular	Flamotubular
Grau de combustão	Alto	Baixo
Vaporização específica	Alto	Baixo
Peso e volume	Menor	Maior
Pressão do vapor	Alto	Baixo
Tempo necessário para atingir pressão de trabalho	Baixo	Alto
Qualidade da água de alimentação	Tratada	Natural
Rendimento térmico	Maior	Menor
Condução e limpeza	Rigorosa	Não tão rigorosa

3. PROJETO

Nesta seção será descrito todo o processo de desenvolvimento do algoritmo de controle utilizado para controlar a caldeira de forma automática e manual além de implementar o monitoramento contínuo dos parâmetros de segurança da caldeira a ser automatizada, que é uma caldeira do tipo flamotubular, a Figura 22 mostra uma foto da caldeira incluindo a descrição dos elementos visíveis.



Figura 22. Situação atual da caldeira.

Os elementos numerados são,

- (1) Atomizador;
- (2) Motor elétrico;
- (3) Painel elétrico;
- (4) Reservatório principal;
- (5) Indicador de pressão;

- (6) Reservatório de óleo BPF;
- (7) Reservatório intermediário de óleo BPF (pré-aquecimento);

3.1. ELEMENTOS DA CALDEIRA

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

- **Atomizador** – Dispositivo responsável por pulverizar o combustível a ser queimado com o intuito de aumentar a superfície de contato entre o mesmo e o oxigênio fazendo com que haja uma queima mais eficiente;
- **Ventilador** – Dispositivo atrelado ao motor e responsável por criar o fluxo de ar usado pelo atomizador para dispersar o combustível de queima;
- **Válvula solenoide de óleo BPF e diesel** – Válvulas responsáveis por controlar a liberação de ambos óleo BPF e óleo diesel dentro da caldeira;
- **Ignitor** – Dispositivo responsável por criar um arco elétrico dentro da caldeira no momento da partida para criar a chama piloto;
- **Bomba do tanque de água** – Bomba responsável por injetar água dentro da caldeira, tem o seu funcionamento atrelado aos sensores de nível interno da caldeira;
- **Detectores de nível por varetas** – Sensores de nível do tipo haste, responsáveis por medir os níveis máximo e mínimo de água dentro da caldeira;
- **Sensor e transmissor de pressão interna da caldeira** – 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;
- **Inversor de frequência do ventilador** – Responsável por variar a velocidade do motor de indução trifásico conectado à caldeira.

3.2. DIAGRAMA DE COMPONENTES

A Figura 23 mostra o diagrama de componentes do sistema, especificando as conexões entre os diversos 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 de um link de comunicação que utiliza o protocolo MODBUS e o meio físico RS-485. Já a conexão entre o CLP e os atuadores e sensores da caldeira se dá através de conexão direta, na forma de sinais de voltagem ou de corrente.

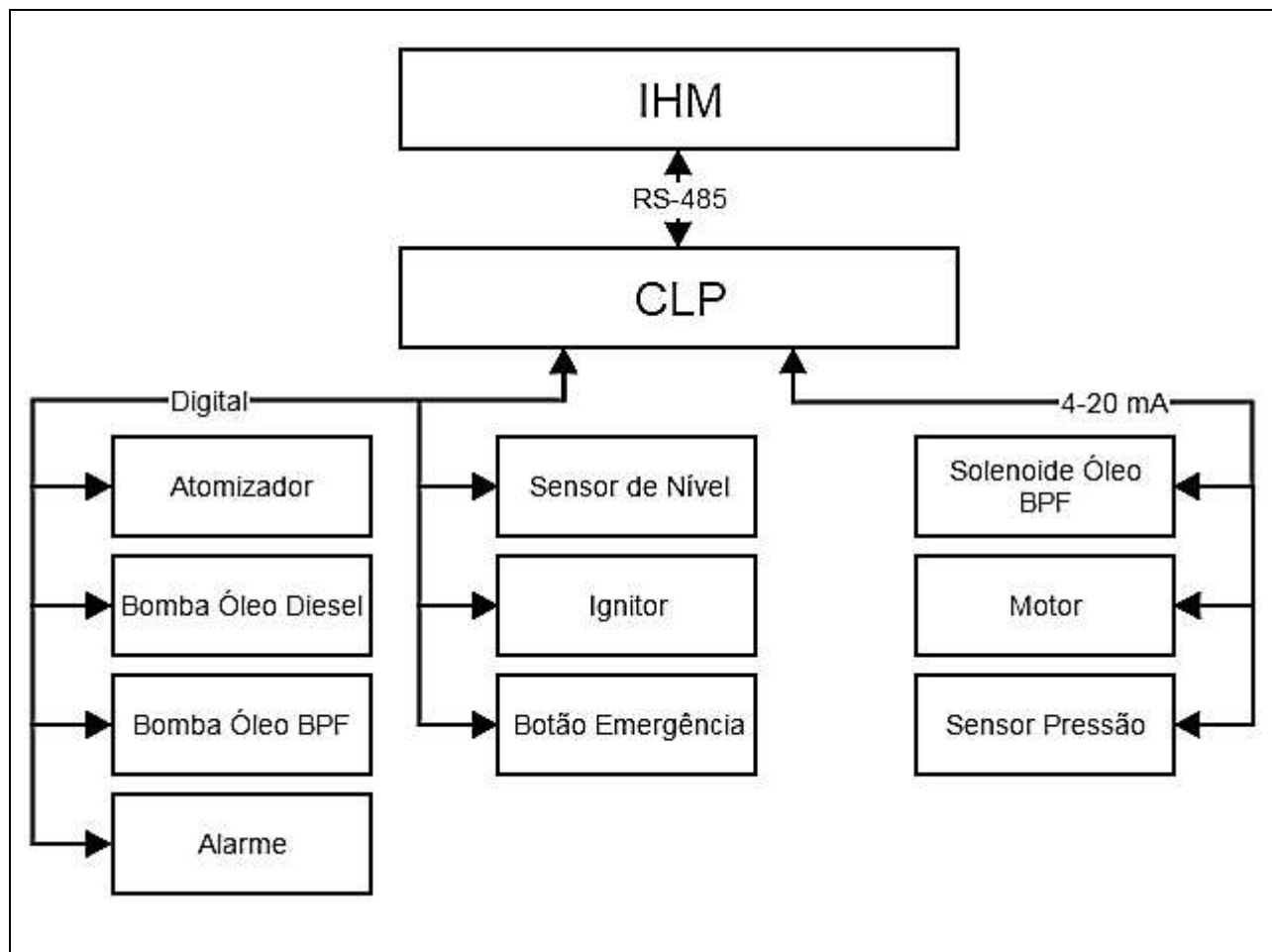


Figura 23. Diagrama de componentes do sistema.

3.3. I/OS ANALÓGICAS E DIGITAIS DO SISTEMA

A Tabela 2, logo abaixo, mostra os sinais analógicos e digitais que foram usados para monitorar e controlar a caldeira.

Tabela 2. I/Os analógicos e digitais da caldeira.

Nome	Entrada/Saída	Digital/Analógico
Ventilador	Saída	Digital
Atomizador	Saída	Digital
Bomba óleo BPF	Saída	Digital
Bomba óleo diesel	Saída	Digital
Bomba água	Saída	Digital
Válvula de óleo BPF	Saída	Analógico
Velocidade do motor	Saída	Analógico
Pressão interna da caldeira	Entrada	Analógico
Nível máximo de água	Entrada	Digital
Nível mínimo de água	Entrada	Digital
Falta de fase	Entrada	Digital
Falha do inversor	Entrada	Digital
Temperatura de pré-aquecimento baixa	Entrada	Digital
Botão de emergência	Entrada	Digital

3.4. INTERTRAVAMENTOS DE SEGURANÇA

Intertravamentos de segurança são condições que devem ser obedecidas para que a rotina de partida (automática ou manual) possa ser executada e para que a caldeira possa permanecer em funcionamento. São monitorados continuamente pelo CLP independente do estágio do processo de partida ou funcionamento no qual a caldeira 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;
- **Pressão de segurança** – Parâmetro de segurança, ajustado na IHM, que define a pressão máxima que pode ser atingida pela caldeira em qualquer momento durante a operação da mesma. Caso a pressão interna da caldeira atinja esse valor, a caldeira deve ser imediatamente desligada;
- **Falta de fase** – Caso ocorra uma falte de fase da rede elétrica, a caldeira deve ser desligada, pois essa condição pode ocasionar danos ao funcionamento do motor elétrico de indução trifásico do ventilador;
- **Nível de água na caldeira** – Caso o nível de água dentro da caldeira esteja abaixo do limite mínimo, a caldeira deve ser desligada, pois a caldeira jamais pode funcionar sem que haja água a ser vaporizada dentro da mesma;

- **Temperatura de pré-aquecimento** – Os combustíveis de queima devem ser pré-aquecidos até uma certa temperatura antes de serem injetados dentro da caldeira para combustão, e caso o mesmo não esteja nesta temperatura o funcionamento da caldeira deve ser interrompido;
- **Falha do inversor de frequência** – Caso o inversor de frequência que controle o motor do ventilador apresente falha durante funcionamento, a caldeira deve ser desligada.

3.5. SEQUÊNCIAS DE PARTIDA

Por ser um equipamento complexo, a caldeira exige um processo de partida, em que os seus diversos elementos são acionados e monitorados em uma sequência específica e bem definida, para que a mesma possa entrar em modo de operação, passando assim a gerar vapor a uma determinada pressão definida pelo operador.

De forma bem geral, o processo de partida da caldeira consiste em,

1. Liberar oxigênio;
2. Liberar combustíveis de queima (óleo BPF e diesel);
3. Acionar ignitor;
4. Verificar se chama piloto foi criada;
 - 4.1. Chama piloto foi criada, cortar fornecimento de óleo diesel;
 - 4.2. Chama piloto não foi criada, desativar todos os atuadores e reiniciar a rotina de partida;
5. Cortar fornecimento de óleo e oxigênio quando pressão de trabalho for atingida;
6. Voltar ao primeiro passo quando a pressão interna da caldeira cair abaixo da pressão de trabalho.

A execução da rotina descrita acima nem sempre garante que a caldeira entrará em modo de operação, caso isso não ocorra, todos os atuadores da caldeira devem ser desativados e o processo deve ser reiniciado.

3.5.1. Partida Automática

O fluxograma mostrado na Figura 24 apresenta em detalhes a rotina de partida da caldeira que é executada pelo CLP, quando a mesma está operando de forma automática, que é o modo de operação padrão da caldeira quando a mesma não apresenta problemas de funcionamento e não está passando por manutenção. Quando operando sob modo automático, o operador da caldeira somente precisa ajustar o *setpoint* da pressão de trabalho, selecionar o modo automático e dar partida na caldeira, tudo através da IHM, se a caldeira estiver livre de defeitos a mesma entrará em operação e passará a gerar vapor.

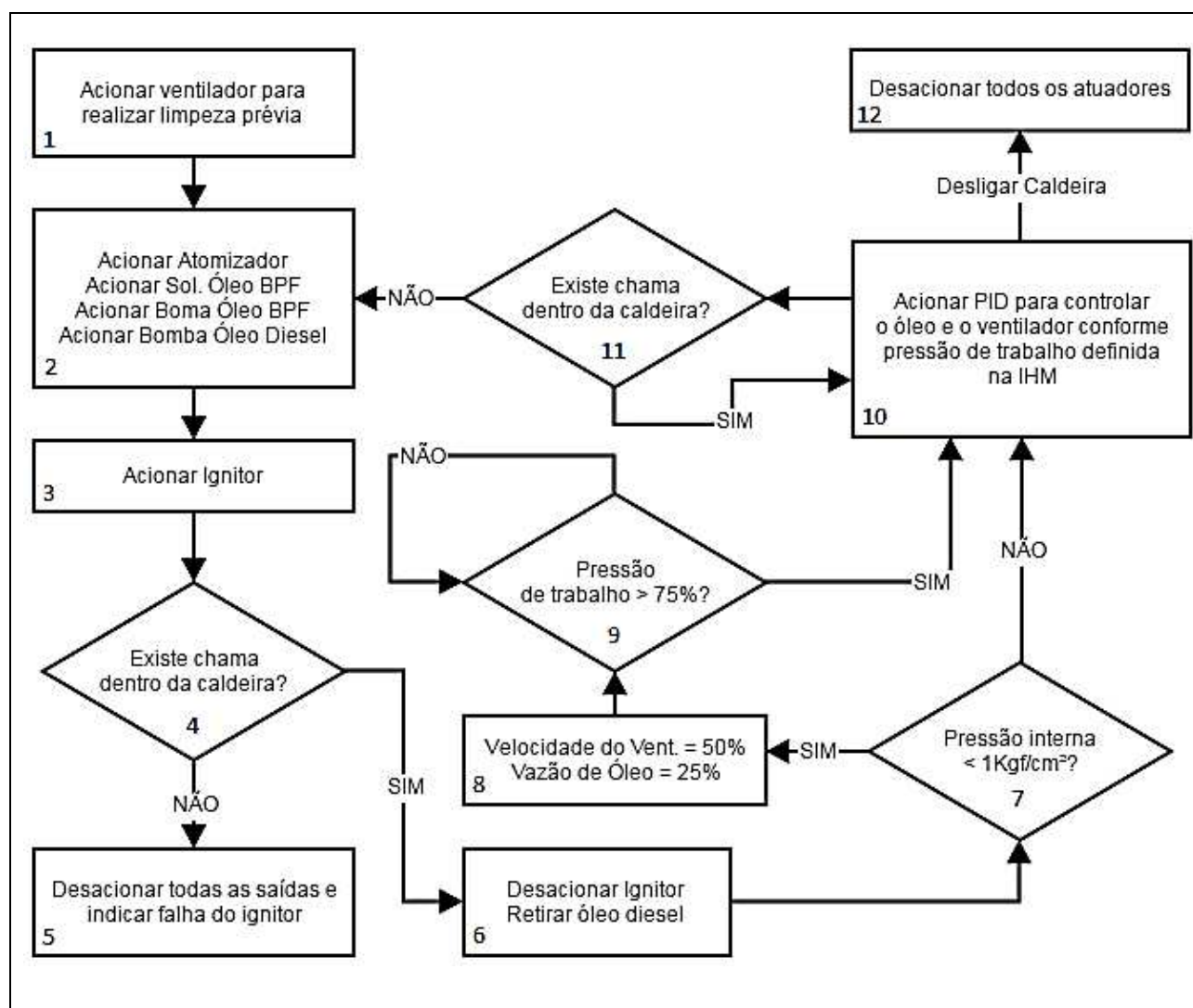


Figura 24. Fluxograma da rotina de partida no modo automático.

Descrição dos passos,

- 1 – Acionamento do ventilador para realizar uma limpeza previa das tubulações que conduzem os gases quentes dentro da caldeira;
- 2 – Acionamento do atomizador, liberação dos óleos diesel e BPF;
- 3 – Acionamento do ignitor para criação da chama piloto dentro da caldeira;
- 4 – Verifica se a chama piloto foi criada dentro da caldeira;
- 5 – Caso a chama piloto não tenha sido criada com sucesso, desacionar todos os atuadores da caldeira, reportar a falha na IHM e acionar o alarme;
- 6 – Caso a chama piloto tenha sido criada com sucesso, cortar o fornecimento de óleo diesel e desacionar o ignitor;
- 7 – Verifica se a pressão interna da caldeira está abaixo de 1 kgf/cm^2 ;
- 8 – Caso a pressão esteja abaixo de 1 kgf/cm^2 , o procedimento de partida de segurança deve ser efetuado, limitando o fornecimento de oxigênio em 50% da capacidade total e a vazão de óleo BPF para 25% da capacidade total;
- 9 – Caso a partida seja em modo de segurança, aguarda a pressão interna da caldeira atingir um nível acima de 75% do limite de pressão (10 Kgf/cm^2);
- 10 – Controle automático da pressão interna da caldeira por meio de controlador PID, na qual o setpoint é definido na IHM como a pressão de trabalho, o sinal de feedback vem do sensor de pressão instalado internamente na caldeira e o sinal de saída é enviado para o modulo de saídas analógicas e posteriormente para os atuadores da caldeira;
- 11 – Verifica se a chama dentro da caldeira se extinguiu, caso sim, o fornecimento de óleo BPF e oxigênio deve ser interrompidos e a caldeira volta para a condição inicial, caso contrário, o controlador PID continua sendo executado;

- 12 – Caso a caldeira venha a receber um comando de desligamento, todos os atuadores da mesma devem ser desativados e a caldeira deve voltar para a condição inicial.

3.5.2. Partida Manual

Há situações em que haja a necessidade de interromper o funcionamento da caldeira por motivos de manutenção, seja por uma falha súbita durante funcionamento normal, seja por manutenção preventiva de rotina, em qualquer um dos casos, é necessário que o responsável da manutenção seja capaz de acionar individualmente cada uma das partes constituintes da caldeira para que possa descobrir qual o elemento da caldeira que apresenta problemas e assim consertá-lo. O modo manual de operação da caldeira permite que o operador acione manualmente cada parte constituinte da caldeira, sem que seja necessário seguir uma ordem específica. Essa função está disponível na IHM, porém, é protegida por senha, pois somente as pessoas responsáveis pela manutenção da caldeira devem ser capazes de operar a mesma de forma manual.

3.5.3. Partida de Segurança

Caso a caldeira tenha permanecido desligada por muito tempo e a pressão de descarga esteja abaixo de 1 Kg/cm^2 , o fabricante recomenda que a caldeira seja partida com um nível de chama reduzido, pois um aumento brusco de temperatura quando a mesma passou muito tempo desativada pode criar situações de perigo. Por isso, a sequência de partida automática da caldeira incorpora essa verificação e caso a pressão interna da caldeira esteja abaixo desse limite a caldeira é partida com chama reduzida até que seja atingido 75% da pressão de trabalho definida na IHM, a partir do qual a intensidade da chama pode atingir níveis mais elevados.

3.6. ALARMES DE SEGURANÇA

Caso algum dos intertravamentos de segurança esteja fora da condição normais, a caldeira deve ser desligada e o alarme sonoro deve ser acionado, gerando um sinal sonoro de diferentes tonalidades dependendo da falha que ocorreu. As diferentes tonalidades são criadas a partir do ajuste do ciclo de trabalho do sinal PWM que aciona o dispositivo que gera o alarme sonoro, a tabela abaixo mostra os respectivos ciclos de trabalho para cada um dos diferentes alarmes que podem ser gerados, sendo que o período do sinal PWM, estabelecido experimentalmente durante a instalação e *startup* do sistema, foi de 150 milissegundos.

Tabela 3. Ciclos de trabalho dos alarmes sonoros.

Falha	Ciclo de trabalho (milissegundos)
Botão de emergência	20
Falta de fase	40
Falha do inversor	60
Temperatura de pré-aquecimento baixa	80
Pressão de segurança	100
Falta de água na caldeira	120

3.7. TRECHOS DO CÓDIGO *LADDER*

A seguir são mostradas alguns trechos importante do código em linguagem *Ladder* executado pelo CLP para controlar a caldeira.

A Figura 25 mostra o trecho do código em que é setado um bit caso alguma das falhas mencionadas anteriormente ocorra e é resetado caso o operador do CLP reconheça a falha por meio de um botão específico presenta em uma das telas da IHM.

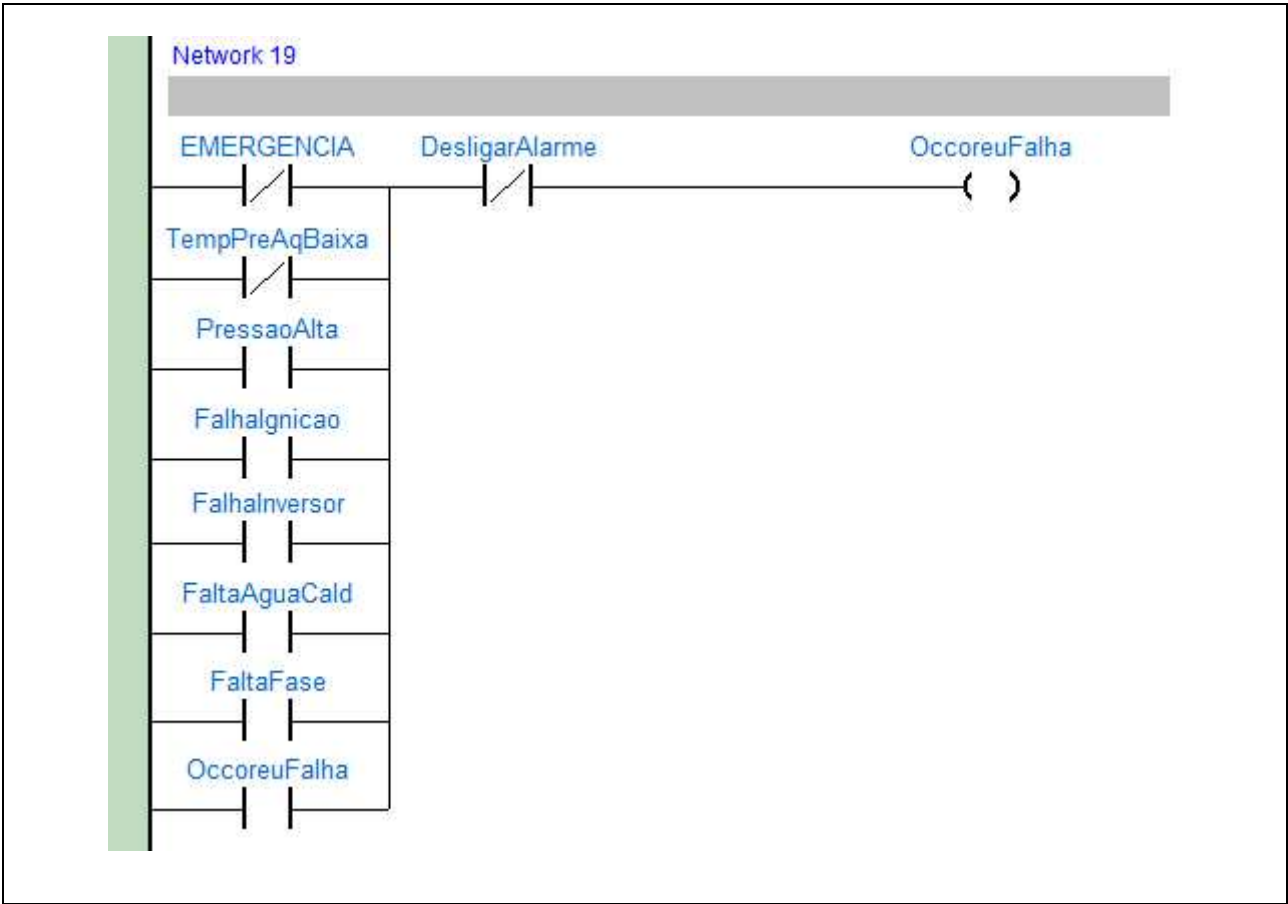


Figura 25. Trecho do código fonte (linha de segurança).

A próxima imagem, Figura 26, mostra o trecho do código em que a instrução PID é executada pelo CLP quando a caldeira está operando em modo automático. Como parâmetros, a instrução PID recebe a pressão interna da caldeira como sinal de feedback, o *setpoint* da pressão de trabalho e uma *Word* de configuração. O valor de saída da instrução representa o valor da velocidade do ventilador e vazão de óleo BPF que devem ser aplicados à caldeira para fazer com que a mesma gere vapor com a pressão estabelecida na IHM.

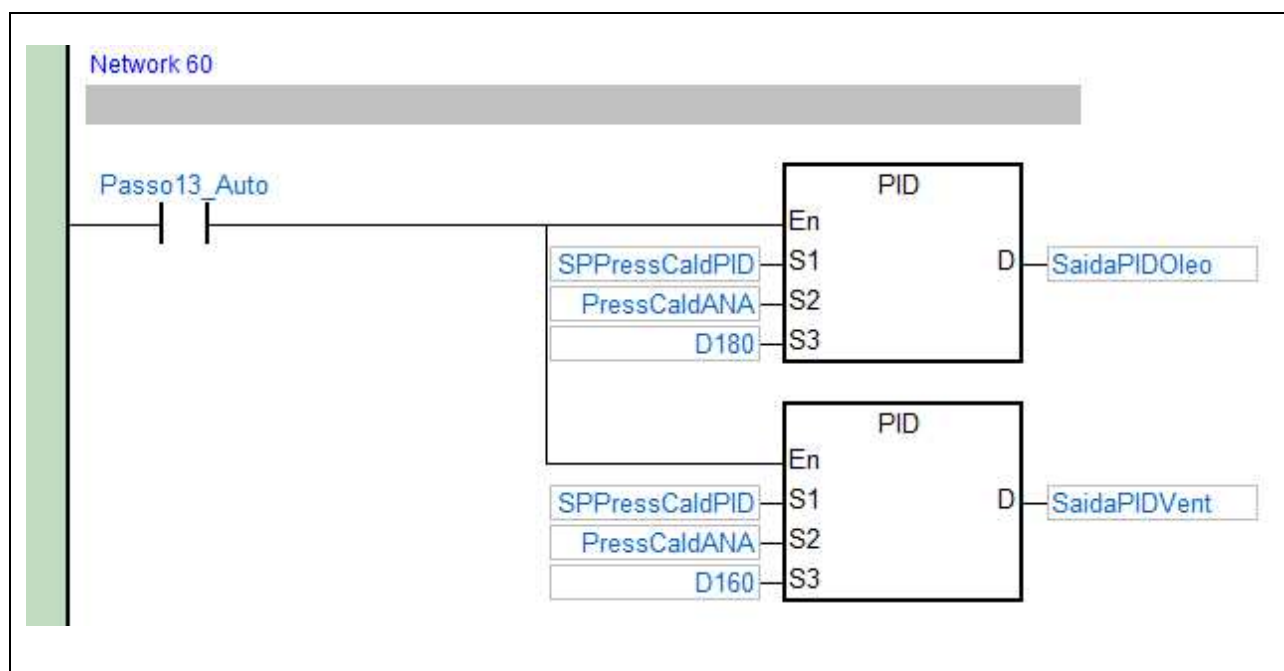


Figura 26. Trecho do código fonte (instruções PID).

A próxima imagem, Figura 27, mostra o trecho do código em que o alarme é acionado e o ciclo de trabalho do sinal sonoro é alterado para o valor específico que corresponde ao botão de emergência sendo pressionado.

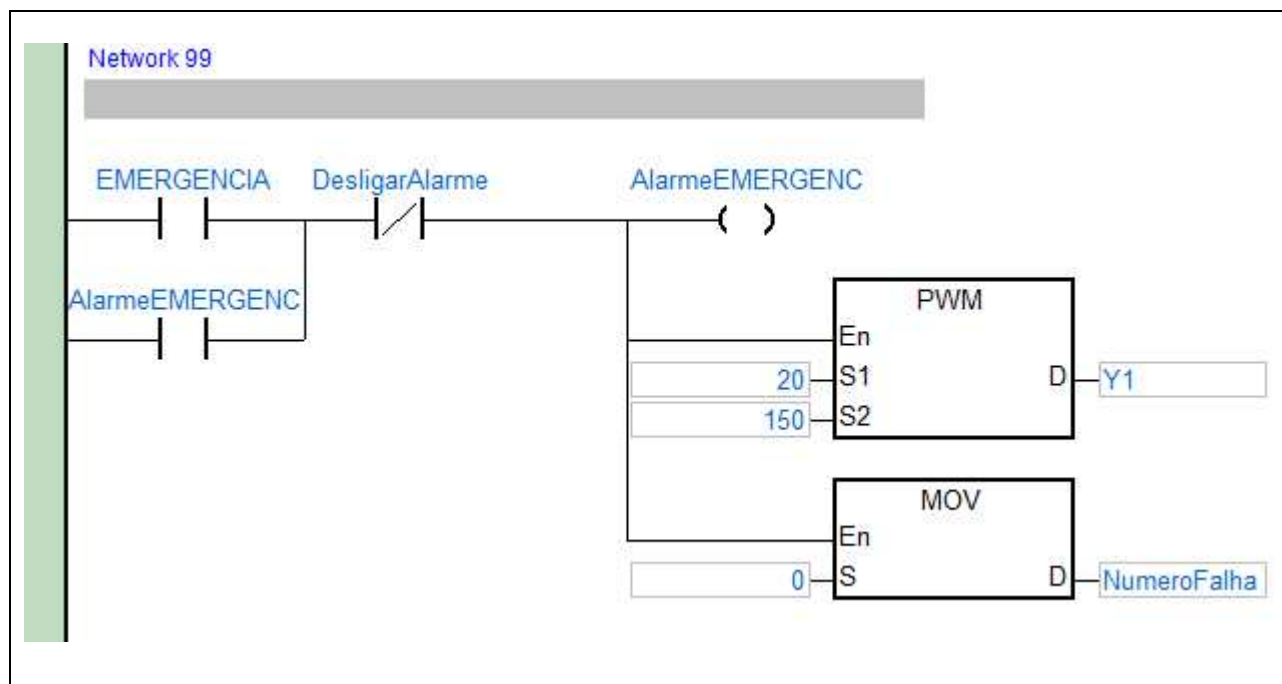


Figura 27. Trechos do código fonte (alarme de emergência).

4. RESULTADOS

4.1. PAINÉIS NOVO E ANTIGO

As Figuras 28 e 29 mostram respectivamente o antigo painel elétrico, utilizado para controlar a caldeira antes da implantação do projeto descrito nesse trabalho, e o novo painel que foi instalado.



Figura 28. Interior do antigo painel.



Figura 29. Interior do novo painel.

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. IHM

As Figuras 30 e 31 mostram respectivamente a IHM instalada no novo sistema de acionamento da caldeira e a interface de acionamento do antigo painel elétrico que controlava a caldeira.



Figura 30. IHM do novo painel.



Figura 31. Interface de acionamento do antigo painel.

Observando as imagem acima é possível concluir que a nova interface (IHM) para monitoramento e comando da caldeira, Figura 30, é mais moderna e completa em relação ao antigo sistema de comando, Figura 31, pois a mesma disponibiliza ao operador uma maior quantidade de informações (informações de operação e diagnostico de falhas) e maior controle sobre a caldeira (maior quantidade de parâmetros ajustáveis).

4.3. MODO AUTOMÁTICO

Foi implementado o modo automático de funcionamento da caldeira, que inclui tanto a rotina de partida quanto a operação da mesma, o que significa que a partir de agora basta apenas que o operador ajuste os parâmetros de operação, caso necessário, e pressione o botão da IHM que inicia a partida da caldeira para que o CLP execute a rotina de partida, além disso, quando a caldeira estiver em operação o CLP irá controlar a intensidade da chama dentro da caldeira que por sua vez irá controlar a quantidade de vapor gerada de modo a suprir a demanda imposta pela fábrica. Durante a instalação, o técnico de manutenção, presente durante a instalação do projeto, realizou um teste de partida da caldeira, ajustando a pressão de trabalho a iniciando a rotina de partida da caldeira, afim de validar o correto funcionamento do sistema de automação.

4.4. SEGURANÇA

O fator segurança foi um dos maiores motivadores para o desenvolvimento deste projeto, pois os parâmetros de segurança da caldeira eram monitorados manualmente por um funcionário da empresa, após o desenvolvimento e instalação do projeto descrito nesse trabalho, o monitoramento dos parâmetros de segurança e feito inteiramente por um CLP sempre que a caldeira estiver em funcionamento, garantindo assim que os mesmos nunca passem despercebidos quando a caldeira apresentar anomalias durante operação.

Testes foram realizados, pelo técnico de manutenção presente durante a instalação do projeto, para garantir que o CLP realmente é capaz de interromper o funcionamento da caldeira quando condições anormais acontecerem, por exemplo, durante os testes após a instalação do novo sistema foi removido um dos condutores de alimentação (fase) para simular uma falta de fase e observar se o CLP toma as devidas providências para desativar a caldeira, e como esperado, o CLP impediu o funcionamento da caldeira além de alertar o problema na IHM, em outro teste, o botão de emergência foi pressionado durante o funcionamento da caldeira, e novamente como esperado, o CLP impediu o

funcionamento da caldeira e alertou o problema na IHM, garantindo, em ambos os casos, a integridade da máquina e dos operadores.

5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independente do sistema industrial a ser automatizado, CLPs sempre se mostram como uma das soluções mais viáveis, se não a solução mais viável, por ser 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 linguagem *Ladder* se mostrou bastante eficiente durante a fase de programação por sua simplicidade e fácil entendimento, com uma única ressalva em relação ao espaço ocupado pelo código na tela do computador (bem alto se comparado à linguagens de programação textuais) durante a programação o que acaba causando uma 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 da caldeira cumpriu com seus objetivos principais, de modernizar o sistema de acionamento e principalmente aumento de do nível de segurança operacional, pois o monitoramento dos parâmetros de segurança agora é feito automaticamente pelo CLP e caso alguma anomalia de funcionamento ocorra o equipamento é desativado por completo antes que situações de risco possam ocorrer.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Implementar um sistema supervisor para comandar e monitorar a caldeira a distância;
- Automatizar o ligamento e desligamento da caldeira baseado no horário e dia da semana.

REFERÊNCIAS

- [1] PAREDE, Ismael M., GOMES, Luiz E. L., Eletrônica - Automação Industrial, Centro Paula Souza, 2011.
- [2] PETRUZELLA, Frank D.; Programmable Logic Controllers, 4th Edition, McGraw-Hill, 2010.
- [3] BREI, Terry M., What is Industrial Automation?. Disponível em <<http://www.surecontrols.com/what-is-industrial-automation/>>. Acesso em 21/07/2016.
- [4] BOLTON, William, Programmable Logic Controllers, 5th Edition, Newnes, 2009.
- [5] BRYAN, L. A., BRYAN, E. A., Programable Controllers – Theory and Implementation, 2nd Edition, Industrial Text, 2003.
- [6] PARR E. Andrew, Programable Contollers – An Engineer’s Guide, 3th Edition, Newnes, 2003.
- [7] SILVEIRA, Cristiano B., O que é automação industrial. Disponível em <<http://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>>. Acesso em 21/07/2016.
- [8] VIANNA, Mario L. R., Mecânica - Automação, Centro Paula Souza, 2011.
- [9] LEITE, Nilson Ribeiro, MILITÃO, Renato de Abreu, Tipos e Aplicações de Caldeiras, Disponível em <https://lcsime.files.wordpress.com/2012/09/caldeiras_prominp.pdf>. Acesso em 02/10/2016.
- [10] TORREIRA, Raúl Peragallo, Geradores de vapor, Editora Libris, 1995.
- [11] MARTINELLI JÚNIOR, Luiz Carlos, Introdução às Máquinas Térmicas: Caldeiras 1ª Edição, 2008.
- [12] MACINTYRE, Archibald Joseph, Equipamentos Industriais e de Processos, LTC, 1997.
- [13] NR13 CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO. Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/1256733/>>. Acesso em 04/11/2016.

GLOSSÁRIO

Intertravamento	Condição que deve ser satisfeita para um determinado evento possa acontecer.
<i>Setpoint</i>	Corresponde ao ponto de operação de um determinado parâmetro.
<i>Startup</i>	Fase de um projeto de automação na qual os equipamentos são postos em funcionamento para fins de validação do correto funcionamento.
<i>Touchscreen</i>	É uma tela de computador que pode ser usada tocando-a com o dedo ao invés de usar um mouse e teclado.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

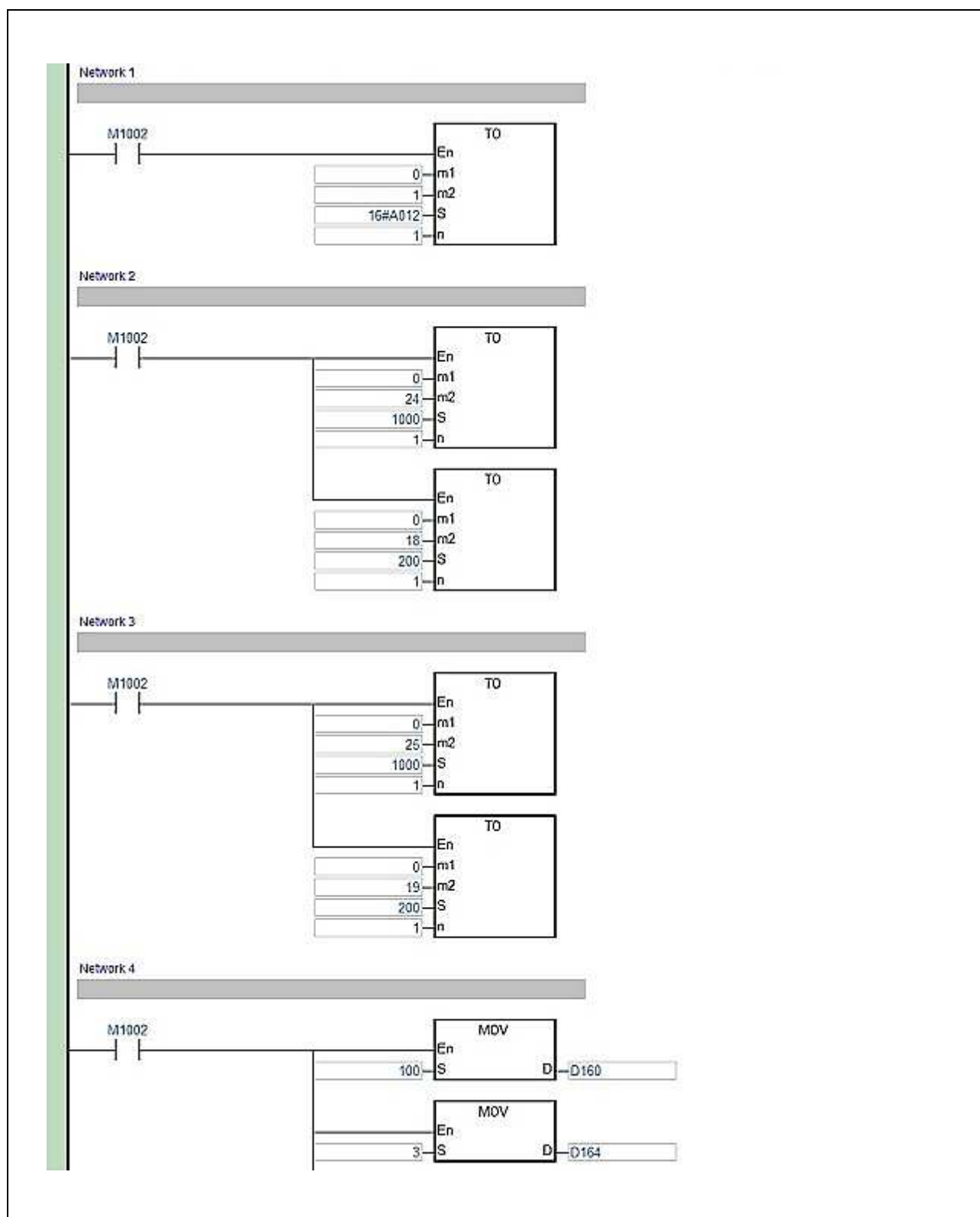


Figura 32. Código fonte (networks 1-4).

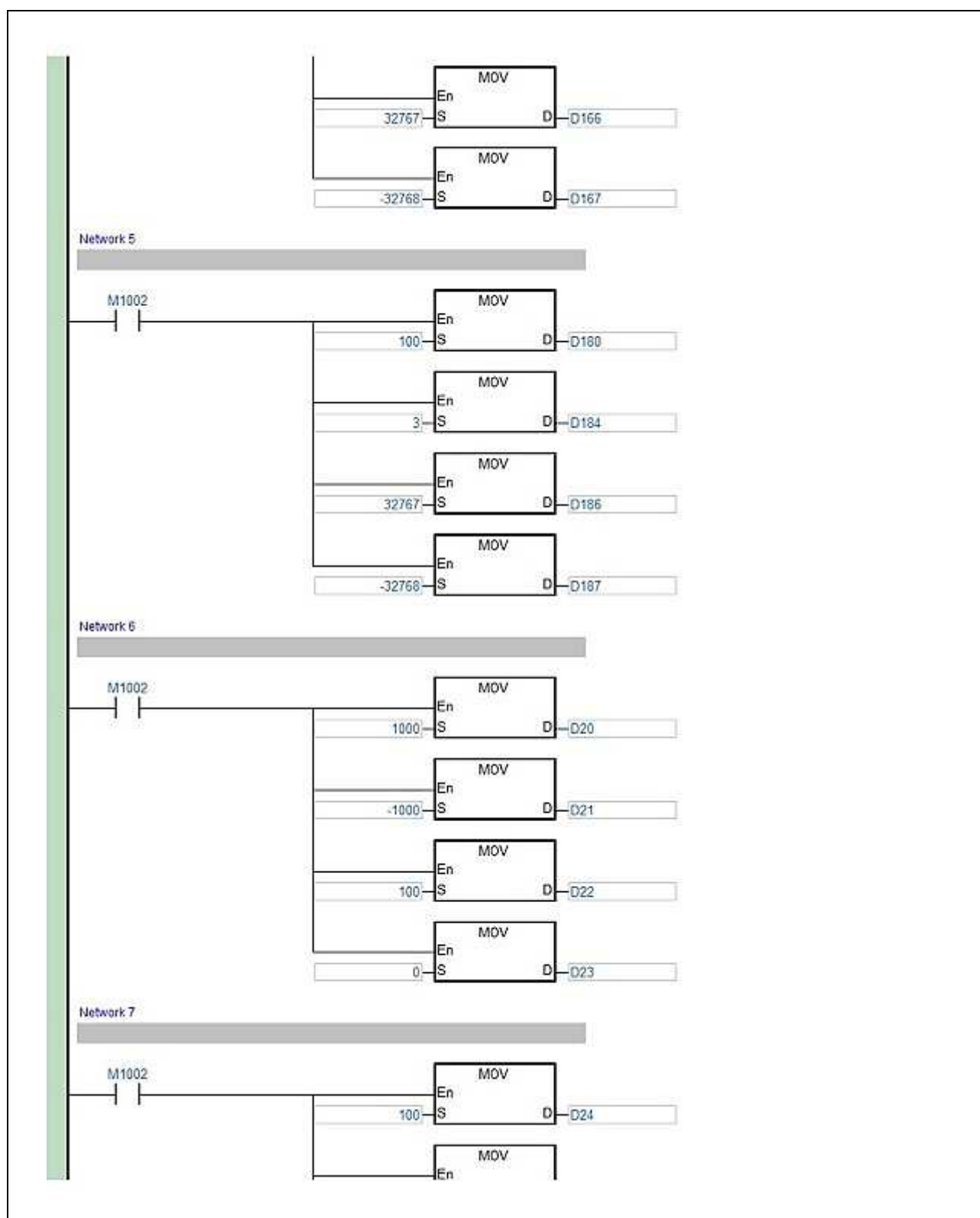


Figura 33. Código fonte (networks 5-7).

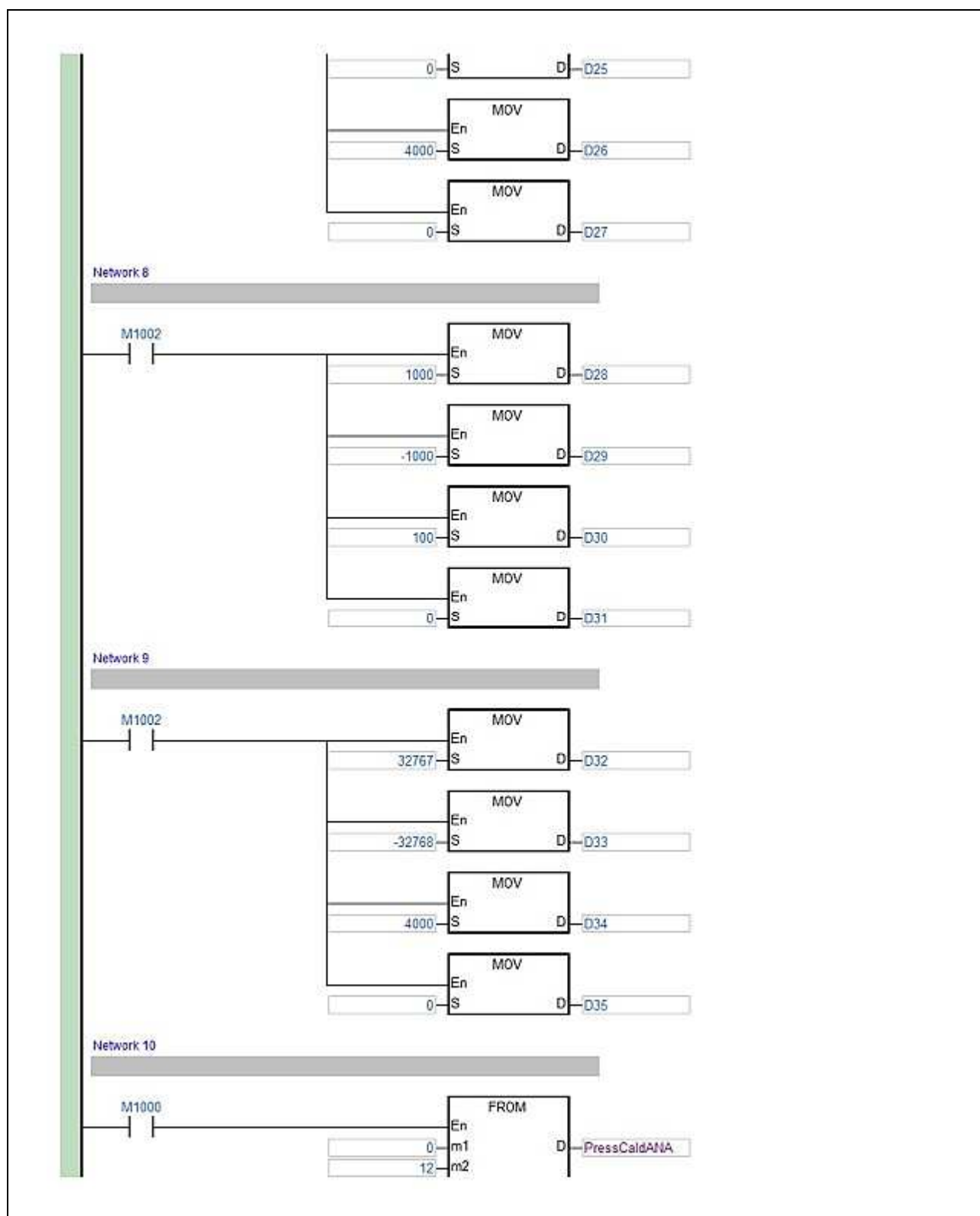


Figura 34. Código fonte (networks 8-10).

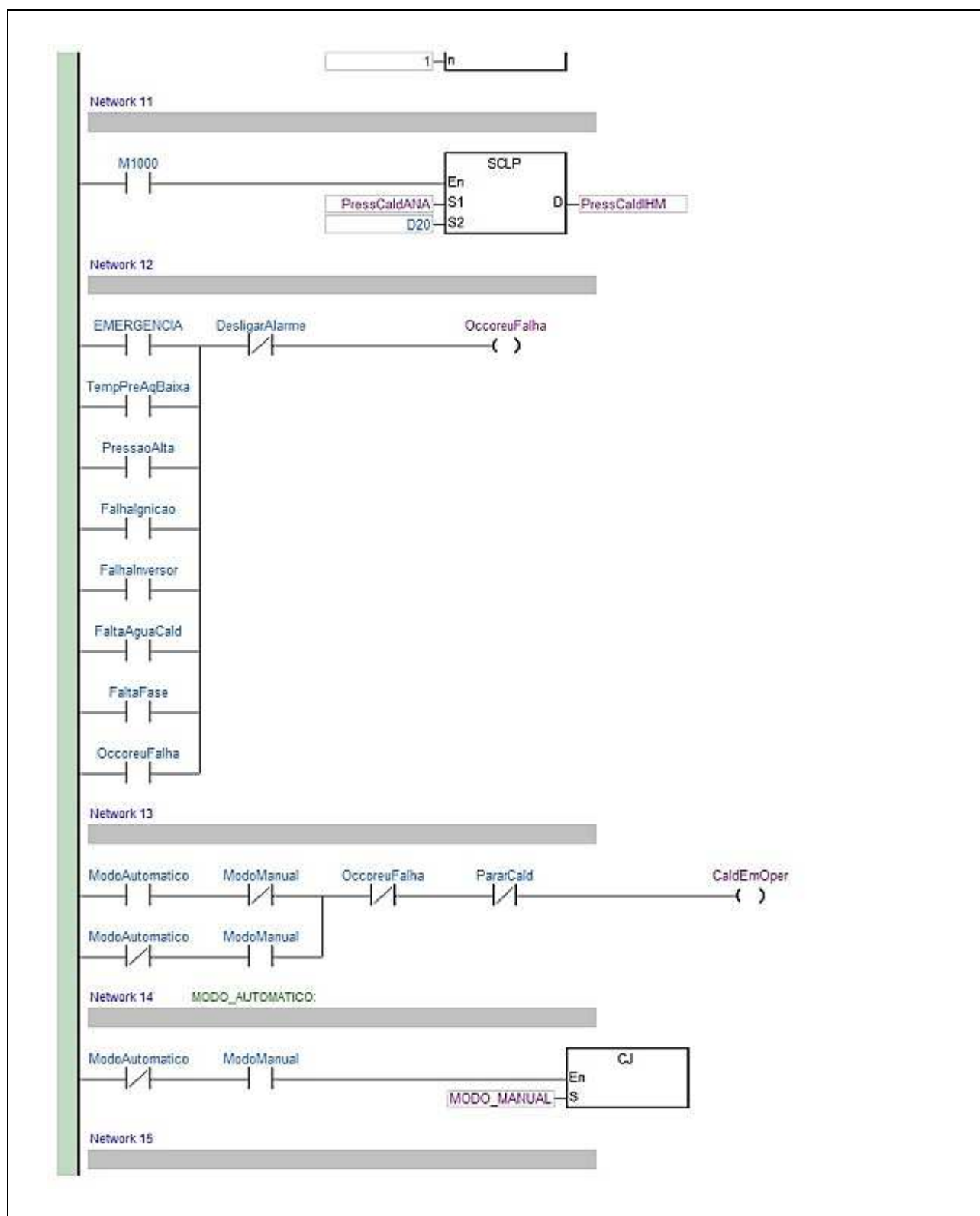


Figura 35. Código fonte (networks 11-15).

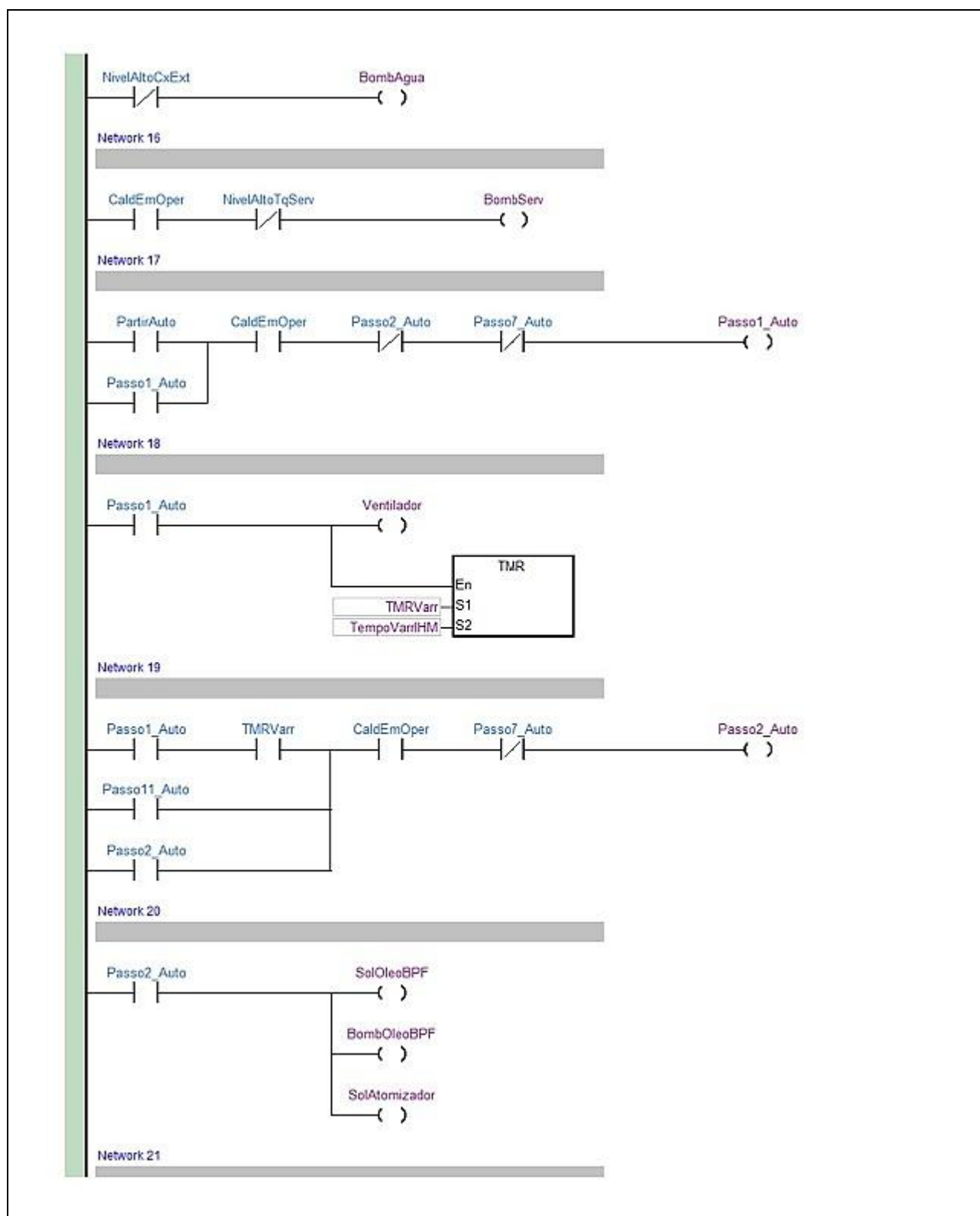


Figura 36. Código fonte (networks 16-21).

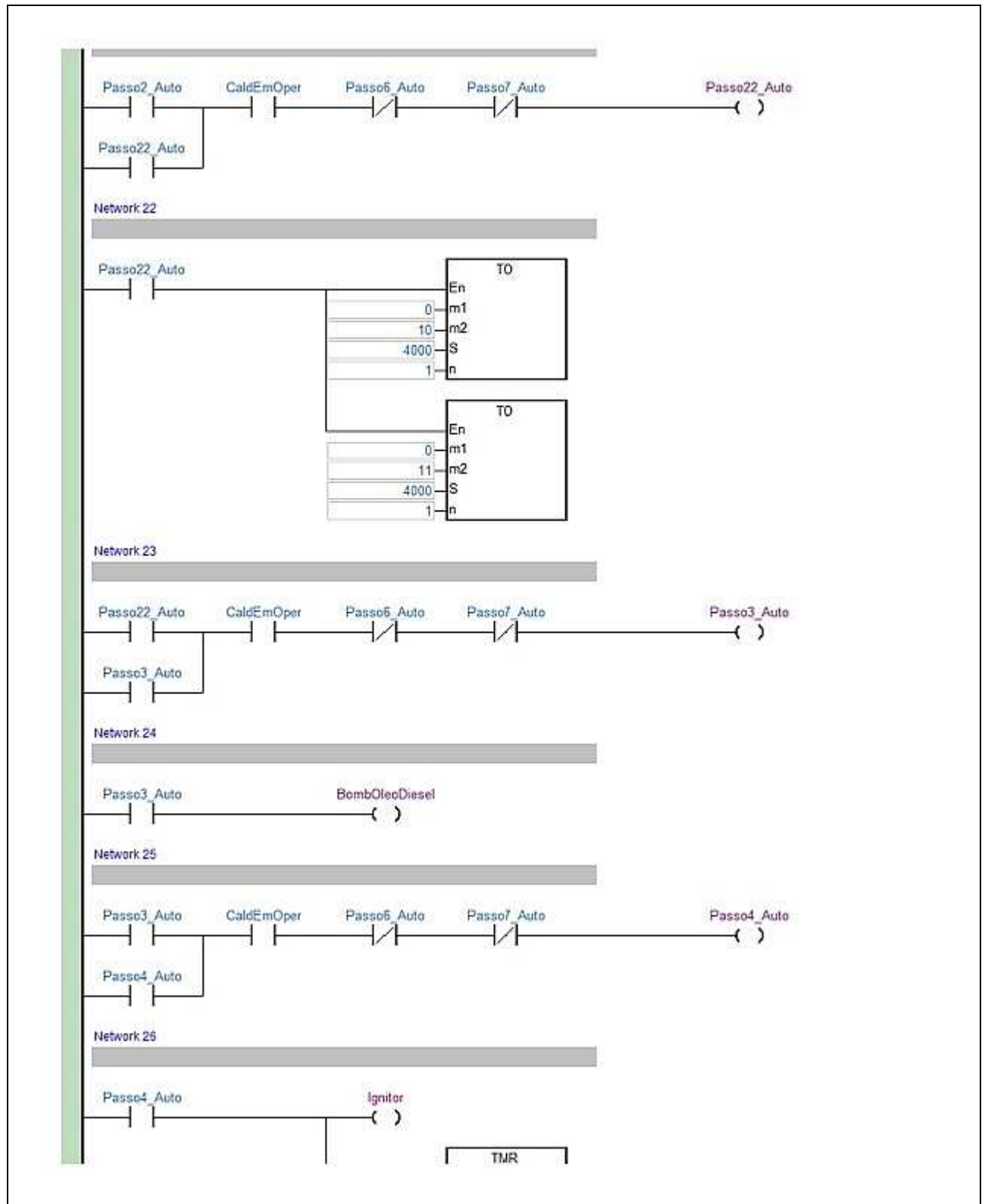


Figura 37. Código fonte (networks 22-26).

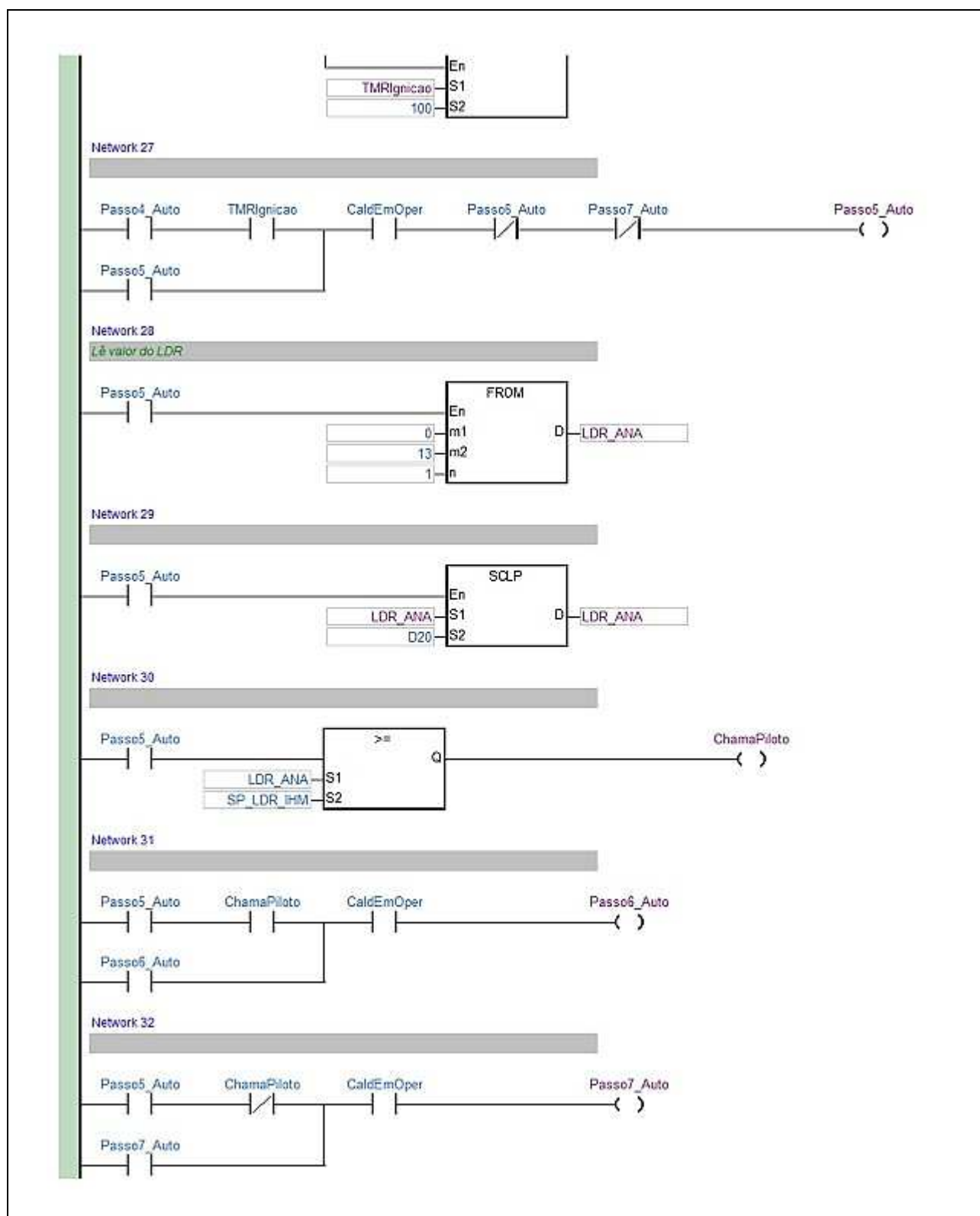


Figura 38. Código fonte (networks 27-32).

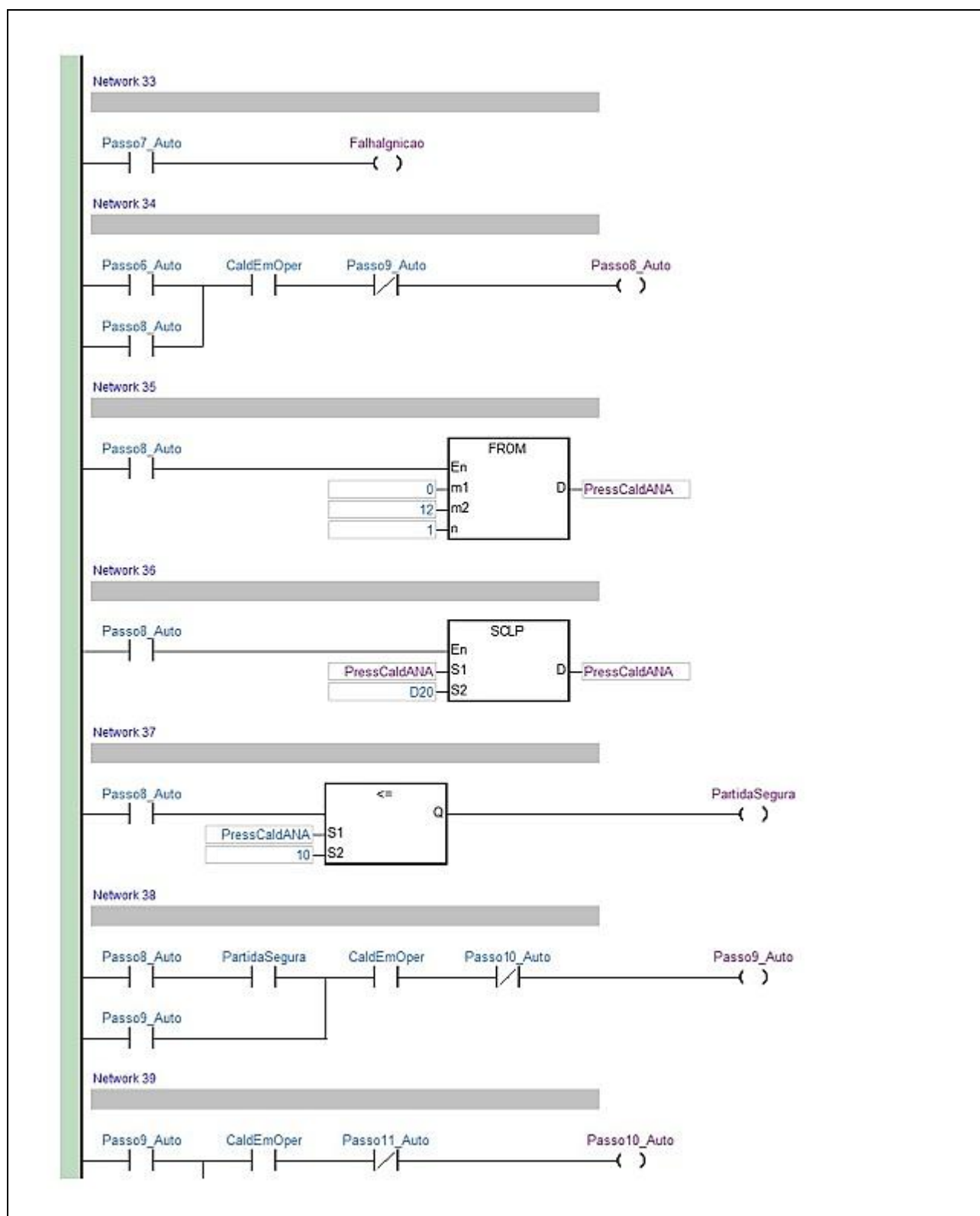


Figura 39. Código fonte (networks 33-39).

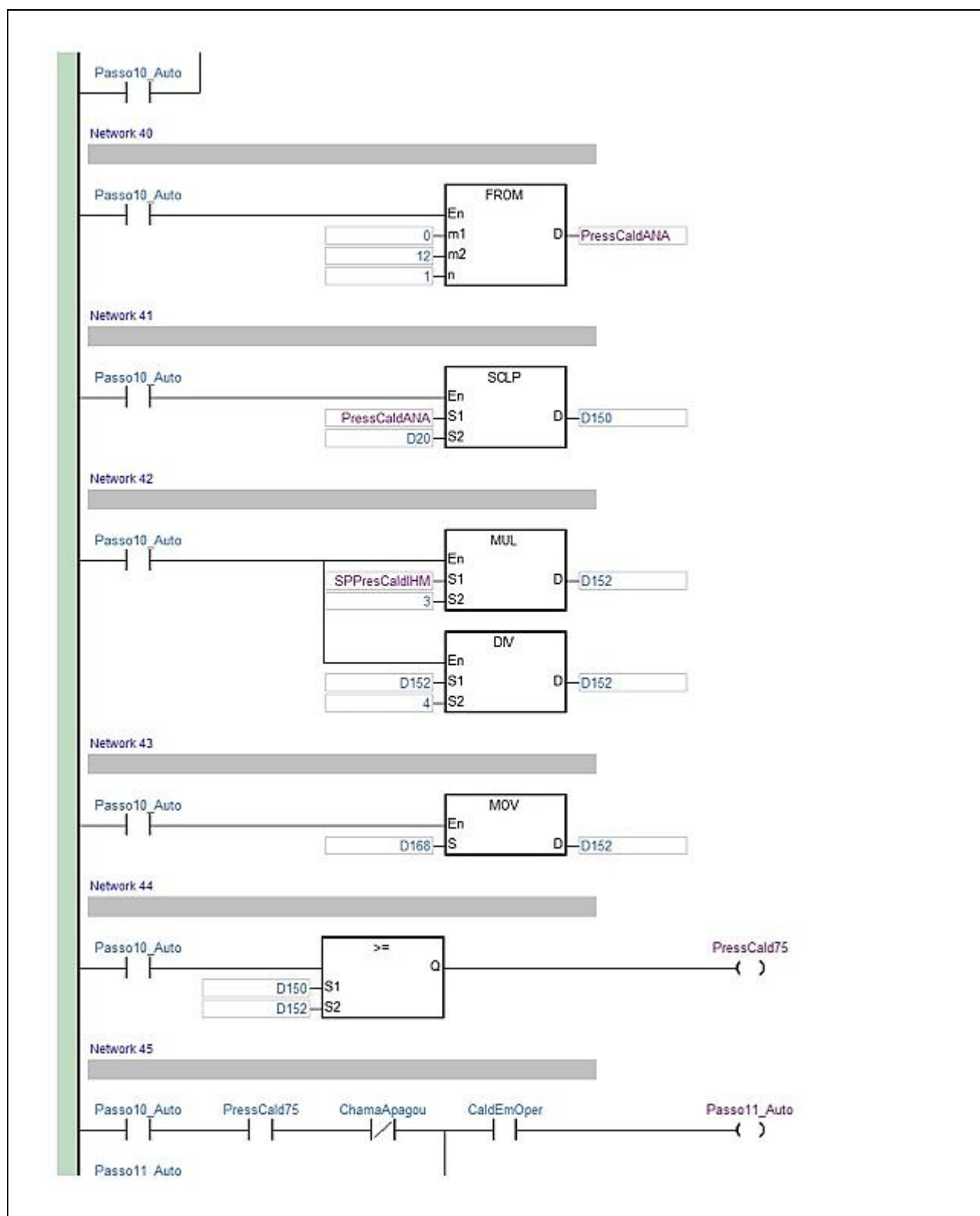


Figura 40. Código fonte (networks 34-45).

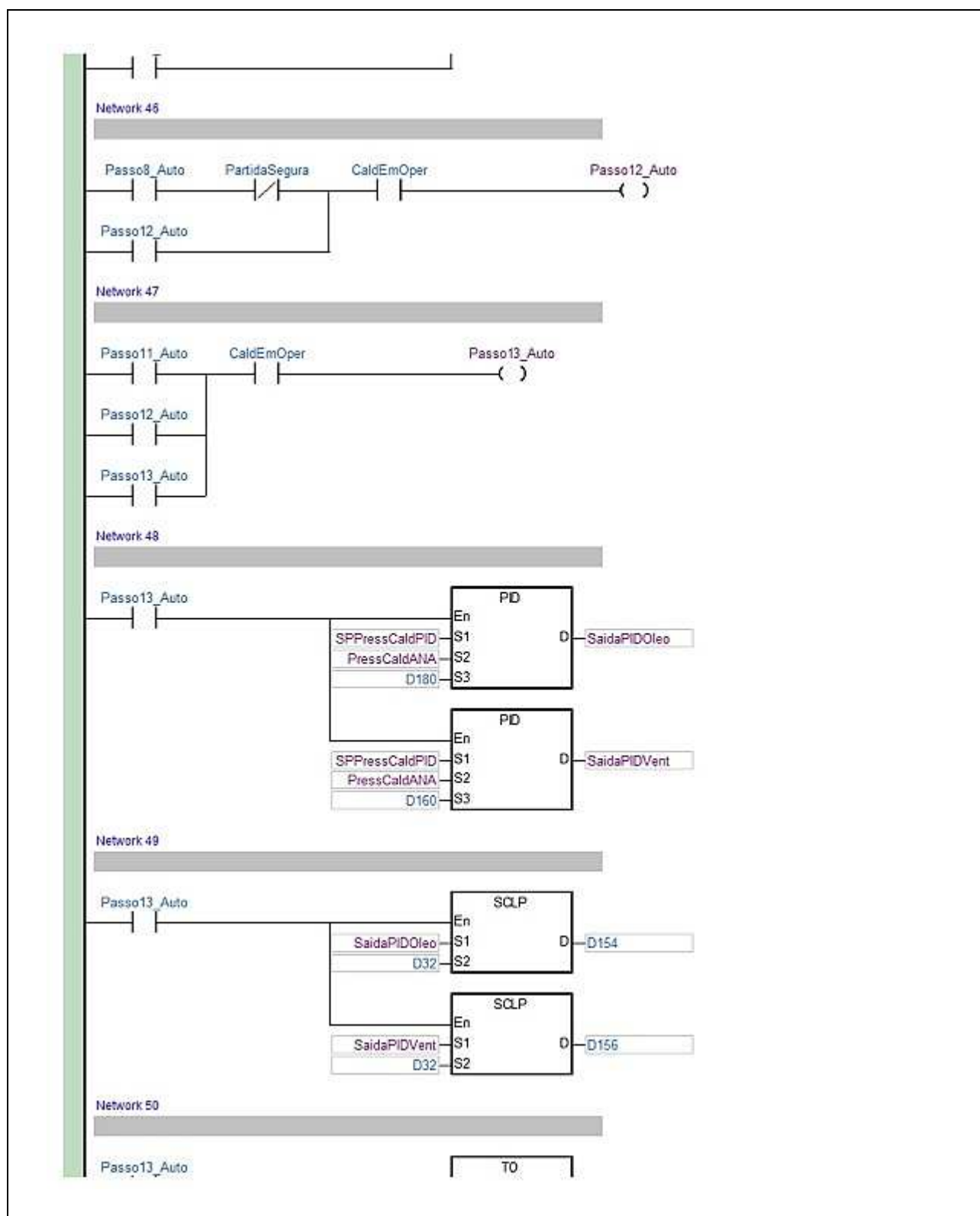


Figura 41. Código fonte (networks 46-50).

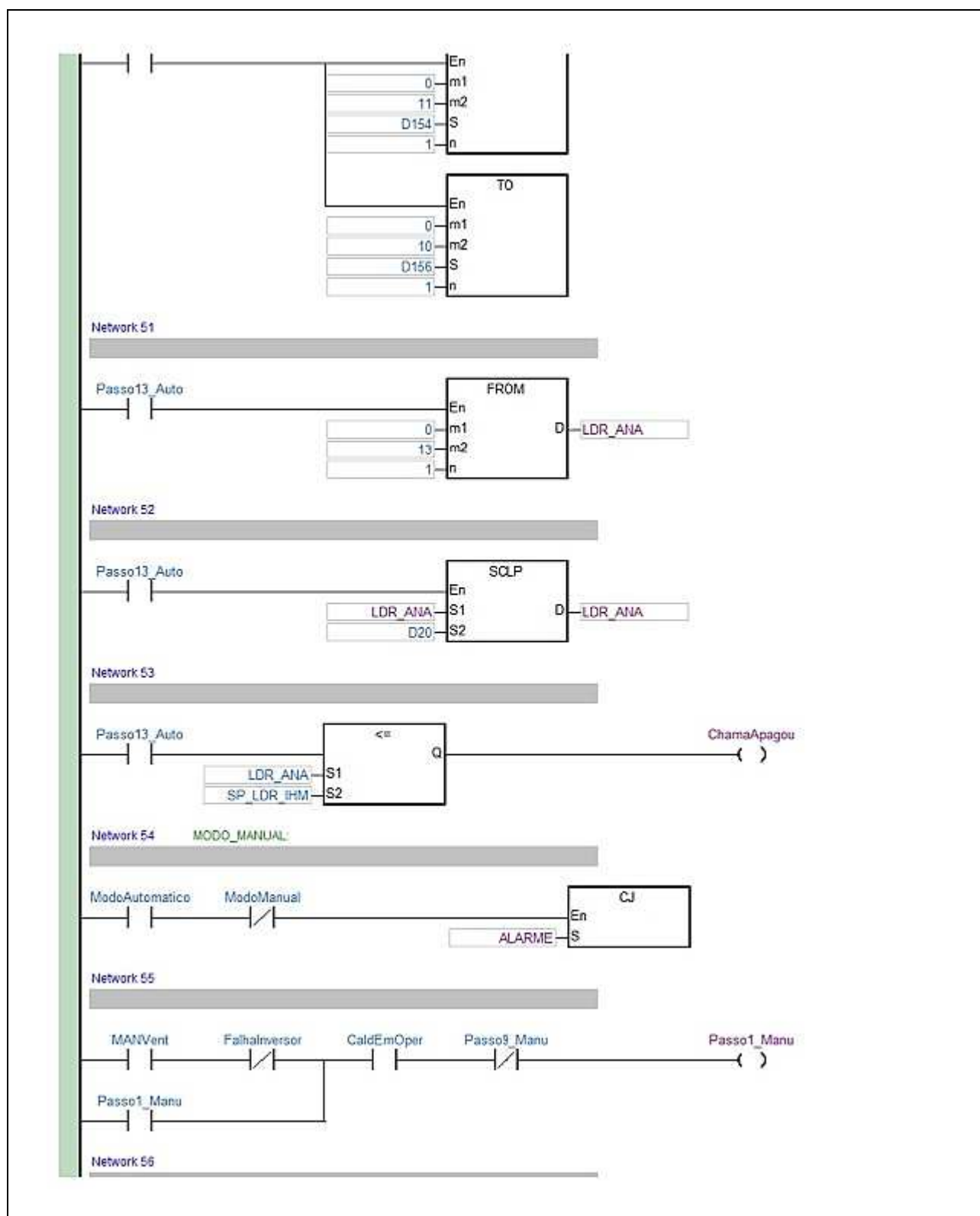


Figura 42. Código fonte (networks 51-56).

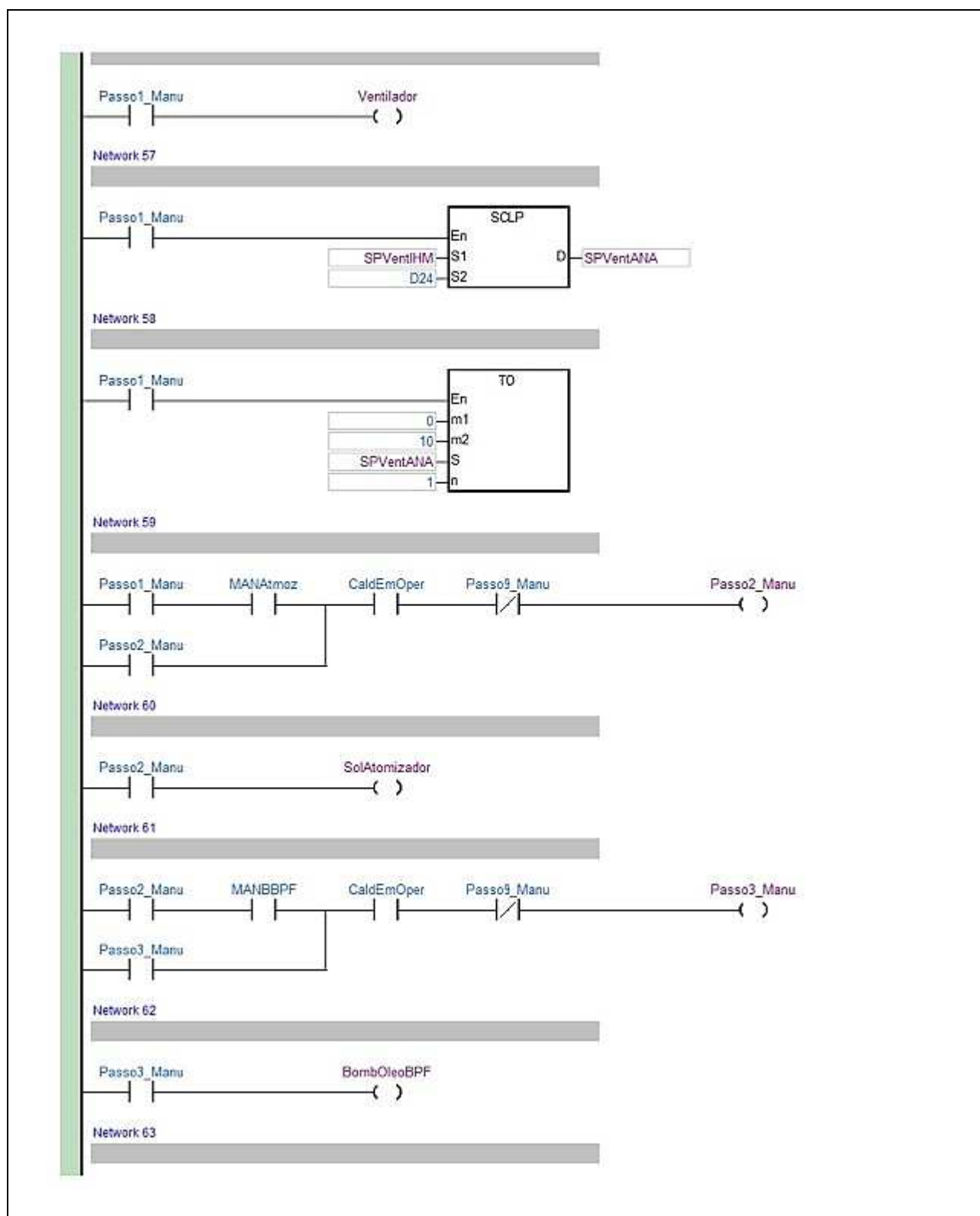


Figura 43. Código fonte (networks 57-63).

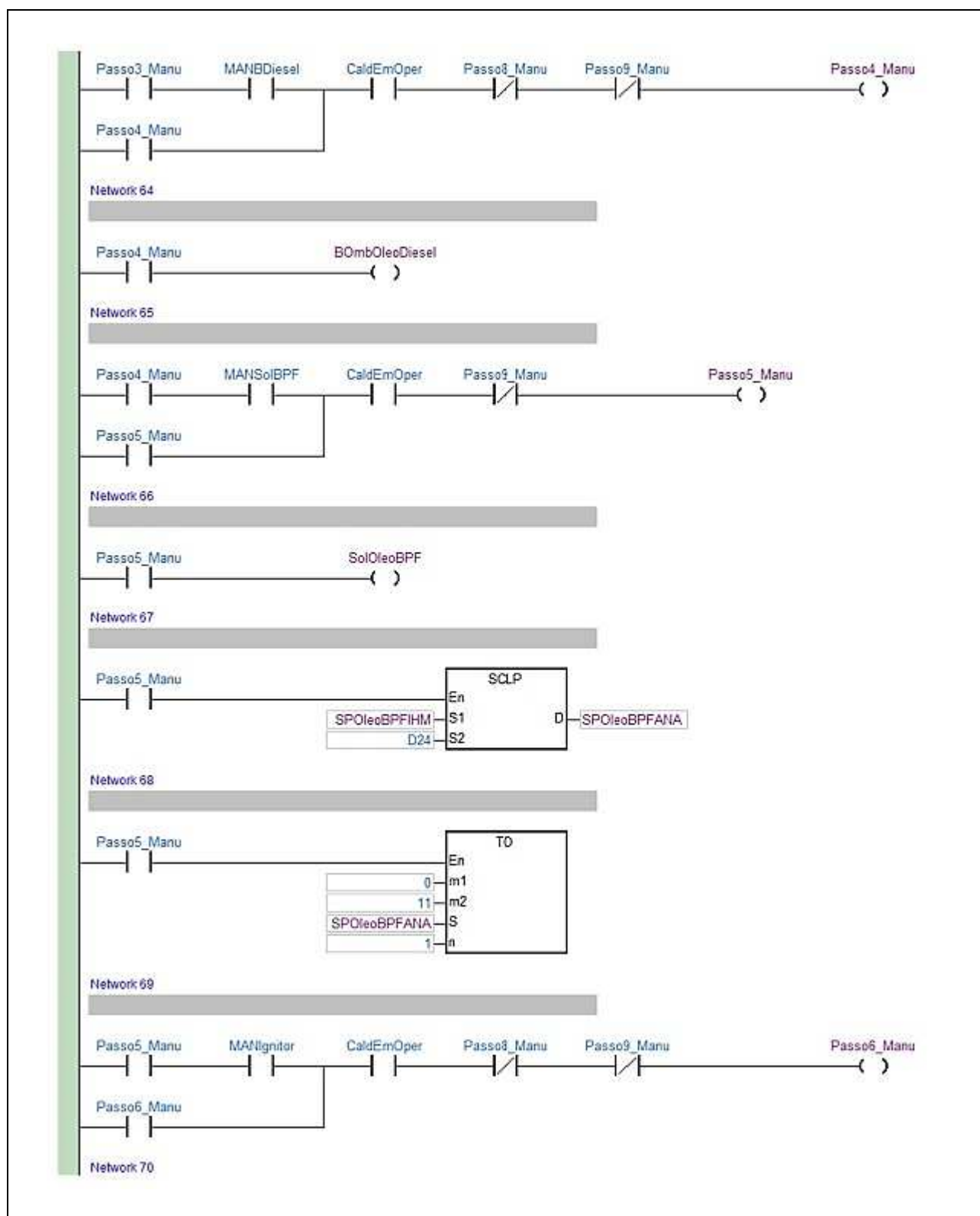


Figura 44. Código fonte (networks 64-70).

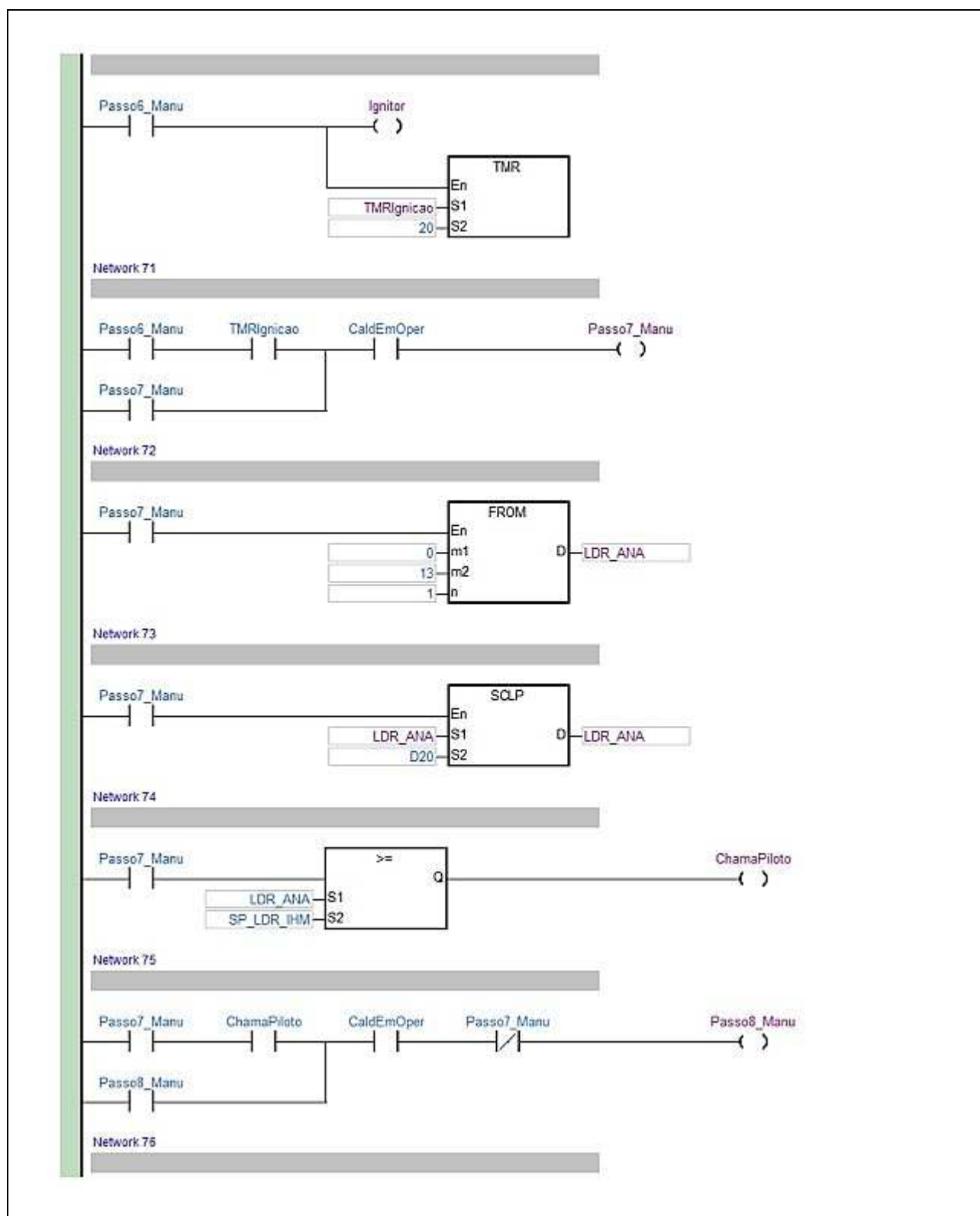


Figura 45. Código fonte (networks 71-76).

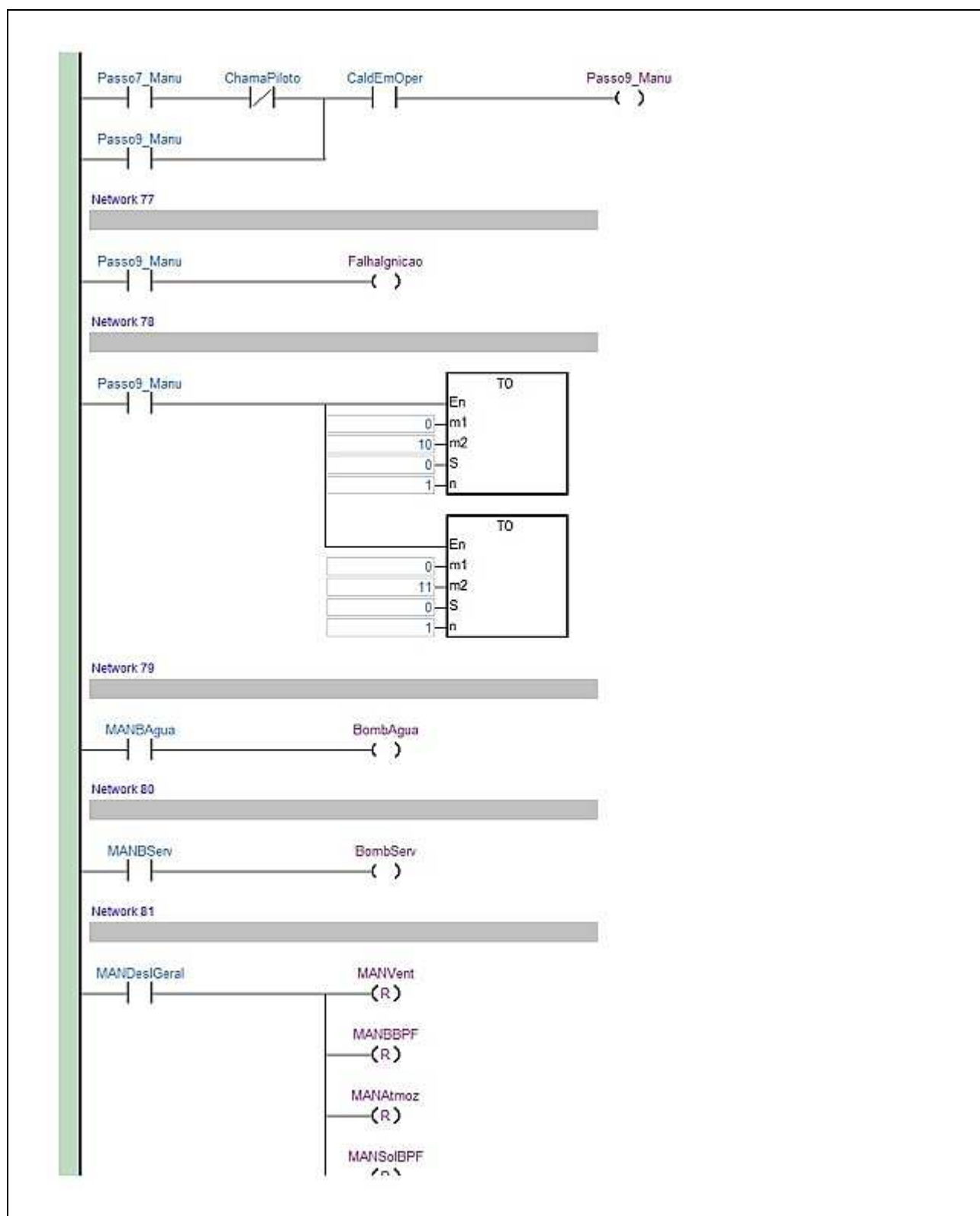


Figura 46. Código fonte (networks 77-81).

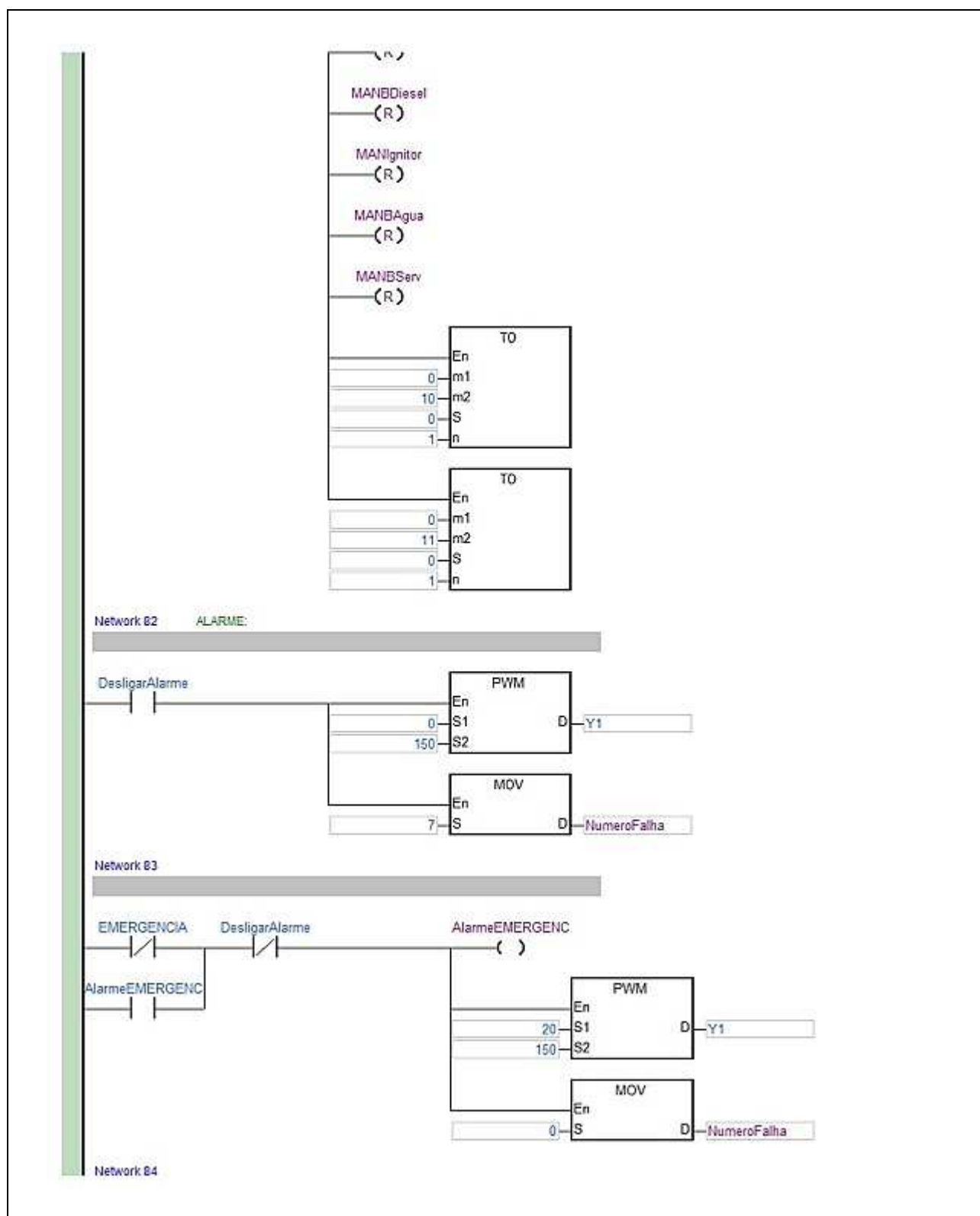


Figura 47. Código fonte (networks 82-84).

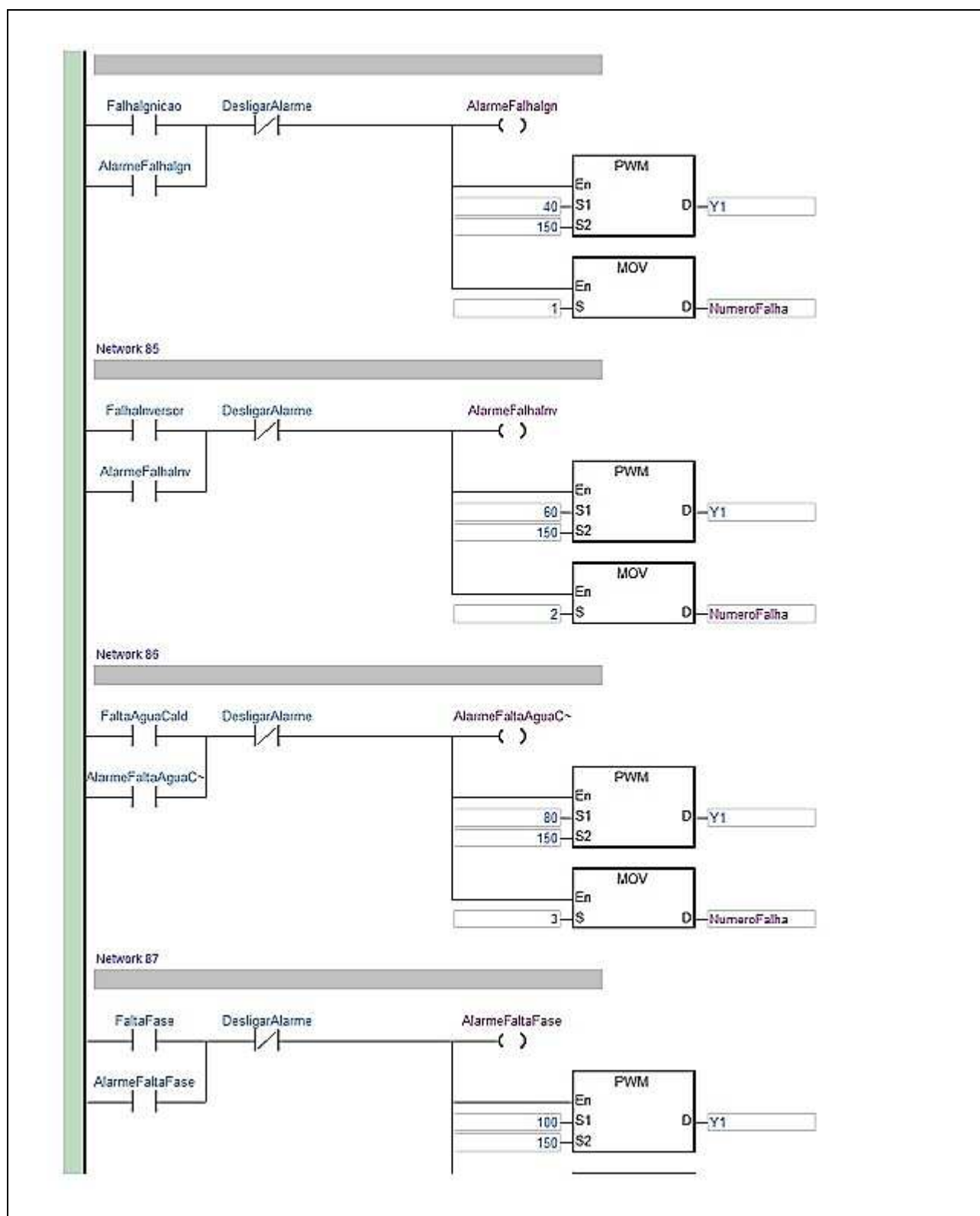


Figura 48. Código fonte (networks 85-87).

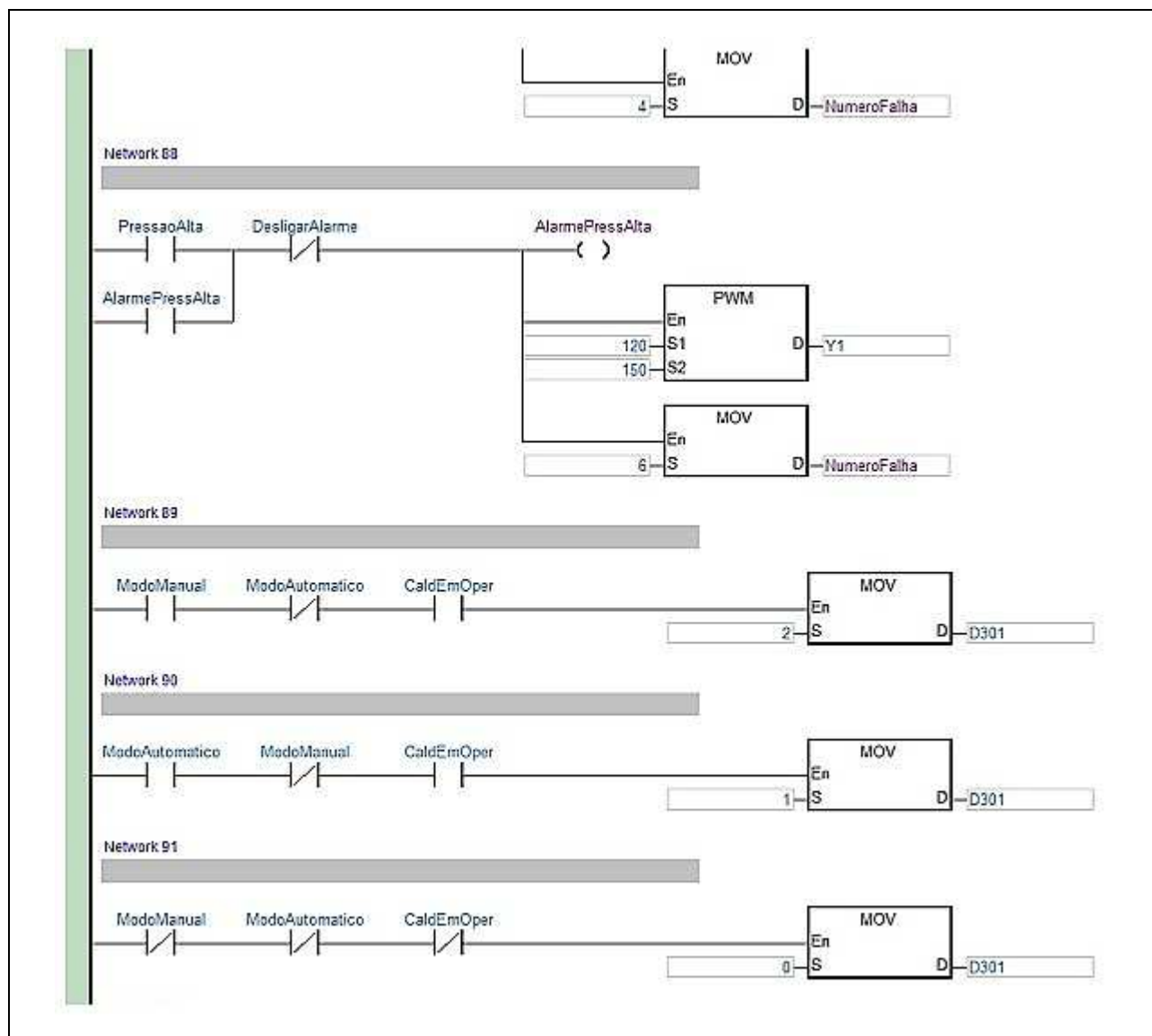


Figura 49. Código fonte (networks 88-91).

APÊNDICE B – TELAS DA IHM

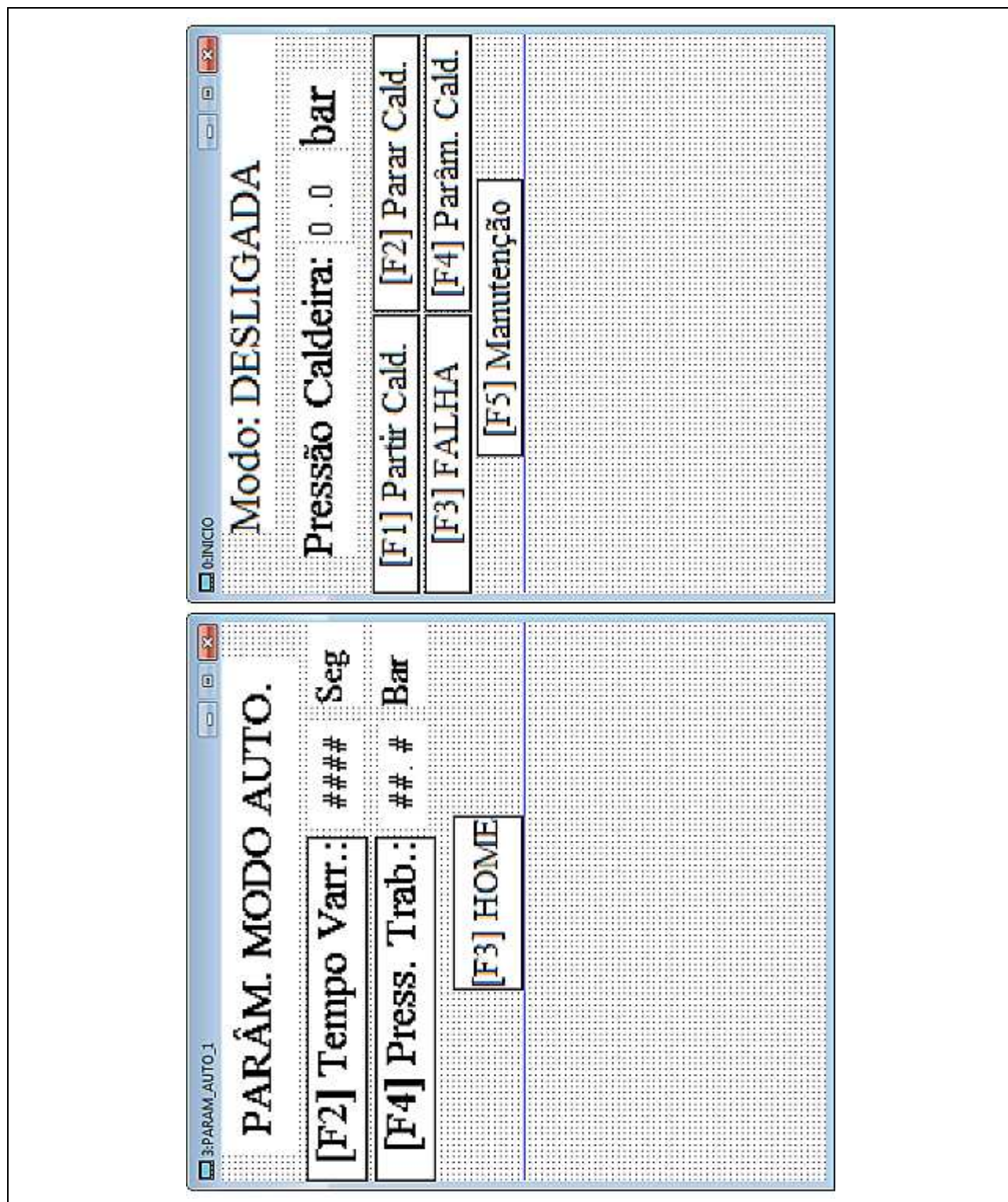


Figura 50. Tela inicial (imagem superior) e tela de ajuste dos parâmetros de operação em modo automático (imagem inferior).

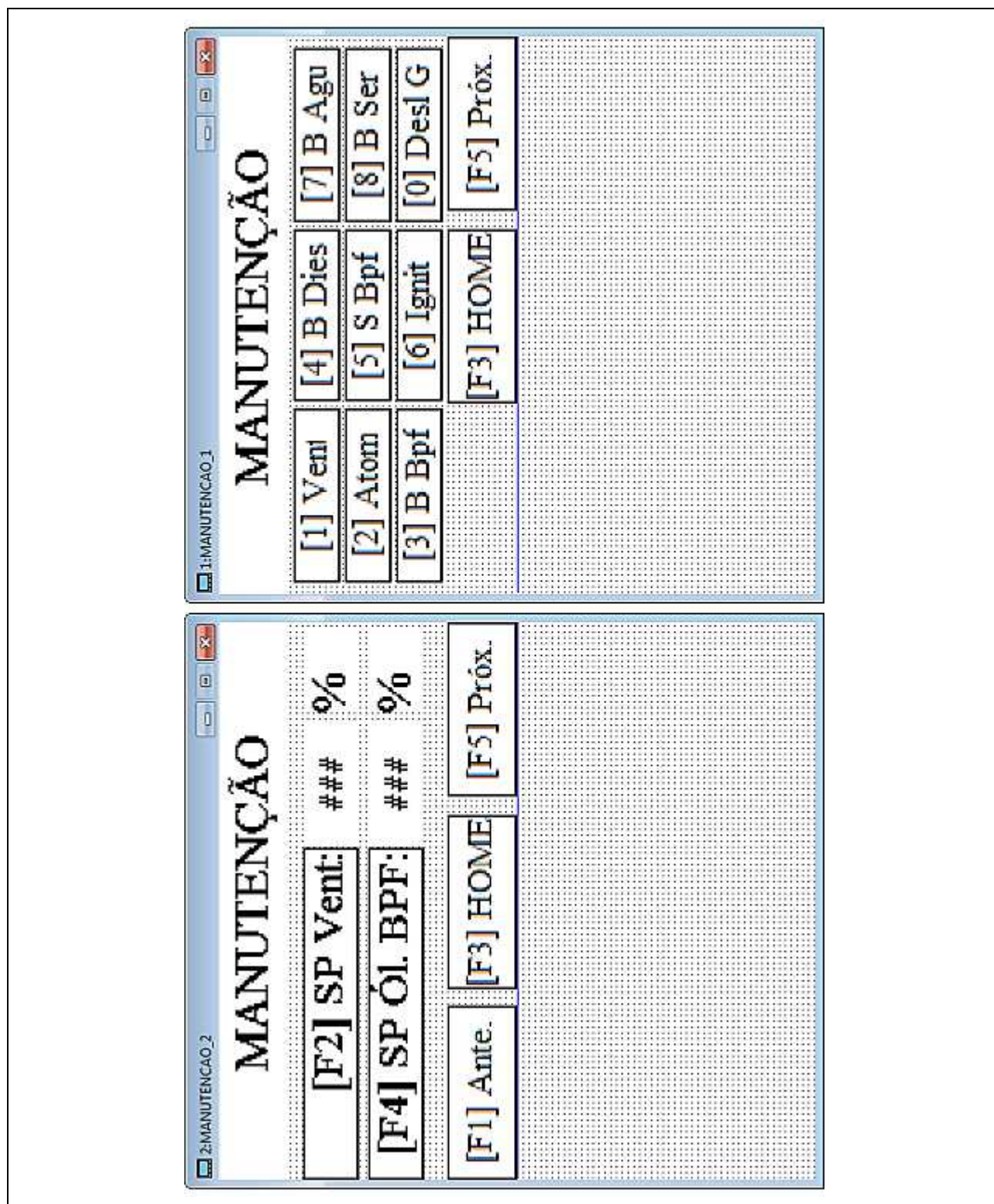


Figura 51. Tela de acionamento manual das partes da caldeiras (imagem superior) e primeira tela de ajuste dos parâmetros de operação em modo manual (imagem inferior).

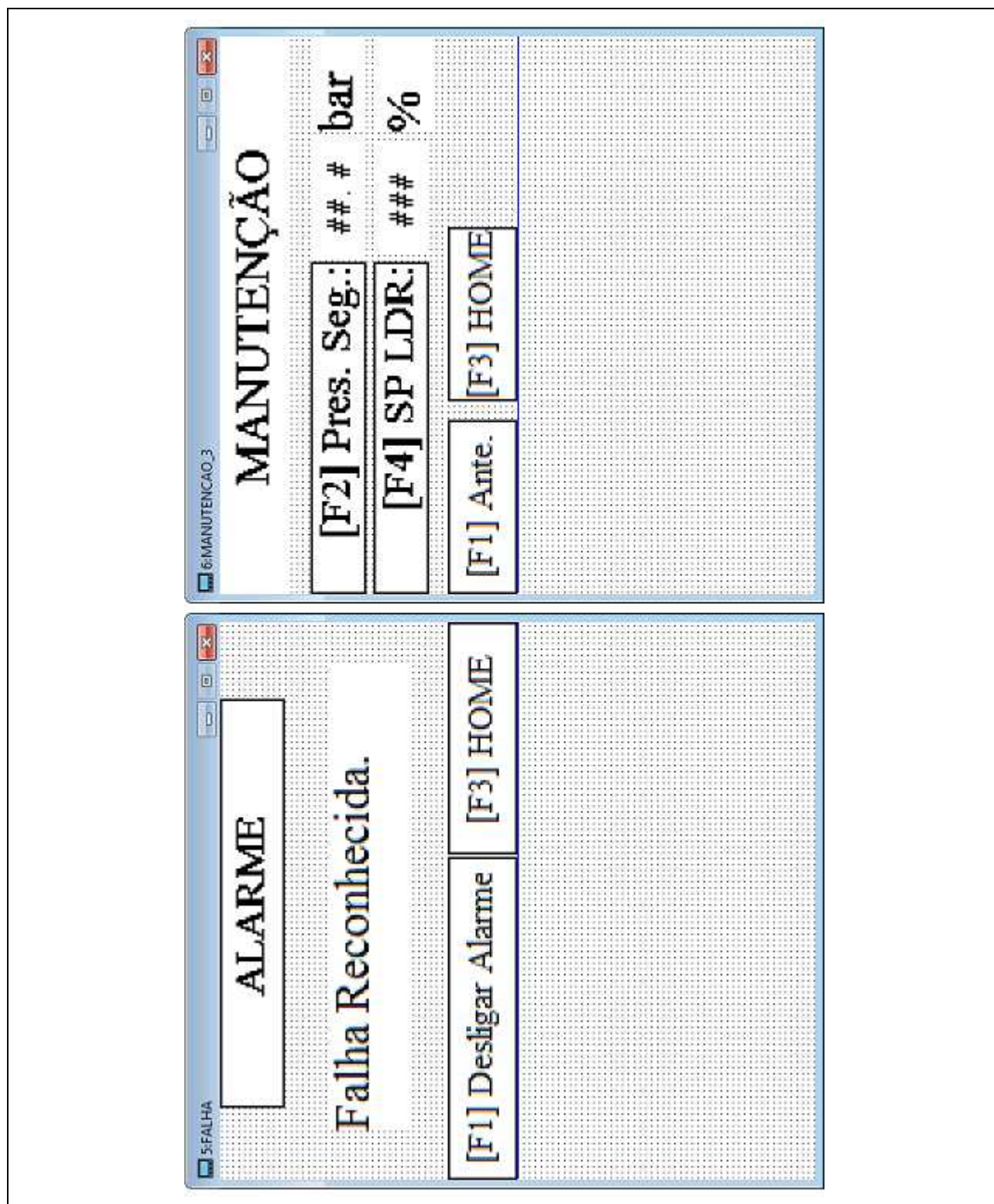


Figura 52. Segunda tela de ajuste de parâmetro de operação em modo manual (imagem superior) e tela de visualização e reconhecimento de falhas (imagem superior).