



**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA  
(Real Academia de Artilharia Fortificação e Desenho - 1792)**

**CARLOS EDUARDO CURSINO BATISTA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA PARA AS  
SUBESTAÇÕES DO IME UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO  
PROGRAMÁVEL**

**Rio de Janeiro**

**2014**

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**CARLOS EDUARDO CURSINO BATISTA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA PARA AS  
SUBESTAÇÕES DO IME UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO  
PROGRAMÁVEL**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito para obtenção de graduação.

Orientador:  
Prof. Sandro Santos de Lima, M.Sc

**Rio de Janeiro**

**2014**

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmар ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

621.3	Batista, Carlos Eduardo Cursino
B333d	Desenvolvimento de um sistema de segurança para as subestações do IME utilizando controlador lógico programável / Carlos Eduardo Cursino Batista; orientado por Sandro Santos de Lima – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2014.
	55p. : il
	Projeto de Final de Curso (PROFIC) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2014.
	1. Engenharia elétrica – Projeto de Final de Curso. 2. Energia elétrica. 3. Controlador lógico programável. I. Lima, Sandro Santos de. II. Título. III. Instituto Militar de Engenharia.

**INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA**

**Ten CARLOS EDUARDO CURSINO BATISTA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEGURANÇA PARA  
AS SUBESTAÇÕES DO IME UTILIZANDO CONTROLADOR LÓGICO  
PROGRAMÁVEL**

Projeto de Fim de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia, como requisito para obtenção de graduação.

Orientador: Prof Sandro Santos de Lima, M.Sc.

Aprovado em 2014 pela seguinte Banca Examinadora:

---

Prof Sandro de Santos Lima, M.Sc, do IME

---

Prof Claudio Canto dos Santos, M.Sc, do IME

---

Prof Eumir Vergara Salgado, M.Sc, do IME

Rio de Janeiro

2014

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por todo o apoio e pelo amor incondicional demonstrados durante toda a minha vida, bem como por todo o incentivo necessário para seguir o rumo dos estudos e do trabalho. Devo tudo o que sou a vocês. Fora Deus, são tudo de mais importante na minha vida. Palavras não são suficientes, mas duas são primordiais quando penso em vocês: Muito Obrigado.

Ao meu orientador, Sandro de Santos Lima, por toda orientação e dedicação com a finalidade de transmitir o conhecimento, que é notório que possui, e, desse modo, me ajudar a realizar este Projeto de Fim de Curso.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1	Objetivo	7
1.2	Justificativa	8
1.3	Metodologia	8
1.4	Estrutura do Trabalho	8
<b>2</b>	<b>SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>	<b>10</b>
2.1	Tipos de Subestação	10
2.2	Principais equipamentos de uma Subestação	10
2.2.1	Transformadores de Força	10
2.2.2	Transformadores de Potencial	12
2.2.3	Transformadores de Corrente	12
2.2.4	Chaves Seccionadoras	12
2.2.5	Disjuntores	13
2.2.6	Pára-Raios	14
2.2.7	Resistências de Aterramento	15
<b>3</b>	<b>CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL</b>	<b>20</b>
3.1	Arquitetura de um Controlador Lógico Programável	17
3.2	Funcionamento de um Controlador Lógico Programável	17
3.3	Características de um Controlador Lógico Programável	18
3.4	A linguagem Ladder	18
3.5	O Controlador Lógico Programável utilizado	19
<b>4</b>	<b>LEGISLAÇÃO NO BRASIL</b>	<b>22</b>
4.1	A Norma Regulamentadora 10	24
4.2	Normas Técnicas relevantes para o projeto	25
<b>5</b>	<b>PROPOSTA DE SOLUÇÃO</b>	<b>27</b>
5.1	O problema	27
5.2	Quesitos de Segurança	27
5.3	Algoritmo desenvolvido para a Célula Simples	28
5.4	Algoritmo desenvolvido para as Subestações do IME	29
<b>6</b>	<b>ESTUDO DA LÓGICA DO SISTEMA</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO NA SUBESTAÇÃO</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>52</b>

## RESUMO

O presente trabalho constitui-se de estudo e desenvolvimento de um sistema de segurança utilizando um Controlador Lógico Programável (CLP) para as subestações do Instituto Militar de Engenharia (IME), a fim de evitar energizações indevidas no momento em que estiver ocorrendo uma manutenção nas subestações.

Para isso serão feitas incursões nos temas de subestações elétricas, dos Controladores Lógico Programáveis, na legislação que regula as normas de segurança no país e, posteriormente, será desenvolvido um sistema de segurança na linguagem Ladder para aplicações em CLPs que garanta a segurança do operador o qual estiver realizando a manutenção nas subestações do IME. Por fim, serão discutidos os requisitos necessários para a implementação de tal sistema nas subestações do IME.

**Palavras chave:** Subestação, eletricidade, segurança, CLP, manutenção.

## **ABSTRACT**

The present work aims to study and develop a safety system using a Programmable Logic Controller (PLC) to the Military Institute of Engineering (IME) substations, in order to avoid undue energizing during the substations maintenance.

Several themes will be covered such as electrical substations, Programmable Logic Controller, Brazil's standard safety laws and, subsequently, will be developed a safety system using Ladder programming language for applications in PLC's that will ensure safety for the operator during IME's substation maintenance. Finally, will be discussed the requirements needed to the system's implementation within IME's substations

**Keywords:** Substation, electricity, safety, PLC, maintenance.

## **1. INTRODUÇÃO**

As subestações têm função importante no sistema elétrico, pois viabilizam a transmissão de energia elétrica. Estão presentes ao longo das linhas de transmissão e em instalações de grande porte.

Empresas fabricam, atualmente, subestações modulares, que possuem a seguinte característica: apresentam ligações simples e sua manutenção é realizada por técnicos especializados. Tais características garantem uma maior efetividade das instalações elétricas.

Entretanto, as subestações que operam com um grande fluxo de potência ainda encontram certa resistência à migração para o modelo modular, pois são de forma geral, subestações de grande porte e muito antigas, com todo o equipamento já instalado.

Nas subestações que ainda adotam o modelo padrão, há a necessidade do operador, que não é, em sua maioria, tão especializado quanto os técnicos que realizam a manutenção nas subestações modulares, tomar os devidos cuidados quando for realizar instalações ou procedimentos de manutenção.

Por se tratar de um sistema com alta taxa de letalidade (especialmente quando em médias e altas tensões), os procedimentos de manutenção admitem pouquíssimas falhas.

Assim, na presente pesquisa foi desenvolvido um sistema de controle de manobras que evitará manobras que atentem contra a segurança, valendo-se de testes realizados em um controlador lógico programável (CLP) do modelo TP02-20MR, da WEG S.A. Além disso, será desenvolvido um sistema de iluminação que permita ao operário visualizar se determinada área a ser mantida está segura ou não.

### **1.1 Objetivo**

A presente pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de controle de atuação de chaves e disjuntores que garanta segurança ao operário que irá realizar manutenção nas subestações do IME. Além disso, buscar alternativas para que essa solução seja viável do ponto de vista financeiro.

## **1.2 Justificativa**

Apesar dos avanços tecnológicos em equipamentos e na legislação que rege a segurança no trabalho, com a existência de diversas normas regulamentadoras, os acidentes no trabalho continuam a existir e fazer diversas vítimas.

Segundo estudos da Fundação COGE (Comitê de Gestão Empresarial), ocorreram 67 acidentes fatais diretamente ligados ao sistema elétrico no ano de 2012 (Análise de Acidentes, 2014, Tipo de Acidente Pessoal).

Portanto, a justificativa da presente pesquisa se dá pelo motivo de procurar minimizar acidentes ligados ao processo de manutenção de subestações, visto que estão associados valores de tensão elevados, aumentando o percentual de letalidade dos acidentes.

## **1.3 Metodologia**

Este trabalho visa adquirir conhecimentos de subestações elétricas, dos Controladores Lógico Programáveis e da legislação vigente que regula as normas de segurança no país, principalmente a norma que regula a segurança em instalações elétricas no Brasil. Posteriormente, será desenvolvido um sistema de controle em linguagem Ladder o qual realizará a segurança nas subestações do IME. Testes serão realizados de modo a garantir a eficiência do programa e a segurança do operador. Por fim, serão apresentados os requisitos necessários para implementação do sistema de segurança nas subestações do IME.

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

A monografia será dividida nos seguintes capítulos: 1-Introdução, 2-Subestação Elétrica, 3-Controlador Lógico Programável, 4-Legislação no Brasil, 5-Proposta de Solução, 6-Estudo da Lógica do Sistema Utilizado, 7-Implementação nas Subestação do IME e 8-Conclusão.

Os capítulos referentes à subestação elétrica, ao controlador lógico programável e à legislação no Brasil têm como função descrever o ambiente no qual será inserida a solução proposta, tanto teoricamente como legalmente.

No capítulo Subestação Elétrica, será apresentado o conceito de subestação elétrica, descrevendo o porquê de seu uso, os elementos que a compõe e os procedimentos de manutenção desta instalação.

No capítulo Controlador Lógico Programável, serão expostos os componentes do controlador, suas características e aplicações, a linguagem Ladder e o funcionamento deste equipamento.

O capítulo de Legislação no Brasil tem como finalidade descrever, historicamente, os progressos obtidos no que tange ao campo de leis do trabalho e também apresentar a Norma Regulamentadora 10, que regula os serviços na área de eletricidade. Além disso, citar as normas técnicas que regulam os campos que abordam este projeto, de modo a garantir que a solução esteja embasada tecnicamente.

No capítulo Solução Proposta, será apresentado o problema do estudo de caso, a lógica que levou à proposta e o algoritmo utilizado.

No capítulo Estudo da Lógica do Sistema será apresentado o teste da lógica do sistema, onde serão feitos os testes de todas as transições de estado possíveis.

No capítulo Implementação nas Subestações do IME, serão descritos os requisitos necessários para instalação do sistema de segurança nas Subestações do IME.

Na conclusão, será feita a síntese de todo o trabalho, mencionando as dificuldades para a implementação do sistema, bem como a segurança por ele fornecida. Além disso, serão apresentadas as possibilidades de trabalhos futuros, aproveitando o que foi realizado nesse projeto.

## **2 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Uma subestação de energia elétrica é uma instalação elétrica que recebe a energia em média ou alta tensão com funções de manobra, medição, proteção ou transformação.

### **2.1 Tipos de Subestação**

Uma classificação inicial de subestações as divide em:

- ✓ Abertas, ou;
- ✓ Blindadas.

As subestações abertas podem ser classificadas, quanto ao seu aspecto construtivo, em:

- ✓ Subestações ao tempo, ou;
- ✓ Subestações abrigadas.

As subestações de instalação ao tempo são aquelas em que os equipamentos ficam sujeitos às intempéries, necessitando, desse modo, uma maior frequência de manutenção. Por outro lado, as subestações abrigadas são as que têm seus equipamentos instalados ao abrigo do tempo, por exemplo, um prédio exclusivo, havendo uma maior proteção desses equipamentos.

Já as subestações blindadas são classificadas em:

- ✓ Blindada convencional, ou;
- ✓ Blindada compacta.

As subestações blindadas possuem um arranjo eletromecânico cujos elementos de manobra, medição e proteção são montados em compartimentos metálicos blindados. Pode ser do tipo convencional ou compacta, isolada a ar ou a gás. É indicada como padrão para atendimento de instalações de caráter definitivo.

### **2.2 Principais equipamentos de uma Subestação**

#### **2.2.1 Transformadores de Força**

Equipamento de operação estática que por meio de indução eletromagnética transfere energia de um circuito, mantendo a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes. São utilizados para transmissão, geração e distribuição de energia elétrica em concessionárias ou subestações.

Permitem a transmissão de energia elétrica de um modo eficiente, pois por meio da elevação de tensão que podem proporcionar, a transmissão de energia por longas distâncias tornou-se mais viável, já que é feita com menos perdas.

Os transformadores de força típicos são constituídos, basicamente, por um núcleo ferromagnético e dois enrolamentos, chamados de primário e secundário. Um exemplo de transformador de força é apresentado na FIG 2.2.1.



*FIG 2.2.1.1 – Transformador de Força (NEI, 2014)*

A corrente primária, quando se tratando de uma corrente alternada, faz variar o fluxo magnético dentro do núcleo ferromagnético. Essa variação de fluxo causa uma tensão induzida nos terminais do secundário do transformador, gerando uma corrente.

As principais perdas do transformador estão relacionadas ao seu aquecimento (Efeito Joule) e à necessidade de uma pequena corrente de magnetização, a fim de alcançar o ponto de saturação da curva de histerese.

### **2.2.2 Transformadores de Potencial**

Os transformadores de potencial são equipamentos com a finalidade reduzir o nível de tensão para quantidades compatíveis com a alimentação de medidores e relés, para garantir a medição ou proteção de uma determinada instalação elétrica

O enrolamento primário de um transformador de potencial contém um número de espiras muito maior do que o número de espiras no secundário. Isto faz com que a tensão no secundário seja muito menor. O que permite que a medição e a proteção sejam realizadas sem necessidade de grande aumento de isolamento dos seus componentes.

### **2.2.3 Transformadores de Corrente**

Possui funcionamento semelhante ao transformador de potencial, bem como ao transformador de força. A diferença reside no fato de haver um número diferente de enrolamentos e da potência transferida ser muito menor.

O enrolamento primário de um transformador de corrente contém um número de espiras muito maior do que o número de espiras no secundário. Isso garante que a corrente alta que flui no primário é reduzida pela ação do transformador, repassando ao secundário uma corrente de menor magnitude.

Os transformadores de corrente são utilizados, principalmente, para alimentar equipamentos de medição e equipamentos que atuam na proteção.

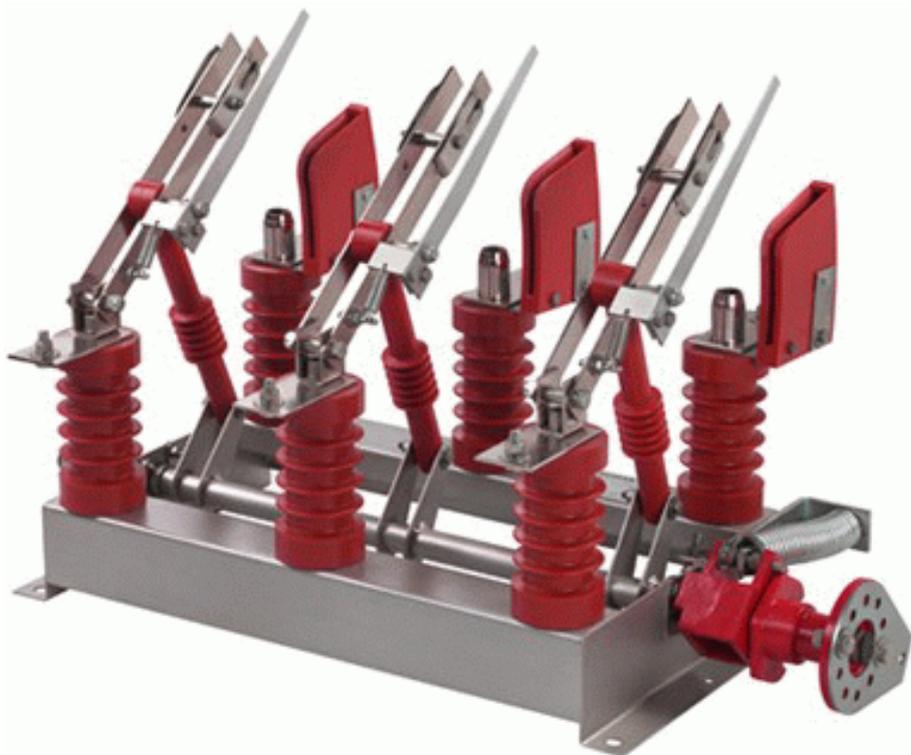
### **2.2.4 Chaves Seccionadoras**

As chaves seccionadoras (FIG 2.2.4.1) são equipamentos utilizados na secção dos circuitos em uma subestação, linha ou rede de distribuição e são caracterizadas como elementos de manobra;

Um aspecto relevante é que as chaves seccionadoras não podem ser abertas em cargas, exceto as que são devidamente projetadas para abertura em carga.

Podem ser construídas com um só pólo (unipolares) ou com três pólos (tripolares). As unipolares são geralmente utilizadas em Redes de Distribuição. Já as tripolares são, geralmente, utilizadas em Subestações.

Os tipos construtivos das chaves permitem a verificação visual, por parte do operador, de seu estado efetivo. Isto é, o operador sabe a situação do circuito pela simples visualização física da chave. Seu acionamento pode ser feito manualmente ou por meio de motores. Para o presente projeto, considerou-se o tipo de chave existente nas subestações do IME, ou seja, chaves manuais.



*FIG 2.2.4.1 – Chave Seccionadora (EE, 2014)*

## **2.2.5 Disjuntores**

Os disjuntores (FIG 2.2.5.1) são equipamentos de proteção do circuito, destinados a interromper e energizar circuitos, sob condições normais e anormais. Podem ter sua atuação realizada por condições térmicas ou eletromagnéticas. A atuação térmica se dá pela dilatação de uma chapa bimetálica no interior do

disjuntor, composta por dois materiais diferentes e que, com o aquecimento, enverga e abre o circuito. Já a atuação eletromagnética se dá pela atuação de uma bobina que, na presença de uma corrente alta como a de curto-circuito, aciona uma mola e abre o circuito. Deve-se atentar, principalmente, para os disjuntores instalados em subestações externas, pois estes ficam expostos às intempéries por um longo tempo. Contudo, devem manter seu mecanismo de atuação em condições de ser acionado a qualquer momento de forma segura. Os tipos mais comuns encontrados no mercado são:

- ✓ Disjuntores a grande volume de óleo (GVO);
- ✓ Disjuntores a pequeno volume de óleo (PVO);
- ✓ Disjuntores de hexafluoreto de enxofre (SiF6);
- ✓ Disjuntores a ar comprimido, e;
- ✓ Disjuntores a vácuo.



*FIG 2.2.5.1 – Disjuntor de Baixa Tensão (NEI, 2014)*

## **2.2.6 Pára-Raios**

O para-raios (FIG 2.2.6.1) é um equipamento destinado a proteção de sistemas elétricos contra sobretensões originadas por descargas atmosféricas (origem externa) ou por manobras de chaves seccionadoras e disjuntores (origem interna);

Este dispositivo deve atuar na presença de um valor de tensão elevado, maior ou igual ao valor conhecido como tensão disruptiva à frequência nominal, descarregando a corrente diretamente para a terra. Os tipos mais utilizados para as subestações são o pára-raios de óxido de zinco e o pára-raios de Óxido de Zinco.

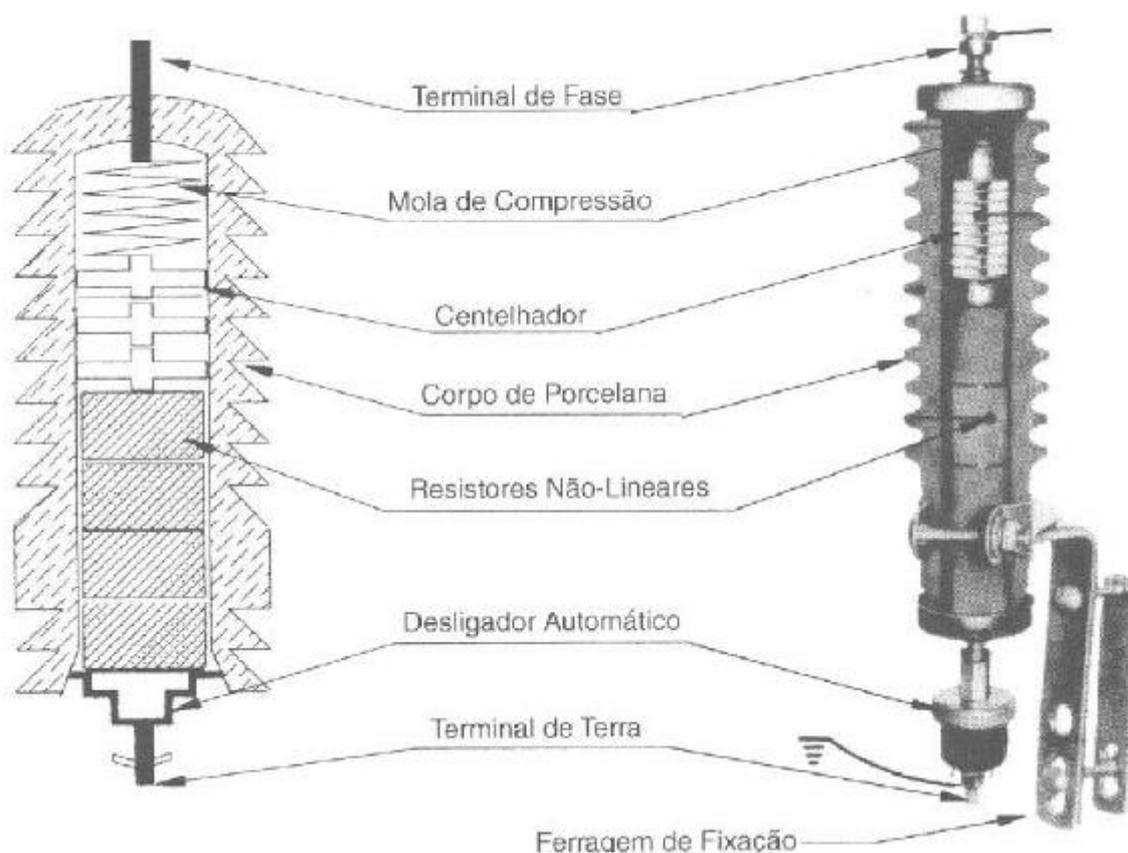
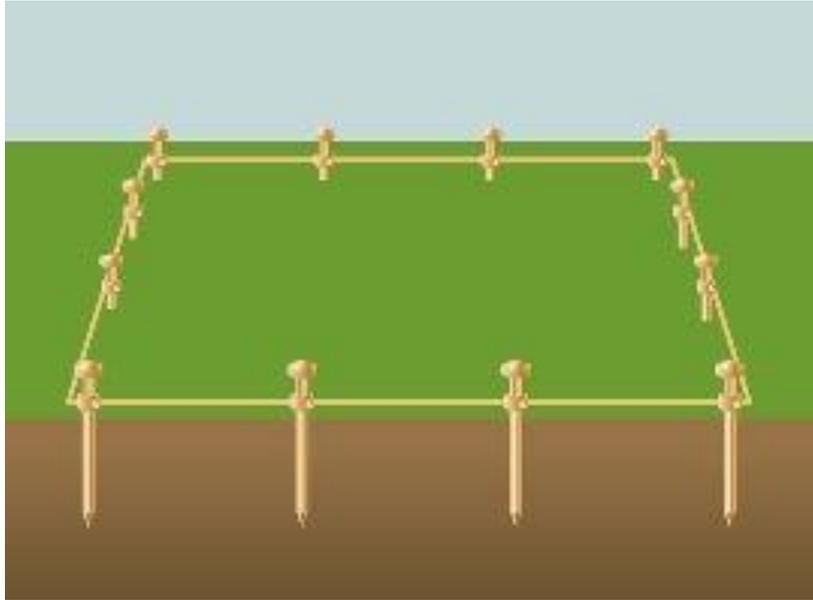


FIG 2.2.6.1 – Pára-Raio (NEI, 2014)

## 2.2.7 Resistências de Aterramento

As resistências de aterramento (2.2.7.1) são implantadas entre o neutro e a terra, de forma a controlar a corrente de curto-circuito e evitar sobretensões, a fim de garantir a segurança dos seres vivos e a proteção de equipamentos. Em diversos casos, há a criação de uma malha de resistências para escoar a corrente.



*FIG 2.2.7.1 – Exemplo de Aterramento (Fluke, 2014)*

### 3 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

#### 3.1 Arquitetura de um Controlador Lógico Programável

Basicamente, um Controlador Lógico Programável consiste de um barramento de dados, um barramento de endereço, um barramento de controle, um processador, dispositivos de entrada e saída e uma memória. A arquitetura simplificada de um CLP é apresentada na FIG3.1.1.

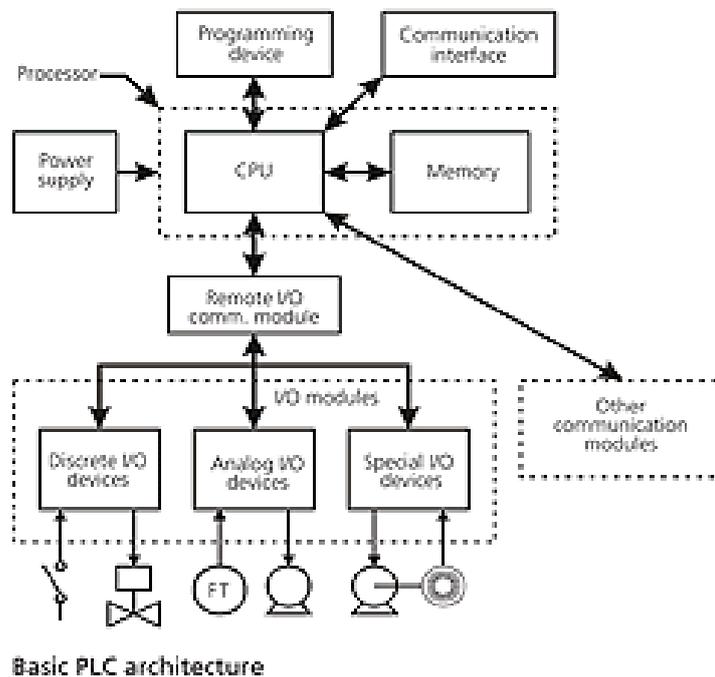


FIG 3.1.1 – Arquitetura Básica de um CLP (Bolton, 2009)

O Controlador pode ainda conter conversores digitais-analógicos, conversores analógico-digitais, drivers amplificadores, clock, controladores seriais, dentre outros elementos.

#### 3.2 Funcionamento de um Controlador Lógico Programável

O funcionamento de um CLP, de maneira simples, é apresentado abaixo:

- ✓ Processador lê a entrada;
- ✓ Processa a entrada de acordo com sua programação;

✓ Processador envia a saída.

O Controlador Lógico Programável é, portanto, um circuito sequencial, onde não importam apenas as entradas daquele instante, mas também o histórico de entradas anterior. Por essa característica, aliada a suas características construtivas, é amplamente empregado no ambiente industrial.

Na FIG 3.2.1 é apresentado o CLP utilizado no trabalho.



*FIG 3.2.1 – CLP utilizado no trabalho*

### **3.3 Características de um Controlador Lógico Programável**

Os CLPs possuem, de forma geral, robustez para enfrentar as mais diversas situações industriais, como alta temperatura, alta pressão, poeira, umidade, frio, etc. Além disso, possuem diversos canais de entrada e saída, podendo trabalhar facilmente com acionamento de motores, cilindros hidráulicos, relés magnéticos, sensores de temperatura, umidade, pressão, etc. Sua grande capacidade de processamento e sua linguagem de fácil utilização são também características que o colocam em condições de superioridade perante os Desktops convencionais.

### **3.4 A linguagem Ladder**

A Lógica Ladder é uma linguagem de programação que representa um programa por um diagrama gráfico com base nos diagramas de circuitos de hardware de relé. Ele é usado principalmente para desenvolver softwares para Controladores Lógicos Programáveis usados em aplicações de controle industrial. O nome é baseado na observação de que os programas nessa linguagem assemelham escadas, com dois trilhos verticais e uma série de degraus horizontais entre eles.

De forma geral, a Linguagem Ladder usa bobinas normalmente abertas e bobinas normalmente fechadas, além de operações lógicas entre elas para produzir as saídas.

### **3.5 O Controlador Lógico Programável utilizado**

Utilizou-se no projeto o Controlador Lógico Programável TP02-20MR, fabricado pela *WEG S.A.*, pois esse estava disponível no Instituto. A sua arquitetura é apresentada na FIG 3.5.1 e este equipamento está retratado na FIG 3.5.2:

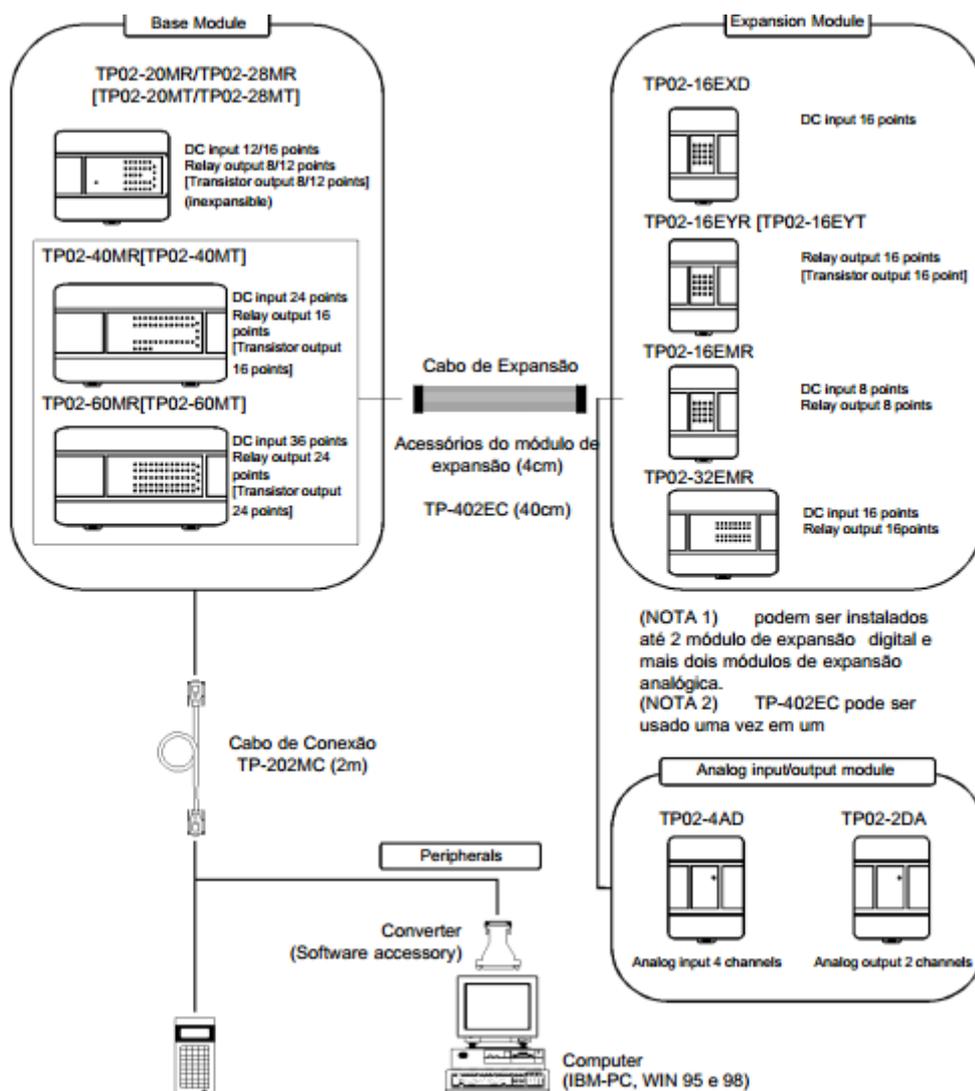
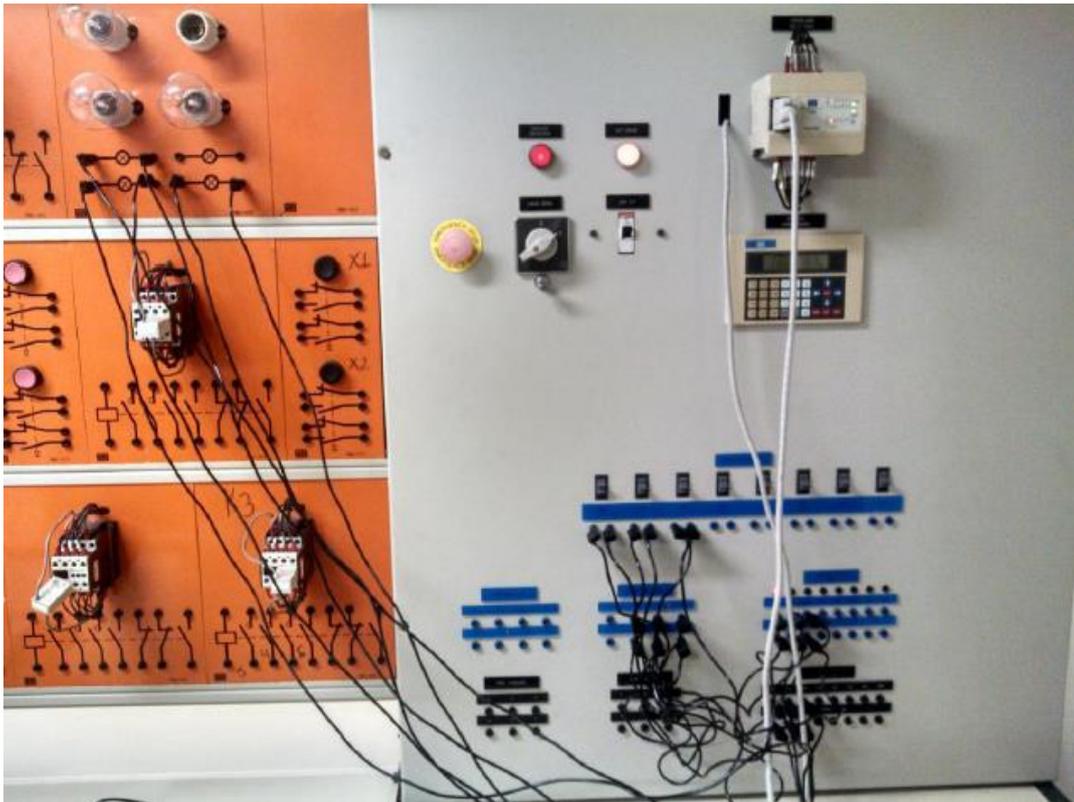


FIG 3.5.1 – Arquitetura do CLP utilizado (WEG, 2014)



*FIG 3.5.2 – Clp utilizado no projeto*

Convém notar que, para emprego da solução aqui proposta, necessita-se de um CLP com mais ramais de entrada e saída que o modelo utilizado.

#### 4. LEGISLAÇÃO NO BRASIL

O Decreto-Lei nº 5452, de 1º de maio de 1943 assinado pelo então presidente da República Getúlio Vargas, aprova a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), a qual estatui as normas que regulam as relações individuais e coletivas de trabalho.

No dia 8 de junho de 1978 foram aprovadas na Portaria nº3.214,8 28 Normas Regulamentadoras com a finalidade de instituir, na forma de lei, os direitos e deveres de empregados e empregadores no âmbito do trabalho. Essas normas são citadas no Capítulo V, título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, porém criadas apenas em 1978.

Foram adicionadas mais 8 Normas Regulamentadoras, posteriormente, contemplando os novos tipos de indústria e também aquelas que não tinham sido envolvidas primeiramente.

As Normas Regulamentadoras ficaram divididas como se segue (Legislação, 2014, Portal do Trabalho e Emprego):

- ✓ NR 01 – Disposições Gerais;
- ✓ NR 02 – Inspeção Prévia;
- ✓ NR 03 – Embargo ou Interdição;
- ✓ NR 04 – Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho;
- ✓ NR 05 – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes;
- ✓ NR 06 – Equipamentos de Proteção Individual (EPI);
- ✓ NR 07 – Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional;
- ✓ NR 08 – Edificações;
- ✓ NR 09 – Programas de Prevenção de Riscos Ambientais;
- ✓ NR 10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade;
- ✓ NR 11 – Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais;
- ✓ NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos;
- ✓ NR 13 – Caldeiras e Vasos de Pressão;
- ✓ NR 14 – Fornos;
- ✓ NR 15 – Atividades e Operações Insalubres;
- ✓ NR 16 – Atividades e Operações Perigosas;

- ✓ NR 17 – Ergonomia;
- ✓ NR 18 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção;
- ✓ NR 19 – Explosivos;
- ✓ NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis;
- ✓ NR 21 – Trabalho a Céu Aberto;
- ✓ NR 22 – Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração;
- ✓ NR 23 – Proteção Contra Incêndios;
- ✓ NR 24 – Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho;
- ✓ NR 25 – Resíduos Industriais;
- ✓ NR 26 – Sinalização de Segurança;
- ✓ NR 27 – Registro Profissional do Técnico de Segurança do Trabalho no MTB;
- ✓ NR 28 – Fiscalização e Penalidades;
- ✓ NR 29 – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho Portuário;
- ✓ NR 30 – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho Aquaviário;
- ✓ NR 31 – Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária Silvicultura, Exploração Florestal e Aquicultura;
- ✓ NR 32 – Segurança e Saúde no Trabalho em Estabelecimentos de Saúde;
- ✓ NR 33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados;
- ✓ NR 34 – Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção e Reparação Naval;
- ✓ NR 35 – Trabalho em Altura, e;
- ✓ NR 36 – Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados.

Destaca-se, para o presente trabalho, a Norma Regulamentadora 10, que trata de segurança em instalações e serviços em eletricidade, a qual será abordada a seguir.

## 4.1 A Norma Regulamentadora 10

A Norma Regulamentadora 10, que trata de Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, é a norma que rege todos os serviços do sistema elétrico brasileiro, sendo auxiliada pelas Normas Regulamentadoras 3, 6, 7, 17, 23 e 26.

Convém notar que, com os avanços das tecnologias e técnicas de engenharia, as normas regulamentadoras também vão se atualizando. A NR 10, por exemplo, tem em seu histórico duas atualizações, datadas de junho de 1983 e de dezembro de 2004.

A solução proposta baseada na presente pesquisa foi concebida visando estar de acordo com as linhas de ação da NR 10, fundamentando-se nos seguintes itens:

- ✓ 10.2.1 Em todas as intervenções em instalações elétricas devem ser adotadas medidas preventivas de controle do risco elétrico e de outros riscos adicionais, mediante técnicas de análise de risco, de forma a garantir a segurança e a saúde no trabalho. (2004, p. 1)
- ✓ 10.2.8.1 Em todos os serviços executados em instalações elétricas devem ser previstas e adotadas, prioritariamente, medidas de proteção coletiva aplicáveis, mediante procedimentos, às atividades a serem desenvolvidas, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores. (2004, p. 2)
- ✓ 10.2.8.2 As medidas de proteção coletiva compreendem, prioritariamente, a desenergização elétrica conforme estabelece esta NR e, na sua impossibilidade, o emprego de tensão de segurança. (2004, p. 2)
- ✓ 10.2.8.2.1 Na impossibilidade de implementação do estabelecido no subitem 10.2.8.2, devem ser utilizadas outras medidas de proteção coletiva, tais como: isolamento das partes vivas, obstáculos, barreiras, sinalização, sistema de seccionamento automático de alimentação, bloqueio do religamento automático. (2004, p. 2)
- ✓ 10.3.1 É obrigatório que os projetos de instalações elétricas especifiquem dispositivos de desligamento de circuitos que possuam recursos para impedimento de reenergização, para sinalização de advertência com indicação da condição operativa. (2004, p. 2)

- ✓ 10.3.2 O projeto elétrico, na medida do possível, deve prever a instalação de dispositivo de seccionamento de ação simultânea, que permita a aplicação de impedimento de reenergização do circuito. (2004, p. 2)
- ✓ 10.3.3 O projeto de instalações elétricas deve considerar o espaço seguro, quanto ao dimensionamento e a localização de seus componentes e as influências externas, quando da operação e da realização de serviços de construção e manutenção. (2004, p. 2)
- ✓ 10.5.1 Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a seqüência abaixo: a) seccionamento; b) impedimento de reenergização; 4 c) constatação da ausência de tensão; d) instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos; e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo I); f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização. (2004, p. 3 e 4)
- ✓ 10.5.3 As medidas constantes das alíneas apresentadas nos itens 10.5.1 e 10.5.2 podem ser alteradas, substituídas, ampliadas ou eliminadas, em função das peculiaridades de cada situação, por profissional legalmente habilitado, autorizado e mediante justificativa técnica previamente formalizada, desde que seja mantido o mesmo nível de segurança originalmente preconizado. (2004, p. 4)
- ✓ 10.10.1 Nas instalações e serviços em eletricidade deve ser adotada sinalização adequada de segurança, destinada à advertência e à identificação, obedecendo ao disposto na NR-26 - Sinalização de Segurança, de forma a atender, dentre outras, as situações a seguir: a) identificação de circuitos elétricos; b) travamentos e bloqueios de dispositivos e sistemas de manobra e comandos; c) restrições e impedimentos de acesso; d) delimitações de áreas; e) sinalização de áreas de circulação, de vias públicas, de veículos e de movimentação de cargas; f) sinalização de impedimento de energização; g) identificação de equipamento ou circuito impedido. (2004, p. 6)

## **4.2 Normas Técnicas Relevantes para o Projeto**

De forma a desenvolver o sistema de segurança de acordo com as normas técnicas brasileiras, foi realizada uma pesquisa acerca das normas técnicas envolvidas diretamente neste projeto.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica no país. É uma entidade privada, sem fins lucrativos, reconhecida como único Foro Nacional de Normalização através da Resolução n.º 07 do CONMETRO, de 24.08.1992.

A denominação das normas criadas pela ABNT é NBR e para o presente projeto, destacam-se as seguintes normas, as quais tal trabalho deve estar de acordo:

- ✓ ABNT. NBR 5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004;
- ✓ ABNT. NBR 14039. Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0kV a 36,2kV. 2003.

## **5. PROPOSTA DE SOLUÇÃO**

A proposta a seguir foi desenvolvida de modo a prover a segurança dos operários que estiverem realizando a manutenção nas subestações do IME, evitando, portanto, energizações indevidas.

Tal proposta foi desenvolvida na linguagem Ladder, sendo, desse modo, aplicada em Controladores Lógico Programáveis.

### **5.1 O problema**

Devido ao fato de serem bastante nocivas ao ser humano, as energizações indevidas envolvendo técnicos em atividade de manutenção numa instalação elétrica devem ser evitadas.

Como exemplo, em 2012 houve 67 acidentes fatais no Setor Elétrico Brasileiro oriundos de descargas e correntes elétricas, de acordo com a Fundação COGE (Análise de Acidentes, 2014).

Em adição ao argumento supracitado, há ainda, no IME, o problema da separação física das subestações, logo, um técnico que estiver realizando uma manutenção na Subestação Principal não sabe o que está acontecendo na subestação secundária, levando a uma situação de risco para quem opera nessa e vice-versa. Com o intuito de evitar energizações indevidas, foi desenvolvida a solução apresentada neste capítulo.

### **5.2 Quesitos de Segurança**

Alguns quesitos foram adotados de modo a garantir a segurança do operador e permitir uma maior longevidade dos equipamentos das subestações. Os seguintes critérios foram adotados para o sistema de controle:

- ✓ A chave seccionadora não pode ser desligada em carga e nem ligada após o disjuntor ou chave que está a jusante;
- ✓ Quando for ativado o sinal de “em manutenção” de uma determinada área, nenhuma das chaves que limita essa determinada área poderá voltar a ser ligada enquanto o sinal não for desativado;

- ✓ O sinal de “em manutenção” só será obtido se a área a ser mantida estiver desenergizada;
- ✓ Para cada região de manutenção, haverá uma sinalização indicando a desenergização ou não dessa área.

A primeira medida tem como finalidade evitar o centelhamento da chave, quando essa é desligada em carga. Além disso, evita que a chave seja ligada após outro equipamento, o que pode danificá-la

Já a segunda e terceira medidas visam garantir a segurança do operador que estiver realizando a manutenção de uma determinada região.

A última medida tem como finalidade sinalizar cada região, de modo a permitir que o operário visualize, mesmo sem estar próximo ao CLP, que a região que fará manutenção está segura.

### 5.3 Algoritmo Desenvolvido para uma Célula Simples

Considere o diagrama básico apresentado na FIG 5.3.1:

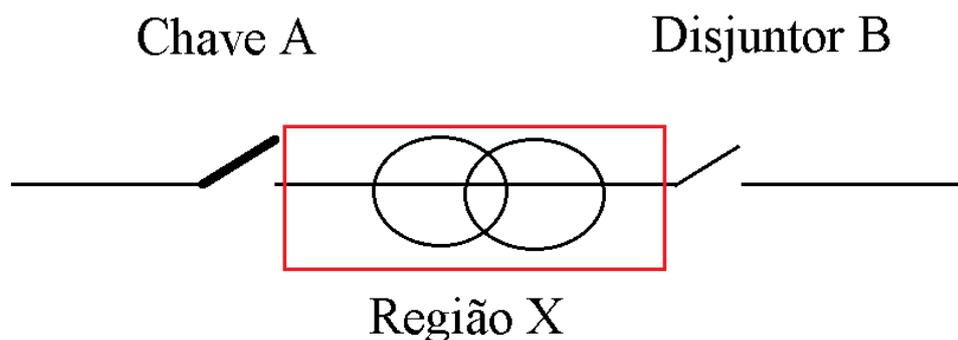


FIG 5.3.1 – Célula Simples

Para efeitos de controle, considere que:

- ✓ Para um dispositivo qualquer (Chave seccionadora ou Disjuntor):

1 – Fechado e 0 – Aberto;

✓ Para o sinal de manutenção:

1 – Em manutenção e 0 – Não está em manutenção.

Nota-se que para um técnico realizar manutenção de forma segura na Região X, a Chave A e o Disjuntor B devem estar abertos.

A lógica de controle para esse sistema é a seguinte:



FIG 5.3.2 – Lógica de controle para uma Célula Simples

Na FIG 5.3.2, as variáveis têm o seguinte significado:

- ✓ X1 = Comando para a Chave;
- ✓ X2 = Comando para o Disjuntor;
- ✓ X3 = Comando de Manutenção;
- ✓ Y1 = Estado Efetivo da Chave;
- ✓ Y2 = Estado Efetivo do Disjuntor;
- ✓ Y3 = Estado Efetivo de Manutenção.

#### 5.4 Algoritmo Desenvolvido para as Subestações do IME

O diagrama unifilar das Subestações do IME são apresentados nas figuras FIG 5.4.1, 5.4.2 e 5.4.3.

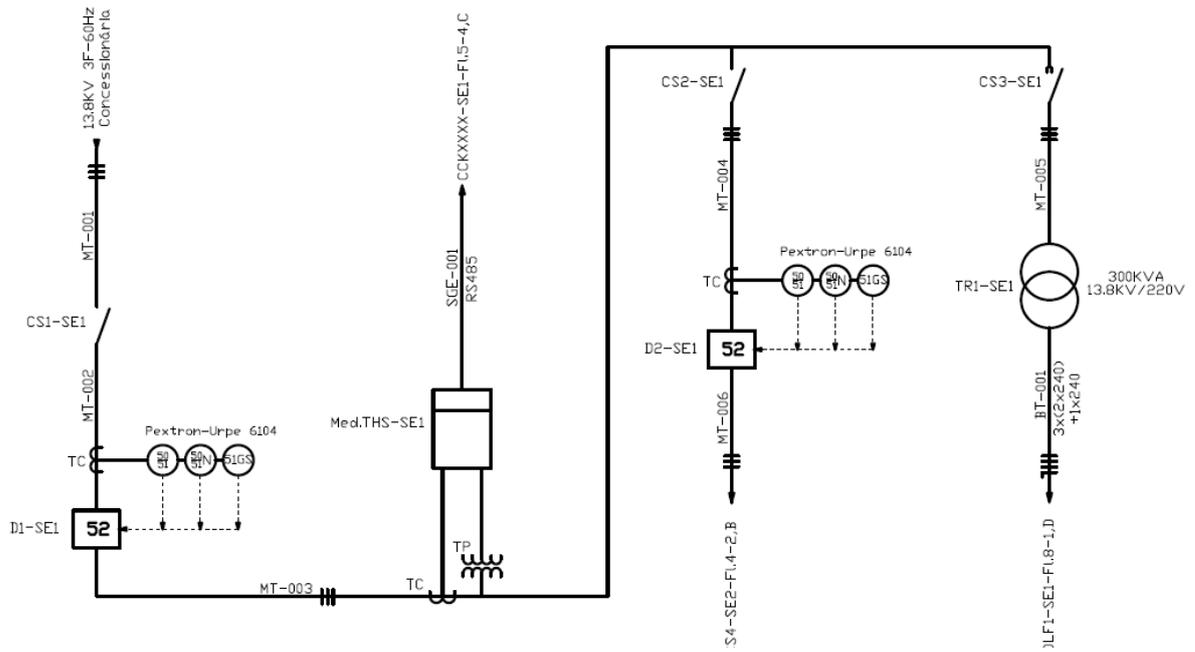


FIG 5.4.1 – Diagrama unifilar da Subestação Principal do IME

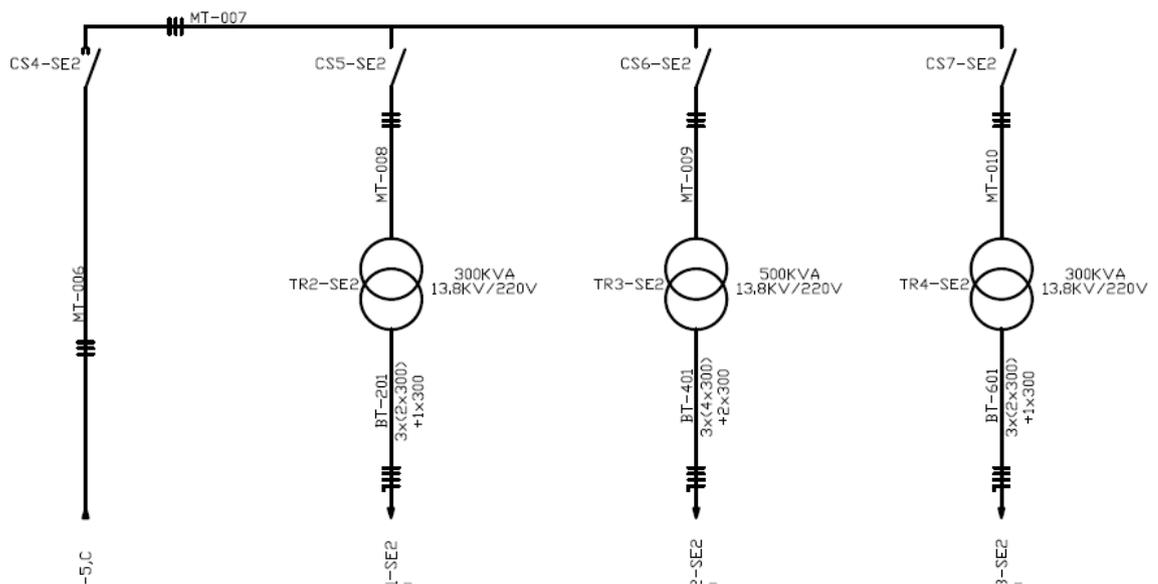


FIG 5.4.2 – Diagrama unifilar da Subestação Secundária do IME

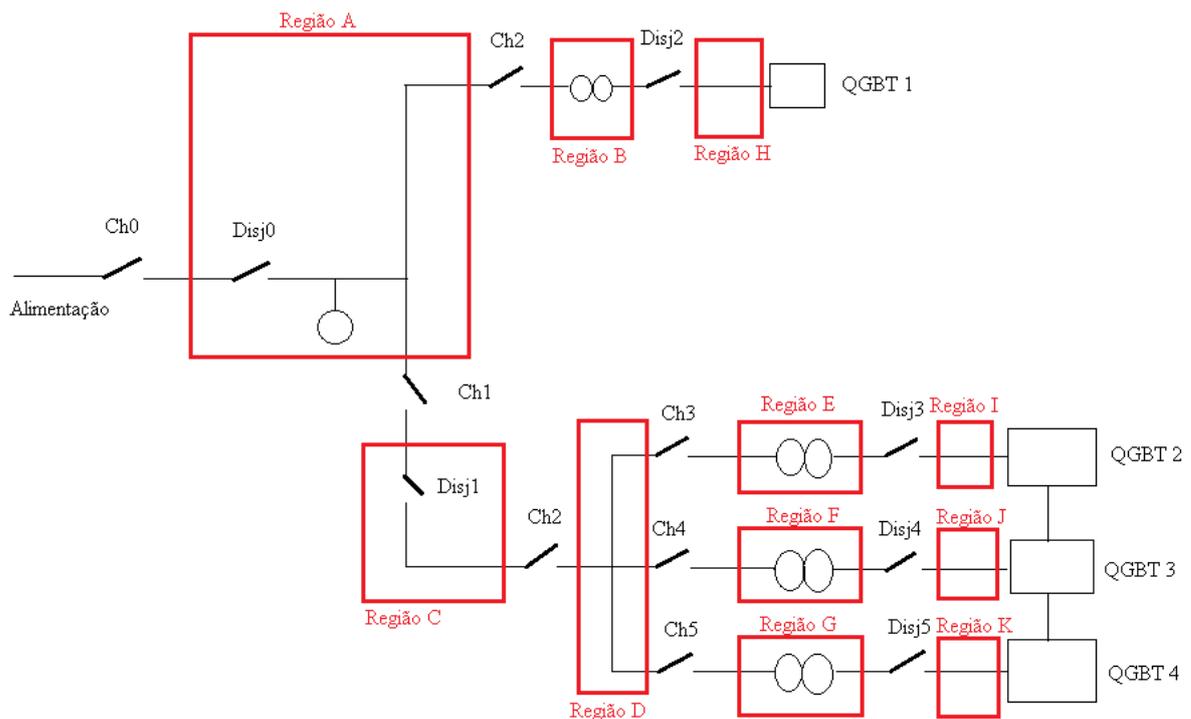


FIG 5.4.3 – Diagrama unifilar das Subestações do IME

O diagrama unifilar geral das Subestações é fundamental para o presente trabalho, pois com esse se escolhe as regiões de segurança e o algoritmo, por sua vez, é desenvolvido baseado nessas regiões.

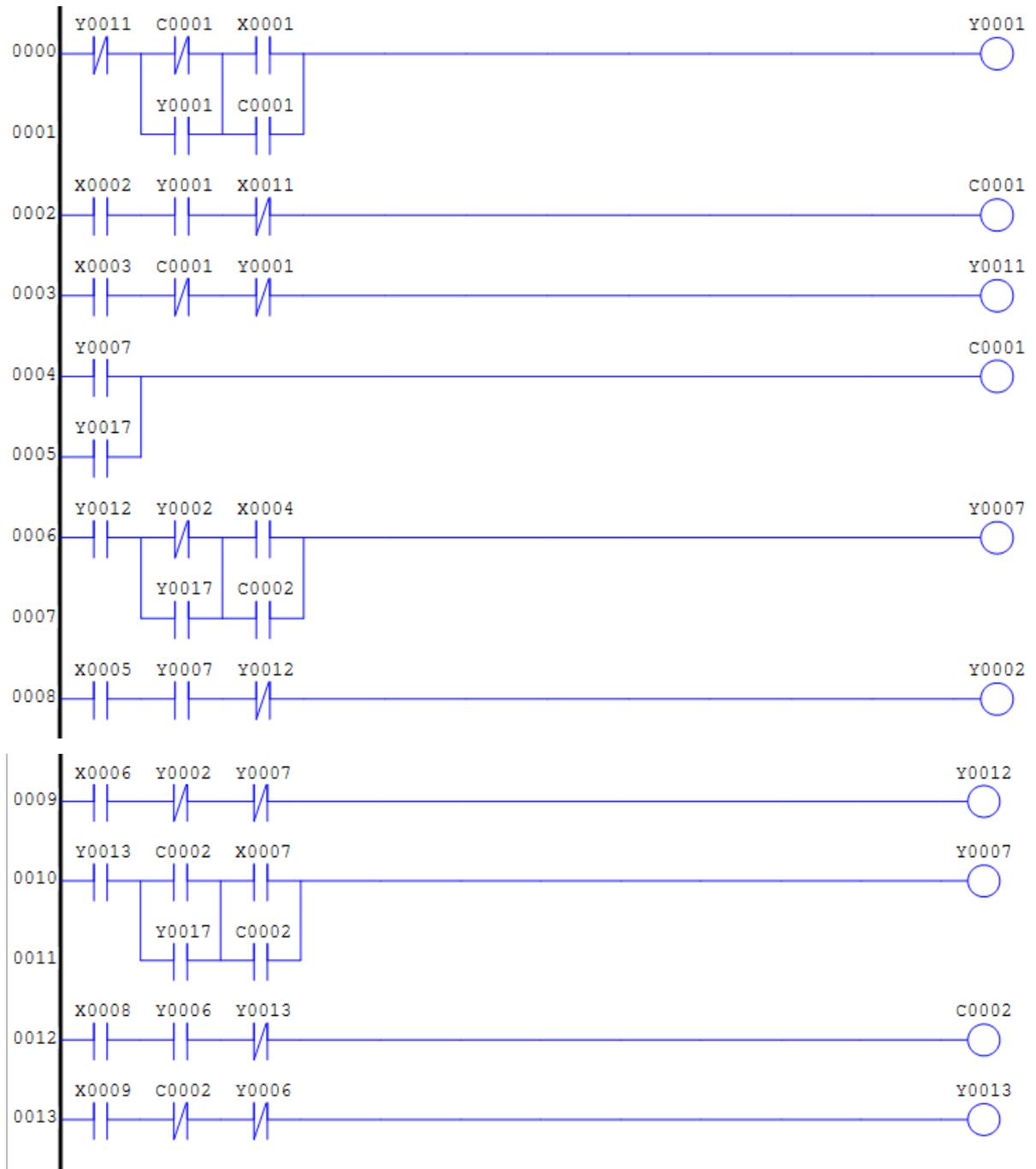
As regiões B, E, F e G são exatamente iguais ao modelo simplificado analisado no item anterior. Logo, sua implementação segue a mesma lógica do modelo.

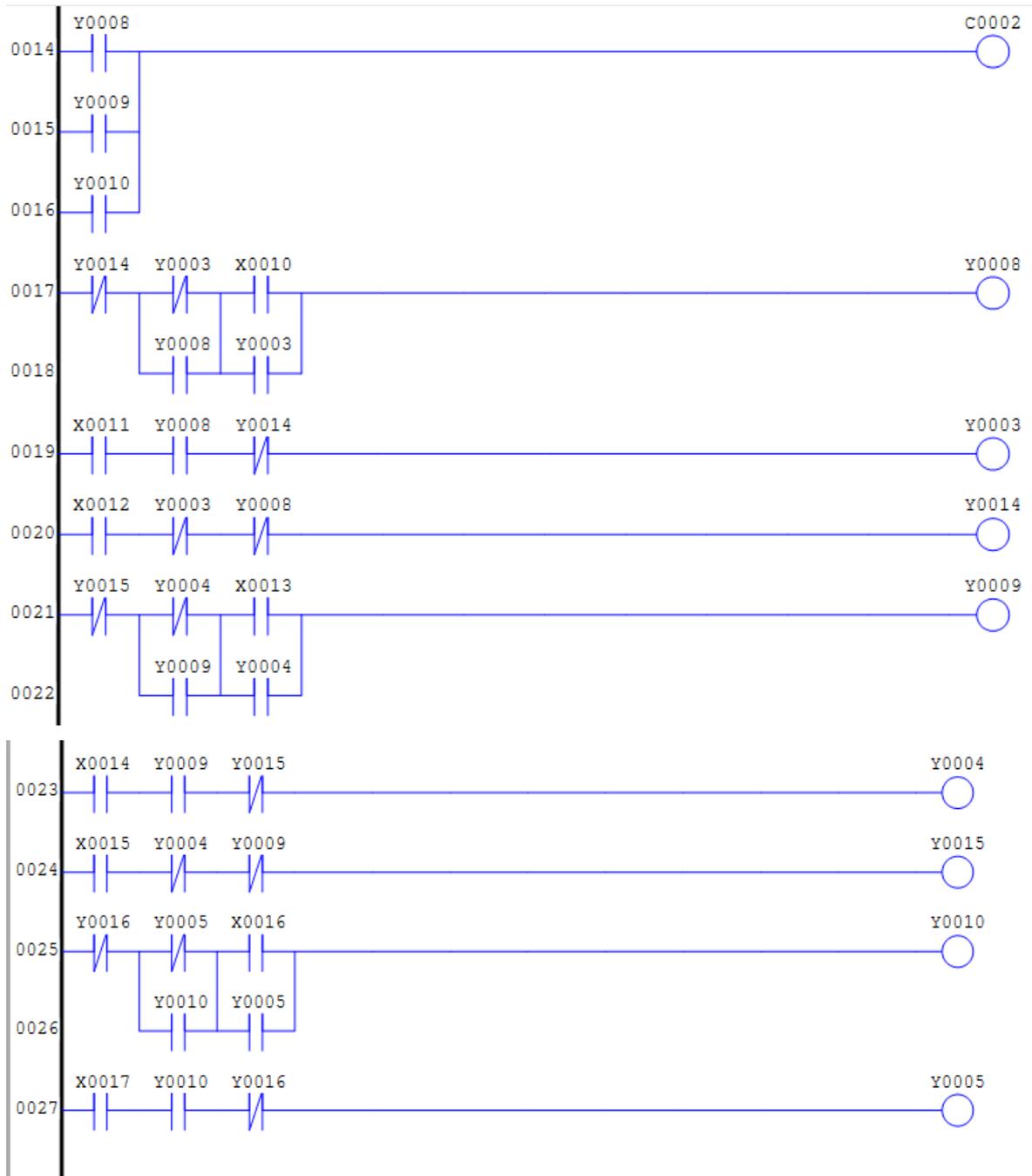
Considerou-se a região C aglutinada com o disjuntor 1, pois a distância entre a chave 1 e esse disjuntor é muito pequena. Tal região também se assemelha à célula simples calculada no item anterior.

A região D se assemelha ao modelo simplificado, porém a lógica deve substituir o sinal do Disjuntor B por um “ou” lógico entre os sinais da Chave 3, da Chave 4 e da Chave 5. Já para a região A temos, no lugar do Disjuntor B, o “ou” lógico entre os sinais da Chave 1 e da Chave 6.

Por fim, para as regiões H, I, J e K para realizar o controle de tais regiões devem ser considerados os disjuntores do Quadro Geral de Baixa Tensão, os quais se encontram espalhados por toda a instalação do IME, tornando inviável o controle nessa situação. Desse modo, será considerado que o circuito se encerra no Disjuntor Geral de Baixa Tensão presentes nas Subestações.

Desse modo, a implementação do código geral é apresentada na FIG 5.4.4:





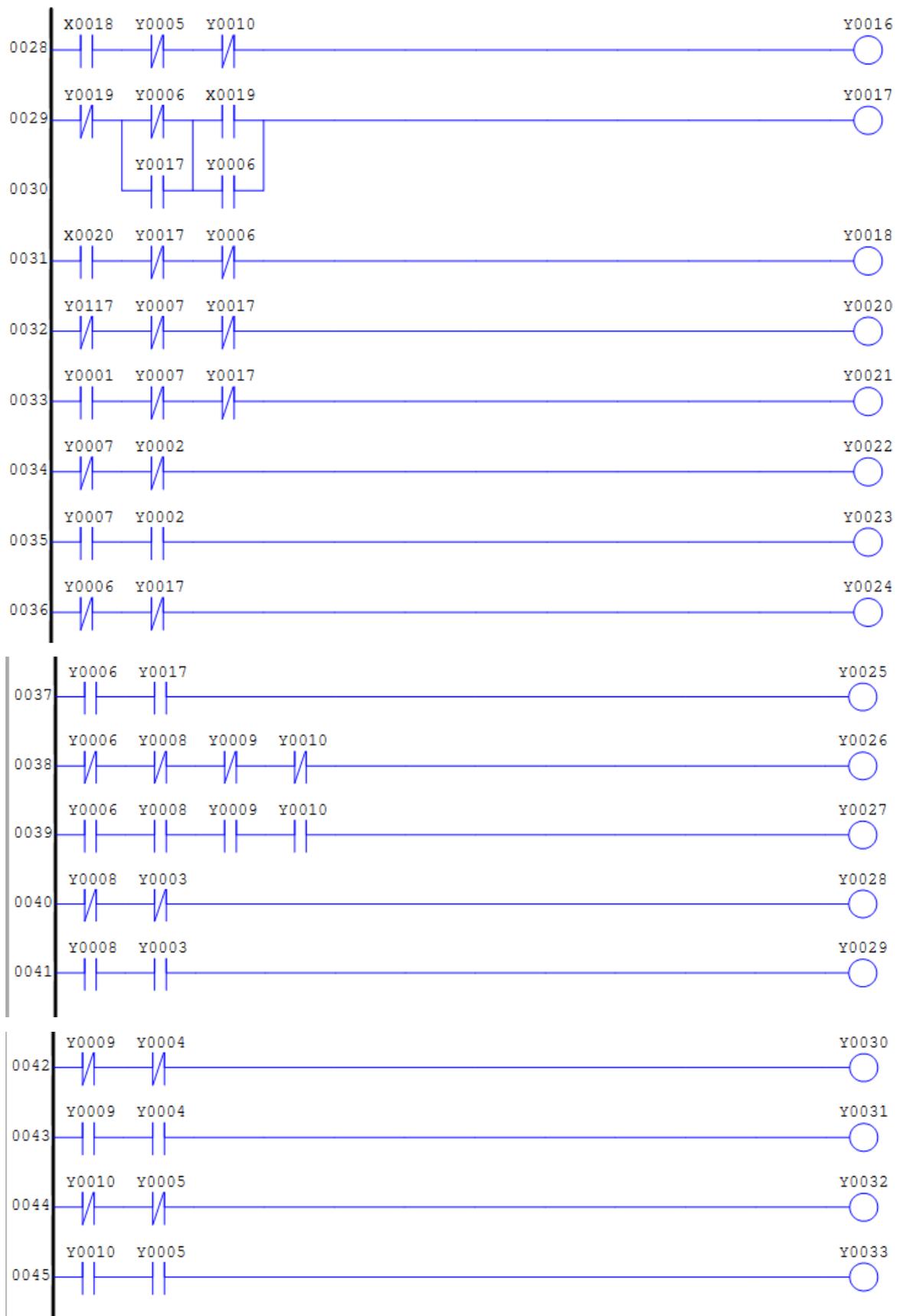


FIG 5.4.4 – Lógica Geral para a Subestação do IME.

Onde:

- ✓ X1 = Entrada do Disjuntor1;
- ✓ X2 = Entrada de (Chave1 ou Chave2);
- ✓ X3 = Entrada de Manutenção da Região A;
- ✓ X4 = Entrada da Chave6;
- ✓ X5 = Entrada do Disjuntor6;
- ✓ X6 = Entrada de Manutenção da Região B;
- ✓ X7 = Entrada da Chave1;
- ✓ X8 = Entrada de (Chave3 ou Chave4 ou Chave5);
- ✓ X9 = Entrada de Manutenção da Região D;
- ✓ X10 = Entrada da Chave3;
- ✓ X11 = Entrada de Disjuntor3;
- ✓ X12 = Entrada de Manutenção da Região E;
- ✓ X13 = Entrada da Chave4;
- ✓ X14 = Entrada de Disjuntor4;
- ✓ X15 = Entrada de Manutenção da Região F;
- ✓ X16 = Entrada da Chave5;
- ✓ X17 = Entrada de Disjuntor5;
- ✓ X18 = Entrada de Manutenção da Região G;
- ✓ X19 = Entrada da Chave 6;
- ✓ X19 = Entrada de Manutenção da Região C;
- ✓ C1 = (Y7 ou Y6);
- ✓ C2 = (Y8 ou Y9 ou Y10);
- ✓ Y1 = Estado Efetivo do Disjuntor1;
- ✓ Y2 = Estado Efetivo do Disjuntor6;
- ✓ Y3 = Estado Efetivo do Disjuntor3;
- ✓ Y4 = Estado Efetivo do Disjuntor4;
- ✓ Y5 = Estado Efetivo do Disjuntor5;
- ✓ Y6 = Estado Efetivo da Chave2;
- ✓ Y7 = Estado Efetivo da Chave6;
- ✓ Y8 = Estado Efetivo da Chave3;
- ✓ Y9 = Estado Efetivo da Chave4;
- ✓ Y10 = Estado Efetivo da Chave5;

- ✓ Y11 = Estado Efetivo de Manutenção na Região A;
- ✓ Y12 = Estado Efetivo de Manutenção na Região B;
- ✓ Y13 = Estado Efetivo de Manutenção na Região C;
- ✓ Y14 = Estado Efetivo de Manutenção na Região D;
- ✓ Y15 = Estado Efetivo de Manutenção na Região E, e;
- ✓ Y16 = Estado Efetivo de Manutenção na Região F;
- ✓ Y17 = Estado Efetivo da Chave4;
- ✓ Y18 = Estado Efetivo de Manutenção na Região C;
- ✓ Y20 E Y21 = Iluminação Verde e Vermelha da Região A, respectivamente;
- ✓ Y22 E Y23 = Iluminação Verde e Vermelha da Região B, respectivamente;
- ✓ Y24 E Y25 = Iluminação Verde e Vermelha da Região C, respectivamente;
- ✓ Y26 E Y27 = Iluminação Verde e Vermelha da Região D, respectivamente;
- ✓ Y28 E Y29 = Iluminação Verde e Vermelha da Região E, respectivamente;
- ✓ Y30 E Y11 = Iluminação Verde e Vermelha da Região F, respectivamente;
- ✓ Y32 E Y33 = Iluminação Verde e Vermelha da Região G, respectivamente;

## 6. ESTUDO DA LÓGICA DO SISTEMA UTILIZADO

Todos os estados e transições possíveis da célula básica foram testados, de modo a garantir a eficiência do algoritmo. Deve-se notar que as regiões de cor rosa são consideradas energizadas pelo CLP e que os estados são A-B-C, onde A é o estado da chave, B é o estado do disjuntor e C é o estado de manutenção:

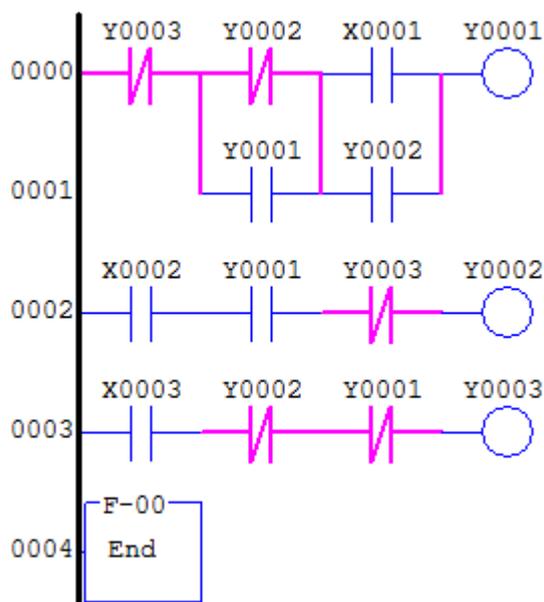


FIG 6.1: Estado 0 – 0 – 0

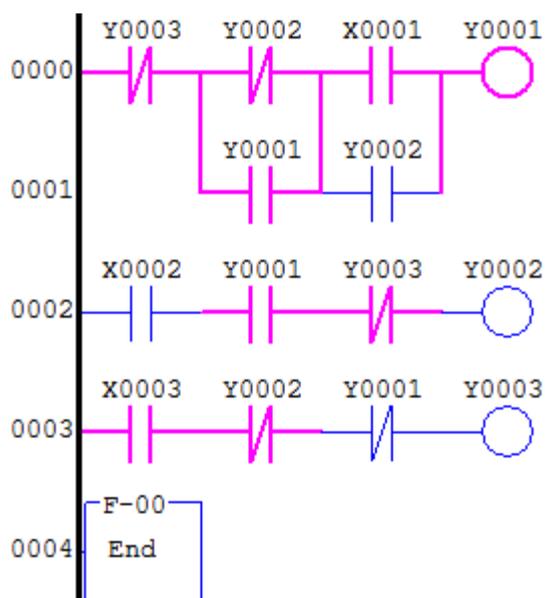


FIG 6.2: Atuação na chave no Estado 0 – 0 – 0

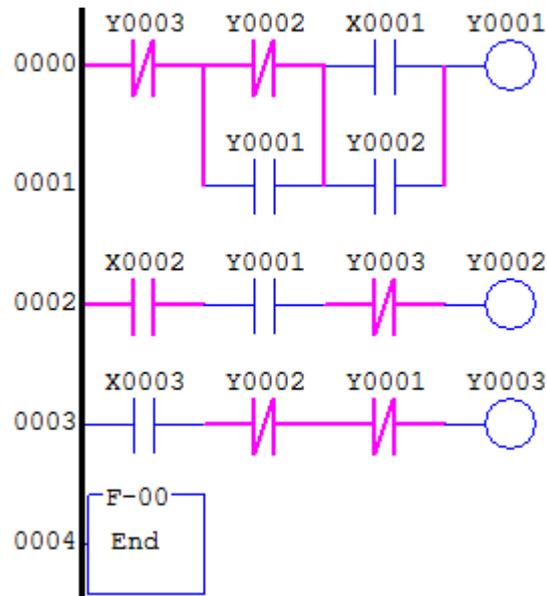


FIG 6.3: Atuação no disjuntor no Estado 0 – 0 – 0

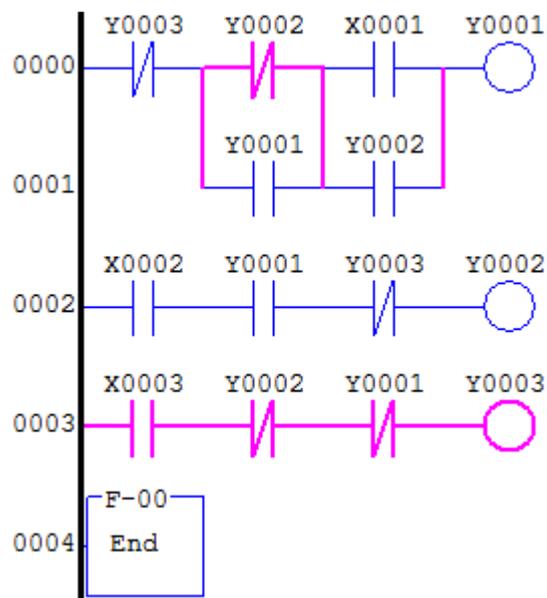


FIG 6.4: Atuação na manutenção no Estado 0 – 0 – 0

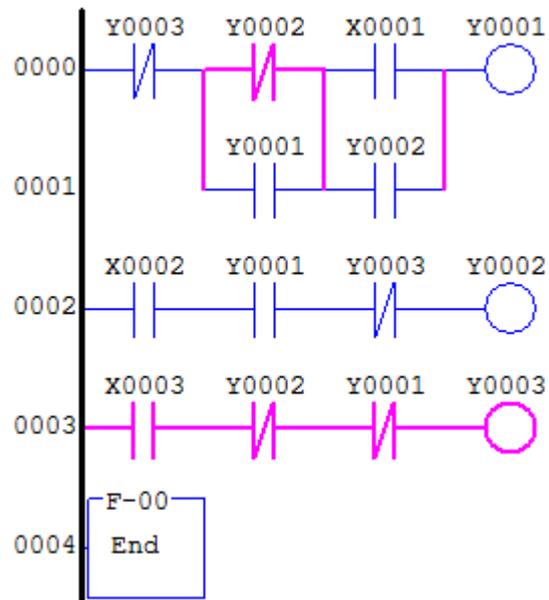


FIG 6.5: Estado 0 – 0 – 1

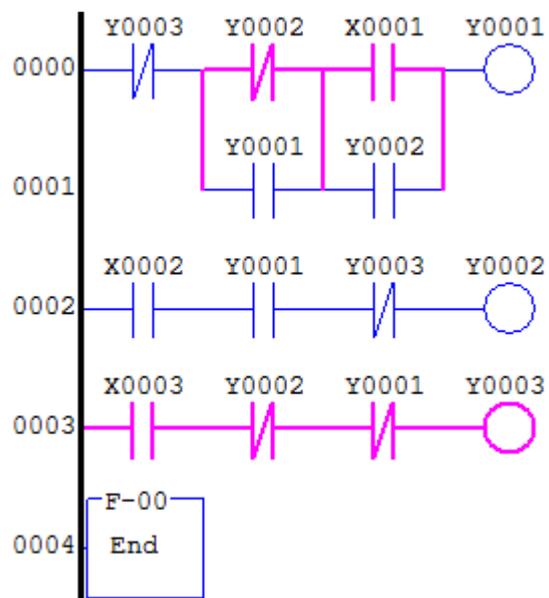


FIG 6.6: Atuação na chave no Estado 0 – 0 – 1.

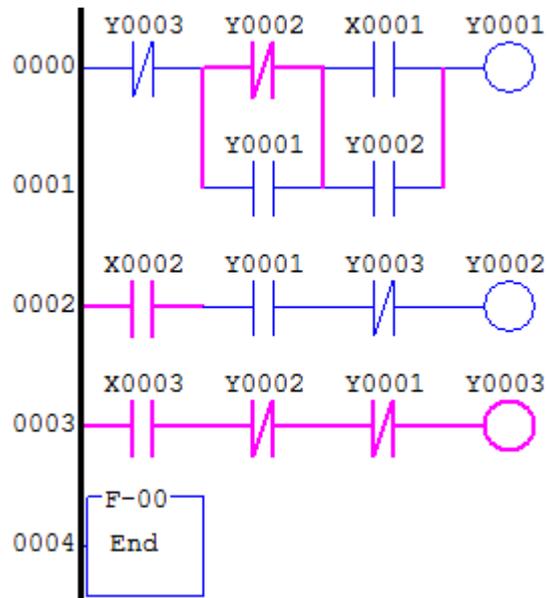


FIG 6.7: Atuação no disjuntor no Estado 0 – 0 – 1.

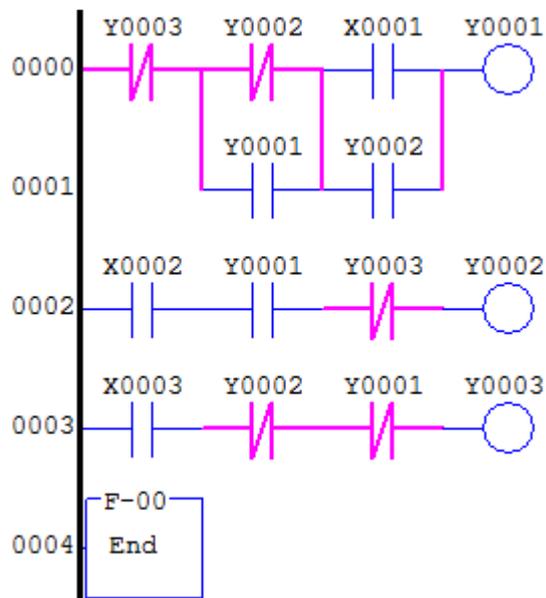


FIG 6.8: Atuação na manutenção no Estado 0 – 0 – 1.

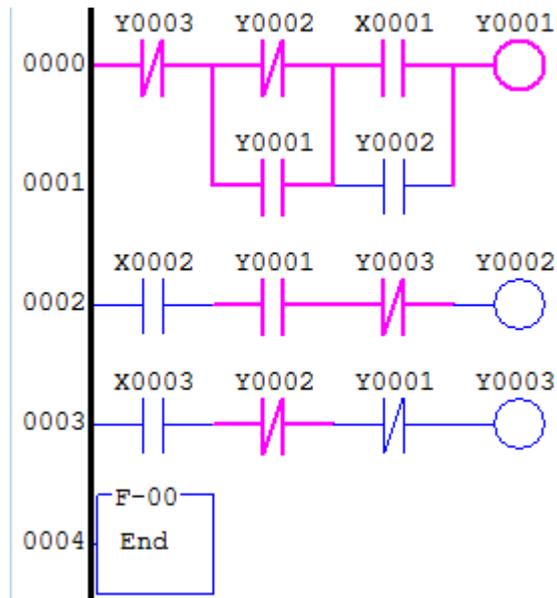


FIG 6.9: Estado 1 – 0 – 0.

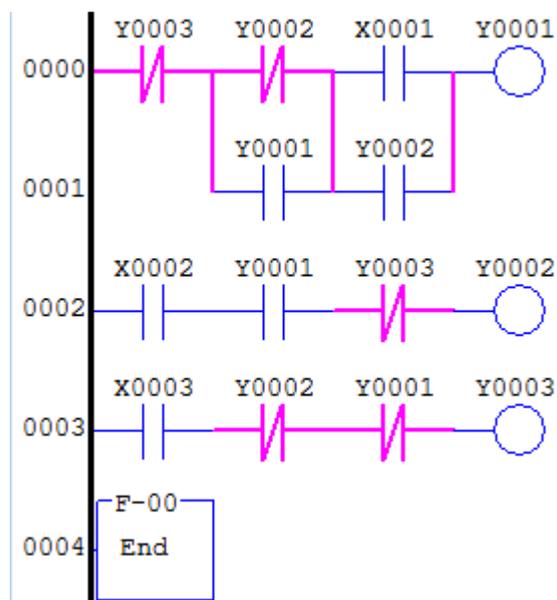


FIG 6.10: Atuação na chave no Estado 1 – 0 – 0.

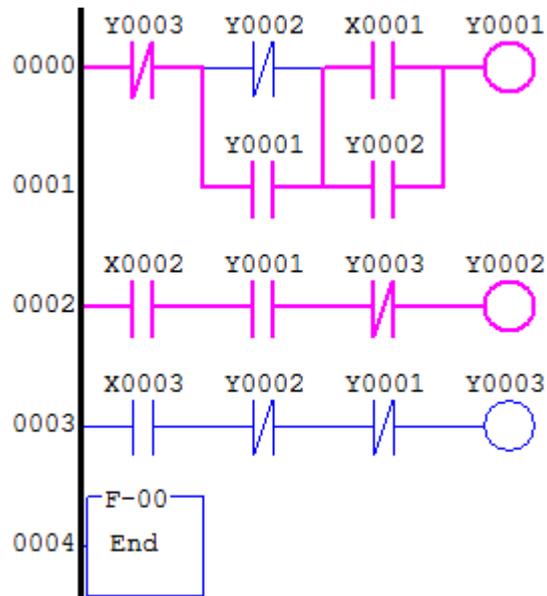


FIG 6.11: Atuação no disjuntor no Estado 1 – 0 – 0.

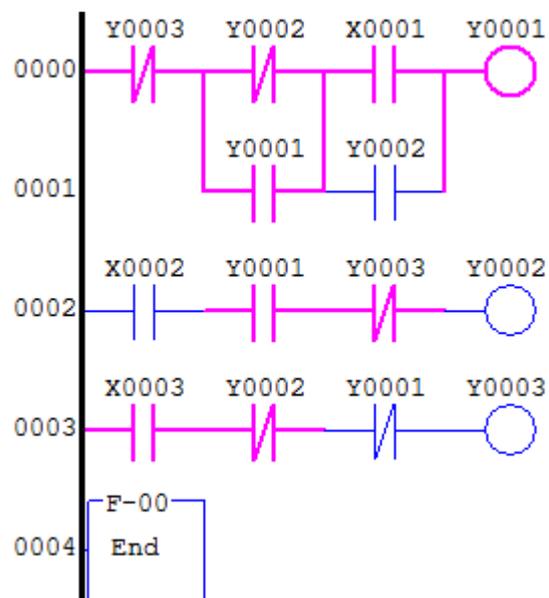


FIG 6.12: Atuação na manutenção no Estado 1 – 0 – 0.

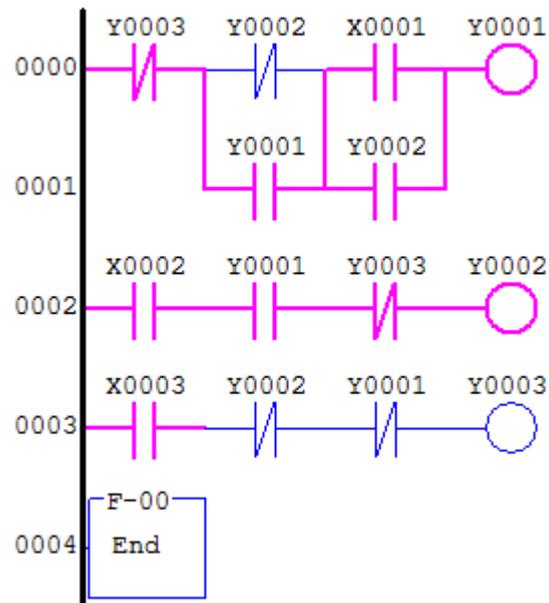


FIG 6.13: Estado 1 – 1 – 0.

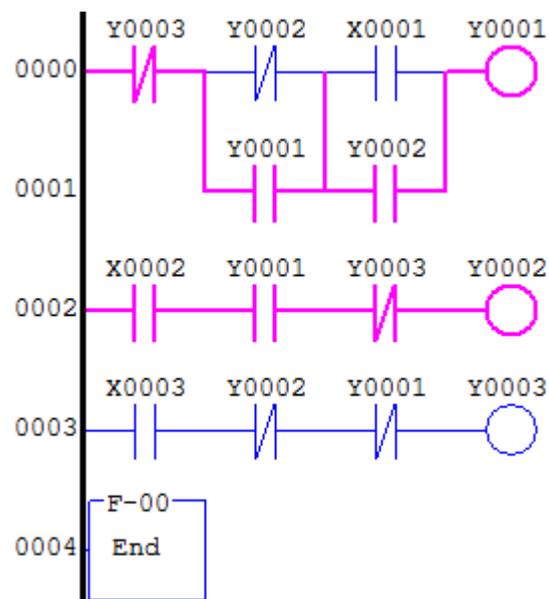


FIG 6.14: Atuação na chave no Estado 1 – 1 – 0.

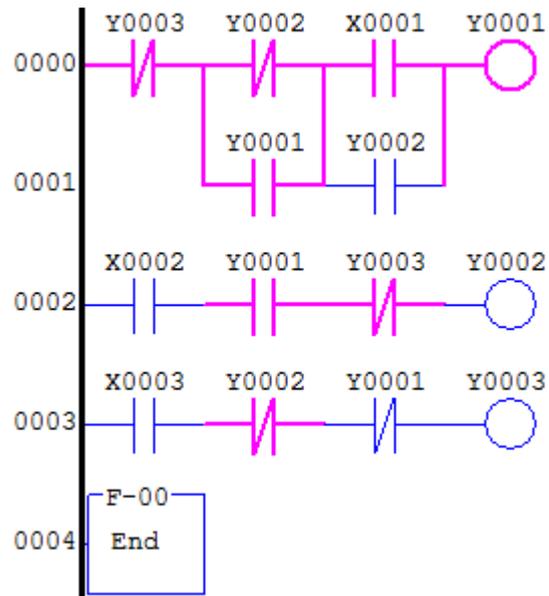


FIG 6.15: Atuação no disjuntor no Estado 1 – 1 – 0.

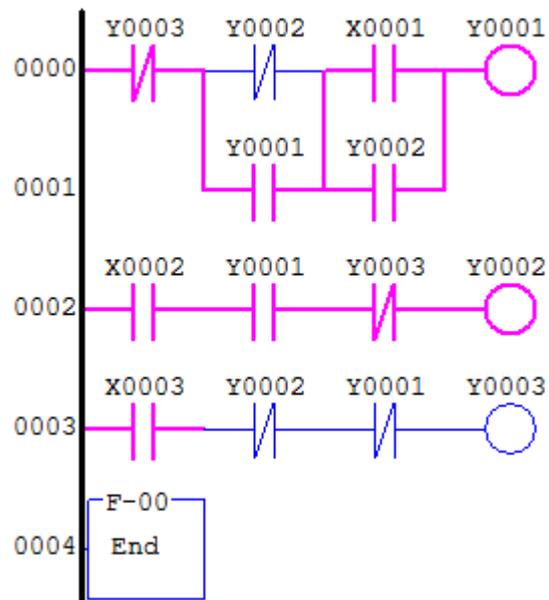
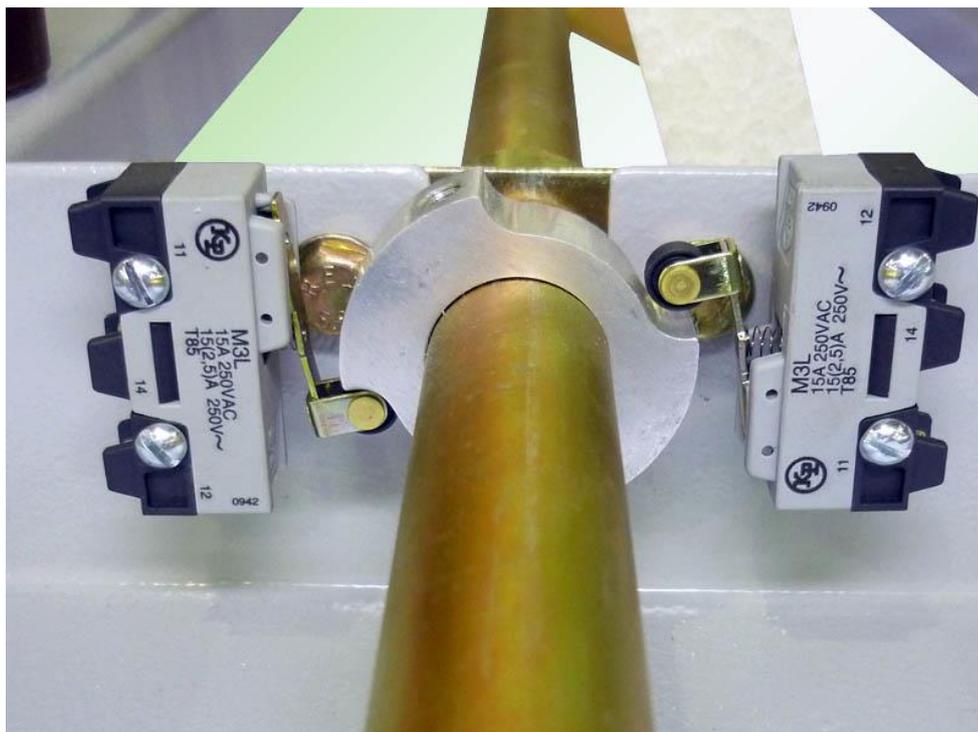


FIG 6.16: Atuação na manutenção no Estado 1 – 1 – 0.

## 7. IMPLEMENTAÇÃO NA SUBESTAÇÃO

Para realizar a implementação, deve-se, inicialmente, acoplar um bloco de contatos auxiliares nas chaves seccionadoras do IME, já que o CLP tem entradas digitais e as chaves não possuem contatos auxiliares. Posto isso, basta conectar cada contato NA do bloco auxiliar das chaves nas entradas do CLP respectivas às chaves.

A empresa *Dreyffus / PEL Produtos Elétricos S.A.* fabrica esses contatos auxiliares. O contato auxiliar é composto por um microrrutador de rolete com circuito inversor sendo três terminais acessíveis, um comum, um tipo NA e um tipo NF, todos acionados por um came de alumínio com desenho geométrico apropriado para acionar até dois microrrutadores simultaneamente. Sua tensão máxima de operação é de 220V, com corrente máxima de 15A.



*FIG 7.1 – Contato Auxiliar para Chave Seccionadora (Dreyffus, 2014)*

Já para captar o sinal dos disjuntores, basta conectar os contatos auxiliares NA dos disjuntores às entradas respectivas do CLP. Além disso, de modo a evitar

possível falha do sistema em caso de falta de energia, conecta-se a saída NA do disjuntor geral a uma nova entrada do CLP.

Assim, todas as regiões de segurança, exceto a região A (rever FIG 5.4.3), terão sua lógica levemente alterada da seguinte forma: para cada saída do CLP que represente o estado efetivo de cada região será adicionado um contato NA com a variável de entrada que representa a saída do disjuntor, ou seja, se o disjuntor geral tiver desarmado, indicando, possivelmente, uma falta de energia, todas as regiões, exceto a região A, não poderão ser mantidas, já que os contatos auxiliares das chaves e dos disjuntores indicarão que a região está segura, o que não é verídico, pois a qualquer momento a energia pode ser reestabelecida, acarretando problemas para o operário que estará realizando a manutenção.

A manutenção na região A, todavia, pra ser realizada em segurança, necessita que o disjuntor geral esteja desligado. Assim, não há a necessidade de alteração na lógica nesse caso.

Segue abaixo a lista de equipamentos necessários para a implementação do sistema de segurança nas Subestações do IME:

7 Contatos Auxiliares de Chave Seccionadora da marca *Dreyffus* ou similar;

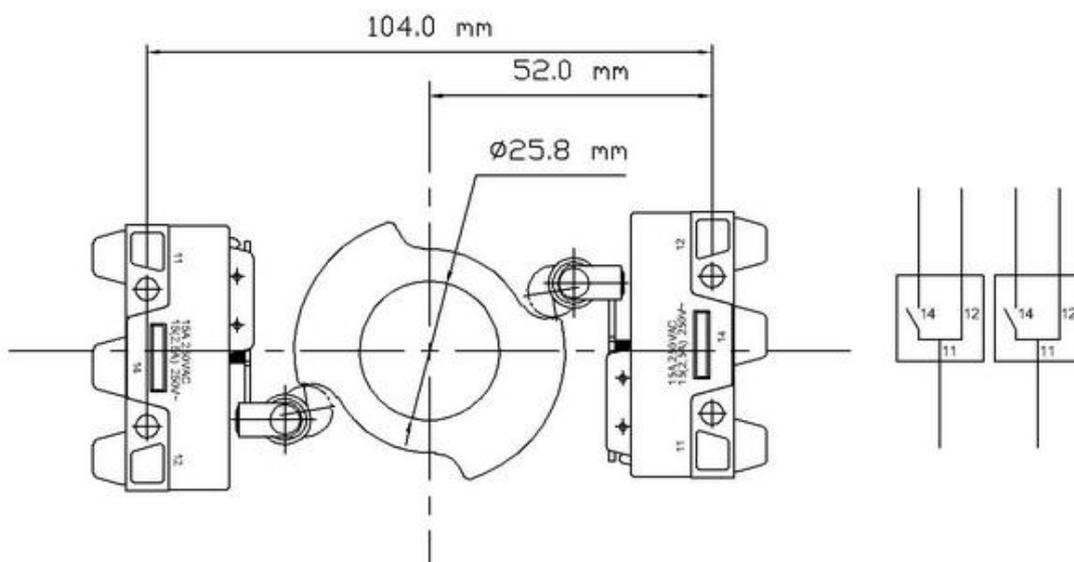


FIG 7.2 – Contato Auxiliar para Chave Seccionadora (Dreyffus, 2014)

1 Nobreak online da marca *WEG* ou similar para garantir o funcionamento do dispositivo de controle, mesmo em caso de falta de energia;



*FIG 7.3 – Nobreak online (WEG, 2014)*

1 – CLP com, pelo menos, 20 entradas e 33 saídas. Um tipo possível é o CLP da WEG S.A., o TPW03, com modelos com até 256 dispositivos digitais de entrada e saída.



*FIG 7.4 – CLP TPW03 (WEG, 2014)*

Fiação necessária para interligar cada chave e cada disjuntor ao CLP, bem como para ligar cada saída à cada região para fins de iluminação – Necessário cálculo.

14 Lâmpadas, sendo 7 para sinalização de área propícia para manutenção (cor verde) e 7 para sinalização de área não propícia para manutenção (cor vermelha).

7 Fechaduras Eletromagnéticas 280 KGF com sensor de abertura da marca *Citrox* ou similar, para realizar o intertravamento das regiões, de modo a evitar acidentes, pois a fechadura só estará aberta, permitindo, desse modo, o acesso à região, se essa estiver desenergizada e com o sinal de manutenção em nível alto.



*FIG 7.5 – Fechadura Eletromagnética 280 kgf (Citrox, 2014)*

1 Retificador para transformar a alimentação CA para CC e, assim, alimentar as 7 fechaduras eletromagnéticas (Alimentação de 12 ou 24 V). Um exemplo de equipamento disponível no mercado é o Retificador da WEG do modelo RCM.



*FIG 7.6 – Retificador modelo RCM (WEG, 2014)*

## **8. CONCLUSÃO**

No presente trabalho foi desenvolvido um sistema de segurança e sinalização utilizando CLP para aplicação nas Subestações do IME, precedido por um estudo acerca dos seguintes temas: as Subestações de Energia Elétrica, os Controladores Lógico Programáveis e a Legislação que rege as normas de segurança do trabalho no Brasil, bem como as normas técnicas que são consideradas relevantes para este projeto.

Conclui-se que este trabalho é de grande valia para a segurança dos profissionais que realizarão a manutenção nestas instalações após a implementação do sistema nas dependências das Subestações do IME.

O estudo da lógica para as Subestações do IME ficou prejudicado, porque há a necessidade de um controlador com mais ramais de entrada e saída.

## 9. REFERÊNCIAS

ABNT. Disponível em: <<http://www.abnt.gov.br>>. Acesso em: Abril de 2014

COTRIM, Ademaro Alberto Machado Bittencourt. Instalações Elétricas, 5ª ed. Prentice-Hall, 2008. ISBN: 9788576052081.

DUALIBE, Paulo. Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteções. Consultoria para Uso Eficiente de Energia, 1999.

FREEDMAN, R. e YOUNG, H. Física, 1ª ed, Vol III. Pearson/Wesley, 2009.

BOLTON, W. Programmable Logic Controllers, 5th ed. Newnes, 2009. ISBN: 0080961851.

MAMEDE, João. Instalações Elétricas Industriais, 8ª ed. LTC, 2010. ISBN: 8521615205.

MAMEDE, João. Manual de Equipamentos Elétricos, 3ª ed. LTC, 2005. ISBN: 8521614365.

ABNT. NBR 5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004.

ABNT. NBR 14039. Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0kV a 36,2kV. 2003

NR-10. Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. 2004.

WEG S.A. Disponível em: <<http://www.weg.net/br>>. Acesso em: Abril de 2014.

Critox. Disponível em: <<http://www.citrox.com.br>>. Acesso em: Abril de 2014.

Dreyffus / PEL Produtos Elétricos S.A. Disponível em: <<http://www.DREYFFUS.com.br>>. Acesso em: Abril de 2014

NEI Soluções em Tecnologia. Disponível em: <<http://www.nei.com.br>>. Acesso em: Abril de 2014.