



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Garanhuns

Bacharelado em Engenharia Elétrica

JOSE EDUARDO ALVES MAGALHÃES

**AVANÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO,
AUTOMAÇÃO E CONTROLE (PAC) DE SUBESTAÇÕES A PARTIR DA
APLICAÇÃO DO CONCEITO DE *ENGINEERING INFORMATION MODELING*
(EIM) PELO SOFTWARE ENGINEERING BASE**

Garanhuns – PE

2023

JOSE EDUARDO ALVES MAGALHÃES

**AVANÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO,
AUTOMAÇÃO E CONTROLE (PAC) DE SUBESTAÇÕES A PARTIR DA
APLICAÇÃO DO CONCEITO DE *ENGINEERING INFORMATION MODELING*
(EIM) PELO SOFTWARE ENGINEERING BASE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso Superior Bacharelado
em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Pernambuco, como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Severino da Silva

Garanhuns – PE

2023

M189a

Magalhães, José Eduardo Alves.

Avanços no desenvolvimento de projetos de proteção, automação e controle(PAC) de subestações a partir da aplicação do conceito de engineering information modeling(EIM) pelo software engineering base / José Eduardo Alves Magalhães ; orientador Márcio Severino da Silva, 2023.

140 f. : il.

Orientador: Márcio Severino da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Federal de Pernambuco. Pró-Reitoria de Ensino. Diretoria de Ensino. Campus Garanhuns. Coordenação do Curso Superior em Engenharia. Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica, 2023.

1. Controladores programáveis. 2. Automação. 3. Subestações elétricas - Automação. 4. Redes elétricas inteligentes. I. Título.

CDD 629.895

Andréa Maria Lidington Lins –CRB4/868

JOSE EDUARDO ALVES MAGALHÃES

**AVANÇOS NO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PROTEÇÃO,
AUTOMAÇÃO E CONTROLE (PAC) DE SUBESTAÇÕES A PARTIR DA
APLICAÇÃO DO CONCEITO DE *ENGINEERING INFORMATION MODELING*
(EIM) PELO SOFTWARE ENGINEERING BASE**

Trabalho aprovado. Garanhuns, 12 de junho de 2023.

Prof. Dr. Márcio Severino da Silva – IFPE (Orientador)

Profa. Ma. Suelen Holder de Moraes e Silva Rodrigues – IFPE (Avaliadora Interna)

Prof. Me. Márcio Henrique Bino da Silva – IFAL (Avaliador Externo)

Eng. Ma. Renata Teixeira das Neves Fernandes – ESC (Avaliadora Externa)

Garanhuns – PE

2023

À memória de minha Vó Maria.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus Pai, que tudo sabe, tudo ouve e tudo vê. À sua Providência Divina, que tanto me sustentou nas dificuldades. Grato pelo presente da coragem para enfrentar os medos e trilhar o caminho apontado por tua Vontade, porque segui-la é a chave para o Céu.

À minha mãe, Rosa, minha rocha, meu abrigo. Obrigado por me possibilitar ser quem sou, por acreditar que a educação transforma vidas, por doar o seu tempo e seu esforço à minha. Sem seu sacrifício diário, eu nada seria. Grato pelo exemplo de absoluta entrega à família, que tanto se assemelha ao de Cristo na Cruz, e que é o mais belo que já vi.

Ao meu pai, Cláudio, meu exemplo, meu espelho. Obrigado por incentivar a excelência, o foco e inspirar a perseverança e a dedicação. Cada dia por ti sacrificado foi a mim dada a oportunidade de crescer. Dizem que o sonho do filho é ser como o pai, e não há presente maior do que ter o teu coração generoso em mim.

Às minhas tias Edna, Maria José e Edivânia, e à minha Vó Maria. Creio que tive cinco mães. Habitam nas memórias do meu coração o cuidado infinito. O valor que carrego hoje foi cultivado por vocês. Obrigado pelas manhãs, pelas tardes e pelas noites dedicadas a mim e meu irmão; obrigado por nossa criação.

A Bárbara, minha namorada, minha princesa, minha luz, minha pérola preciosa. Em você, todo o esforço encontra sentido. Grato pelo amor tão grande, pelas incessantes orações, por cada conta do terço que rezaste para o sucesso dessa monografia. A dedicação, a abnegação e o sacrifício são destinados a ti. E o teu abraço e tua risada me bastam.

Aos caros amigos que fiz na faculdade: Adônis, André, Gleydson, João Henrique, Josias e Pedro. Obrigado pelas risadas nos inúmeros dias difíceis e corridos, pela prontidão de sempre e pelos tantos favores. Que a parceria seja para a vida.

Aos amigos de turma: Catarina, Kalleby, Hemilly, Mariana, Ariosvaldo, Janderson, Brunna, Maria Eduarda, Rafaela e Cintia. A amizade dilui os problemas. Obrigado pela leveza sempre presente no cotidiano. Inacreditável como Deus reuniu tanta gente boa numa turma só. Somos família.

Ao meu orientador de pesquisa, de estágio e de monografia, Márcio Silva, pela dedicação, paciência e disponibilidade em me auxiliar em tantas etapas da minha graduação. Sou grato por aceitar as tantas orientações e por sempre conseguir tempo para contribuir em minha trajetória acadêmica.

A cada professor que contribuiu à minha formação. Em especial, o professor Wilker Azevêdo. Obrigado pelo comprometimento, pelo zelo e pelo sacrifício. O exemplo nos ensinou, nos influenciou, nos transformou. Profundas e inúmeras foram as contribuições no âmbito profissional e pessoal. Como diz a melhor torcida do mundo, eternamente dentro dos nossos corações.

À ESC Engenharia, pela oportunidade profissional do estágio e pela disponibilização de licença para uso do software no trabalho. Grato especialmente a Renata Fernandes, Fillipe Finco e Artur Guilherme, por tantos ensinamentos e pelo conhecimento compartilhado. Suas expertises, competências e habilidades são inspiradoras. Obrigado pelo aprendizado contínuo, pelos desafios sugeridos, pelo auxílio em cada resolução de problemas, pelas dúvidas esclarecidas e por me fazer crescer.

Ao IFPE, minha segunda casa, que por muito tempo aparentava mesmo é ser a primeira. Agradeço aos profissionais do instituto cujo trabalho proporcionou a gênese de curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica no interior de Pernambuco. Obrigado por possibilitar a transformação na vida de tantos.

*“O maior despertador dos sentidos e dos cuidados
é o amor, cujas asas, [...] voam mais que as do tempo.”*

Pe. Antônio Vieira

RESUMO

Na conjuntura da implementação das *Smart Grids* e do desafio da interoperabilidade das redes, é proposto neste trabalho o registro de melhorias de produtividade advindas da utilização do software Engineering Base (EB) com a metodologia *Engineering Information Modeling* (EIM) para projetos de Proteção, Automação e Controle (PAC) de subestações. Desse modo, constrói-se abordagem através de estudo de caso baseado na elaboração de banco de dados na plataforma de engenharia para projeto de PAC de uma subestação típica. Os benefícios advindos do uso do conceito do EIM para a modelagem de dados são demonstrados. Para tanto, são apresentados os automatismos desenvolvidos na ferramenta computacional, utilizando-se da linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*) e da metalinguagem do software. Destacam-se as possibilidades de execução automática de etapas do projeto elétrico, com a elaboração de entregáveis, e da minimização do esforço necessário a determinadas tarefas. A defesa da evolução tecnológica proporcionada pela plataforma de engenharia e da programação é efetuada por meio de estudo de caso. A proposta para caso típico consistiu em problemática de entrada de linha em 69 kV em uma subestação típica. Para o arranjo do setor de 69 kV da subestação, foi considerada configuração de barra principal e de transferência. O sistema proposto é formado por 01 (uma) unidade autônoma contendo 02 (dois) Dispositivos Eletrônicos Inteligentes (IED) de Proteção e Controle para o evento. Os IED's escolhidos são da linha SIPROTEC 7SA86, da Siemens, os quais são relés digitais à proteção de distância projetados especificamente para a proteção de linhas. Analisaram-se modelos reais de equipamentos de pátio e de dispositivos para elaboração do projeto de PAC para o evento da subestação típica. Com efeito, são apresentadas as soluções técnicas relativas ao evento, através dos entregáveis do projeto de PAC. Pretende-se que estes registros comprovem a viabilidade do uso do Engineering Base para aplicação da metodologia EIM. Somando-se a isso, estima-se que os automatismos desenvolvidos qualifiquem avanços significativos para a elaboração de projetos PAC de subestações em plataforma de engenharia.

Palavras-chave: Proteção, Automação e Controle. Subestações. Engineering Base. EIM. BIM. Programação. *Smart Grids*.

ABSTRACT

In the context of the implementation of Smart Grids and the challenge of network interoperability, it is proposed in this work the register of the productivity improvements resulting from the use of the Engineering Base (EB) software with the Engineering Information Modeling (EIM) methodology for substations Protection, Automation and Control (PAC) design. In this way, an approach is developed in this work through a case study based on the arrangement of a database in the engineering platform for PAC design of a typical substation. The benefits that come from using the EIM concept for data modeling are demonstrated. For this purpose, the automatisms developed in the computational tool are presented, using the VBA (Visual Basic for Applications) programming language and the software's metalanguage. The possibilities of automatic execution of stages of the electrical design stand out, with the development of deliverables, and the minimization of the effort required for certain tasks. The defense of the technological evolution provided by the engineering and programming platform is carried out through a case study. The proposal for a typical case consisted of a 69 kV line connection problem in a typical substation. For the arrangement of the 69 kV sector of the substation, a main and transfer bus configuration was considered. The proposed system consists of 01 (one) autonomous unit containing 02 (two) Protection and Control Intelligent Electronic Devices (IED) for the event. The chosen IEDs are from the SIPROTEC 7SA86 line, from Siemens, which are digital distance protection relays specifically designed for line protection. Real models of outdoor equipment and devices were analyzed for the elaboration of the typical substation event PAC design. Indeed, the technical solutions related to the event are presented, through the PAC design deliverables. It is intended that these records prove the feasibility of using the Engineering Base to apply the EIM methodology. Adding to this, it is estimated that the developed automatisms qualify significant advances for the elaboration of PAC substation designs in an engineering platform.

Keywords: Protection, Automation and Control. Substations. Engineering Base. EIM. BIM. Programming. Smart Grids.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema básico de funcionamento de um Relé de Proteção	22
Figura 2 – Estrutura básica de um Esquema de Proteção	24
Figura 3 – Estágios de Maturidade BIM.....	29
Figura 4 – Dimensões do BIM	31
Figura 5 – Criação de Banco de Dados no Gerenciador de Banco de Dados....	46
Figura 6 – Propriedades para o Banco de Dados.....	47
Figura 7 – Soluções para o Banco de Dados.....	47
Figura 8 – Banco de Dados criado.....	47
Figura 9 – Criação de Projeto no banco de dados	48
Figura 10 – Estrutura interna do Projeto.....	48
Figura 11 – Criação de Equipamento no Projeto.....	49
Figura 12 – Definição do Painel como uma Unidade	49
Figura 13 – Interface do Visio para edição gráfica	50
Figura 14 – Caderno com Folhas no EB.....	50
Figura 15 – Estênceis de Chaves Seccionadoras	51
Figura 16 – Representação de Chave Seccionadora em diagrama no EB	51
Figura 17 – Trecho de Diagrama Unifilar de Proteção	51
Figura 18 – Pasta de Assistentes no Banco de Dados do EB	53
Figura 19 – IDE no EB para Programação em VBA.....	53
Figura 20 – Biblioteca do EB para Programação em VBA.....	53
Figura 21 – Pasta de Atributos no Banco de Dados	54
Figura 22 – Criação de Atributos-fórmula no EB.....	55
Figura 23 – Determinação de Fórmula para Atributo	56
Figura 24 – Criação dos Equipamentos no EB.....	58
Figura 25 – Dispositivos do Painel (2UA2G) no Explorer do EB.....	58
Figura 26 – Dispositivos do Painel (2UA2G) na planilha do EB	59
Figura 27 – Dispositivos do Disjuntor (52G) no Explorer do EB.....	59
Figura 28 – Dispositivos do Disjuntor (52G) na planilha do EB	60
Figura 29 – Dispositivos da Chave Seccionadora (89.4G) no Explorer do EB...60	
Figura 30 – Dispositivos da Chave Seccionadora (89.4G) na planilha do EB....60	
Figura 31 – Dispositivos da Caixa (CXTCG) e de Equipamento da Fase (TCG- ϕ A) do TC no Explorer.....	61
Figura 32 – Dispositivos da Caixa (CXTCG) do TC na planilha do EB	61
Figura 33 – Dispositivos do Equipamento da Fase (TCG- ϕ A) do TC na planilha do EB.....	61
Figura 34 – Dispositivos do Quadro de Distribuição CA (CDCA-2-G) no Explorer do EB.....	61
Figura 35 – Dispositivos do Quadro de Distribuição CA (CDCA-2-G) na planilha do EB.....	61
Figura 36 – Jumper criado pelo assistente para Painel 2UA2G	62
Figura 37 – Estrutura de Jumpers do Projeto criada pelo assistente	63
Figura 38 – Assistente de criação de Fiação Forçada em Potenciais	63

Figura 39 – Fios criados por assistente de Fiação Forçada em Potenciais.....	63
Figura 40 – Assistente de Distribuição de Potenciais	64
Figura 41 – Elaboração de desenho pela Macro de Distribuição de Potenciais	64
Figura 42 – Representação do Potencial J1FA1/J2FA1	65
Figura 43 – Representação dos Potenciais no Funcional	65
Figura 44 – Potenciais definidos para uso no Projeto Lógico	66
Figura 45 – Potenciais aplicados ao Projeto Lógico	66
Figura 46 – Trecho do Projeto Lógico	67
Figura 47 – Trecho da Fiação do F1.G com destaque a destino do pino 1A6....	67
Figura 48 – Trecho do Diagrama de Fiação	68
Figura 49 – Estrutura do F1.G no Explorer do EB	68
Figura 50 – Destino da Fiação.....	68
Figura 51 – Lista de Materiais do Projeto.....	69
Figura 52 – Trecho do Diagrama de Interligação.....	70
Figura 53 – Lista de Cabos do Projeto	70
Figura 54 – Estrutura hierárquica da OA no banco de dados	71
Figura 55 – Informações da OA cadastradas no EB	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Equipamentos usados para Entrada de Linha em 69 kV	45
Tabela 2 – Características elétricas do Painel 2UA2G	45
Tabela 3 – Dispositivos usados para Entrada de Linha em 69 kV	45
Tabela 4 – Descrição de IED's para a Entrada de Linha em 69 kV	46

LISTA DE ABREVIATURAS

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANSI	American National Standards Institute
BI	<i>Business Intelligence</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
BOM	<i>Bill of Materials</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CDE	<i>Common Data Environment</i>
CIM	<i>Common Information Model</i>
EB	Engineering Base
EIM	<i>Engineering Information Modeling</i>
ICE	Institution of Civil Engineers
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IED	<i>Intelligent Electronic Device</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NBIMS	<i>National BIM Standard</i>
OA	Ordem de Ajuste
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAC	Proteção, Automação e Controle
P&ID	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i>
RICS	<i>Royal Institution of Chartered Surveyors</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SQL	<i>Structured Query Language</i>
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
USA	United States of America
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
VBE	<i>Visual Basic Editor</i>
WA	<i>Workflow Assistant</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	16
1.2 Estrutura do Trabalho	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 O Projeto Elétrico	19
2.1.1 Sistemas de Proteção e Controle	21
2.1.2 Estrutura básica de Relé e de Esquema de Proteção	22
2.1.3 Requisitos de Proteção para Entrada de Linha de 69 kV	25
2.2 BIM	27
2.2.1 Estágios de Maturidade BIM	29
2.2.2 Dimensões do BIM	30
2.2.2.1 Dimensão 3D: Modelagem Paramétrica	31
2.2.2.2 Dimensão 4D: Planejamento	32
2.2.2.3 Dimensão 5D: Orçamentação	32
2.2.2.4 Dimensão 6D: Sustentabilidade	32
2.2.2.5 Dimensão 7D: Gestão e Manutenção	33
2.3 EIM	33
2.4 Engineering Base	36
2.5 Utilização do Engineering Base como ferramenta BIM/EIM	37
3 METODOLOGIA	44
3.1 Proposta de Estudo de Caso	44
3.2 Criação de Banco de Dados, de Projeto e de Diagramas no Engineering Base	46
3.3 Programação e Automatização no Engineering Base	51
3.3.1 Macros VBA	52
3.3.2 Atributos-fórmula	54
4 RESULTADOS e DISCUSSÃO	57
4.1 Estudo de Caso	57
4.2 Automatismos Desenvolvidos	62
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	75
Apêndice A	78
Apêndice B	119
Apêndice C	129

1 INTRODUÇÃO

“Transformar a rede elétrica de nosso país é comparado em importância à construção do sistema de rodovias interestaduais ou ao desenvolvimento da internet”¹ (USA, 2009, p. 3, tradução nossa). No contexto do serviço de fornecimento de energia elétrica, é notável a transformação global vivenciada nos últimos anos, a transição para as “*Smart Grids*” – Redes Elétricas Inteligentes (GUERRA *et al.*, 2010). Desse modo, o conceito de Redes Elétricas Inteligentes concerne à capacidade de promover operação e controle aprimorados no sistema elétrico de potência, usando-se de informações providas de elementos digitais e de comunicações na rede elétrica (MME, 2021).

Para o Departamento de Energia estadunidense, consoante relatório divulgado em 2009 sobre o então iminente tema das Redes Elétricas Inteligentes (USA, 2009), os principais desafios para a implementação das *Smart Grids* são: 1) custos e sua recuperação, 2) barreiras técnicas, 3) mudanças de tecnologias e políticas, e 4) padrões para interoperabilidade. Quanto a este último desafio elencado, o Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes, criado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), aborda em relatório que a modelagem de dados tenha protocolo aberto, público e padronizado (MME, 2021). Assim sendo, a interoperabilidade do sistema se torna independente de fornecedores de softwares e de fabricantes de dispositivos.

Conforme Kim *et al.* (2020), os problemas de interoperabilidade de sistemas emergem em virtude do uso de diferentes modelos semânticos de dados por diferentes domínios de energia. Como exemplo, a incompatibilidade de modelo de dados para automação de subestações, baseado na IEC 61850, e o modelo de dados para o gerenciamento de energia, fundamentado na IEC 61970. Ainda segundo Kim *et al.* (2020), essas dificuldades que derivam das diferenças entre as semânticas e notações surgiram devido ao desenvolvimento desses padrões por comunidades de modo independente. Em vista dessa conjuntura, a Comissão Eletrotécnica Internacional (em inglês: *International Electrotechnical Commission*,

¹ Original: Transforming our nation's grid has been compared in significance with building the interstate highway system or the development of the internet.

IEC) promoveu a formulação do *Common Information Model* (CIM). O CIM é uma interface padrão de programação de aplicativos utilizada para a troca de informações semânticas (KIM *et al.*, 2020). Nesse sentido, o CIM dispõe de estrutura robusta para compartilhamento de dados, fusão e transformação de informações reutilizáveis, aplicado em sistemas de energia.

Como resultado, essa compatibilidade de dados deve alcançar o empreendimento desde o princípio, com a concepção dos projetos. No contexto de projetos consolidados, Aung (2013) defende que é complexa a formatação de bancos de dados com estrutura organizada de informações do projeto, uma vez que envolve a aquisição e cadastro de dados de sistemas antigos. Essa dificuldade reside no formato da informação de projetos desenvolvidos em épocas anteriores. Os documentos de desenho de projetos de engenharia antigos são, em geral, salvos na forma de CAD ou desenhados à mão (CHEN *et al.*, 2021). Em geral, a entrada de dados para formato digital e estruturado é manual ou se pode aplicar procedimentos com aprendizado de máquina. Por outro lado, na perspectiva de projetos atuais, podem-se utilizar de plataformas de engenharia disponibilizadas por desenvolvedores de softwares e de metodologias para elaboração de projetos.

Como uma das opções de mercado, o Engineering Base (EB) é uma plataforma de engenharia com aplicação viável a projetos de engenharia de subestações. Adicionalmente, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM) é vista como promissora para a criação de modelo virtual preciso para projetos. Consoante ICE (2014), as ferramentas BIM são o sucessor tecnológico e de processo de programas CAD – *Computer Aided Design*.

1.1 Objetivos

Propõe-se nesta monografia documentar avanços no desenvolvimento de projetos de PAC de subestações, usando-se do software Engineering Base. Para tanto, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar Estudo de Caso: elaboração de um banco de dados no Engineering Base, que contém o projeto de proteção, automação e controle (PAC) de subestação típica;

- Aplicar o conceito de *Engineering Information Modeling* (EIM) para a modelagem dos dados;
- Automatizar tarefas e etapas do projeto elétrico via programação na plataforma de engenharia, usando linguagem VBA (*Visual Basic for Applications*) e metalinguagem do EB;
- Demonstrar a eficácia, rapidez e confiabilidade no uso do EB com o EIM para projetos de PAC de subestações.

1.2 Estrutura do Trabalho

A monografia foi constituída no seguinte esqueleto:

- Capítulo 1: Contextualização da temática estudada, relacionando-a às *Smart Grids*; introdução à ferramenta e metodologia usada; e apresentação dos objetivos do trabalho;
- Capítulo 2: Fundamentação Teórica relativa aos projetos PAC de subestações, aprofundando-se no projeto elétrico e seus entregáveis, nos sistemas de proteção e controle, na estrutura básica de funcionamento de Relé e de esquema de proteção, e sobre os requisitos de proteção para evento estudado; abordagem da metodologia BIM; considerações sobre a metodologia EIM; e apresentação do software Engineering Base;
- Capítulo 3: Metodologia do trabalho, com apresentação da proposta de Estudo de Caso; demonstração de forma de criar banco de dados, projeto e diagramas no Engineering Base; discussão sobre a programação e automatização no Engineering Base, na figura de macros VBA e de atributos-fórmula; e detalhamento da utilização do Engineering Base como ferramenta BIM/EIM;
- Capítulo 4: Resultados do estudo de caso elaborado e dos automatismos desenvolvidos e aplicados;
- Capítulo 5: Considerações finais acerca da aplicação do Engineering Base como ferramenta EIM para projetos elétricos de subestações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas elétricos de potência (SEP) constituem a infraestrutura da sociedade moderna. O SEP é responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, permitindo o funcionamento das atividades econômicas e sociais. As subestações são instalações vitais do SEP, sendo responsáveis pela transformação dos níveis de tensão, proteção, controle e manobra elétrica (WEEDY *et al.*, 2012). Conseqüentemente, as subestações são pontos estratégicos no sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica. Os Projetos de Proteção, Automação e Controle (PAC) de subestações têm como objetivo garantir a operação segura, confiável e eficiente desse componente fundamental do SEP (FERREIRA, 2019). Os projetos de PAC de subestações envolvem o uso de tecnologias avançadas para monitorar, proteger e controlar os equipamentos presentes nas subestações. Consoante Mendes (2011), os sistemas de automação no setor elétrico evoluíram consideravelmente em virtude da velocidade e do processamento atingidos por dispositivos de automação, computadores e componentes de rede. Ainda segundo Mendes (2011), os avanços nesses dispositivos iniciaram-se, sobretudo, na área de proteção. Como maior exemplo evolutivo dos dispositivos de proteção, figuram-se os IED's (*Intelligent Electronic Devices* – Dispositivos Eletrônicos Inteligentes) atuais, que são fruto do desenvolvimento sucessivo de relés eletromecânicos.

A proteção é um dos principais aspectos a serem estabelecidos para as subestações. Em virtude da importância desse elemento ao SEP, a proteção envolve o uso de relés e outros dispositivos para identificar e isolar rapidamente falhas ou anormalidades no sistema elétrico, como curtos-circuitos, sobrecargas e falhas de isolamento (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2020). A proteção é fundamental para garantir a segurança dos equipamentos, a continuidade do fornecimento de energia elétrica e a integridade física de operadores e propriedades. A automação em subestações se dá pelo uso de sistemas de automação para controlar e monitorar os equipamentos e processos de forma eficiente e otimizada. Os sistemas de automação podem incluir aquisição de dados, controle de dispositivos, comunicação de dados, sistemas de supervisão, controle de acesso e gerenciamento de alarmes (FERREIRA, 2019). A automação permite uma operação

mais eficiente e confiável das subestações, reduzindo a intervenção humana e minimizando o risco de erros operacionais. Nesses esquemas, os sistemas de controle são incumbidos pelo gerenciamento e controle remoto de equipamentos e dispositivos, como chaves, disjuntores e transformadores. Dessa forma, esses sistemas são agentes fundamentais para a garantia do correto funcionamento do SEP. Em síntese, os sistemas de controle permitem a supervisão, controle e monitoramento em tempo real das operações das subestações, promovendo melhorias em tomadas de decisões e em respostas a eventos e contingências.

2.1 O Projeto Elétrico

O projeto elétrico das subestações é um conjunto de vários documentos em forma de relatórios técnicos e de diagramas. Listam-se: memoriais de cálculo, diagramas unifilares, diagramas trifilares, diagramas funcionais, diagramas de interligação, diagramas lógicos, desenhos construtivos, listas de cabos, lista de materiais, entre demais exigências do caso específico da subestação ou cliente (MAMEDE FILHO, 2021).

Consoante ao memorial de cálculo, é neste relatório técnico em que se especificam a descrição detalhada do projeto, a relação de cargas elétricas associadas ao projeto, o cálculo das impedâncias do sistema de suprimento à subestação, a determinação dos eletrodutos, entre outros (MAMEDE FILHO, 2021). Tanto o sistema de corrente alternada como o de corrente contínua são especificados neste documento: dimensionamento da potência nominal do transformador de serviço auxiliar, da capacidade do banco de baterias e do retificador-carregador.

O diagrama unifilar simplificado possibilita o reconhecimento da natureza do projeto, no sentido de ser um rápido instrumento para identificação do tipo de barramento, do número de entradas de linha, do número de transformadores, do número de alimentadores secundários, entre outros. Nesse documento, devem constar os equipamentos de potência – alta e média tensão – e os relés de proteção, com respectivas funções ANSI (MAMEDE FILHO, 2021).

Já o diagrama unifilar detalhado dispõe dos equipamentos de potência – alta e média tensão –, os relés de proteção com respectivas funções ANSI e as

interligações entre os relés e os equipamentos de potência (TC's, TP's, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores de potência, transformadores de aterramento, resistores de aterramento, intertravamentos entre chaves). Outra nomenclatura comum ao documento é de diagrama unifilar de proteção e controle, pois, este promove a identificação de todos os relés de proteção e de respectivas funções de proteção. Por conseguinte, este é um dos principais documentos do projeto elétrico, uma vez que, a partir deste, podem ser construídos o projeto lógico e a implementação da lógica dos intertravamentos para operação da subestação (MAMEDE FILHO, 2021).

O diagrama funcional consiste no documento que reúne os circuitos dos painéis de proteção e controle, em que se estabelece a funcionalidade dos relés, medidores e dispositivos auxiliares. Desse modo, os IED's recebem as informações analógicas de tensão e corrente do circuito, oriundas dos TP's e TC's. Esses dados são então processados, em formato digital, havendo a ordem de atuação aos dispositivos, a depender do cenário de funcionamento do sistema. O diagrama funcional destaca diferentes tipos de circuitos que fazem interface com o painel: circuito de alimentação, para suprimento do painel em corrente alternada e contínua; e circuito de controle, para transmitir informações dos equipamentos de potência, as quais são analisadas e interpretadas pelos relés e outros dispositivos, para tomar decisão de envio de ordens de abertura ou fechamento para os equipamentos de proteção (MAMEDE FILHO, 2021). Portanto, a elaboração deste entregável requer o conhecimento detalhado de fabricantes dos relés, medidores e dispositivos que serão incorporados ao painel de proteção e controle.

Os diagramas de interligação promovem o registro das conexões dos terminais dos painéis de proteção e controle aos equipamentos de pátio ou aos equipamentos instalados na casa de comando e controle. Destarte, a interligação ocorre entre disjuntores, transformadores de potência, TC's, TP's, chaves seccionadoras, entre outros (MAMEDE FILHO, 2021).

Os diagramas lógicos simbolizam a representação das formas de como são executadas as operações de comando e controle de equipamentos e dispositivos da subestação. Essas ordens são realizadas pela programação de relés digitais, a partir de informações que são enviadas ao painel, processadas utilizando-se de portas lógicas digitais, como "OR", "AND", "NOT". Dessa forma, os projetos lógicos indicam

a lógica de operação dos sistemas de proteção, controle e automação, representando as relações lógicas estabelecidas nos IED's entre os diferentes componentes e dispositivos de uma subestação (MAMEDE FILHO, 2021).

Os diagramas construtivos são uma representação gráfica dos detalhes construtivos e da configuração física dos componentes de uma subestação. Dessa maneira, expressam os desenhos da arquitetura dos painéis de proteção e controle. Em geral, os fabricantes dos painéis adotam padronização nas dimensões da peça, ao passo que os arranjos dos dispositivos no interior do painel são desenvolvidos de forma particular para cada caso de subestação. Dessa forma, os dispositivos presentes no diagrama funcional são dispostos no interior do painel, de forma criteriosa para estabelecer organização espacial razoável e coerente (MAMEDE FILHO, 2021).

A lista de cabos é derivada do diagrama de interligação. Neste documento são listados os cabos utilizados, definindo-se os pontos de origem e destino, a função do cabo, seu comprimento e o tipo de cabo usado. Essa lista é aplicada para a aquisição dos cabos, sendo também utilizada para o lançamento destes nas canaletas e tubulações, que promovem acesso até os equipamentos e dispositivos (MAMEDE FILHO, 2021).

A lista de materiais (ou BOM, do inglês *Bill of Materials*) é um documento que enumera todos os materiais e equipamentos necessários para o projeto da subestação. Esse entregável é fundamental para a aquisição precisa dos suprimentos do projeto, garantindo sua disponibilidade no momento da montagem do painel, a fim de que não haja interrupções no processo de construção, tampouco desperdício de recursos na aquisição de mais dispositivos que o requisitado (MAMEDE FILHO, 2021). Logo, é uma ferramenta essencial para planejar os custos do projeto e garantir que o orçamento seja respeitado.

2.1.1 Sistemas de Proteção e Controle

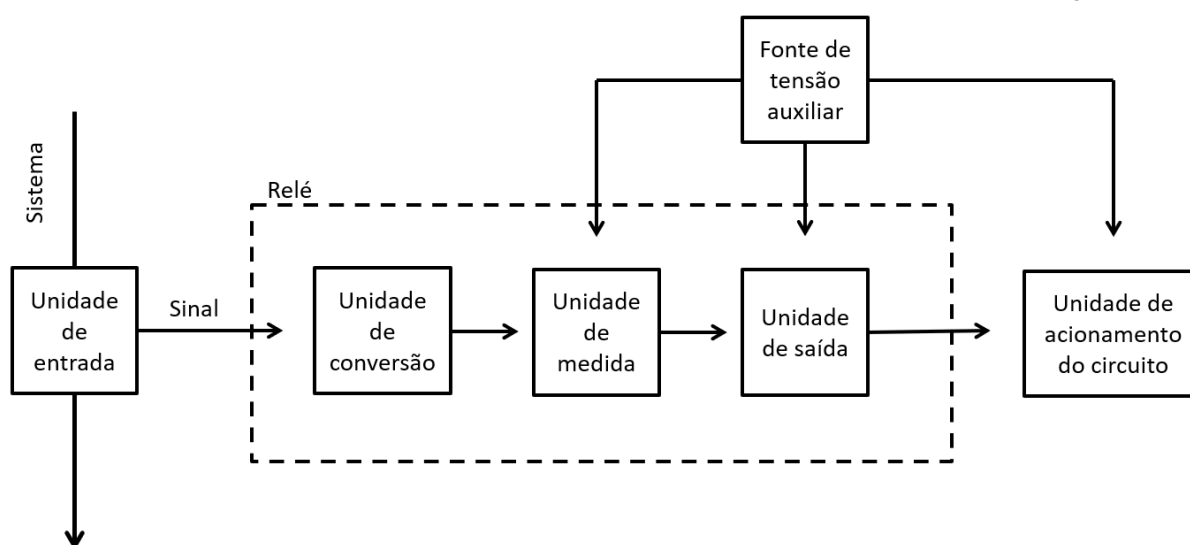
As anomalias elétricas nos SEP's são inevitáveis: curtos-circuitos, sobrecargas, subtensões e sobretensões apresentam inúmeras origens, e suas consequências podem variar de irrelevantes a catastróficas. O elemento responsável por definir o grau de severidade que uma ocorrência ocasiona é o sistema de

proteção da instalação. O papel do sistema de proteção é desconectar a parte do SEP que apresenta operação fora de limites previstos. Outra função primordial é a de fornecer informações para operadores do SEP para que haja detecção de defeitos e célere recuperação. Em geral, o sistema de proteção se configura com a inserção de fusíveis e relés, geralmente associados a disjuntores e religadores. Para subestações, a combinação mais comum é de relés digitais e disjuntores. Os principais critérios considerados para detecção de anomalias nos sistemas são: elevação da corrente, elevação e redução da tensão, inversão do fluxo de potência e alteração da impedância do sistema (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2020).

2.1.2 Estrutura básica de Relé e de Esquema de Proteção

Os relés digitais são dispositivos com papel imprescindível no esquema de proteção. A partir dos sinais analógicos fornecidos pelos transformadores de medida, os relés processam digitalmente, comparando com valores ajustados. Sendo assim, caso os valores predefinidos nos relés sejam violados e o tempo previsto para atuação seja atingido, o relé envia para o dispositivo associado um sinal de abertura, seccionando o trecho afetado (MAMEDE FILHO, 2021). O esquema básico de funcionamento do relé é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema básico de funcionamento de um Relé de Proteção



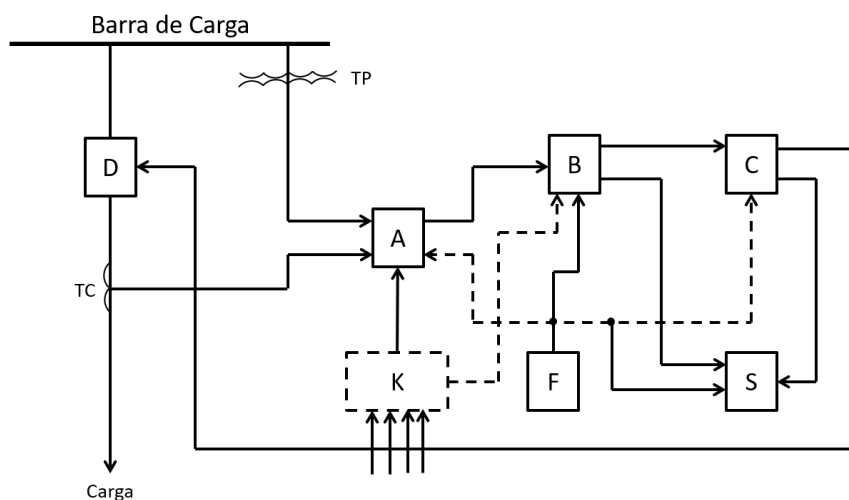
Fonte: Adaptado de Mamede Filho e Mamede (2020).

Cada bloco simbolizado na imagem anterior é esclarecido (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2020).

- Unidade de Entrada: responsável pela aquisição de informações de elementos do sistema, enviando-as a unidades de conversão, além de oferecer isolamento elétrico do equipamento em relação ao sistema, evitando que correntes/tensões elevadas o atinjam;
- Unidade de conversão de sinal: responsável pela conversão de sinais (de TC's e TP's) com modulação adequada ao nível de funcionamento do relé, sendo própria de relés secundários (em relés primários, os valores do próprio sistema que são usados);
- Unidade de medida: compara valores recebidos da unidade de conversão (ou de entrada), como módulos e ângulos de corrente/tensão e frequência, com valores cadastrados e, em caso de discrepância relevante, envia sinais para unidade de saída para tomada de ações no sistema;
- Fonte de tensão auxiliar: possui a função de fornecer energia à unidade de medida e de saída, e, por vezes, à de acionamento – constituída por bobina que aciona contato auxiliar. Pode ser constituído por uma bateria ou construído a partir do circuito interno do relé;
- Unidade de saída: constituída por bobina que aciona contato auxiliar ou por chave semicondutora;
- Unidade de acionamento: geralmente, bobina de espiras grossas montada no elemento interruptor do circuito (disjuntor/interruptor), característica de relés secundários (em relés primários, as unidades de entrada que são responsáveis pelo acionamento).

Adicionalmente ao conceito básico do relé, uma visão global é apresentada na Figura 2 sobre o esquema de proteção.

Figura 2 – Estrutura básica de um Esquema de Proteção



Fonte: Adaptado de Mamede Filho e Mamede (2020).

De modo similar, a explicação para cada componente da imagem é realizada (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2020).

- TC – Transformador de corrente: equipamento responsável pelo fornecimento da corrente ao elemento de avaliação (A) que se quer controlar;
- TP – Transformador de potencial: equipamento responsável pelo fornecimento da tensão ao elemento de avaliação (A) que se quer controlar;
- D – Interruptor ou disjuntor responsável pela desconexão do sistema;
- F – Fonte auxiliar de corrente que supre os elementos da proteção, que, normalmente, é fonte de corrente contínua;
- A – Elemento de avaliação das medições de corrente e tensão que tem as funções de gerenciar as condições operacionais do componente elétrico protegido e de decidir as condições em que se dará a operação de desconexão;
- B – Elemento lógico da estrutura de proteção que recebe as informações do elemento de avaliação, procede à comparação com os valores ajustados e pode efetuar sinal de atuação para o interruptor do circuito;
- C – Elemento responsável pela modularização do sinal de disparo do interruptor;
- S – Elemento de sinalização visual das operações realizadas na estrutura básica de proteção;

- K – Elemento responsável pela recepção de sinais de comando, como a régua de bornes dos condutores dos circuitos de proteção.

2.1.3 Requisitos de Proteção para Entrada de Linha de 69 kV

Em geral, os requisitos mínimos para os sistemas de proteção de empreendimentos de alta tensão são determinados por normas técnicas. Em estudo de caso proposto, há elaboração de projeto elétrico para subestação típica, considerando entrada de linha de 69 kV. Segundo o submódulo 2.11 dos Procedimentos de Rede do ONS (ONS, 2021), os requisitos de proteção para o evento abordado em estudo de caso são estabelecidos pelo próprio agente proprietário da instalação, em virtude do não pertencimento da subestação à Rede Básica. O trecho que ressalta essa exoneração de observância às regras do submódulo é apresentado a seguir.

1.1.1. Os requisitos técnicos descritos neste submódulo aplicam-se às instalações de transmissão integrantes da Rede Básica, quando modernizadas ou quando identificada a necessidade e determinado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e às instalações de transmissão de energia elétrica destinadas a interligações internacionais conectadas à Rede Básica.

1.1.2. Os requisitos técnicos aplicáveis às instalações de transmissão integrantes da Rede de Operação com tensão nominal inferior a 230 kV, às Demais Instalações de Transmissão (DIT) ou às instalações de transmissão de interesse exclusivo de centrais de geração para conexão compartilhada (ICG) são aqueles definidos pelo agente de transmissão responsável por essas instalações, exceto quando requisitos específicos tenham sido estabelecidos em ato de outorga do empreendimento, ou por indicação do ONS.

Apesar da não obrigatoriedade do cumprimento íntegro da norma do ONS para o exemplo estudado, alguns pontos são levados ao projeto desenvolvido para a subestação típica. Assim sendo, destacam-se os requisitos de proteção estabelecidos para a análise do caso.

- Funções de Sobrecorrente Não-Direcionais de Fase (50/51): funções de proteção de sobrecorrente respondem à corrente no elemento protegido quando da superação do módulo da corrente de valor ajustado. Segundo Mamede Filho e Mamede (2020), todos os segmentos do SEP são normalmente protegidos por relés de sobrecorrente, sendo esta a proteção mínima a ser garantida;

- Funções de Sobrecorrente Não-Direcionais de Neutro (50/51 N): segundo Kindermann (2005), é também conhecida como função de proteção de sequência zero. Essa função permite ao relé monitorar a soma das correntes trifásicas primárias do circuito, cuja soma, pela 1ª Lei de Kirchhoff, é igual à corrente no neutro, a qual corresponde ao triplo da componente de sequência zero da corrente;
- Funções de Sobrecorrente Direcionais de Fase e de Neutro (67/67N): Consoante Frazão (2019), há probabilidade de problemas para o relé de sobrecorrente fornecer uma proteção adequada a sistemas não radiais ou que apresente múltiplos geradores. Isto ocorre devido à inversão do sentido do fluxo da corrente de curto-circuito por faltas fora da zona de proteção, ocasionando a operação indevida do relé. Com isso, a função direcional é aplicada, de modo que o elemento de proteção deve atuar apenas quando a corrente de curto-circuito fluir no sentido da zona;
- Funções de proteção de Distância de Fase e de Neutro (21/21 N): Para Mamede Filho e Mamede (2020), a implementação de relés de distância é conveniente uma vez que o tempo de atuação destes dispositivos é proporcional à distância entre o ponto de instalação do elemento de proteção e o ponto de defeito. Essa função estabelece o processamento da tensão aplicada em seus terminais e da corrente de defeito, originando a expressão V/I . Assim, tem-se o cálculo da distância de um trecho do alimentador a partir da impedância unitária do condutor utilizado. A operação do relé ocorre caso a impedância medida for inferior ao valor ajustado;
- Função de proteção Contra Falha de Disjuntor (50BF): é uma proteção de sobrecorrente direcional de fase. A estratégia da proteção de falha de disjuntor é a garantia do desligamento de trechos, considerando a não atuação de um componente. Efetivamente, os relés de religamento devem ser bloqueados quando do acionamento dessa função (MAMEDE FILHO; MAMEDE, 2020);
- Função de proteção de Subtensão (27): tem operação efetuada quando a tensão reduz abaixo de valor pré-ajustado (KINDERMANN, 2006). Assim, o elemento de proteção monitora continuamente os níveis de tensão em

um determinado ponto do sistema elétrico e atua para desligá-lo quando ocorre uma redução de tensão em relação ao valor configurado;

- Função de proteção de Sobretensão Instantânea e Temporizada (59I/T): é responsável pelo monitoramento e proteção contra picos ou excesso de tensão no sistema. Segundo Blackburn e Domin (2014), um relé de sobretensão deve ser adicionado sempre que existir, por chaveamento ou ilhamento, a possibilidade de uma condição de operação de sistema não aterrado;
- Função de Religamento Automático (79): Conforme Mamede Filho e Mamede (2020), essa função de religamento é aplicada quando a proteção de sobrecorrente atua, porventura da ocorrência de um curto-circuito na rede. Assim, o relé de religamento emite sinal para fechamento automático do circuito desconectado, após um tempo predeterminado.

2.2 BIM

Para o desenvolvimentos de projetos, é fundamental a adoção de metodologia de trabalho. Uma metodologia fornece um conjunto de etapas e diretrizes claras que orientam o processo de desenvolvimento do trabalho, além de definir padrões e critérios de qualidade. A metodologia BIM – *Building Information Modeling* – distingue-se no mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) como processo disruptivo (LEUSIN, 2018). Embora não haja uma definição universalmente adotada, o conceito de Modelagem da Informação da Construção envolve o reconhecimento da promoção de um processo evoluído de gestão e de trabalho colaborativo. De acordo com Eastman *et al.* (2011), o BIM é metodologia promissora que permite a criação de modelo virtual preciso de empreendimento construído digitalmente para apoiar as atividades de projeto, construção, fabricação e aquisição por meio das quais o projeto é desenvolvido, uma vez que o modelo gerado digitalmente contém informações relativas à construção, aquisição de materiais e da geometria do projeto. Ainda consoante Eastman *et al.* (2011), o conceito abarca ainda funções para modelar o ciclo de vida do projeto, fornecendo base para implementação de modificações e de novas capacidades no futuro. Por isso, o BIM permite um processo de projeto e construção integrado, que possibilita o

desenvolvimento de projetos de melhor qualidade, com mitigações alcançadas em custo e em tempo de projeto.

Consoante Smith e Tardif (2009), a metodologia BIM é uma abordagem holística para a gestão de informações de construção utilizando-se de modelos digitais integrados para representar as características físicas e funcionais de um empreendimento. Ainda conforme Smith e Tardif (2009), o BIM é processo de colaboração que envolve todas as partes interessadas no projeto, com a elaboração de modelo usado para facilitar a comunicação entre as equipes de projeto, permitindo que os participantes visualizem e analisem o projeto em um ambiente virtual antes da construção. Com isso, o BIM ultrapassa a barreira de se limitar a um software: é uma abordagem estratégica que determina a maneira como o projeto deve ser desenvolvido. Desse modo, se vislumbram melhorias na qualidade e na sustentabilidade dos empreendimentos.

Para Leusin (2018), os empreendimentos desenvolvidos por meio de processos BIM diferem significativamente daqueles baseados em tecnologia CAD. Estas ferramentas CAD são, em geral, softwares de planejamento de obra ou para gestão de arquivos. Assim, o fluxo de informações, as etapas e seus respectivos produtos são diferentes no processo BIM. Essa dissemelhança exige ferramentas diferenciadas não apenas para a concepção, mas para todas as demais atividades necessárias para o desenvolvimento do projeto, sobretudo as voltadas à comunicação das equipes de trabalho, de diferentes disciplinas. Consequentemente, é evidente a demanda por plataforma de engenharia que suporte a aplicação do BIM para o desenvolvimento de projetos (NBIMS-US, 2014). Portanto, no contexto de projetos de automação para subestações, é descartado o uso de softwares CAD (*Computer-Aided Design*) para a aplicação da metodologia BIM.

Ainda consoante Leusin (2018), o modelo 3D é o principal destaque do BIM, e são comuns percepções equivocadas sobre a metodologia em virtude dessa imagem. É frequente defrontar-se a concepções que limitam o BIM ao 3D. Em verdade, os processos BIM são bem mais complexos, ainda que a base de todos seja “um modelo BIM”. Contudo, esse caracteriza-se por cumprir uma série de funcionalidades muito além da representação tridimensional, pois é composto por “objetos virtuais”. Esses objetos são representações digitais que integram a geometria com informações de dados sobre uso, com regras paramétricas que

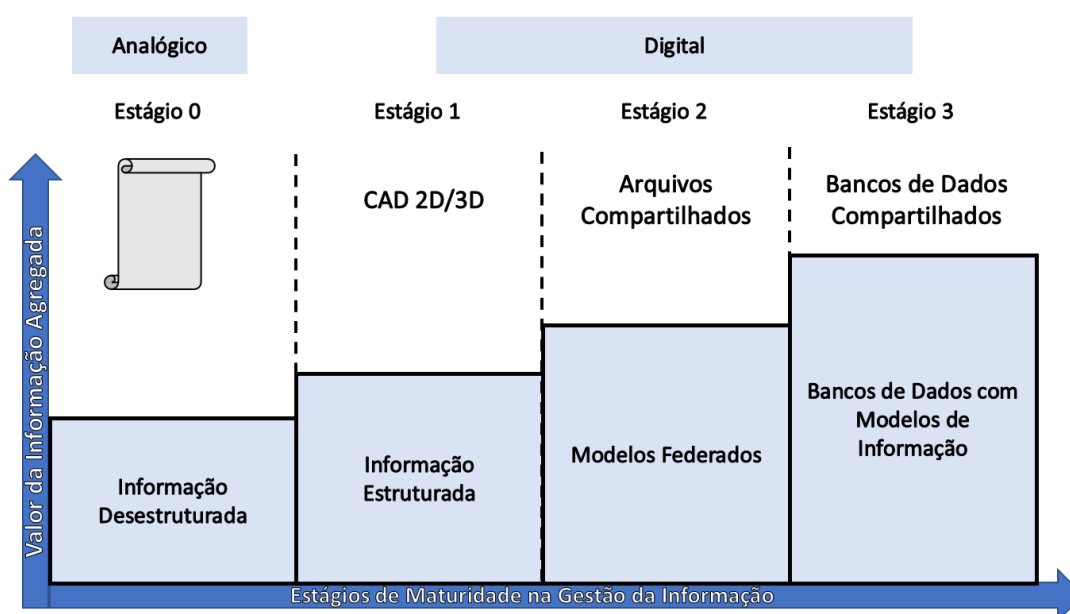
regulam sua aplicação nos projetos. Assim, por exemplo, não é possível criar uma porta sem existir uma parede que a sustente, a qual é o objeto hospedeiro da porta. Esses objetos virtuais contêm dados que permitem extrair quantitativos, relatórios de especificações e visualizações coordenadas.

Com efeito, na conjuntura de projetos de automação para subestações, em virtude da não necessidade de representação 3D, é dispensado de plataforma de engenharia o pré-requisito de representação tridimensional do modelo virtual criado. A justificativa para essa dispensa é lógica: não é necessário modelar tridimensionalmente o empreendimento para elaborar seu sistema de supervisão, proteção e controle. A aplicação do BIM é vantajosa em virtude das melhorias do processo de desenvolvimento e da tecnologia que permite a elaboração automática de etapas a partir do modelo virtual construído.

2.2.1 Estágios de Maturidade BIM

Com a aplicação do BIM como metodologia de projeto, o tratamento de dados é basilar. Desse modo, a metodologia estabelece um conceito de maturidade relativa ao nível de evolução do tratamento da informação (LEUSIN, 2018). É indicado na Figura 3 os estágios de maturação da abordagem de dados.

Figura 3 – Estágios de Maturidade BIM



Fonte: Adaptado de Leusin (2018).

A contribuição à gestão da informação proporcionada pelo BIM consiste em mudanças processuais. Consoante Leusin (2018), o Estágio 0 é caracterizado pela informação não estruturada e por processo imprevisível, pouco controlado e de organização reativa. No Estágio 1, o processo está caracterizado, mas a organização ainda é reativa. O uso de softwares CAD é idem característico a esse estágio. Já no Estágio 2, o processo está caracterizado e a organização é proativa. Neste já há compartilhamento de arquivos, porém, por vezes sem haver possibilidade de haver trabalhos paralelos ou sincronia instantânea. Ainda segundo Leusin (2018), já foram realizadas inúmeras tentativas de desenvolver projetos por meio de sistemas síncronos, permitindo o acesso simultâneo de usuários. Contudo, estes experimentos apresentaram tempos expressivos para sincronismo devido à lentidão no tráfego na rede. Assim, viu-se que a qualidade dos servidores é fundamental nesse desempenho. Essa performance é crítica considerando o caso da equipe de uma mesma disciplina. Por depender de repetidas sincronizações, sendo que cada uma exigia vários minutos, os colaboradores viam-se forçados a realizar paradas frequentes.

Já no Estágio 3, há melhoria dos processos, através de sua monitoria e controle, a partir da utilização de bancos de dados compartilhados que apresentam modelos de informação. Consoante Leusin (2018), são pontos-chave para o processo BIM a integração dos dados e a possibilidade de acesso simultâneo, mas controlado, a um banco de dados. Neste elemento, são concentradas as informações das diversas disciplinas envolvidas no projeto. Assim, esse conjunto que reúne as informações é denominado *common data environment* (CDE), o qual pode estar instalado em um servidor local, em rede externa, ou em servidor na nuvem. Destarte, a informação produzida por um usuário pode ser reutilizada quantas vezes seja necessário por qualquer outro usuário envolvido no projeto, de modo que há garantia da confiabilidade e integridade do dado até a entrega do projeto.

2.2.2 Dimensões do BIM

As dimensões do BIM são tipos específicos de informação presentes no modelo BIM que promovem o aprimoramento de seu nível descritivo. Dessa forma, a

inserção de dados associados a diferentes variáveis – como tempo, custos e sustentabilidade, – permitem a elaboração de um modelo que apresenta maior nível de entendimento do projeto (GARIBALDI, 2020). Logo, as dimensões do BIM caracterizam o grau de vinculação do modelo de informação aos tipos específicos de dados. Dessa maneira, é notável que modelos com maiores dimensões permitem uma evolução na qualidade do desenvolvimento de etapas de trabalho e maior precisão em entregáveis, em virtude da criação de dados que representam variáveis de diferente natureza. É apresentado na Figura 4 as dimensões do BIM.

Figura 4 – Dimensões do BIM



Fonte: Garibaldi (2020).

2.2.2.1 Dimensão 3D: Modelagem Paramétrica

Consiste no processo de reunião de informações gráficas e não gráficas para criação de modelos 3D. Também conhecido como renderização tridimensional, é exigido o uso de ferramentas computacionais que proporcionam a produção de modelos digitais de qualidade, com detalhamento apropriado do design. Além disso, é indispensável que os usuários cadastrem informações precisas, evitando eventuais falhas e retrabalhos.

2.2.2.2 Dimensão 4D: Planejamento

Estabelece o critério do tempo no projeto. Nesta fase, são determinadas as etapas do projeto, com a precisão do tempo para composição de entregáveis. Desse modo, a dimensão 4D possibilita o aprimoramento da programação do projeto, uma coordenação entre equipes multidisciplinares, e equipes de campo. A estimativa precisa de fases do projeto auxiliam na detecção precoce de problemas relacionados ao cumprimento de prazos, uma vez que o planejamento traz segurança com a documentação de etapas do projeto e com a posse de cronograma.

2.2.2.3 Dimensão 5D: Orçamentação

Consiste na elaboração de orçamento baseando-se nas informações relacionadas ao projeto. Essa dimensão apresenta maior precisão quanto maior for o nível de detalhamento e de congruência do modelo BIM construído. Dessa maneira, informações sobre os componentes do modelo são exploradas para exprimir os custos incorridos na execução do projeto. Conseqüentemente, a dimensão 5D do BIM permite controle orçamentário sobre questões de escopo do projeto, materiais e mão de obra. Com a aplicação dessa dimensão, há contabilização automática de componentes associados ao projeto, visualização em tempo real do impacto orçamentário provocado por alterações no projeto, mitigação de incoerências em listas de materiais e produção de análise simples e automática de custos.

2.2.2.4 Dimensão 6D: Sustentabilidade

Articula visão sobre toda a vida útil dos ativos, realocando o foco dos custos das etapas iniciais do projeto também para o longo prazo. Promove a composição proporcional dos custos no ciclo de vida do empreendimento, com a inclusão no modelo de informações que ofereçam suporte ao gerenciamento e operação do empreendimento. Como exemplo de dados relacionados à sustentabilidade do empreendimento, pode-se cadastrar no modelo informações sobre o fabricante, detalhes de configuração e operação de equipamentos, prazos de manutenção,

expiração de vida útil de dispositivos e até informações de desativação de equipamentos. Essas informações viabilizam o planejamento de atividades de manutenção, além de possibilitar economicamente a escolha mais adequada sobre equipamentos adotados, considerando todo o ciclo de vida do ativo.

2.2.2.5 Dimensão 7D: Gestão e Manutenção

Promove abordagem ao processo de gerenciamento do empreendimento, agrupando no modelo todas as informações concernentes à gestão e manutenção. Com efeito, a dimensão 7D considera aspectos de manutenção e de eventuais modificações passíveis ao empreendimento. Com isso, o 7D do BIM fomenta a busca de dados relevantes ao ativo, como status de equipamentos, especificações técnicas sobre uso, manuais de manutenção/operação ou informações concernentes à garantia. Assim sendo, possibilita melhoria no gerenciamento e na operação do empreendimento, uma vez que facilita a substituição de equipamentos e a promoção de reparos e manutenções.

2.3 EIM

O *Royal Institution of Chartered Surveyors* (RICS) – em tradução livre, Instituição Real de Topógrafos – apresentou em 2016 um guia de implementação internacional do BIM (RICS, 2016). Neste documento, o instituto fornece aos leitores recomendações sobre boas práticas da aplicação da metodologia, seguidas por profissionais competentes e experientes do setor. Com isso, este guia apresenta orientações, destacando princípios internacionais sobre como implementar e usar o BIM em projetos, incluindo questões de gerenciamento de aquisições e de ativos. Consoante diretrizes apontadas pelo instituto, a informação definida pelo modelo tem mais relevância que a tarefa da modelagem em si. Desse modo, embora a informação seja dependente da qualidade do modelo, – como exemplo, as dimensões adotadas para o projeto, – a filosofia da metodologia é centrada na gestão da informação.

Para o ICE (2014), o BIM é o gerenciamento de informações durante todo o ciclo de vida do ativo. A gestão do ciclo de vida é aprimorada com a redução de

perdas de informação durante transições de estágios do ativo, assegurada pelo compartilhamento de modelos criados e da estruturação inteligente da informação. Ao fornecer informações íntegras, claras e de fácil acesso, o gerenciamento do ciclo de vida do ativo é aprimorado, ao passo que um sistema de trabalho integrado é estabelecido. Por sofisticar a criação, definição, alocação e troca de modelos, o BIM agrega valor ao processo de gestão do ciclo de vida do empreendimento, promovendo maior eficiência no processo de desenvolvimento de projeto e agregando valor ao ativo.

Quanto à terminologia empregada ao se referir ao conceito de Modelagem da Informação da Construção, o RICS em guia de implementação internacional do BIM (2016) indica o uso dos termos “*Model*” e “*Modelling*” como sinônimos. A intercambialidade das palavras é explicada pela importância dada ao modelo e ao processo de modelagem pelo BIM. Segundo procedimentos da metodologia, a ideia central do BIM é o uso eficaz e eficiente das informações armazenadas no modelo, o qual é desenvolvido a partir de processo de modelagem eficiente. Logo, os termos mais do que se referir a um modelo ideal ou a processo de modelagem ideal, transmitem a filosofia de centrar-se no uso eficiente do modelo, – que determina o próprio modelo adotado e o processo de modelagem. Portanto, um projeto BIM bem desenvolvido baseia-se na perspicácia de detectar quais informações são relevantes para o escopo do trabalho, de modo que sejam escolhidos as dimensões e graus de detalhes da informação acertados. Assim sendo, o BIM sustenta a efficientização do processo de modelagem e do modelo.

Adicionalmente à equivalência dos termos “*Model*” e “*Modelling*”, o guia de implementação internacional do BIM (RICS, 2016) também destaca a substituição em alguns contextos do termo “*Building*”, em tradução livre, “Construção”. Pelo termo estar intrinsecamente relacionado a edificações, construções civis e obras, o guia destaca o uso dos substantivos “*Facility*”, “*Asset*” e “*Project*”, em tradução livre, “Empreendimento/Instalação”, “Ativo” e “Projeto”. Assim, o BIM é bem consolidado na indústria da construção, sendo a palavra “*Building*” a mais adequada para denominar a metodologia. A partir do avanço do BIM em outras indústrias do domínio da infraestrutura, tornou-se não raro denominar o BIM por outra nomenclatura.

Chen *et al.* (2021) utiliza o termo *Engineering Information Model* (EIM) no contexto da indústria de energia elétrica. Para os autores, o avanço da aplicação do EIM na indústria de energia elétrica ocasiona alteração no modo em que os dados são armazenados. A partir deste, novos projetos apresentam dados geralmente arquivados em um formato digital, o qual é conveniente para recuperação, o que acarreta maior quantidade de banco de dados de engenharia. Nesse aspecto, Chen *et al.* (2021) apontam os desafios impostos pela quantidade volumosa de documentos técnicos sem estruturação de dados ou não digitalizados, referentes a subestações de energia elétrica. A fim de contornar essa problemática, propõem soluções com algoritmos de inteligência artificial a fim de extrair informações de desenhos digitais ou até de fotografias de desenhos.

Em termos de projeto de engenharia de subestações, construir um modelo estruturado é essencial para orientar a elaboração de novos projetos. A utilização de informações organizadas tende a melhorar a produtividade e a qualidade de produtos de design (CHEN *et al.*, 2021). Conforme Ma (2005), a estruturação da informação promovida pelo EIM requer a utilização de banco de dados. Para o autor, o uso do EIM estabelece alguns requisitos para o modelo de banco de dados. Dentre os critérios apontados pelo pesquisador, destacam-se:

- Modelagem de Objetos Complexos: devido ao elevado volume de informações e da complexa estrutura dos dados de engenharia, é indispensável que o banco de dados permita a modelagem de objetos complexos. Logo, é vital que seja possível cadastrar para um único objeto múltiplos atributos. Dessa forma, podem-se representar os objetos de forma estruturada e organizada;
- Estabelecimento de Relações entre Objetos: objetos complexos também são caracterizados por possuírem relações com outros objetos no sistema em estudo. Dessa maneira, a estruturação precisa e organizada perpassa pela capacidade do banco de dados fomentar o estabelecimento de relações entre os objetos. Em geral, os bancos de dados promovem organização dos objetos em hierarquias taxonômicas. Outras relações também são possíveis;
- Troca e compartilhamento de Informações: em geral, por depender da atuação de membros de diferentes setores, as atividades de engenharia

são realizadas pela ação conjunta de equipes de diferentes disciplinas. Sendo assim, a troca e o compartilhamento de informações entre departamentos são imprescindíveis. Outro fator relevante para a troca de dados é a possibilidade de seguir padrões, modelos e protocolos. Usando-se dessa padronização, garante-se que os dados sejam estruturados e organizados de maneira consistente e previsível, o que facilita a troca de dados eficaz e a sua coerente interpretação;

- **Flexibilidade:** além do projeto de engenharia em si, informações imprecisas e incertas podem emergir em outras atividades que impactam a tarefa (MA, 2005). Sobretudo em fases iniciais do projeto, é comum deparar-se com questões de imprecisão e de incerteza, advindas de questões ainda a serem definidas pelo cliente, como, por exemplo, qual equipamento deve ser usado para o projeto, que é dependente de critérios econômicos e de almoxarifado. Assim, devido às mudanças de requisito e de funcionamento apresentadas ao longo do ciclo de vida do ativo, a flexibilidade é essencial à modelagem de dados uma vez que é necessário a estes a capacidade de acomodar essas alterações sem exigir modificações ou redesenhos significativos e dispendiosos;
- **Gestão do Conhecimento:** envolve uma abordagem sistemática para identificar, criar, representar e distribuir o conhecimento por toda a organização. De fato, é imprescindível que o banco de dados seja fonte da memória da empresa, tornando-se ambiente de trabalho e idem repositório de projetos consolidados. Assim sendo, a representação do conhecimento desenvolvido de forma estruturada e organizada promove um melhor entendimento dos próprios ativos, a possibilidade de se fazer melhor uso deste, – como exemplo, reutilizar projetos com características semelhantes ao atual, – e criar processos mais eficazes e eficientes.

2.4 Engineering Base

O Engineering Base (EB) é uma ferramenta computacional que pode ser usada em projetos de proteção, automação e controle de subestações como software para aplicação de metodologia EIM – Modelagem de Informações de

Engenharia. O EB é uma plataforma de engenharia desenvolvida pela AUCOTEC AG, empresa de software alemã especializada no desenvolvimento de soluções de design de engenharia. A AUCOTEC AG é fornecedora com posição de destaque mundial no ramo de software de projetos de engenharia (DIGITAL JOURNAL, 2023; OPENPR, 2023; BUSINESS WIRE, 2022), sendo o Engineering Base seu principal produto. Acrescentando-se ao setor elétrico, a empresa fornece soluções de engenharia para vários outros ramos, como o automotivo, mecânico, aeronáutico, químico, e de instrumentação e controle.

Essa variabilidade de aplicações em indústrias diversas é explicada pelo caráter modular da plataforma de engenharia (AUCOTEC, 2021). Listam-se ente os módulos disponibilizados pelo software, a versão Básica (dispõe de ferramentas básicas de desenho, o acesso a bibliotecas de símbolos e equipamentos), o de P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*, do inglês, Diagramas de Tubulação e Instrumentação, usado para projetar e documentar tubulações industriais e sistemas de instrumentação), a Automotiva (apresenta conjunto de ferramentas para o projeto e documentação de sistemas automotivos, como motores, transmissões, sistemas de suspensão e sistemas de freios), e a Elétrica (usado para projetar e documentar infraestrutura elétrica, incluindo diagramas de fiação, diagramas de interligação, diagramas funcionais, diagramas construtivos e layouts de painéis).

2.5 Utilização do Engineering Base como ferramenta BIM/EIM

A aplicação do Engineering Base como software para uso do EIM é viável pela estrutura e por funcionalidades dispostas pela plataforma de engenharia. Em primeiro lugar, destaca-se a maturidade relativa ao nível do tratamento da informação, de estágio 3. Esse grau de tratamento de dados é possibilitado pela abordagem baseada em banco de dados, o que influi na melhora da acessibilidade dos dados (ESC, 2019). Como todos os dados do projeto são armazenados em um banco de dados central, as informações são facilmente acessíveis a todas as partes responsáveis por alguma etapa do projeto. Assim sendo, as alterações feitas em um objeto do banco de dados são atualizadas automaticamente em todo o sistema, reduzindo o risco de erros e garantindo a consistência das informações.

Indubitavelmente, o uso de bancos de dados permite o gerenciamento de mudanças de modo eficiente. Outra característica relativa ao nível de maturidade dos dados promovida pelo uso do banco de dados é a consistência vinculada à informação. Uma vez que todos os dados do projeto são armazenados em um banco de dados central, existe apenas uma versão de cada objeto. Essa abordagem garante que todos os usuários do banco de dados, - e responsáveis pelo projeto, - estejam trabalhando com os dados mais atualizados, o que elimina o risco de problemas de controle de versão que podem surgir em sistemas tradicionais baseados em arquivos, como é o caso de ferramentas CAD.

Em sequência, é válida a certificação da promoção de um processo evoluído de gestão e de trabalho colaborativo usando-se do Engineering Base. A plataforma de engenharia permite o uso paralelo e simultâneo de usuários ao mesmo banco de dados, de forma que todas as informações podem ser usadas diretamente por todos os envolvidos (AUCOTEC, 2023.a). Em virtude do reflexo instantâneo de modificações no banco de dados, cada representação do objeto alterado é observada pelos usuários que trabalham simultaneamente, não havendo tempos de espera dispendiosos ou sincronização demorada. Portanto, ocorre a melhoria do processo de gestão do trabalho, avançando-se no gerenciamento de mudanças e tornando a cooperação eficiente.

Ademais, um modelo virtual preciso do empreendimento pode ser elaborado. Para tanto, destacam-se as dimensões do BIM que podem ser abordadas para o desenvolvimento de modelo através do EB. A modelagem paramétrica 3D é viabilizada através de integrações do Engineering Base a outras plataformas. O EB pode trocar dados com outros sistemas complementares com vários padrões, dispondo de formato de transferência de arquivos e dados. O formato adotado é aberto, o EBML, que funciona baseando-se em XML, não requisitando trabalho de programação ou conhecimento especial do EB. Dessa maneira, podem-se trazer dados externos para o Engineering Base (AUCOTEC, 2023.b). Logo, ressalta-se que a Dimensão 3D não é desenvolvida utilizando-se propriamente o EB, senão podem-se extrair informações da modelagem paramétrica, efetuada em outro software, para o EB, a partir da integração entre as ferramentas (AUCOTEC, 2023.c).

A dimensão 4D de Planejamento, que insere no projeto a variável do tempo, pode ser explorada através da configuração de funcionalidade do software. A partir

deste, é possível elaborar as etapas a serem cumpridas para a conclusão do projeto, estabelecer critérios para o avanço de cada etapa, assim como emitir alertas e notificações sobre atraso em etapas. A funcionalidade do EB que deve ser empregada para tanto é o Workflow Assistant (WA). Por meio do WA, pode-se promover à gerência dos projetos a ciência do progresso percentual de marcos definidos na ferramenta e a gestão das transições de status do projeto (AUCOTEC, 2023.d). Dessa maneira, é possível implementar a gestão do tempo para conclusão do projeto.

A Dimensão 5D, de Orçamentação, pode ser explorada usando-se de assistentes próprios do Engineering Base ou de ferramentas abarcadas no software para desenvolvimento pelos usuários. O EB fornece a criação de Lista de Materiais automática, a partir do modelo construído no banco de dados. Com isso, a Lista de Materiais criada pelo EB pode ser exportada como arquivo CSV (AUCOTEC, 2023.e). Todavia, esta lista de materiais pode não ser aceita pela maioria dos clientes, em virtude de estes exigirem uma formatação específica que favoreça a aquisição de equipamentos. Sendo assim, o EB fomenta a criação e personalização de Listas de Materiais próprias, assim como planilhas de custos, usando-se da programação a partir de linguagem VBA ou da metalinguagem do software por atributos-fórmulas.

A sustentabilidade é abordada na plataforma de engenharia pelo cadastramento de informações relativas às atividades de manutenção e operação no banco de dados. Acresça-se a isso, o registro de dados relevantes para decisões de fim econômico, como o fabricante dos equipamentos e a vida útil dos componentes do ativo. Com efeito, pode-se mesclar a capacidade trazida pelo software de customizar os atributos associados a objetos (AUCOTEC, 2021) com a perspectiva de emissão de alertas e notificações do WA (AUCOTEC, 2023.d). Assim, a dimensão 6D aplicada a projetos pelo EB é intrinsecamente relacionado ao potencial de personalização facultado pela plataforma de engenharia.

Em primeira análise, a dimensão 7D de gestão e manutenção é aplicada aos projetos pelo EB a partir da estruturação inteligente das informações. Sendo uma das principais características do EB a capacidade de criar um banco de dados estruturado de informações, podem-se criar modelos de dados personalizados para atender aos requisitos específicos do projeto. Essa personalização é alcançada

graças à viabilidade de cadastro de atributos específicos para os objetos (AUCOTEC, 2021). Assim, tais modelos podem incluir informações sobre equipamentos de pátio, dispositivos, materiais, sistemas de controle, cabos, entre outros.

Ademais, a gestão é aprimorada pela capacidade de se haver fácil navegação entre os objetos, chamada de referenciamento cruzado (AUCOTEC, 2021), e a possibilidade de filtragem de informações. Outro ponto que favorece a clareza da estruturação do projeto é a relação taxonômica apresentada pelos objetos no EB. A partir da criação de objetos no banco de dados, estes indivíduos apresentam objetos de ordem superior, - isto é, “objetos-pai”, - e podem dispor de objetos de ordem inferior, - “objetos-filho”. Em um exemplo prático, pode-se, portanto, definir um projeto para um evento de uma subestação, cujo um dos objetos-filho é um dos painéis desse evento, dispondo de régua de bornes, a qual apresenta borne com representação de pinos.

A dimensão 7D é também viabilizada no EB pela automatização de tarefas via programação. Pela criação de rotinas via VBA – conhecidas como macros – pode-se desenvolver alguma tarefa ou etapa do projeto, usando-se das sequências de comandos reproduzidos pela macro, automatizando tarefas repetitivas. Ademais, pela programação via metalinguagem do EB, pode-se acessar informações e manipular dados de modo customizado, buscando-se precisamente o dado necessário. Como exemplo da utilização da programação, validando a dimensão 7D, pode-se criar caderno de interligação para o projeto usando-se de macro, desenvolvida em VBA, e estabelecer informações cruciais para o caderno de fiação, que são os destinos de cabos, a partir de fórmulas. Ambos os cadernos são entregáveis do projeto.

Como implementação da dimensão 7D no quesito manutenção, pode-se cadastrar informações no banco de dados, por atributos no objeto, que estejam relacionadas ao ciclo de vida do ativo. Como resultado dessa ação, esse registro é utilizado a partir das informações reais de equipamentos, de forma que o banco de dados dispõe da informação mais atualizada do ativo. Como prática dessa implementação, destaca-se a inserção da ordem de ajuste (OA) de IED's, apresentando estruturação equivalente ao da OA do IED, podendo esta ser associadas aos equipamentos no software.

Voltando-se a questões relacionadas à aplicação do Engineering Base como plataforma de engenharia para desenvolvimento de projetos pelo EIM, deve-se ressaltar que há conformidade às especificações da metodologia. Isso faz com que os recursos e funcionalidades do Engineering Base suportem a modelagem de objetos complexos, o estabelecimento de relacionamentos entre objetos, a troca e compartilhamento de informações, oferece flexibilidade, e promove a gestão do conhecimento.

O EB permite que os usuários modelem objetos complexos, como componentes de engenharia, sistemas ou processos, de maneira estruturada e hierárquica. Ele fornece um conjunto abrangente de ferramentas e recursos para definir as propriedades, atributos e comportamento desses objetos. Os usuários podem criar modelos personalizados ou usar modelos predefinidos para objetos de engenharia comuns, o que facilita a criação e o gerenciamento de modelos de objetos complexos.

Em princípio, o EB permite aos usuários a modelagem de objetos complexos, representando componentes do projeto de maneira estruturada. Esse modelo é considerado complexo em virtude do fornecimento de um conjunto abrangente de recursos pelo software para definir as propriedades e comportamento desses objetos. No EB, as informações são cadastradas em atributos, sendo estes relativos ao próprio tipo do objeto, como, por exemplo, a corrente nominal para um disjuntor, ou criados pelo próprio usuário, para melhor representação digital do dispositivo. Sendo assim, os usuários podem criar modelos personalizados mesclados aos modelos predefinidos para objetos de engenharia, o que proporciona a criação e o gerenciamento de modelos de objetos complexos.

Em segundo plano, o EB proporciona o estabelecimento de relacionamentos entre objetos, permitindo a representação de subordinação, associações e conexões entre diferentes objetos. A primeira relação presente no banco de dados é a de subordinação, representada pela criação de objetos em estrutura de árvore (AUCOTEC, 2021). Dessa forma, os objetos são alocados em pastas, havendo “objetos-filho” e “objetos-pai”, consolidando uma hierarquia no modelo. Essa relação taxonômica é razoável tendo em vista a hierarquia funcional ou física de dispositivos e equipamentos. Quanto às relações por associação ou conexão, podem-se estabelecer relações entre equipamentos e folhas – nas quais há representação do

dispositivo –, entre cabos e equipamentos, entre funções e equipamentos, entre outras. Assim, as relações ajudam a capturar as interdependências e interações entre os vários componentes do projeto.

Em terceira instância, a troca e o compartilhamento de informações no EB é constante: o software é uma ferramenta colaborativa por natureza (AUCOTEC, 2021). Os recursos colaborativos do EB possibilitam que vários usuários trabalhem no mesmo projeto simultaneamente, permitindo atualizações e alterações em tempo real. Ademais, a ferramenta computacional oferece suporte a funcionalidades de importação e exportação de dados, permitindo que os usuários compartilhem informações com outros departamentos ou partes interessadas externas. Assim, esse processo de exportação/importação se dá entre diferentes bancos de dados. Com efeito, há simplificação da comunicação e da colaboração entre membros de uma mesma equipe, de departamentos distintos ou até mesmo de diferentes organizações envolvidas em um projeto de engenharia.

Em quarto lugar, a flexibilidade para lidar com incertezas e imprecisões é proporcionada pelo EB. Essa flexibilidade é caracterizada em termos de personalização e de configuração para atender às necessidades específicas de diferentes projetos de engenharia. Como exemplo da maleabilidade do programa, destacam-se a criação de atributos personalizados para objetos, a definição de fluxos de trabalho próprios, de rotinas computacionais em VBA e o acesso a informações específicas por atributos-fórmula (AUCOTEC, 2021). Essa flexibilidade permite que os usuários adaptem o EB aos seus requisitos exclusivos do projeto e o integrem satisfatoriamente aos processos e fluxos de trabalho existentes.

Em última análise, o EB fornece ferramentas e funcionalidades para uma gestão de conhecimento eficaz. Pela tecnologia de banco de dados do software, os usuários podem armazenar e recuperar conhecimento e informações relativas a projetos anteriores com facilidade. Além desse armazenamento e recuperação global, possibilita a criação e gerenciamento de catálogos, que abarcam modelos e padrões que podem ser reutilizados em diferentes projetos (AUCOTEC, 2021). O EB também suporta o controle de versão, histórico de revisões e gerenciamento de alterações, ajudando os usuários a acompanhar as alterações e atualizações nas informações do projeto de engenharia. Nesse sentido, o gerenciamento dos

conhecimentos de projetos de engenharia ocorre com eficácia, abrindo espaço para a inovação, e garantem consistência e qualidade em diferentes projetos.

3 METODOLOGIA

3.1 Proposta de Estudo de Caso

Para a demonstração dos automatismos concernentes ao uso do EIM no Engineering Base para projetos elétricos de subestações, sugere-se estudo de caso para aplicação das soluções desenvolvidas. Com isso, a proposta de estudo de caso configura-se como o projeto elétrico para a entrada de linha em 69 kV – código: 02J7 – em uma subestação típica. Em decorrência disso, são apresentadas as soluções técnicas relativas ao evento, através dos entregáveis do projeto elétrico, e os automatismos produzidos, com referência às vantagens e cumprimento de tarefas automaticamente.

É considerada uma configuração de barra principal e de transferência para o setor de 69 kV da subestação. Para a tensão auxiliar do empreendimento, tomam-se as tensões 250Vcc e 220/127Vca. Para o secundário dos transformadores de corrente da SE, toma-se valor de 5A; já para o secundário dos transformadores de potencial, 115V e $115/\sqrt{3}$ V. Os valores dos secundários são determinantes para que os IED's disponham de entradas compatíveis. Com isso, o sistema é formado por 1 (uma) unidade autônoma contendo 2 IED's de Proteção e Controle para o evento. Ressalta-se que os IED's escolhidos são da linha SIPROTEC 7SA86, da Siemens, em virtude de serem relés digitais à proteção de distância, os quais foram projetados especificamente para a proteção de linhas. Para a modelagem dos dados no Engineering Base, foram considerados equipamentos reais para elaboração do projeto. Sintenticamente, apresentam-se a seguir Tabela 1 com resumo dos equipamentos de pátio adotados, Tabela 2 para descrição das características elétricas do painel usado, Tabela 3 para discriminação dos dispositivos auxiliares, e Tabela 4 para descrição dos IED's usados.

Tabela 1 – Equipamentos usados para Entrada de Linha em 69 kV

Item	Equipamento	Tipo	Quant.	Fabricante
1	Chave Seccionadora	WSAV 69kV-350kV-2500A-40kA-LT-MOT	4	WEG
2	Para-raios	PBPE 72/10/2/H/P - 10kA Classe 2	3	Balestro
3	Transformador de corrente	CA-72	3	Arteche
4	Disjuntor	GL309PF1-72,5kV-2500A-31,5kA	1	GE

Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 – Características elétricas do Painel 2UA2G

Circuito	Tensão
Comando	250Vcc
Sinalização	250Vcc
Proteção	250Vcc
Iluminação, Aquecimento e Tomadas	220/127Vca

Fonte: Autor (2023).

Tabela 3 – Dispositivos usados para Entrada de Linha em 69 kV

Item	Equipamento	Tipo	Quant.	Fabricante
1	Relé Biestável	RMBZ	1	ICR
2	Relé Rápido	RGMV	4	ICR
3	Relé Auxiliar Multiplicador	62.33	11	FINDER
4	Relé Auxiliar para Retrip	22.64	2	FINDER
5	Bloco de teste	KEY	4	KONECTY
6	Régua de Bornes	MTK-PP	6	PHOENIX
7	Régua de Bornes	ST5-PN	2	PHOENIX
8	Minidisjuntor	5SY (curva B)	10	SIEMENS
9	Diodo	SKR/SKN	2/2	SEMIKRON
10	Supressor de surtos	VAL-MS	2	PHOENIX
11	Chave de Teste	CA20	2	KRAUS & NAIMER
12	Fusível	FDW-63S	4	SIEMENS

Fonte: Autor (2023).

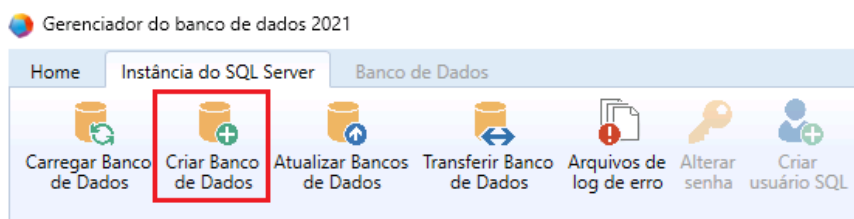
Tabela 4 – Descrição de IED's para a Entrada de Linha em 69 kV

Tag	Função	Descrição	Tipo	Quant.	Fabricante
F1.G	Proteções: 21/21N e 79 – 69kV + 59I +59T + 50/62BF+27+51	Entradas TP: 04 – 115/66,4 V Entradas TC: 04 – 1A/5A – Proteção Entradas Digitais: 11 Saídas Digitais: 9	SIPROTEC 7SA86	1	SIEMENS
F3.G	Controle e Proteção: 25+67/67N+50/50N – 69kV	Entradas TP: 04 – 115/66,4 V Entradas TC: 04 – 1A/5A – Proteção Entradas Digitais: 71 Saídas Digitais: 25	SIPROTEC 7SA86	1	SIEMENS

Fonte: Autor (2023).

3.2 Criação de Banco de Dados, de Projeto e de Diagramas no Engineering Base

A criação de bancos de dados do Engineering Base é promovida por um software auxiliar, o Gerenciador de Banco de Dados, que é instalado em conjunto com o EB. Neste programa, realiza-se comando para a criação do novo banco de dados, conforme Figura 5, escolhendo-se suas propriedades, como nome e pasta de armazenamento de informações, como exibido na Figura 6, além de soluções pré-definidas para o banco de dados, na Figura 7, a depender do objetivo deste. Com isto, o banco de dados é criado, consoante Figura 8, apresentando estrutura de pastas padrão: Projetos, Catálogos, Dicionários, Definições de Tipo, Modelos de Projeto, Assistentes, Mensagens, Estênceis, Atributos, Modelos, Usuários e Grupos e Lixeira.

Figura 5 – Criação de Banco de Dados no Gerenciador de Banco de Dados

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 6 – Propriedades para o Banco de Dados

Criar Banco de Dados

Pressione o botão Iniciar para criar o banco de dados.

Nome do Banco de Dados

Número de projetos

Número de folhas

Tamanho de banco de dados

Pasta de arquivo de dados
 ...

Pasta de arquivo de log
 ...

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 7 – Soluções para o Banco de Dados

Selecionar as soluções de negócios

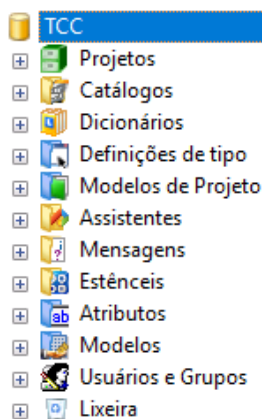
Selecione as soluções de negócios para o banco de dados selecionado.

Selecionar todos

Solução de negócios	Descrição
<input checked="" type="checkbox"/> Padrões Internacionais de Engenharia Elétrica e de Instrumentação	Solução para projetos elétricos e engenharia de automação de mar
<input checked="" type="checkbox"/> Projeto Básico de Instrumentação	Solução empresarial para projetos e engenharia de controle de proc
<input type="checkbox"/> Projeto de Cablagem em Sistemas de Engenharia	Solução para projetos de chicotes de equipamentos móveis
<input type="checkbox"/> Projeto de Cabeação Automotiva	Solução para projetos de chicotes na indústria automobilística
<input checked="" type="checkbox"/> Transmissão e Distribuição	Solução para projetos elétricos e engenharia de automação e de Tr
<input checked="" type="checkbox"/> Padrões Elétricos USA	Solução para projetos elétricos e engenharia de automação pelo p.
<input type="checkbox"/> Fluido	Solução para projetos elétricos e engenharia de sistemas hidráulicc
<input type="checkbox"/> Processamento de minerais	Solução para projetos e engenharia de sistemas de processamento
<input type="checkbox"/> Engenharia de planta - Princípios básicos & processo	Solução para engenharia de planta - Princípios básicos & processo
<input type="checkbox"/> Engenharia de planta - Detalhes	Solução para engenharia de planta - Detalhe

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

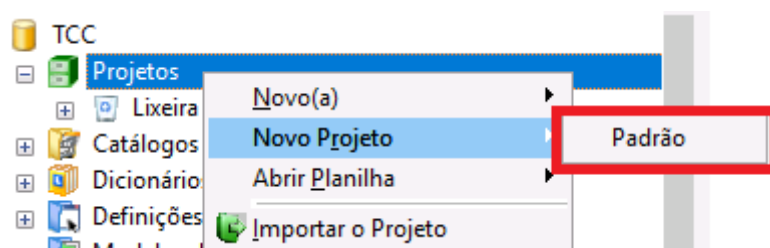
Figura 8 – Banco de Dados criado



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

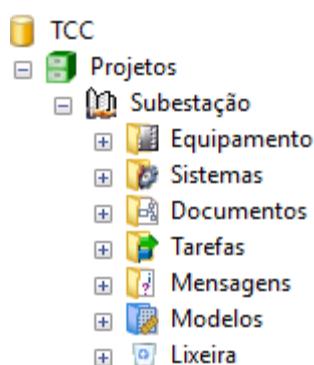
Para elaborar um Projeto dentro do banco de dados, é necessário clicar no botão “Novo Projeto”, dentro da pasta Projetos, e escolher Modelo de Projeto, conforme Figura 9. O objeto Projeto, assim como o banco de dados, apresenta pastas padrão, consoante Figura 10: Equipamento, Sistemas, Documentos, Tarefas, Mensagens, Modelos e Lixeira. Para este trabalho, foi criado um projeto intitulado “Subestação” dentro do banco de dados elaborado.

Figura 9 – Criação de Projeto no banco de dados



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

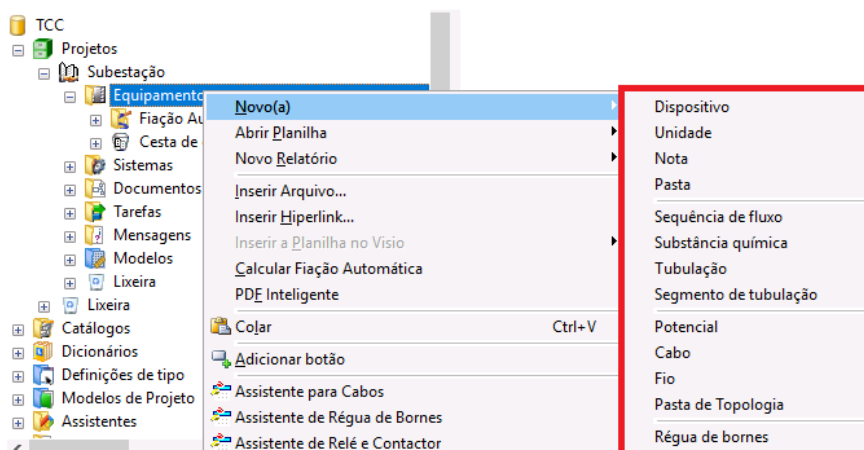
Figura 10 – Estrutura interna do Projeto



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

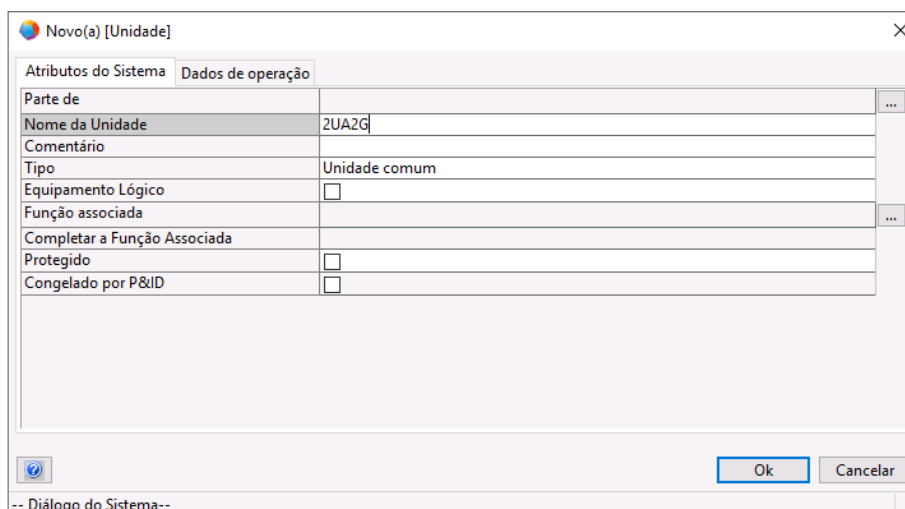
Como elemento mais importante da estrutura do Projeto, os objetos pertencentes à pasta Equipamento representam todos os componentes físicos a serem usados no projeto. Para a definição desses elementos físicos, pode-se escolher dentre as opções de Tipo, disponibilizadas pelo EB, de acordo com a Figura 11. Dessa forma, para a criação de um Painel, escolhe-se o tipo “Unidade”, definindo-se idem o nome do objeto, sendo “Unidade Comum” o tipo da Unidade, em conformidade com a Figura 12. Este procedimento foi repetido para a criação de todos os componentes físicos relevantes ao projeto, com respectiva adoção de tipo adequado e de cadastro de informações pertinentes para o estudo de caso proposto.

Figura 11 – Criação de Equipamento no Projeto



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 12 – Definição do Painel como uma Unidade



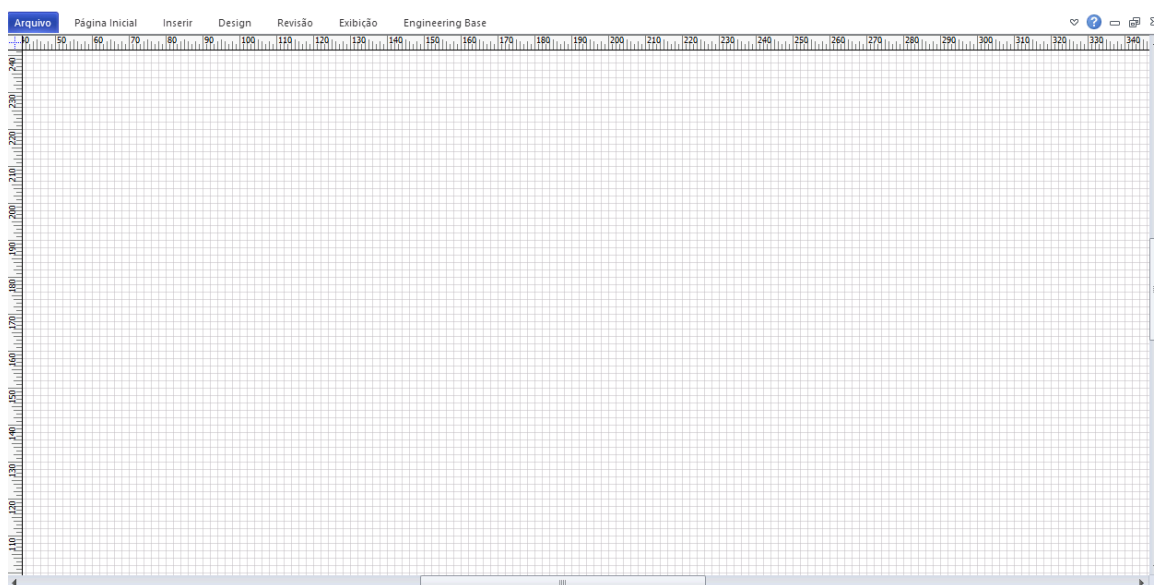
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

O suporte à elaboração de diagramas é papel indispensável para software aspirante a ferramenta de desenvolvimento de projetos elétricos de subestações. Assim sendo, o Engineering Base tem integrado o Visio (AUCOTEC, 2021), ferramenta de diagramação e visualização desenvolvida pela MICROSOFT (2023.a). Esse aplicativo gráfico desempenha papel significativo no EB, uma vez que apresenta pacote abrangente de ferramentas usadas para desenhar, projetar e representar projetos de engenharia. Logo, o Visio pode ser usado para criar esquemas elétricos, lista de cabos, lista de materiais, desenhos construtivos e diagramas em geral. Pode-se usar a extensa biblioteca de símbolos elétricos e formas do Visio para criar diagramas de circuito detalhados, além da flexibilidade de se criar as próprias formas – no EB, conhecidos como Estênceis. Os recursos

inteligentes do Visio são idem integrados ao EB: referenciamento cruzado e navegação entre itens.

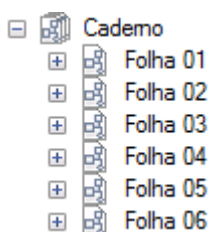
Uma folha do Visio é o elemento básico para o desenvolvimento dos diagramas. No Engineering Base, cada folha do Visio é um objeto. Ademais, um conjunto de folhas é reunido em uma estrutura hierárquica, apresentando um “objeto-pai” em comum, o Desenho (AUCOTEC, 2021) ou Caderno. Na Figura 13 apresenta-se uma folha no EB aberta com o Visio, e na Figura 14 a organização das folhas em um caderno no banco de dados. Sendo assim, em uma folha do EB, um diagrama é produzido pela sucessiva inserção de estênceis de dispositivos e sua correta conexão. Como exemplo, utilizando-se de estênceis de chave seccionadora, assim como a Figura 15, pode-se inserir a forma desejada à folha do EB e efetuar ligação elétrica entre os elementos do diagrama, consoante Figura 16. Mostra-se na Figura 17 trecho de unifilar de proteção elaborado em estudo de caso. Neste, há presença de estênceis de chave seccionadora de disjuntor.

Figura 13 – Interface do Visio para edição gráfica



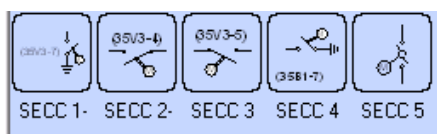
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 14 – Caderno com Folhas no EB



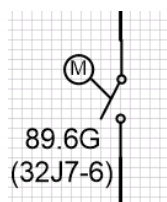
Fonte: Autor (2023).

Figura 15 – Estêncéis de Chaves Seccionadoras



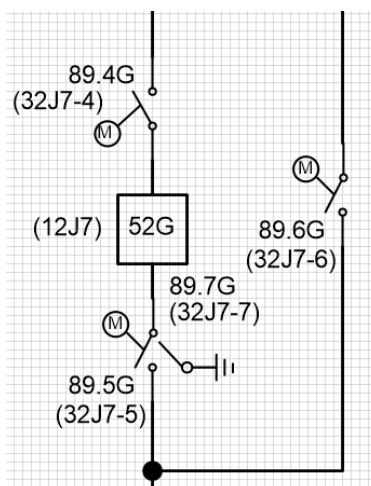
Fonte: Autor (2023).

Figura 16 – Representação de Chave Seccionadora em diagrama no EB



Fonte: Autor (2023).

Figura 17 – Trecho de Diagrama Unifilar de Proteção



Fonte: Autor (2023).

3.3 Programação e Automação no Engineering Base

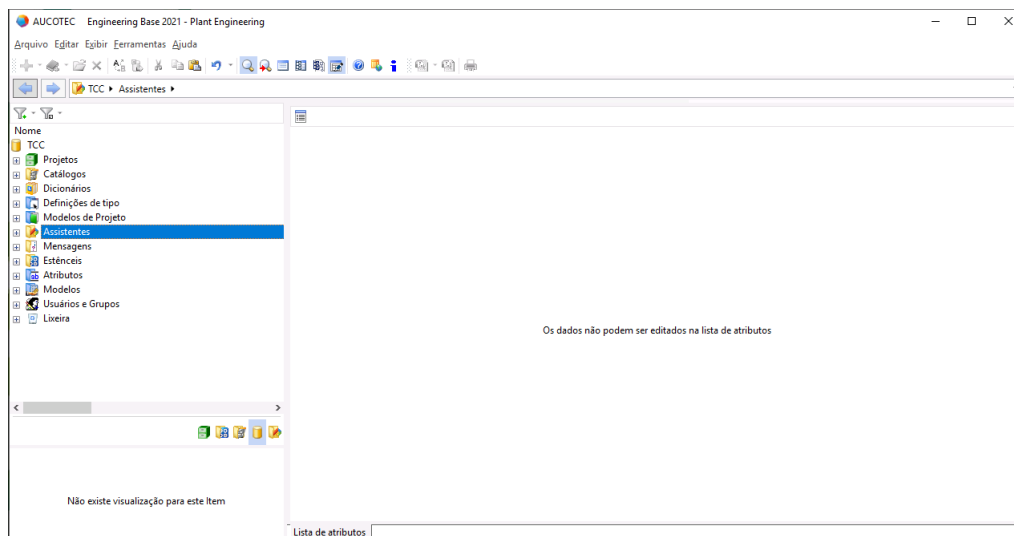
Com o espaço disponibilizado para a programação e a automação de tarefas, o Engineering Base torna-se ferramenta poderosa. Este processo representa significativo aprimoramento dos recursos do software que são munidos a engenheiros e projetistas. Nesse contexto, a programação e a automação no Engineering Base permitem que os usuários da ferramenta criem macros e atributos-fórmula, que fornecem mecanismo expressivo de automação e acesso customizado a informações do banco de dados. Com efeito, a automação de tarefas aumenta a produtividade e simplifica os fluxos de trabalho de engenharia.

3.3.1 Macros VBA

Uma das grandes possibilidades de desenvolvimentos de inovações em processos no Engineering Base é a utilização de Macros VBA. Este processo é similar às macros desenvolvidas em ambiente Excel, AutoCAD, entre outros (MICROSOFT, 2023.b). O software apresenta compatibilidade para a programação, utilizando-se de linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA). Sendo assim, pode-se dispor de quantidade indeterminada de soluções operacionais para automatização de processos próprios (AUCOTEC, 2021). Portanto, a execução de tarefas repetidas pode ser mitigada, ou até mesmo extinta, com o desenvolvimento de solução que automatize o procedimento. A possibilidade de desenvolvimento desses recursos é uma das grandes vantagens oportunizadas pelo software, uma vez que se pode fomentar a flexibilização e adaptação de soluções, a depender de condições de projeto ou de exigências e padrões de clientes.

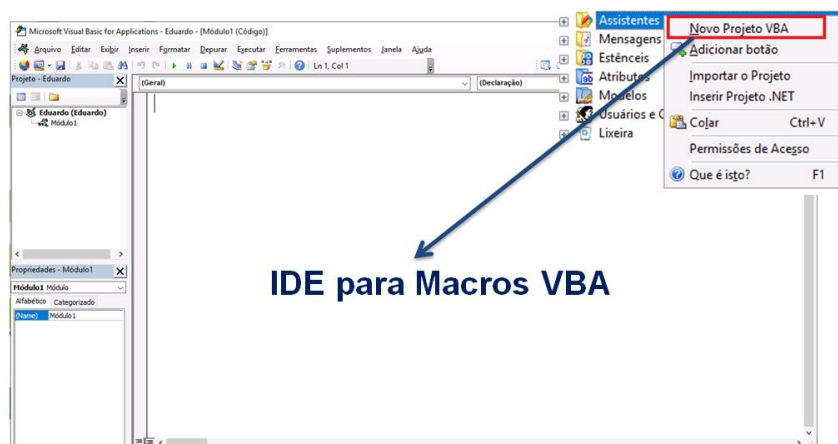
Uma macro é uma série de comandos e funções que são colocadas dentro de um módulo do ambiente de desenvolvimento do *Visual Basic* (VBE) e que pode ser executado quando necessário para executar uma determinada tarefa (MICROSOFT, 2023.c). No Engineering Base, as macros estão alocadas na pasta de Assistentes, conforme apresentado em Figura 18. A pasta de macros é uma pasta do Banco de Dados. O ambiente de desenvolvimento integrado (do inglês, IDE) proporcionado pelo EB para desenvolvimento dos assistentes VBA é apresentado na Figura 19. Para o desenvolvimento de soluções para automatização, pode-se acessar a biblioteca do modelo de objetos do Engineering Base, a biblioteca “Aucotec”, no menu de Pesquisador de Objetos, conforme Figura 20. A biblioteca apresenta as classes, propriedades, métodos e atributos relativos ao software dentro da linguagem de programação VBA, sendo elemento de consulta essencial para elaboração dos assistentes.

Figura 18 – Pasta de Assistentes no Banco de Dados do EB



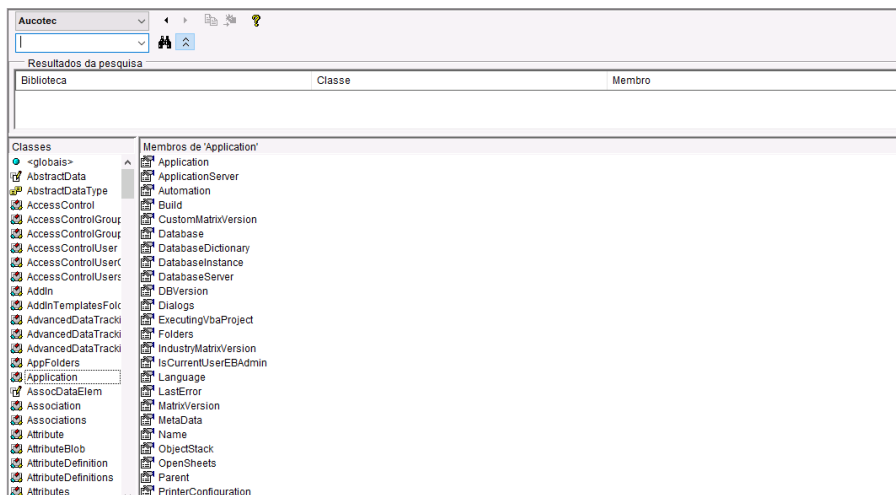
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 19 – IDE no EB para Programação em VBA



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 20 – Biblioteca do EB para Programação em VBA



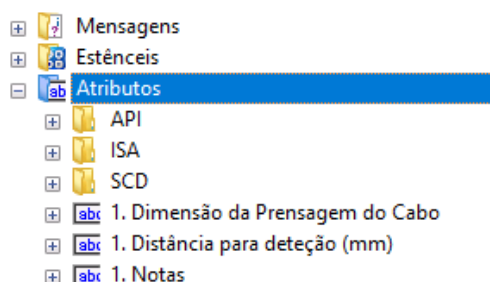
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

As macros podem ser desenvolvidas para gerar relatórios e diagramas automaticamente, criar objetos no banco de dados, atualizar dados em um projeto ou cálculos pré-determinados, entre outros exemplos. A utilização desses assistentes é acionada por eventos, como cliques de botão em um objeto, pela confirmação em um formulário, pela atribuição a comandos personalizados dentro do banco de dados, ou por itens do menu no EB.

3.3.2 Atributos-fórmula

No Engineering Base, os atributos são usados para inserir dados estruturados no banco de dados (AUCOTEC, 2021). Com efeito, os objetos têm uma quantidade de atributos flexível, os quais armazenam as informações. Para efeito de organização do software, os atributos são organizados dentro da pasta de Atributos, que é uma pasta do banco de dados. Exibe-se na Figura 21 a localização da pasta.

Figura 21 – Pasta de Atributos no Banco de Dados



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Além da programação de rotinas computacionais em VBA, é possível utilizar a metalinguagem do Engineering Base para promover a automatização de processos. Esse recurso advém da criação de atributos-fórmula. Atributos-fórmula são fórmulas definidas individualmente utilizadas para acessar informações de atributos de um objeto ou do próprio sistema (AUCOTEC, 2021). O objetivo da fórmula é representar as informações pertinentes, de forma compacta, precisa e instantânea. Para isso, o acesso aos atributos de outros objetos ou do sistema é realizado através das instruções da metalinguagem do EB. Logo, a criação das fórmulas exige conhecimento razoável da estrutura dos dados no banco de dados, bem como habilidades de programação. Os atributos-fórmula podem ser usados em abas de caixa de diálogo dos objetos e em formas usadas no Visio (AUCOTEC, 2021).

Como exemplo de aplicação dos atributos-fórmulas, apresenta-se amostra de fórmula disponível no manual do Engineering Base 2021 (AUCOTEC, 2021).

- Pode-se ter acesso, a partir de um borne, à informação do nome da régua de bornes, ao nome do borne e ao nome da unidade à qual a régua pertence, pela fórmula:

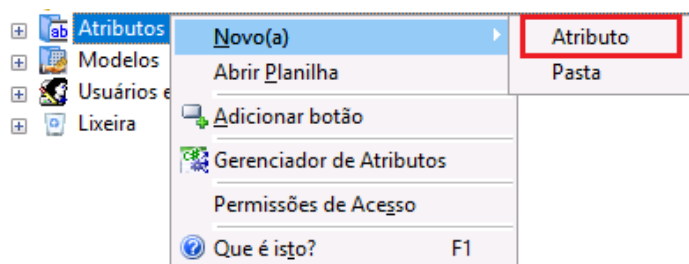
[P;A5]" : ";A5;U112;A5

Havendo correspondência dos colchetes '[']' a uma navegação temporária, do 'P' ao acesso ao objeto-pai do borne, isto é, a régua de bornes, 'A5' ao atributo do nome desse objeto-pai, " : " à inserção de dois pontos no resultado, 'A5' ao atributo do nome do próprio borne, U112 para acesso à unidade à qual pertence a régua de borne, e 'A5' ao atributo do nome da unidade.

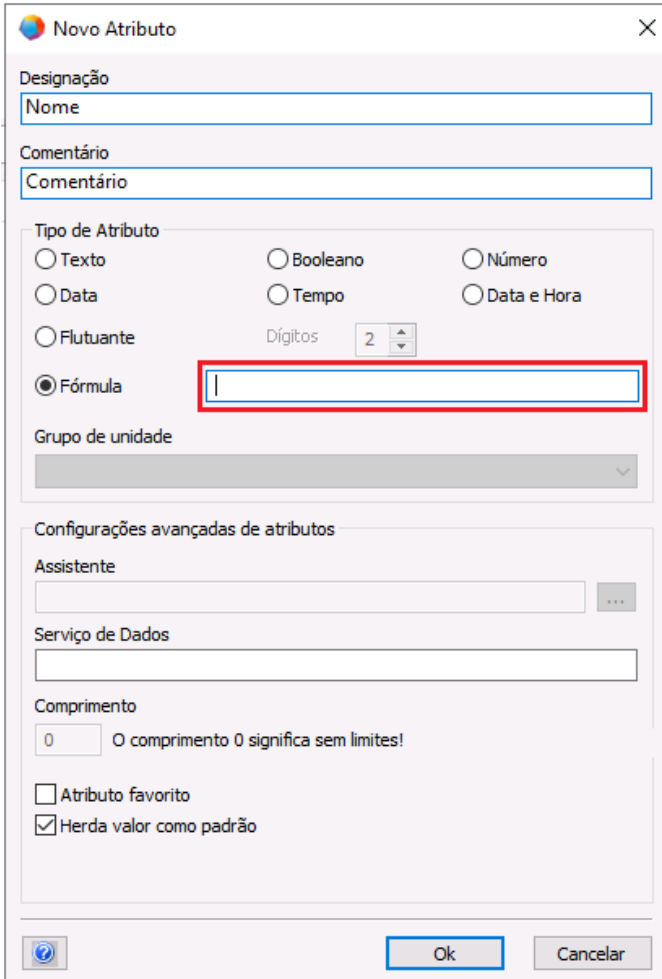
Em vista do exemplo apresentado, nota-se que o desenvolvimento de fórmulas não é processo simples e intuitivo, exigindo conhecimento da ferramenta e da organização das informações do projeto. Por outro lado, as fórmulas são executadas instantaneamente ao se abrir o banco de dados ou folha que dispõe do atributo-fórmula, além de quando são realizadas alterações no banco de dados. Dessa forma, o elevado esforço para o desenvolvimento destas é compensado pela posse de recurso que disponibiliza potencialidade ímpar para acesso a informações relevantes ao projeto quanto à elaboração de entregáveis.

Para criar atributos-fórmula, deve-se clicar em “Novo(a) -> Atributo”, na pasta de Atributos do banco de dados, consoante Figura 22. Em seguida, é necessário determinar Nome, e, se necessário, comentário para o atributo. O “Tipo de Atributo” a ser escolhido é “Fórmula”, sendo esta estabelecida no campo ao lado dessa opção, conforme Figura 23. Por fim, clica-se em “Ok” e o atributo-fórmula é criado.

Figura 22 – Criação de Atributos-fórmula no EB



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 23 – Determinação de Fórmula para Atributo

The image shows a dialog box titled "Novo Atributo" (New Attribute) with a close button (X) in the top right corner. The dialog is divided into several sections:

- Designação:** A text input field containing the word "Nome".
- Comentário:** A text input field containing the word "Comentário".
- Tipo de Atributo:** A group of radio buttons for selecting the attribute type:
 - Texto
 - Booleano
 - Número
 - Data
 - Tempo
 - Data e Hora
 - Flutuante (with a "Dígitos" spinner set to 2)
 - Fórmula** (highlighted with a red box)
- Grupo de unidade:** A dropdown menu currently showing a greyed-out selection.
- Configurações avançadas de atributos:** A section with several options:
 - Assistente:** A text input field with a three-dot menu button to its right.
 - Serviço de Dados:** A text input field.
 - Comprimento:** A text input field with the value "0" and the text "O comprimento 0 significa sem limites!".
 - Atributo favorito
 - Herda valor como padrão

At the bottom of the dialog, there is a help icon (question mark in a circle), an "Ok" button, and a "Cancelar" button.

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

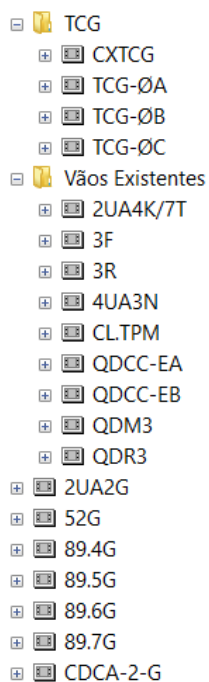
4.1 Estudo de Caso

Como primeiro passo para o desenvolvimento do projeto elétrico no Engineering Base, deve-se implementar a estruturação das informações pertinentes da subestação no banco de dados. Assim, para o estudo de caso de entrada de linha de 69 kV em subestação típica, foi realizada a criação de objetos do tipo Unidade para o Painel, Disjuntor, Chaves Seccionadoras, Quadro de Distribuição CA, Caixa de Transformador de Corrente e Transformador de Corrente (TC). Para o TC, foram criadas unidades para cada equipamento relativo à fase do sistema e para a caixa do TC, sendo esses objetos reunidos em uma pasta. Adicionalmente, foram criadas Unidades para representar os equipamentos de vãos existentes na subestação, que impactam o projeto. Desse modo, foram formados objetos para representação de Painel de Transformador de Aterramento e de Transferência (2UA4K/7T), Painel de Transformador de Vão N (4UA3N), Painéis de Interface (3F e 3R), Caixa de Ligação de TP do Vão M (CL.TPM), Quadros de Distribuição CC (QDCC-EA e QDCC-EB), Quadro de Distribuição para Motores (QDM3), e Quadro de Distribuição para Cargas Não-Essenciais (QDR3). Apresenta-se na Figura 24 a seguir esses elementos no banco de dados. Além disso, são apresentadas as estruturas definidas, tanto pela interface do EB como pelas planilhas do EB, para o Painel, nas Figuras 25 e 26, Disjuntor, nas Figura 27 e 28, uma das Chaves Seccionadoras, nas Figura 29 e 30, Transformador de Corrente, representado pela caixa do Transformador de Corrente, consoante Figura 31 e 32, e o equipamento relativo a uma das fases, assim como na Figura 31 e 33, e Quadro de Distribuição CA, conforme Figura 34 e 35.

Com isso, o cadastro das informações necessárias ao projeto elétrico no banco de dados, pelo preenchimento de atributos nos dispositivos e a organização hierárquica desses objetos, é concluído. Em virtude da escolha adequada do tipo do dispositivo, somando ao detalhamento gráfico disponibilizado pela plataforma de engenharia para cada dispositivo, em respectivo equipamento tem-se conjunto de estênceis específico para cada tipo de objeto. Dessa forma, há estênceis adequados para Contatos, Disjuntores, Enrolamentos, Réguas de Bornes, Tomadas, Pinos,

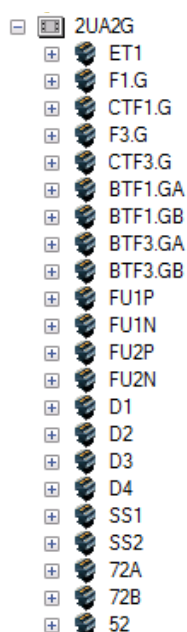
entre outros. Em vista disso, surge a possibilidade de representação gráfica desses elementos, viabilizando a inserção desses em entregáveis do projeto de PAC. Os Apêndices A, B e C apresentam os entregáveis que constituem o projeto elétrico da subestação, sendo, respectivamente, o diagrama funcional, o diagrama de fiação e o diagrama de interligação.

Figura 24 – Criação dos Equipamentos no EB



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 25 – Dispositivos do Painel (2UA2G) no Explorer do EB



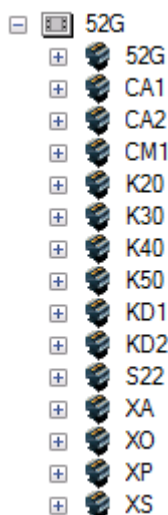
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 26 – Dispositivos do Painel (2UA2G) na planilha do EB

66 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	27CS.1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
2	27EA	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
3	27EB	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
4	27F1.G	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
5	27F3.G	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
6	27FA1.1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
7	27FA2.1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
8	27R1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
9	27RA.1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
10	52	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
11	52PMX1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
12	52X1.1	Relé, Contactor, Temporizador	Contator modular de inter...	62,30 mm	95,80 mm	63,10 mm
13	52X2.1	Relé, Contactor, Temporizador	Contator modular de inter...	62,30 mm	95,80 mm	63,10 mm
14	72.1.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
15	72.2.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
16	72.3.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
17	72.4.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
18	72.5.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
19	72.6.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
20	72.7.G	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
21	72A	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
22	72B	Disjuntor	Disjuntor Bipolar, corrent...	36,00 mm	90,00 mm	62,00 mm
23	86.G	Relé, Contactor, Temporizador	Relé biestável, 8 contato...	132,00 mm	83,00 mm	130,00 mm
24	94F1G	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Rápido, 4 contatos r...	56,00 mm	83,00 mm	145,00 mm
25	94F1M	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Rápido, 4 contatos r...	56,00 mm	83,00 mm	145,00 mm
26	94F3G	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Rápido, 4 contatos r...	56,00 mm	83,00 mm	145,00 mm
27	94F3M	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Rápido, 4 contatos r...	56,00 mm	83,00 mm	145,00 mm
28	BDDX1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé Modular de Potência...	40,00 mm	91,30 mm	78,00 mm
29	BTF1.GA	Dispositivo do cliente	Bloco de teste 10 polos,5...	170,00 mm	70,00 mm	88,00 mm
30	BTF1.GB	Dispositivo do cliente	Bloco de teste 10 pólos,1...	166,00 mm	65,00 mm	88,00 mm

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 27 – Dispositivos do Disjuntor (52G) no Explorer do EB



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 28 – Dispositivos do Disjuntor (52G) na planilha do EB

15 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	52G	Disjuntor	Pinos Disjuntor	... mm	... mm	... mm
2	CA1	Relé, Contactor, Temporizador	Contatos Auxiliares	... mm	... mm	... mm
3	CA2	Relé, Contactor, Temporizador	Contatos Auxiliares	... mm	... mm	... mm
4	CM1	Relé, Contactor, Temporizador	Contatos Auxiliares	... mm	... mm	... mm
5	K20	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vca	... mm	... mm	... mm
6	K30	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vcc	... mm	... mm	... mm
7	K40	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vcc	... mm	... mm	... mm
8	K50	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vcc	... mm	... mm	... mm
9	KD1	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vcc	... mm	... mm	... mm
10	KD2	Relé, Contactor, Temporizador	Relé 58.34 4NAF Vcc	... mm	... mm	... mm
11	S22	Relé, Contactor, Temporizador	Chave Seletora 3 Pos	... mm	... mm	... mm
12	XA	Régua de Bornes	Bornes 11mm	... mm	... mm	... mm
13	XO	Régua de Bornes	Bornes 11mm	... mm	... mm	... mm
14	XP	Régua de Bornes	Bornes 11mm	... mm	... mm	... mm
15	XS	Régua de Bornes	Bornes 11mm	... mm	... mm	... mm

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 29 – Dispositivos da Chave Seccionadora (89.4G) no Explorer do EB

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 30 – Dispositivos da Chave Seccionadora (89.4G) na planilha do EB

10 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	27	Relé, Contactor, Tem...	Relé de Tensão	... mm	... mm	... mm
2	43	Relé, Contactor, Tem...	Seletor de Transferência	... mm	... mm	... mm
3	89.4G	Chave seccionadora	Chave - Unifilar e Trifilar	... mm	... mm	... mm
4	CA	Relé, Contactor, Tem...	Chave Comutadora	48,00 mm	48,00 mm	250,00 mm
5	D1	Relé, Contactor, Tem...	Contato Aux Disjuntor	... mm	... mm	... mm
6	D2	Relé, Contactor, Tem...	Contato Aux Disjuntor	... mm	... mm	... mm
7	RB1	Régua de Bornes	Régua de Alimentação	... mm	... mm	... mm
8	RB3	Régua de Bornes	Régua de Alimentação	... mm	... mm	... mm
9	RF	Relé, Contactor, Tem...	Relé de Falha de Tensão	... mm	... mm	... mm
10	RT	Relé, Contactor, Tem...	Relé Sinalizador de Defeitos	... mm	... mm	... mm

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 31 – Dispositivos da Caixa (CXTCG) e de Equipamento da Fase (TCG- ϕ A) do TC no Explorer



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 32 – Dispositivos da Caixa (CXTCG) do TC na planilha do EB

4 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	1S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm
2	2S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm
3	3S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm
4	GND	Terra	Barra Terra ...	25,40 mm	6,40 mm	700,00 mm

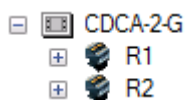
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 33 – Dispositivos do Equipamento da Fase (TCG- ϕ A) do TC na planilha do EB

4 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1		Componente elétrico	Pinos ØA	... mm	... mm	... mm
2	1S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm
3	2S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm
4	3S	Régua de Bornes	Enrolamento	... mm	... mm	... mm

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 34 – Dispositivos do Quadro de Distribuição CA (CDCA-2-G) no Explorer do EB



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 35 – Dispositivos do Quadro de Distribuição CA (CDCA-2-G) na planilha do EB

2 Registro(s)	Nome	Tipo	Descrição	Largura	Altura	Profundidade
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	R1	Régua de Bornes	Borne para termi...	324,00 mm	60,00 mm	72,00 mm
2	R2	Régua de Bornes	Borne para termi...	132,00 mm	43,50 mm	59,50 mm

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Outro fator de destaque relativo à elaboração de estrutura em banco de dados é o acesso facilitado à informação. Com o cadastro e a centralização das informações em repositório único, há disponibilidade prática e fácil a dados relevantes, o que promove maior precisão, qualidade e eficiência em buscas. Além disso, conforme Figuras 26, 28, 30, 32, 33 e 35, é notável a possibilidade de haver estruturação da informação cadastrada, através de planilhas. Desse modo, não apenas a consulta a dados é aprimorada, como também correções podem ser

facilmente implementadas, utilizando-se de recursos de copiar e colar conteúdo de células, ou de simplesmente arrastar o conteúdo por toda a coluna. Como elemento chave para o acesso estruturado à informação promovido pela formação em banco de dados, destaca-se o potencial de proporcionar o acesso via máquinas à central de informações. Com efeito, pode-se de utilizar de outros artifícios de programação para se extrair informações do banco de dados, como relatórios e indicadores.

4.2 Automatismos Desenvolvidos

Usando-se de linguagem de programação em VBA e da metalinguagem do EB, listam-se os automatismos desenvolvidos que foram aplicados neste estudo de caso: assistente de jumpers, criação de fiação forçada em potenciais, assistente de desenho dos potenciais, destinos automáticos na fiação, lista de materiais automática, assistente para criação de potenciais para projeto lógico, associação automática de informação de variáveis no projeto lógico, assistente para criação de diagrama de interligação, lista de cabos automática e assistente de exportação e importação de Ordem de Ajuste (OA) de IED.

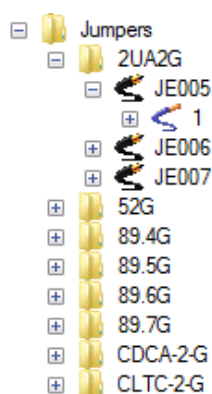
A macro de Jumpers é responsável pela criação e organização dos jumpers do projeto no banco de dados. Esse assistente detecta fios que apresentam destinos ao mesmo equipamento, definindo seu tipo (Jumper), seu nome – de acordo com a ordem em que são criados, no padrão “JE” + número – além de criar pastas com nome dos respectivos equipamentos que são destino do jumper. Como exemplo, é apresentado jumper criado para o painel 2UA2G, apresentado na Figura 36, além de estrutura elaborada pelo assistente para os jumpers do projeto, conforme Figura 37.

Figura 36 – Jumper criado pelo assistente para Painel 2UA2G

Atributos do sistema	Dados da Ordem de compra	Especificações	Dados de operação	Classificação	Puxador
Parte de	JE005				
Nome	1				
Comentário					
Tipo	Jumper				
Destino 1	2UA2G R2 5				
Destino 2	2UA2G R2 6				
Função associada					
Completar a Função Associada					

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 37 – Estrutura de Jumpers do Projeto criada pelo assistente



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Outro automatismo aplicado ao desenvolvimento do projeto elétrico da subestação foi o de criação de fiação forçada em potenciais. Esse assistente detecta os equipamentos e respectivos pinos conectados a um mesmo potencial. Essa conexão deriva do diagrama funcional elaborado, apresentado no Apêndice A. Assim, pode-se escolher a sequência de equipamentos interligados, isto é, forçar a fiação do potencial. Apresenta-se na Figura 38 a interface da macro de fiação forçada. Para se utilizar o assistente, basta executar o assistente selecionando-se a pasta de equipamentos, e escolher a Unidade e os Potenciais para determinar a sequência da fiação. Com efeito, fios são criados respeitando a ordem selecionada na interface. Para o potencial apresentado no exemplo da Figura 38, J1FA1, foram criados dois fios, seguindo-se ordem da fiação escolhida, consoante Figura 39.

Figura 38 – Assistente de criação de Fiação Forçada em Potenciais

Fonte: Autor (2023).

Figura 39 – Fios criados por assistente de Fiação Forçada em Potenciais

Nome	Destino 1	Destino 2	Potencial/Sub...
*	*	*	*
F1	2UA2G 72.1.G 1	2UA2G R3.2 1	2UA2G J1FA1
F2	2UA2G R3.2 1	2UA2G 27FA1.1 A1	2UA2G J1FA1

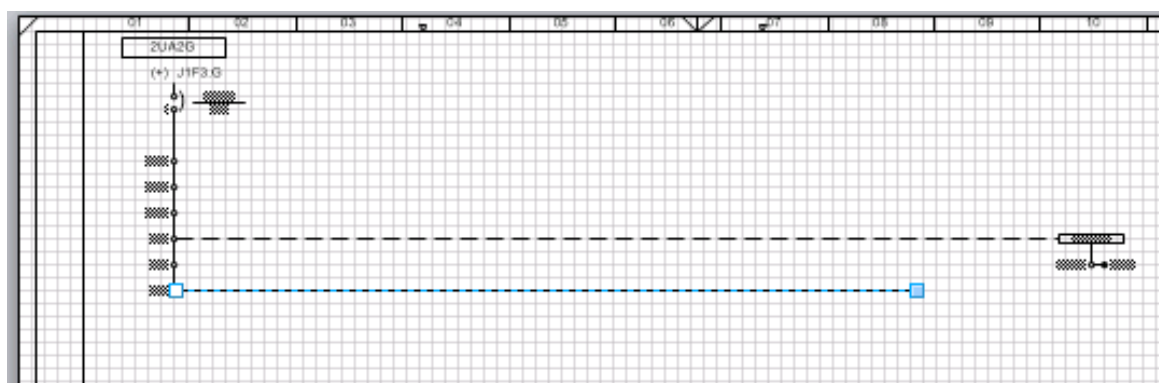
Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Em seguida, foi utilizado assistente desenvolvido para realizar o desenho dos potenciais da unidade selecionada. Esta macro de distribuição de potenciais cria folhas para a representação dos potenciais do projeto elétrico e insere a representação gráfica de todos os potenciais da unidade. Sua interface é apresentada na Figura 40. Demonstra-se na Figura 41 o assistente em funcionamento, realizando o desenho de um potencial. Adicionalmente, para o potencial J1FA1 utilizado como exemplo anteriormente, tem-se o seguinte produto da macro de distribuição de potenciais, conforme Figuras 42 e 43. Dessa maneira, todas as representações de potenciais, dispostas no diagrama funcional (Apêndice A), foram desenvolvidas pelo assistente de distribuição de potenciais.

Figura 40 – Assistente de Distribuição de Potenciais
Distribuição de Potenciais de Locais
 Utiliza somente os potenciais "Forçados"

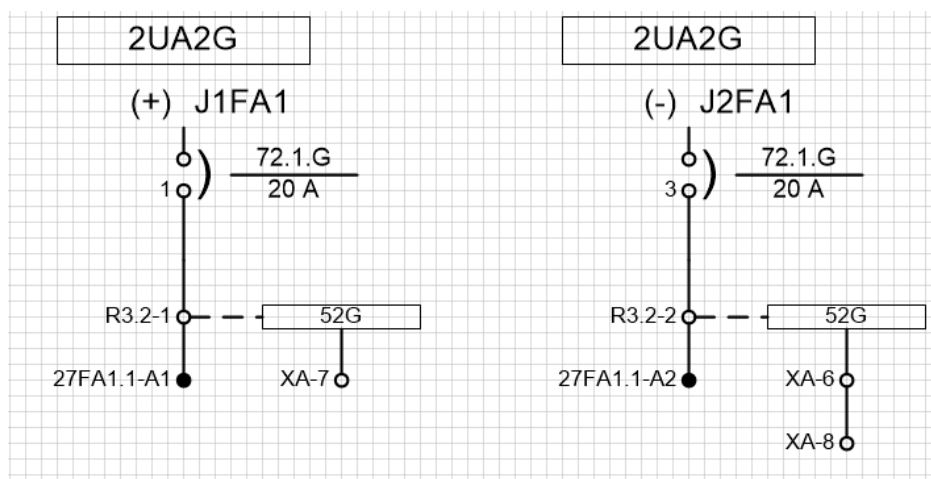
Fonte: Autor (2023).

Figura 41 – Elaboração de desenho pela Macro de Distribuição de Potenciais



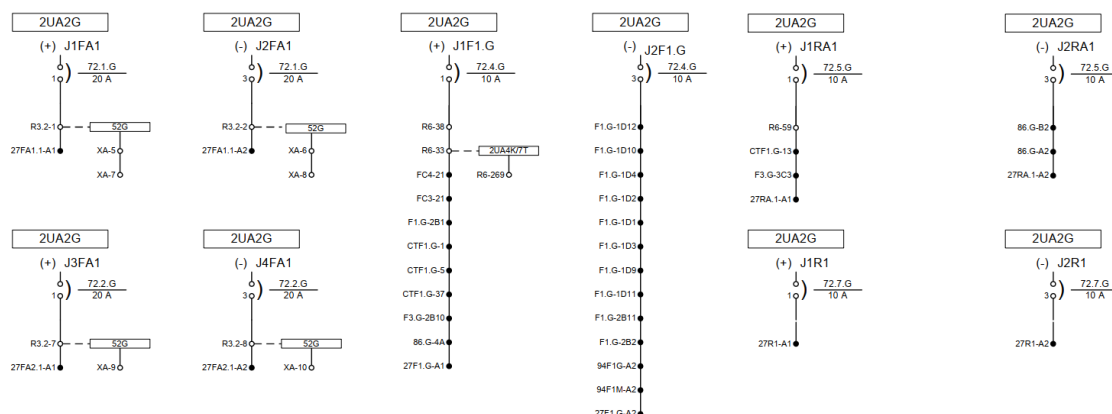
Fonte: Autor (2023).

Figura 42 – Representação do Potencial J1FA1/J2FA1



Fonte: Autor (2023).

Figura 43 – Representação dos Potenciais no Funcional



Fonte: Autor (2023).

Para a criação do projeto lógico, foi utilizado assistente que realiza a criação dos potenciais a serem usados no projeto. A macro faz a leitura do equipamento do projeto e do relé utilizado, efetuando a formação da estrutura adequada no Explorer do EB. Para usar o assistente, basta selecionar a Unidade para a qual as funções devem ser criadas, e executar a macro. Para o estudo de caso desenvolvido, um trecho da estrutura produzida pelo assistente é apresentado na Figura 44. Notam-se pasta criada, com objetos relativos ao painel, ao vão e aos relés digitais F1.G e F3.G. Dessa forma, a estrutura dos potenciais no Explorer do EB é montada de forma coerente pela macro de criação de elementos para a lógica, conforme exemplo da Figura 44. Nesta, são destacados entradas digitais e a organização de variáveis internas para o projeto lógico.

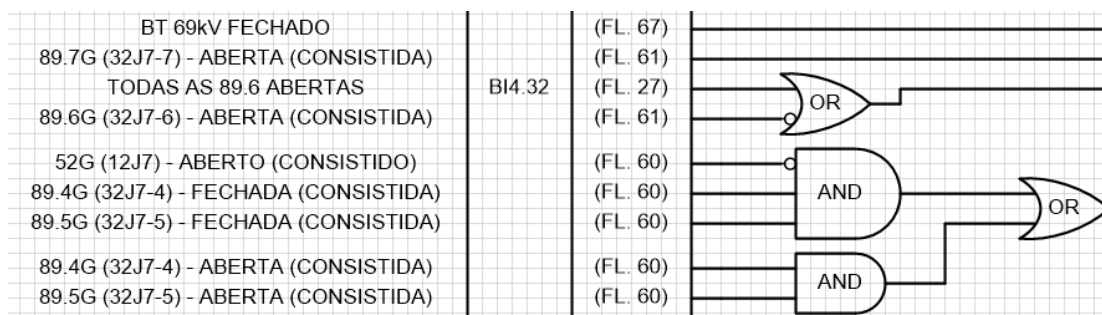
Figura 44 – Potenciais definidos para uso no Projeto Lógico



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

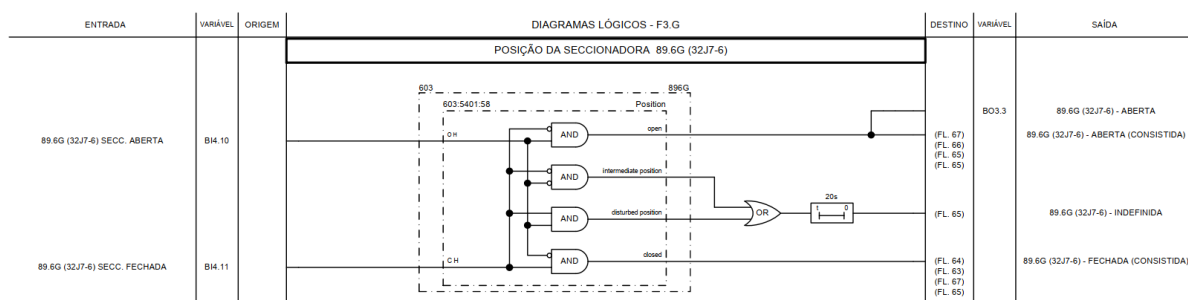
Para o automatismo no projeto lógico, foram compostas fórmulas que permitam a apresentação instantânea da variável usada na folha. Com isso, foram criados potenciais, nos quais estão descritos a variável da lógica, cujo estêncil é inserido na folha. Portanto, qualquer modificação no potencial (da variável da lógica) é refletida na folha do diagrama lógico. Além disso, a fórmula desenvolvida é capaz de buscar a referência do potencial usado, quer esteja no próprio projeto lógico ou disposto em outras folhas do funcional. Conforme essa prática, a aplicação dos potenciais no diagrama lógico é apresentada na Figura 45. O projeto lógico, com trecho exibido na Figura 46, faz parte do diagrama funcional, disposto no Apêndice A.

Figura 45 – Potenciais aplicados ao Projeto Lógico



Fonte: Autor (2023).

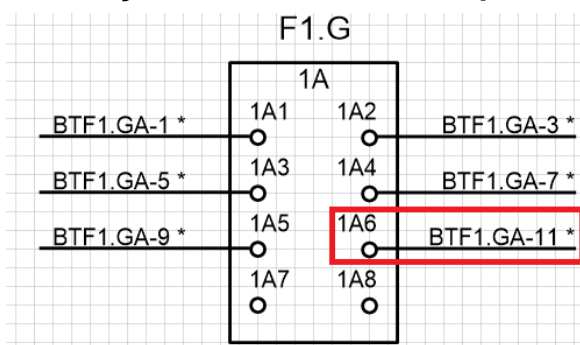
Figura 46 – Trecho do Projeto Lógico



Fonte: Autor (2023).

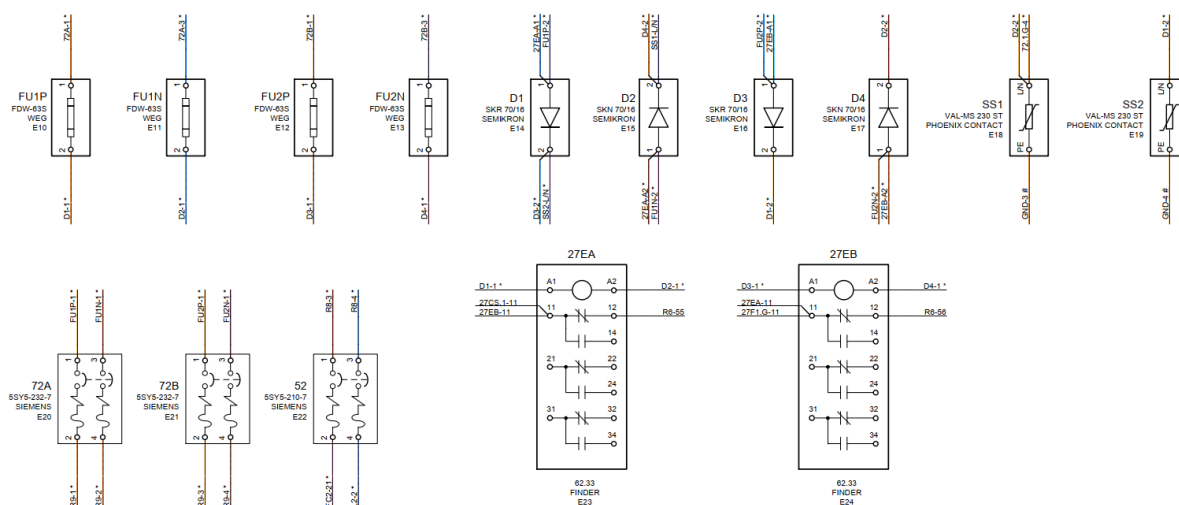
Para a elaboração do diagrama de fiação, foram desenvolvidos atributos-fórmula que detectam o destino da fiação. Com isso, esse atributo-fórmula foi inserido no estêncil dos pinos, os quais são representados no diagrama de fiação. Como resultado, basta inserir o estêncil do pino no diagrama que o destino da fiação é apresentado automaticamente. Um exemplo desse automatismo é apresentado na Figura 47, em que parte da fiação do F1.G é simbolizada. Trecho do diagrama de fiação é apresentada na Figura 48. Idem são demonstrados a organização do F1.G no Explorer do EB, disposta na Figura 49, e os atributos do fio conectado ao pino 1A6 exemplificado com respectivo destino na Figura 50.

Figura 47 – Trecho da Fiação do F1.G com destaque a destino do pino 1A6



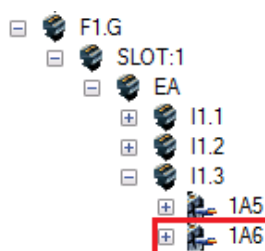
Fonte: Autor (2023).

Figura 48 – Trecho do Diagrama de Fiação



Fonte: Autor (2023).

Figura 49 – Estrutura do F1.G no Explorer do EB



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 50 – Destino da Fiação

Atributos do sistema	Dados da Ordem de compra	Especificações	Dados de operação	Classificação	Puxador	Dados da Ordem de compra	Dados de operação
Parte de							...
Nome							...
Comentário		Controle_2,5MM					...
Tipo		Controle					...
Destino 1		2UA2G BTF1.GA F 11					...
Destino 2		2UA2G F1.G SLOT:1 EA I1.3 1A6					...
Função associada							...
Completar a Função Associada							...

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Por vezes, é comum apresentar a lista de materiais do projeto elétrico com o diagrama de fiação. Assim como para os destinos da fiação, a lista de materiais idem é elaborada de modo automático. Para tanto, foram desenvolvidas fórmulas que captam os dispositivos modelados no painel, contabilizando-os e inserindo suas informações na folha. Nesse sentido, os atributos-fórmula foram dispostos no modelo da folha, fazendo com que a alteração, exclusão ou inserção de qualquer dispositivo seja instantaneamente refletida na lista de materiais. A lista de materiais do projeto elétrico do estudo de caso é apresentada na Figura 51.

Figura 51 – Lista de Materiais do Projeto

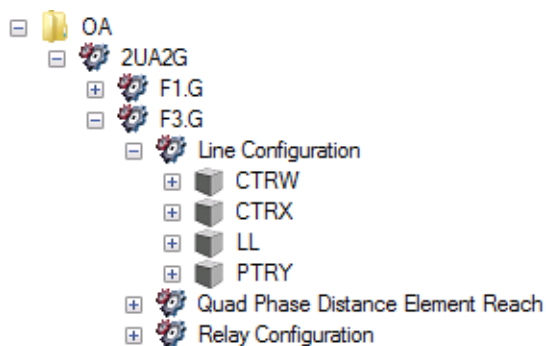
ITEM	OTDE	DESCRIÇÃO	ITEM	OTDE	DESCRIÇÃO	ITEM	OTDE	DESCRIÇÃO
1	01	Tomada 2 Pólos + Terra, Tensão Nominal 250 Vca, Corrente Nominal 10 A + Caixa de sobrepor CÓDIGO: TM1 MODELO: 2P+T - PIAL FABRICANTE: PIAL	9	11	Relé Modular de Potência, 3 Contatos Reversíveis, Ic=16A, Tensão Bobina 250 Vcc CÓDIGO: 27F3.G, 27F1.G, 27EA, 27FA1.1, 27FA2.1, 52PMX1, 27R1, 27RA.1, 27CS.1, BDDX1, 27EB MODELO: 62.33.9.250.0040+BASE 92.03+ MODULO 99.02.9.220.99 FABRICANTE: FINDER	17	01	Relé biestável, 8 contatos reversíveis, Ic=10 A, Umax 250 Vcc/400 Vca, tensão da bobina 250 Vcc + base PAVM320 CÓDIGO: 86.G MODELO: RMBZ12+PAVM320 FABRICANTE: ICR
2	04	Chave Fim de Curso, Contatos 1NA+1NF, Acionamento por Pino. CÓDIGO: FC3, FC2, FC4, FC1 MODELO: 3SE5 232-0CC05 FABRICANTE: SIEMENS	10	02	Luminária com Lâmpada Fluorescente de 11W, 220Vca com Reator Integrado CÓDIGO: L2, L1 MODELO: 96900 FABRICANTE: TASCO	18	02	Diode SKN Ifav 70A, 1600V, Pico Inverso, C/ Dissipador KP 0,8/100, Com Rabicho, Montagem M2UK C/ Isolador Pontal 16 CÓDIGO: D4, D2 MODELO: SKN 70/16 + KP 0,8/16 FABRICANTE: SEMIKRON
3	06	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 10 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72.3.G, 52, 72.4.G, 72.5.G, 72.7.G, 72.6.G MODELO: 5SY5-210-7 FABRICANTE: SIEMENS	11	02	Chave Comutadora Posição Normal / Teste, C/ Ângulo de 90°, 20 pólos (Contatos) sendo 2 pólo na posição 'Normal' e 18 pólos na posição com 4 Furos. CÓDIGO: CTF3.G, CTF1.G MODELO: CA20B-BRF618-E FABRICANTE: KRAUS&NAIMER	19	02	Diode SKR Ifav 70A, 1600V, Pico Inverso, C/ Dissipador KP 0,8/100, Com Rabicho, Montagem M2UK C/ Isolador Pontal 16 CÓDIGO: D3, D1 MODELO: SKR 70/16 + KP 0,8/16 FABRICANTE: SEMIKRON
4	02	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 20 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72.1.G, 72.2.G MODELO: 5SY5-220-7 FABRICANTE: SIEMENS	12	04	Fusível Diazed, com base com fixação para trilho, tampa, parafuso de ajuste, anel de proteção, corrente nominal 63 A, tensão 500 VCA/500 VCC. CÓDIGO: FU2N, FU2P, FU1N, FU1P MODELO: FDW-63S + BAW 63 + TFW63 + PAW63 + APW63 FABRICANTE: WEG	20	34	Borne para terminal conexão tipo olhal para cabo até 6mm² CÓDIGO: R1, R2, R8 MODELO: ST5 P N FABRICANTE: CONEXEL
5	02	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 32 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72B, 72A MODELO: 5SY5-232-7 FABRICANTE: SIEMENS	13	02	Bloco de teste 10 pólos, 10 chaves de potencial. P P P P P P P P P P CÓDIGO: BTF1.GB, BTF3.GB MODELO: KEY-E 065 FABRICANTE: KONECTY	21	210	Borne seccionável duplo terminal conexão tipo agulha para cabo até 4mm² CÓDIGO: R5.5, R6, R5.4, R3.1, R5.6, R5.7 MODELO: UDK4-ITK-P/P - 2775210 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT
6	01	Unidade de proteção, case 1/3 19", display pequeno, C/ 11 BI, 9 B0, 4 entradas de corrente 5A, 4 entradas de tensão, funções base + 100 pontos de funções, DIGSI 5 e IEC 61850/Goose. CÓDIGO: F1.G MODELO: 7SAB6-DAAA-AA0-0WMMW0-AL0111-12111B-BAA000-000AC0-CB1BA1 (P1A148984) FABRICANTE: SIEMENS	14	02	Bloco de teste 10 pólos, 5 chaves geminadas para circuito de corrente C C C C C C C C C C CÓDIGO: BTF1.GA, BTF3.GA MODELO: KEY-E 082 FABRICANTE: KONECTY	22	14	Borne para terminal conexão tipo agulha para cabo até 35mm² CÓDIGO: R9, R3.2 MODELO: UK 35 - 3008012 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT
7	01	Unidade de proteção, case 2/3 19", display grande, C/ 71 BI, 25 B0, 4 entradas de corrente 5A, 4 entradas de tensão, funções base + 100 pontos de funções, DIGSI 5 e IEC 61850/Goose. CÓDIGO: F3.G MODELO: 7SAB6-DAAA-AA0-0WMMW0-AM0111-13111B-BAA000-000AC0-CB1BA1-CE0EA0 (P1A288200) FABRICANTE: SIEMENS	15	01	Barra de Terra 30x5 mm De Cobre Nú Eletrolítico, para fixação diretamente na estrutura do painel, conexões com parafusos M4 roscaados na barra e com dois conectores de pressão para cabos de 50 a 120 mm². CÓDIGO: GND MODELO: MAURANO FABRICANTE: MAURANO	23	02	Proteção contra surtos na alimentação. Tensão nominal: 230V AC CÓDIGO: SS1, SS2 MODELO: VAL-MS 230 ST - 2798844 + Base VAL-MS BE - 2817741 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT
8	02	Contator modular de interface, com 4 contatos NA, Ic=63A, tensão de bobina 230 Vcc, com led diodo e indicador mecânico de posição. CÓDIGO: 52X1.1, 52X2.1	16	04	Relé Rápido, 4 contatos reversíveis, Ic=12 A, Umax 350 Vcc/440 Vca.			

Fonte: Autor (2023).

Com a construção do diagrama funcional e a consolidação das informações pertinentes ao projeto elétrico na estrutura do Engineering Base, foi utilizado o assistente de interligação para a produção do diagrama de interligação. Para a execução deste, basta selecionar as unidades para detecção de cabos que realizam a interligação entre os equipamentos. A macro de interligação cria folhas, insere nestas os estênceis dos respectivos bornes dos dispositivos da unidade, e em seguida promove a ligação destes bornes aos cabos. Com efeito, todo o caderno de interligação é elaborado de forma automatizada. O resultado da aplicação desse assistente é apresentado no Apêndice C, com trecho em Figura 52.

Além disso, foi utilizada macro de Ordem de Ajuste (OA) de IED's para o estudo de caso. Esse assistente é capaz de criar estrutura no banco de dados para a OA do IED a partir de informações definidas em planilha Excel. Assim, para atualizar a ordem de ajuste do IED no EB, basta importar planilha atualizada pelo assistente. Adicionalmente, o caminho inverso é permitido: pode-se exportar a OA do EB para uma planilha Excel. Desse modo, para o uso da macro, foi elaborado um arquivo Excel com algumas funções de IED's, com valores fictícios, para a criação da estrutura da OA no EB. É demonstrado na Figura 54 a estrutura criada no banco de dados, e, na Figura 55, as informações que foram cadastradas.

Figura 54 – Estrutura hierárquica da OA no banco de dados



Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

Figura 55 – Informações da OA cadastradas no EB

28 Registro(s)	Panel	IED	Função	Nome	Descrição	Valor
Filtro	*	*	*	*	*	*
1	2UA2G	F1.G	Line Configuration	CTRW	Current Transformer Ratio – Input W	120
2	2UA2G	F1.G	Line Configuration	CTRXX	Current Transformer Ratio – Input X	120
3	2UA2G	F1.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP1	Zone 1 Resistance (ohms,sec)	4,8
4	2UA2G	F1.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP2	Zone 2 Resistance (ohms,sec)	6
5	2UA2G	F1.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP1	Zone 1 Reactance (ohms,sec)	2
6	2UA2G	F1.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP2	Zone 2 Reactance (ohms,sec)	3,12
7	2UA2G	F1.G	Relay Configuration	E32	Directional Control	AUTO
8	2UA2G	F1.G	Relay Configuration	E79	Reclosing	N
9	2UA2G	F1.G	Relay Configuration	ELOAD	Load Encroachment	Y
10	2UA2G	F1.G	Relay Configuration	EMANCL	Manual Closing	Y
11	2UA2G	F3.G	Line Configuration	CTRW	Current Transformer Ratio – Input W	120
12	2UA2G	F3.G	Line Configuration	CTRXX	Current Transformer Ratio – Input X	120
13	2UA2G	F3.G	Line Configuration	LL	Line Length	89
14	2UA2G	F3.G	Line Configuration	PTRY	Potential Transformer Ratio – Input Y	2000
15	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP1	Zone 1 Resistance (ohms,sec)	5
16	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP2	Zone 2 Resistance (ohms,sec)	6,2
17	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP3	Zone 3 Resistance (ohms,sec)	7,9
18	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	RP4	Zone 4 Resistance (ohms,sec)	7,9
19	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP1	Zone 1 Reactance (ohms,sec)	2,3
20	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP2	Zone 2 Reactance (ohms,sec)	3,4
21	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP3	Zone 3 Reactance (ohms,sec)	1
22	2UA2G	F3.G	Quad Phase Distance Element Reach	XP4	Zone 4 Reactance (ohms,sec)	4
23	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	E21MG	Mho Ground Distance Zones	N
24	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	E21MP	Mho Phase Distance Zones	N
25	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	E32	Directional Control	AUTO
26	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	E79	Reclosing	N
27	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	ELOAD	Load Encroachment	Y
28	2UA2G	F3.G	Relay Configuration	EMANCL	Manual Closing	Y

Fonte: Adaptado de AUCOTEC (2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o evento de entrada de linha em 69 kV em uma subestação típica, o estudo de caso desenvolvido mostrou-se consistente. Em primeiro lugar, essa razoabilidade do modelo proposto concerne à produção dos entregáveis exigidos. Foram elaborados diagramas funcional, de fiação e de interligação. Em paralelo, outro ponto de destaque é a aplicabilidade do modelo proposto para um projeto de PAC real de subestação. Essa conformidade é baseada na escolha de arranjo de subestação que é comum para setor de 69 kV – de barra principal e de transferência –, e em pesquisa e escolha de modelos de equipamentos de pátio e de dispositivos eletrônicos inteligentes para a proteção e controle do empreendimento. Somando-se a isso, o sistema de proteção, supervisão e controle proposto para a subestação é constituído por dispositivos com modelos idem reais. Embora não haja documento balizador para determinação de requisitos de proteção para esse tipo de evento, o projeto de PAC abarcou diversas funções de proteção. Em vista dessa consonância nos âmbitos da problemática, dos equipamentos usados e da amplitude das proteções planejadas, a proposta de estudo de caso demonstrou-se robusta.

A tecnologia de banco de dados, as funcionalidades nativas e os inúmeros horizontes de automatismos possibilitados pela programação no Engineering Base transformam a plataforma de engenharia em uma ferramenta satisfatória no mundo BIM/EIM. Essa relevância se dá não apenas para projetos de PAC de subestações, mas também em tarefas de engenharia de outros ramos. O EB mostrou-se apto para aplicação da metodologia em virtude do nível de maturação do tratamento da informação, o qual está relacionado ao gerenciamento de mudanças eficiente e à consistência da informação cadastrada. Acresça-se a isso, o software dispõe de processo evoluído de gestão e de trabalho colaborativo, com o uso paralelo e simultâneo de usuários, que facilita a sincronização dos dados cadastrados. Como elemento fundamental, mostrou-se como as funcionalidades próprias do EB e automatismos elaborados são aplicados para a implantação das dimensões do BIM no desenvolvimento de projetos elétricos de subestações. Atendendo aos requisitos acrescidos pela nomenclatura EIM, o Engineering Base permite idem a modelagem de objetos complexos, o estabelecimento de relacionamentos entre objetos, a troca

e compartilhamento de informações, oferece flexibilidade, e promove a gestão do conhecimento.

A programação no Engineering Base mostrou-se como peça-chave para a elevada quantidade de etapas automatizadas na elaboração do projeto de PAC. Dessa forma, o acesso à informação e os automatismos promovidos pelo esforço em construir soluções em fórmulas e rotinas computacionais favorecem o aumento da produtividade e a redução de custos do projeto. As macros em VBA e os atributos-fórmula são mecanismos poderosos para a evolução dos fluxos de trabalho de engenharia. Conforme estudo de caso apresentado, a partir do uso destes automatismos, a execução de tarefas repetitivas foi reduzida ou eliminada para a criação de parte da estrutura do banco de dados, relativa a IED's, a criação de jumpers, a elaboração de desenhos de potenciais, de diagramas lógicos, de fiação, da lista de materiais, do diagrama de interligação, da lista de cabos e, inclusive, da ordem de ajuste dos IED's.

Tomando a comparação do Engineering Base com softwares CAD, é indubitável a evolução tecnológica promovida pela aplicação de banco de dados agregada às estratégias direcionadas pela metodologia BIM/EIM. Com efeito, os recursos nativos de cooperação entre equipes, navegação entre objetos, filtragem de informações e possibilidade de estruturação taxonômica e funcional de dados do projeto, são acrescidos às incontáveis oportunidades de melhoria de processos a partir da programação. Por essa gama de ferramentas, é notório o potencial do software para aplicação em outros segmentos da engenharia. Com isso, a automatização possibilitada pelo EB faz da ferramenta um modelo de flexibilidade e de customização pelo usuário. Somadas às funcionalidades nativas do software, a programação torna o Engineering Base uma ferramenta significativa no cenário de plataformas de engenharia.

Para trabalhos futuros, sugere-se a comparação de tempo levado com outras ferramentas e por outras metodologias para a elaboração de projetos de PAC. Assim, pode-se fazer levantamento de softwares disponíveis no mercado e de metodologias para o desenvolvimento de projetos, para efetuar o confronto de produtividade e eficiência das opções. Outra possibilidade para evolução de projetos de PAC pelo EB, é a criação de informações relativas à Lista de Pontos do SCADA, utilizada para o supervisório da subestação, no modelo desenvolvido no banco de

dados, a fim de que haja a criação automática da lista a partir do Engineering Base. Uma alternativa de desenvolvimento é a elaboração de relatórios automáticos e de indicadores sobre o desenvolvimento de projetos através de integração a alguma ferramenta BI, como o PowerBI. Em razão da possibilidade de integração deste software BI ao SQL Server, pode-se investigar como ler e extrair informações do banco de dados do Engineering Base – que é constituído na linguagem de programação SQL – via PowerBI. Finalmente, recomenda-se a integração do Engineering Base a ferramentas de edição 3D, como o Revit. O modelo digital acessado por ambos os softwares pode ser explorado para a obtenção automática do comprimento de cabos alocados em canaletas.

REFERÊNCIAS

3D connections for Engineering Base Cable – Integration of mechanical information into the digital model of electrical harnesses. **.Net**, Hanover, 2023.c. **AUCOTEC AG**. Disponível em: <<https://www.aucotec.com/en/mobility-solutions/automotive/3d-connections-for-engineering-base-cable/>>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

AUCOTEC AG. **Engineering Base**: Plataforma cooperativa. Version 7.0. [S.l.]: AUCOTEC AG, 2020.

AUCOTEC AG. **Engineering Base – User’s Guide**. Hanover: AUCOTEC INC, 2021. 1289 p.

AUNG, Z. Database Systems For The Smart Grid. In: CHITRA, A.; INDRAGANDHI, V.; SULTANA, W. R. **Smart Grids and Green Energy Systems**. Londres: Springer London, 2013. p. 151-168.

Automating workflows and having overview of progress – Securely controlling external data integration and internal engineering processes with the Workflow Assistant. **.Net**, Hanover, 2023.d. AUCOTEC AG. Disponível em: <<https://www.aucotec.com/en/plant-solutions/integrations/data-integration-and-engineering-processes-control-with-aucotec/>>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

BLACKBURN, J. L; DOMIN, T. J. **Protective Relaying**: Principles and Applications. 4. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2014.

BRASIL. Presidência da República. Ministério de Minas e Energia – MME. **Smart Grid**. Brasília: Presidência da República, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/energia-eletrica/relatorio-smart-grid-1/documentos/relatorio-smart-grid.pdf/view>>. Acesso em: 05 fev. 2023.

CHEN. Y. *et al.* Research on Deep Learning-based AI Information Extraction Methods of Substation Engineering Design, **2021 4th International Conference on Energy, Electrical and Power Engineering (CEEPE)**, Chongqing. 2021. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9475686>>. Acesso em: 21 março de 2023.

Cooperative engineering with EB - consistent, agile, centralized. **.Net**, Hanover, 2023.a. AUCOTEC AG. Disponível em: <<https://www.aucotec.com/en/products/engineering-base/engineering-base>>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

Digital Twins Global Market 2022-2027: By Technology, Twinning Type, Cyber-to-Physical Solutions, Use Cases and Applications. **.Net**, [S.l.], mar. 2022. BUSINESS WIRE. Disponível em: <<https://www.businesswire.com/news/home/20220317005543/en/Digital-Twins-Global-Market-2022-2027-By-Technology-Twinning-Type-Cyber-to-Physical-Solutions-Use-Cases-and-Applications---ResearchAndMarkets.com>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

EASTMAN, C. M. *et al.* **BIM Handbook**: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011.

Engineering Base. **.Net**, Recife, 2019. ESC. Disponível em: <<http://esc.com.br/atuacao/engineering-base>>. Acesso em: 14 de fev. de 2023.

Export Bill of Material. **.Net**, Hanover, 2023.e. AUCOTEC AG. Disponível em: <https://download.aucotec.com/Documentation/EBWebPlus/jkprrv-ezk_1WH-ttrupkgatznnq/index.htm#t=Using_EB%2FEnglish%2FStandard_PLM_Connector%2F1_4_Export_Bill_of_Material.htm>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

FERREIRA, R. D. F. **Aplicações de Proteção, Automação e Controle em Tempo Teal Conforme a IEC 61850 em Ambiente Virtualizado**. 2019. 253 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

FRAZÃO, R. J. A. **Proteção do Sistema Elétrico de Potência**. Londrina, PR: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.

GARIBALDI, B. C. B. Do 3D ao 7D – Entenda todas as dimensões do BIM. **.Net**, [S.l.], jan. 2020. SIENGE. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-bim/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GUERRA, J. *et al.* Smart grid é o futuro certo da distribuição de energia elétrica?. **.Net**, São Paulo, mai. 2010. Revista O Setor Elétrico. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/smart-grid-e-o-futuro-certo-da-distribuicao-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 21 fev. 2023.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS – ICE. **Leveraging the Relationship between BIM and Asset Management**. Londres, 2014. Disponível em: <<https://theiam.org/media/1489/bim-and-asset-management-position-paper.pdf>>. Acesso em: 11 de fev. de 2023.

KIM, H. J. *et al.* A comprehensive review of practical issues for interoperability using the common information model in smart grids, **Energies**, Suíça, v. 13, n. 6, p. 1435, 2020. ISSN 1996-1073. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/en13061435>>. Acesso em: 10 março de 2023.

KINDERMANN, G. **Proteção de Sistemas de Potência** – Vol. 1. 2. ed. Florianópolis, SC: UFSC, 2005.

_____. **Proteção de Sistemas de Potência** – Vol. 2. Florianópolis, SC: UFSC, 2006.

LEUSIN, S. **Gerenciamento e Coordenação de Projetos BIM**. São Paulo: GEN LTC, 2018.

MA, Z. M. Engineering information modeling in databases: needs and constructions, **Industrial Management & Data Systems**, [S.l.], v. 105, n. 7, p. 900-918, 2005. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/02635570510616102/full/html>>. Acesso em: 21 março de 2023.

MAMEDE FILHO, J.; MAMEDE, D. R. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2020.

MAMEDE FILHO, J. **Subestações de Alta Tensão**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2021.

MENDES, M. F. **Proposta de Metodologia e de Modelo para Modernizações de Sistema de Automação de Unidades Geradoras Hidráulicas de Grande Porte**. 2011. 277 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MICROSOFT. **Excel VBA reference**. Redmond, 2023.b. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview/excel>>. Acesso em: 19 de fev. de 2023.

_____. **Getting started with VBA in Office**. Redmond, 2023.c. Disponível em: <<https://learn.microsoft.com/en-us/office/vba/library-reference/concepts/getting-started-with-vba-in-office>>. Acesso em: 19 de fev. de 2023.

_____. **Visio**. Redmond, 2023.a. Disponível em: <<https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/visio/flowchart-software>>. Acesso em: 19 de fev. de 2023.

NATIONAL BIM STANDARD - UNITED STATES – NBIMS-US. **National BIM Standard: version 2 - FAQs**. United States: US National BIM Standards Committee, 2014.

NEWSMANTRAA. Electrical Computer-Aided Design (ECAD) Software Market 2022 Industry Key Players, Share, Trend, Segmentation and Forecast to 2030. **.Net**, [S.I.], mar. 2023. DIGITAL JOURNAL. Disponível em: <<https://www.digitaljournal.com/pr/news/electrical-computer-aided-design-ecad-software-market-2022-industry-key-players-share-trend-segmentation-and-forecast-to-2030>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS. **Submódulo 2.11: Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção**. Brasília, 2021.

Plant Engineering Software Market: Ready To Fly on high Growth Trends | Siemens, Boom Software, CEA Systems. **.Net**, [S.I.], jan. 2023. OpenPR. Disponível em: <<https://www.openpr.com/news/2885275/plant-engineering-software-market-ready-to-fly-on-high-growth>>. Acesso em: 29 mar. 2023.

ROYAL INSTITUTION OF CHARTERED SURVEYORS – RICS. **International BIM implementation guide**. Londres, 2016. 1. ed. Disponível em: <<https://www.rics.org/profession-standards/rics-standards-and-guidance/sector-standards/construction-standards/international-bim-implementation-guide>>. Acesso em: 23 de fev. de 2023.

SMITH, D. K.; TARDIF, M. **Building Information Modeling: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2009.

The inside track – New open standard for the fastest data transfers to EB. **.Net**, Hanover, 2023.b. AUCOTEC AG. Disponível em: <<https://www.aucotec.com/en/plant-solutions/integrations/new-open-standard-for-the-fastest-data-transfers-to-eb/>>. Acesso em: 15 de fev. de 2023.

UNITED STATES OF AMERICA – USA. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **The Smart Grid: An Introduction**, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 2009. Disponível em: <<https://www.energy.gov/oe/articles/smart-grid-introduction-0>>. Acesso em: 04 fev. 2023.









WEEDY, B. M. *et al.* **Electric Power Systems**. 5. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012.

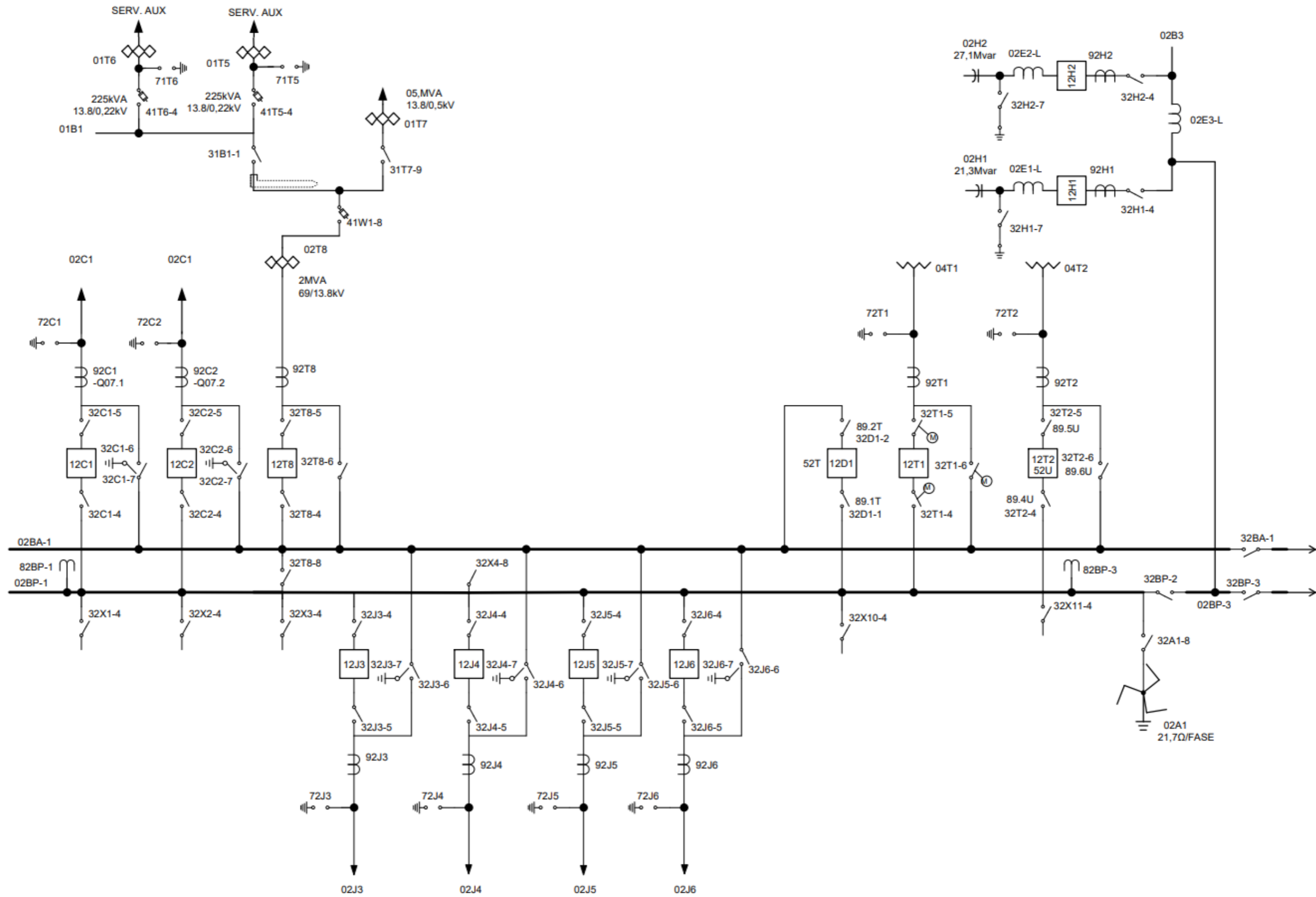
APÊNDICE A

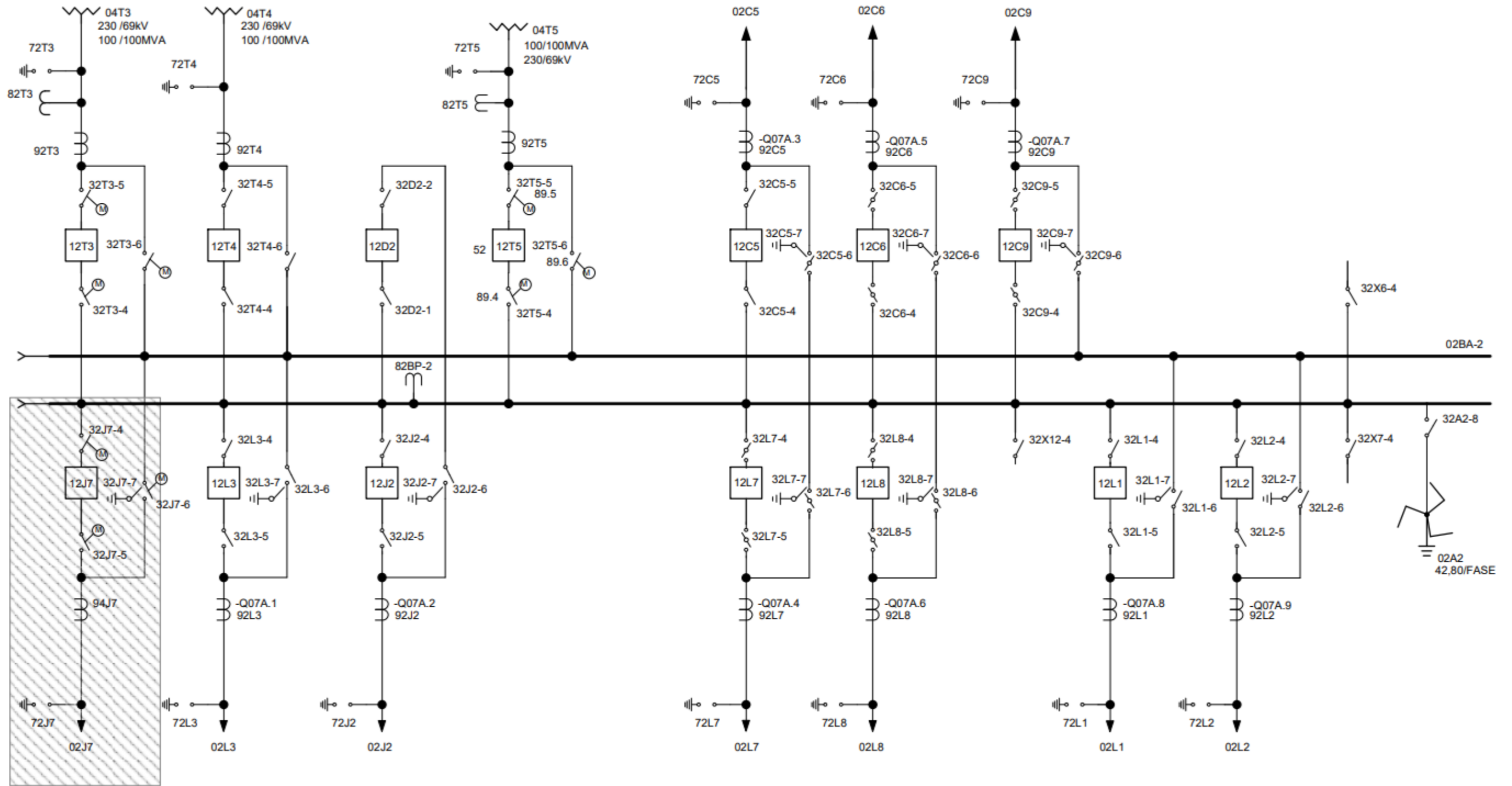
APÊNDICE A – Diagrama Funcional

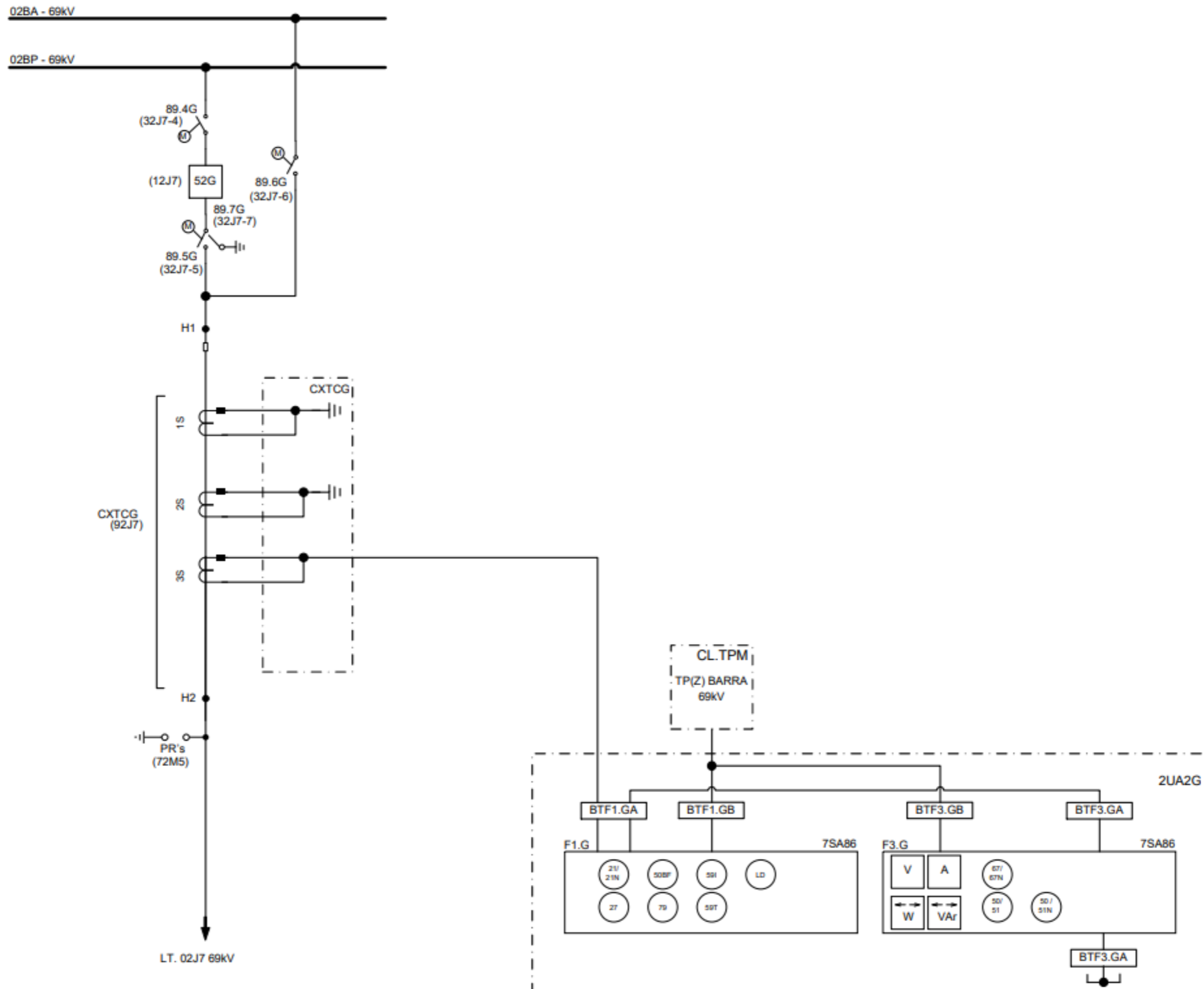
Legenda	79
Unifilar Geral	80
Unifilar de Proteção	82
Trifilar de Equipamentos	83
Alimentação do Painel	86
Potenciais	87
Entradas e Saídas Digitais	89
Relés auxiliares, Alimentação e Aterramento	102
Relé de Bloqueio	103
Circuito de Fechamento	104
Circuito de Abertura	106
Seccionadora	107
Circuito de Iluminação e Tomada	108
Lógico	109

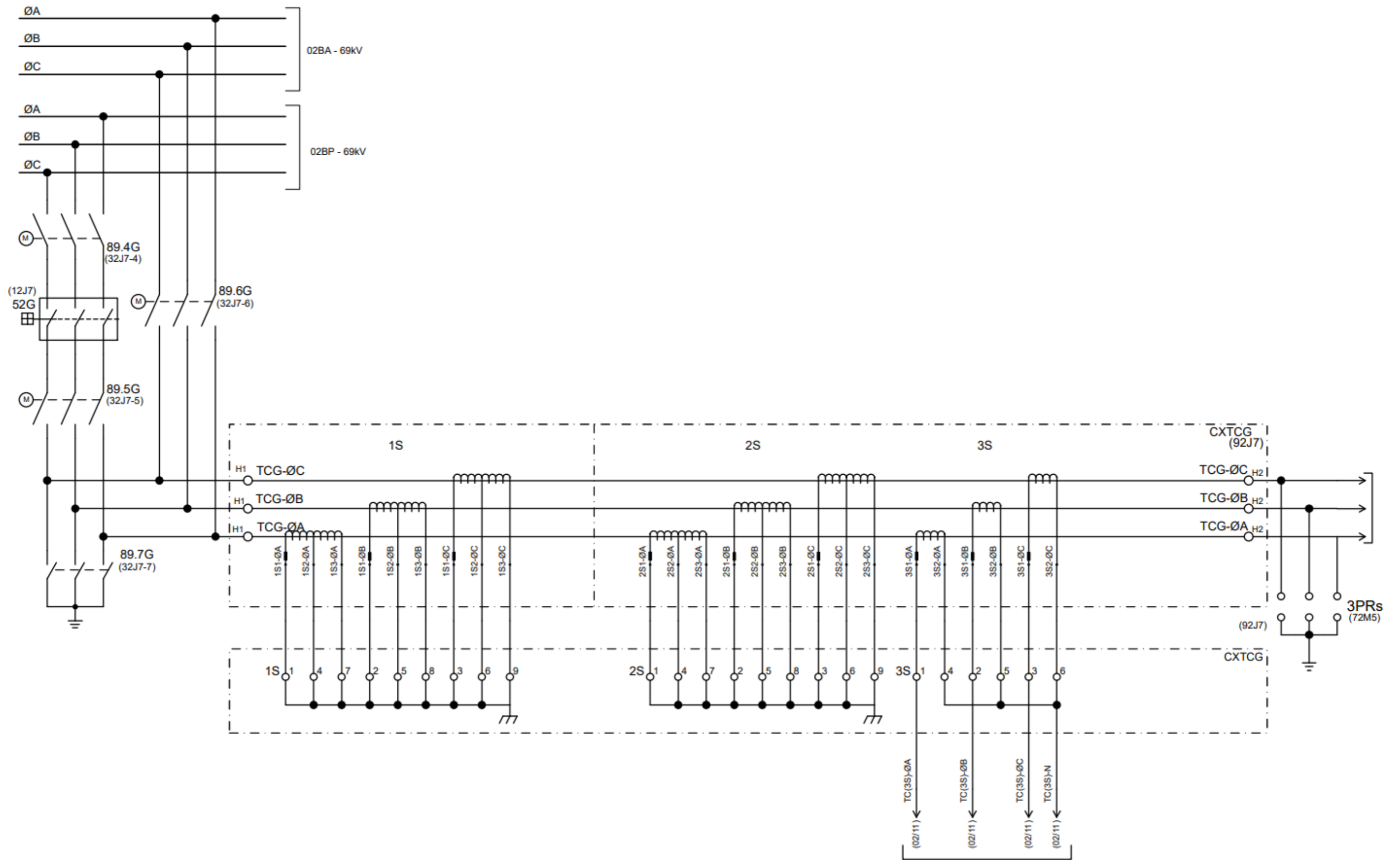
LEGENDA DE SÍMBOLOS

BB	BOBINA DE BLOQUEIO		INDICADOR DE CORRENTE
PR	PÁRA-RAIOS		INDICADOR DE TENSÃO
TC	TRANSFORMADOR DE CORRENTE		INDICADOR DE POTÊNCIA ATIVA
TP	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL		INDICADOR DE POTÊNCIA REATIVA
52	DISJUNTOR		LOCALIZADOR DE DEFEITOS
89	SECCIONADORA		REPRESENTAÇÃO DE BORNES INTERNOS DO PAINEL DESTE FUNCIONAL
REA	REATOR		REPRESENTAÇÃO DE BORNES EXTERNOS AO PAINEL DESTE FUNCIONAL
ATR	AUTOTRANSFORMADOR MONOFÁSICO		LIGAÇÃO FUTURA
21	RELÉ DE DISTÂNCIA DE FASE		
21N	RELÉ DE DISTÂNCIA DE TERRA		
25	RELÉ DE VERIFICAÇÃO DE SINCRONISMO		
26	RELÉ TÉRMICO – TEMPERATURA DO ÓLEO – REATOR OU AUTOTRANSFORMADOR		
27	RELÉ DE SUBTENSÃO		
27WI	RELÉ DE WEAK-INFEED (REDE FRACA)		
49	RELÉ TÉRMICO – TEMPERATURA DO ENROLAMENTO – REATOR OU AUTOTRANSFORMADOR		
50	RELÉ DE SOBRECORRENTE INSTANTÂNEO - FASE		
50G	RELÉ DE SOBRECORRENTE INSTANTÂNEO - TERRA		
50N	RELÉ DE SOBRECORRENTE INSTANTÂNEO - NEUTRO		
50BF	RELÉ DE FALHA DISJUNTOR		
51	RELÉ DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADO		
51E	RELÉ DE SOBRECORRENTE DE EMERGÊNCIA		
51N	RELÉ DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADO - NEUTRO		
51G	RELÉ DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADO - TERRA		
51V	RELÉ DE SOBRECORRENTE TEMPORIZADO COM RESTRIÇÃO DE TENSÃO		
59I	RELÉ DE SOBRETENSÃO INSTANTÂNEO		
59T	RELÉ DE SOBRETENSÃO TEMPORIZADO		
59R	RELÉ DE SOBRETENSÃO RESIDUAL (3V0)		
63	RELÉ DE BUCHHOLZ – REATOR OU AUTOTRANSFORMADOR		
67N	RELÉ DE SOBRECORRENTE DIRECIONAL		
67N	RELÉ DE SOBRECORRENTE DIRECIONAL DE NEUTRO		
68	RELÉ DE OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA		
77	TRANSDUTOR		
78	RELÉ BLOQUEIO OSCILAÇÃO DE POTÊNCIA		
79	RELÉ DE RELIGAMENTO		
85	RELÉ DE TELEPROTEÇÃO		
86	RELÉ BLOQUEIO		
87N	RELÉ DIFERENCIAL RESTRITO A TERRA - AUTOTRANSFORMADOR		
87R	RELÉ DIFERENCIAL - REATOR		
87B	RELÉ DIFERENCIAL - BARRA		
87ST	RELÉ STUB		
87T	RELÉ DIFERENCIAL - AUTOTRANSFORMADOR		
87G	RELÉ DIFERENCIAL - TERRA		
87L	RELÉ DIFERENCIAL - LINHA		
SOTF	SWITCH ON TO FAULT (LINE CHECK)		
VS	VÁLVULA DE SEGURANÇA – REATOR OU AUTOTRANSFORMADOR		

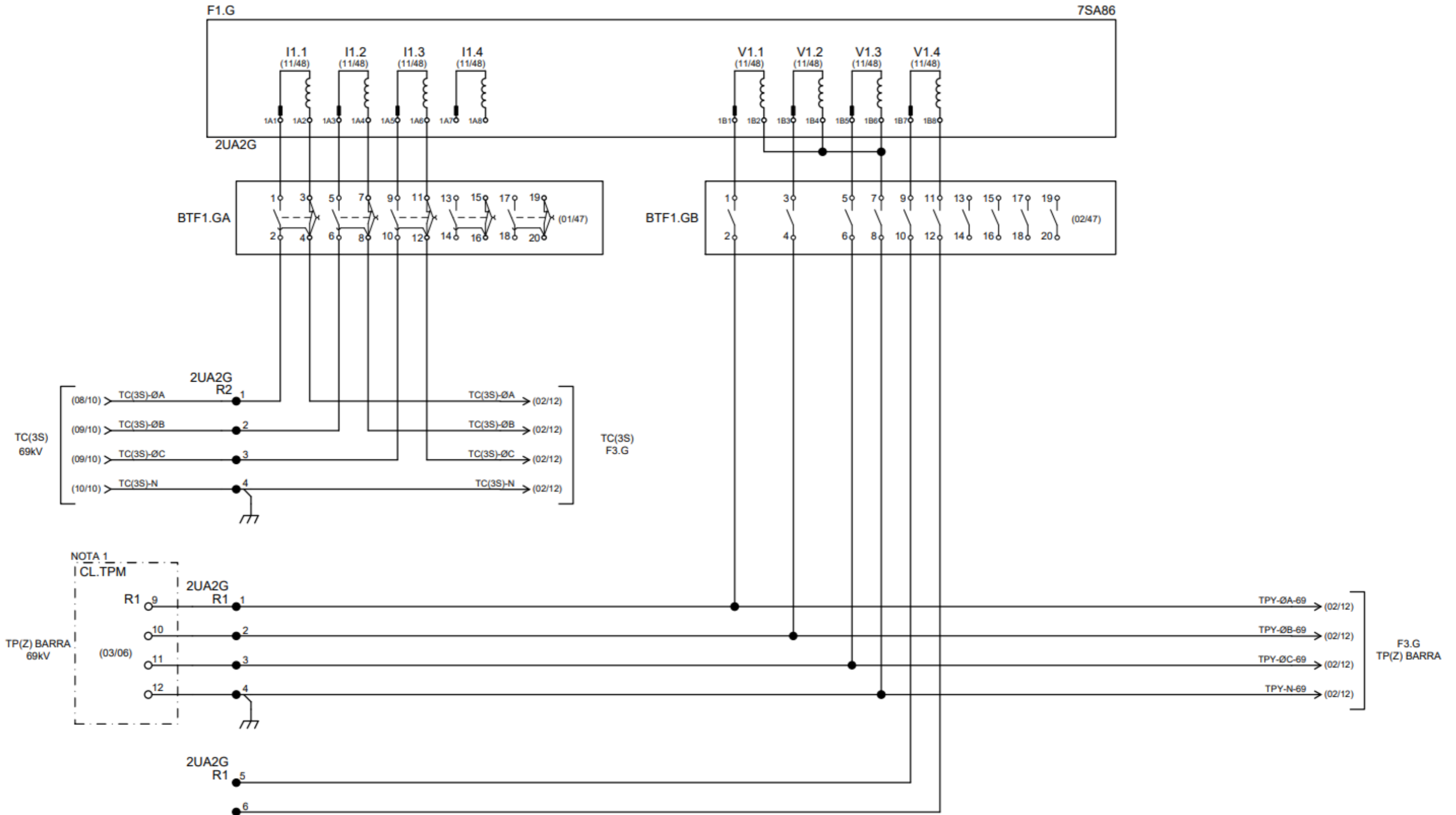


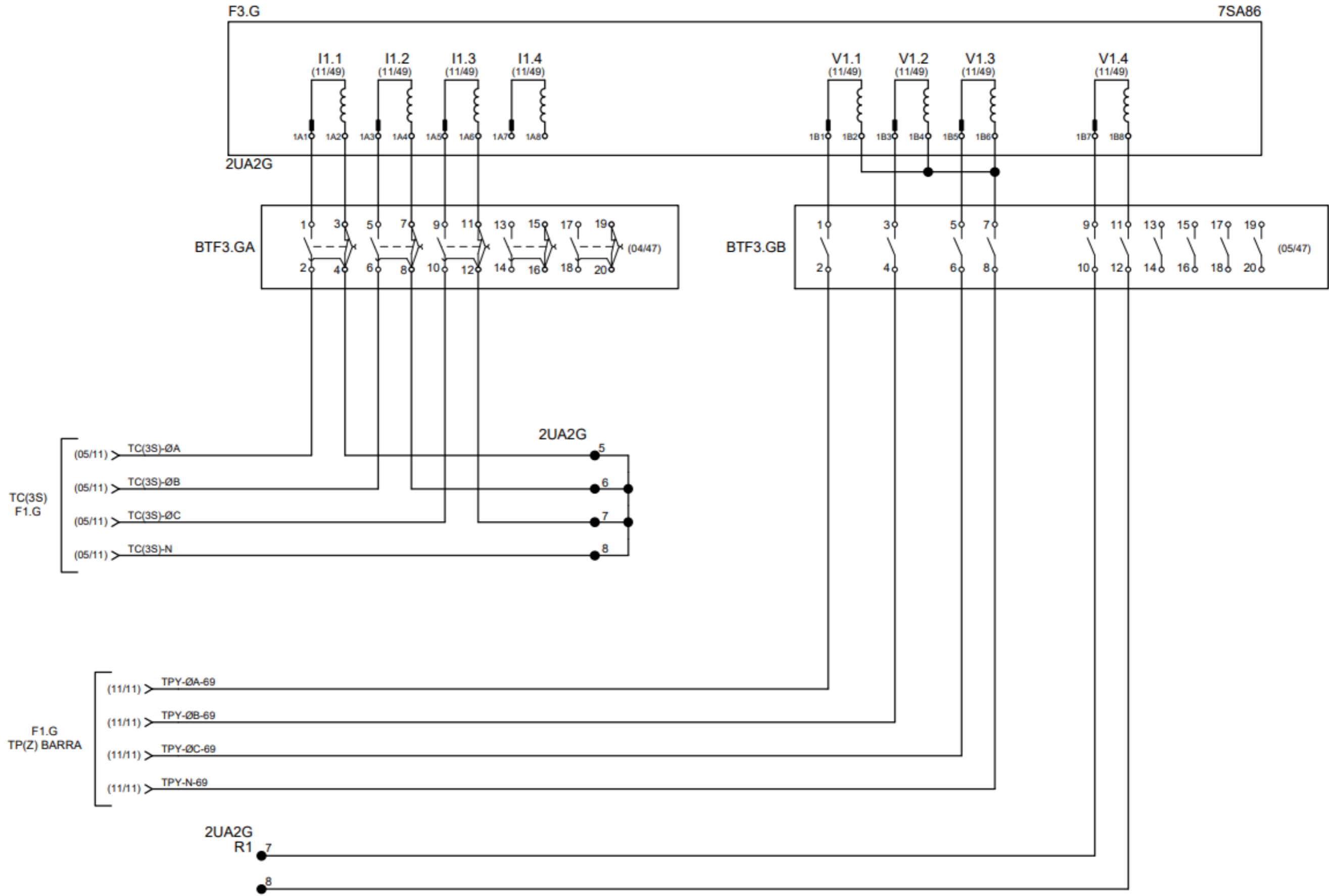


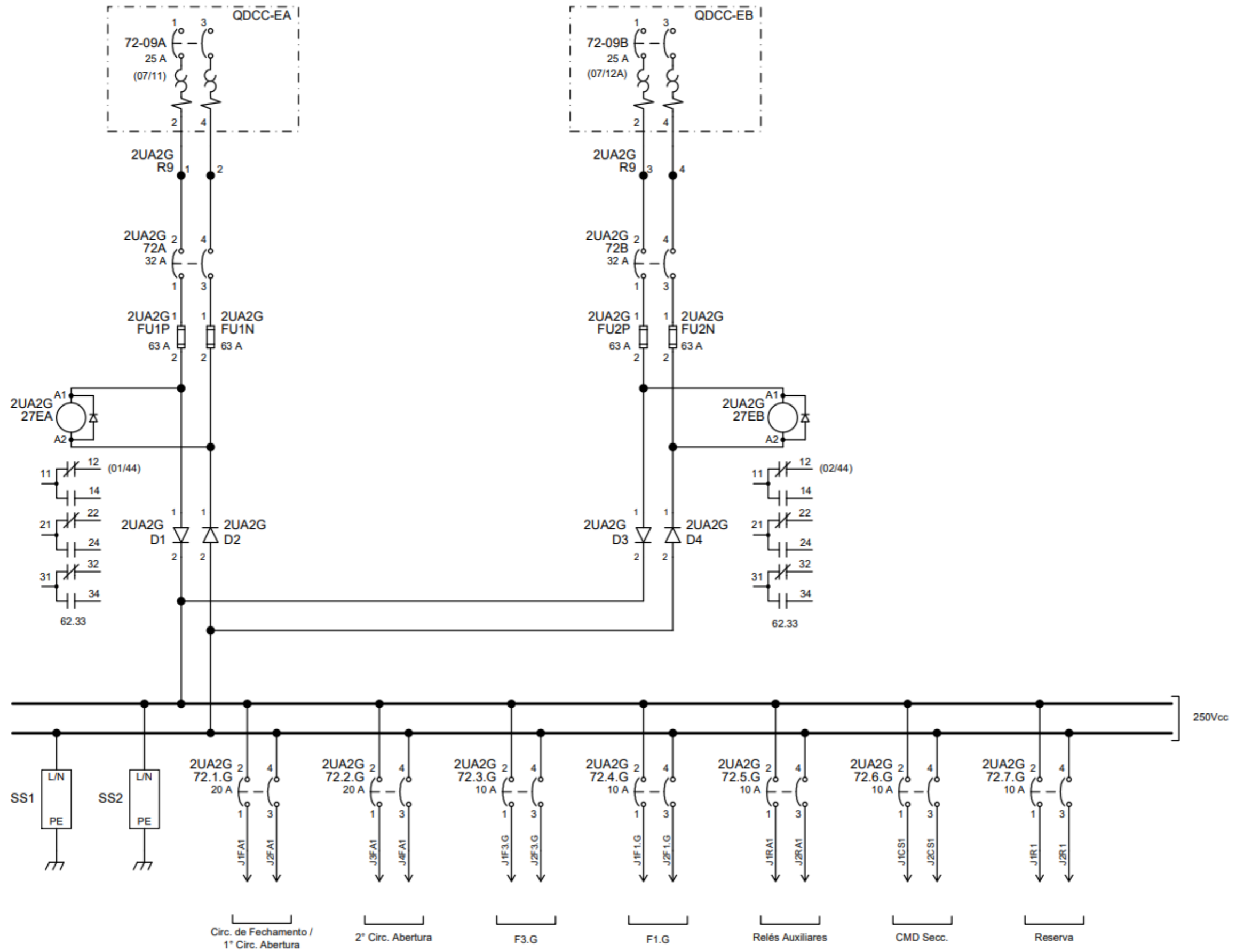


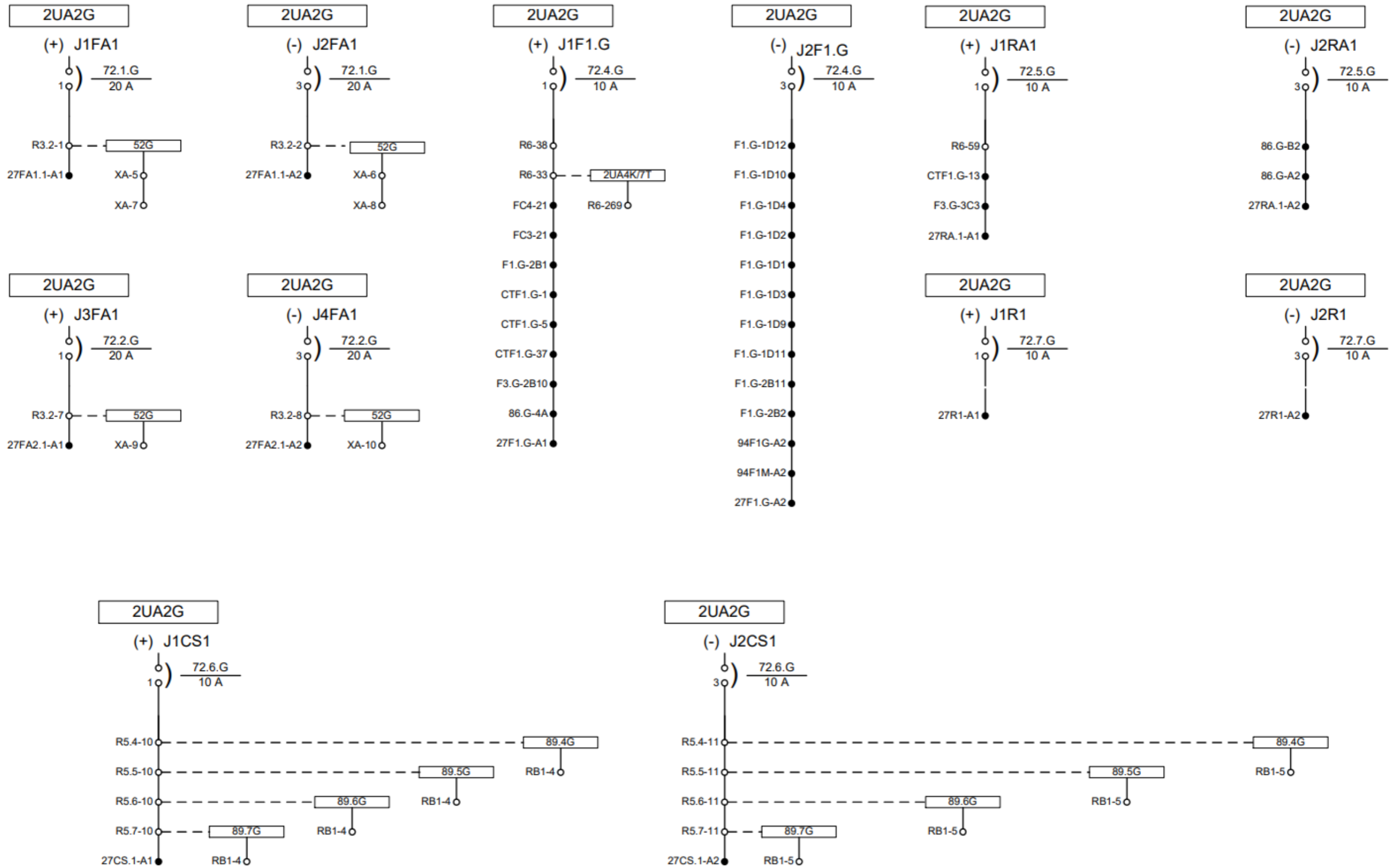


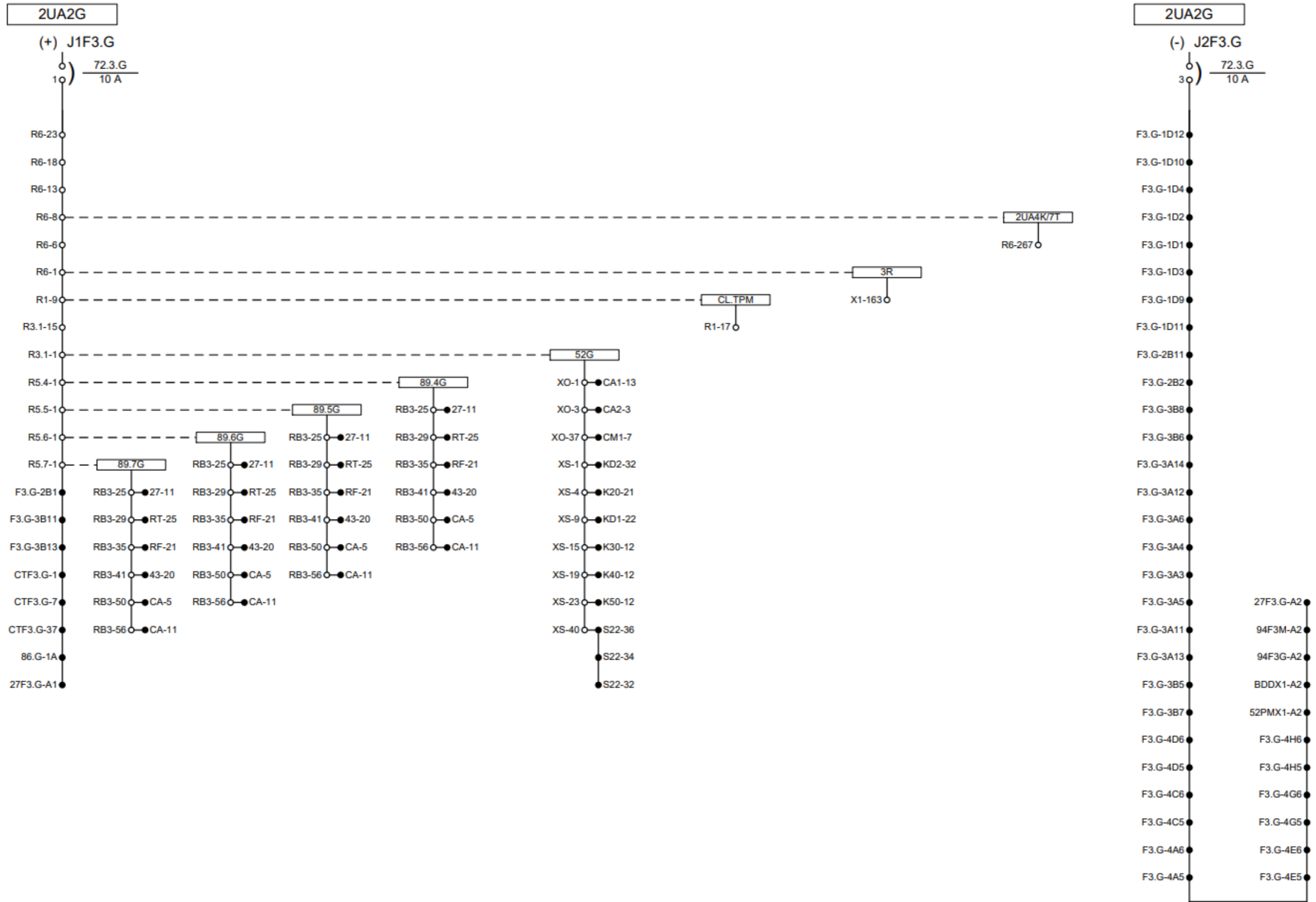
F1.G
TC(3S)

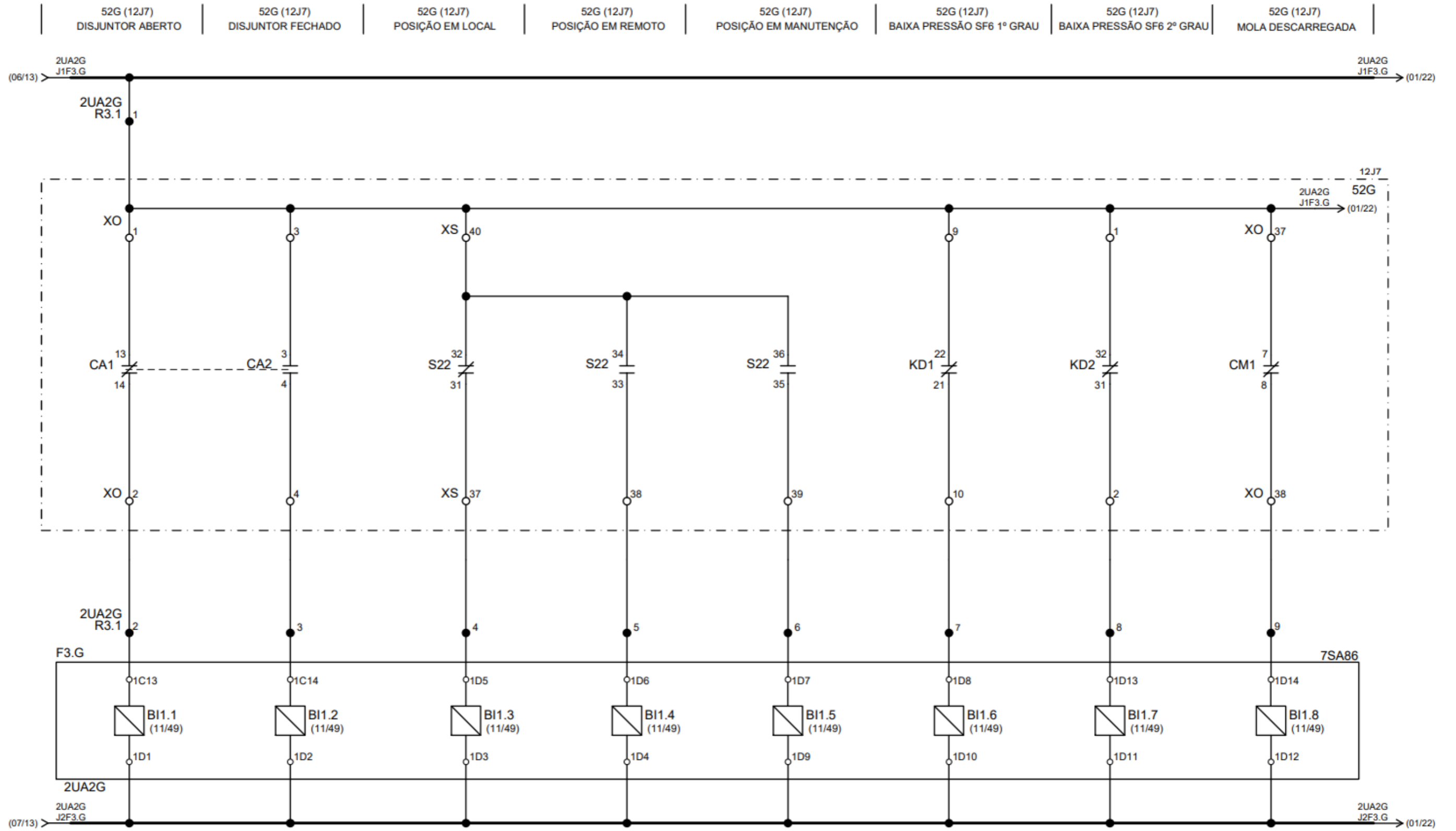




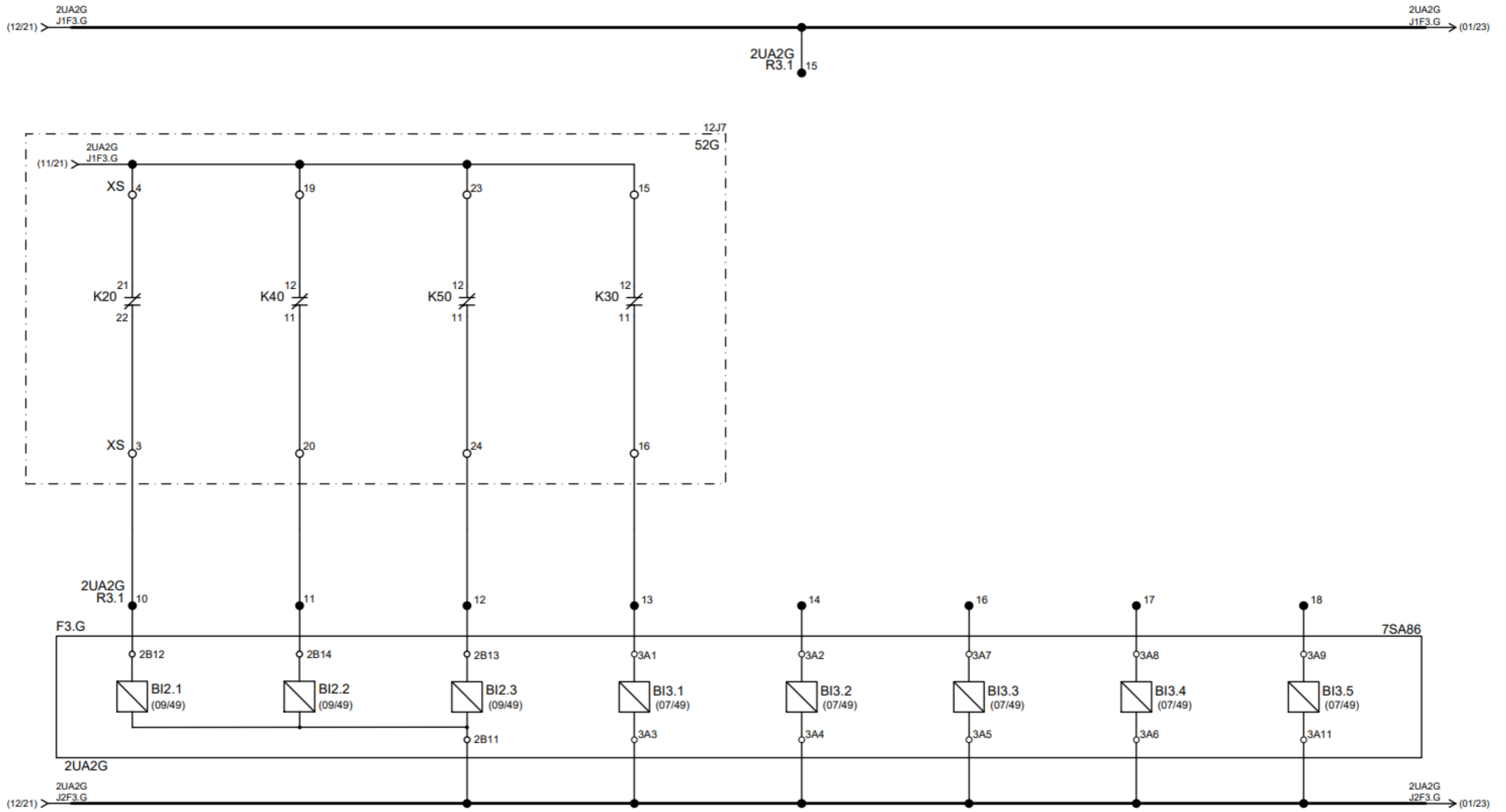


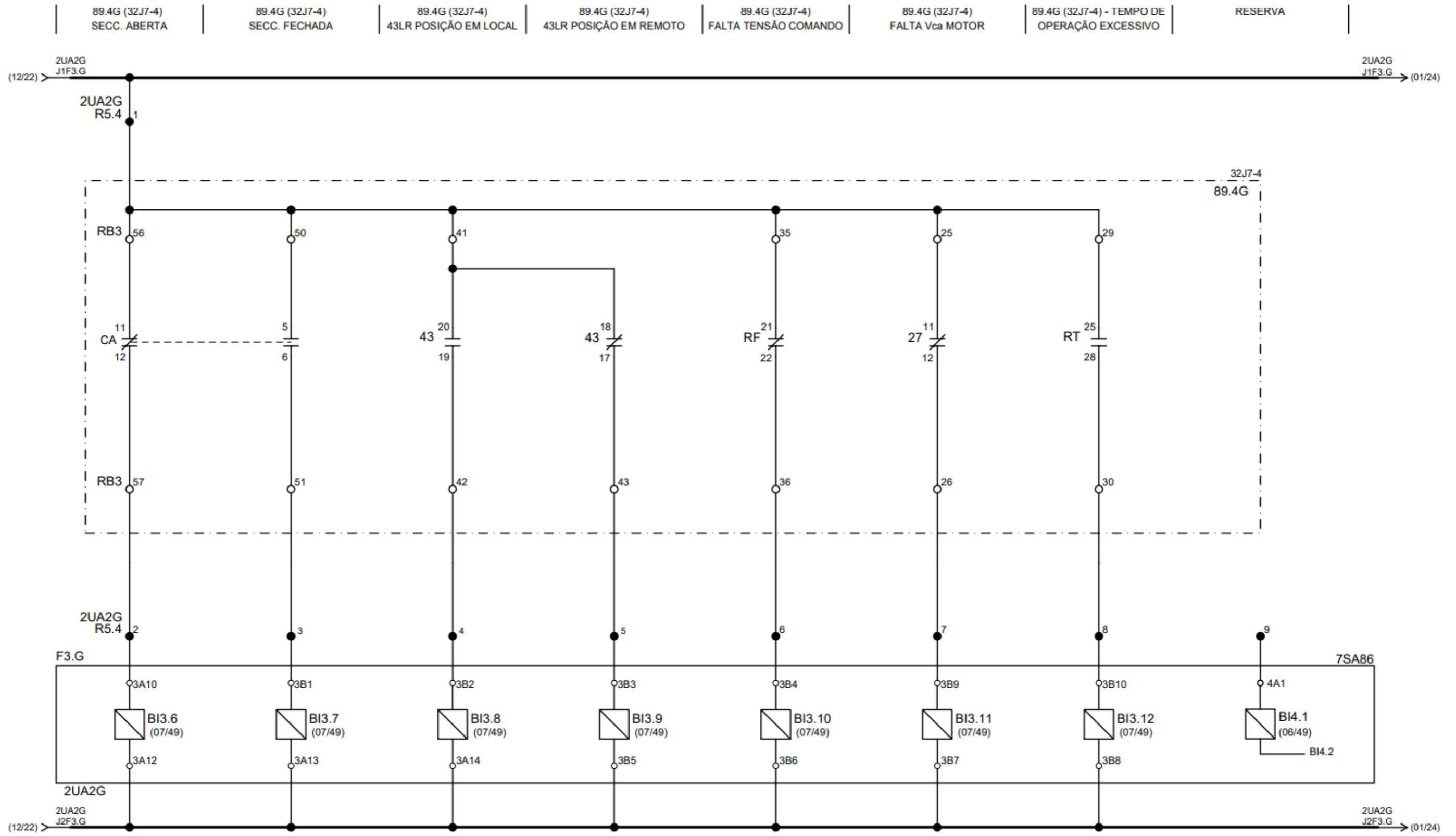


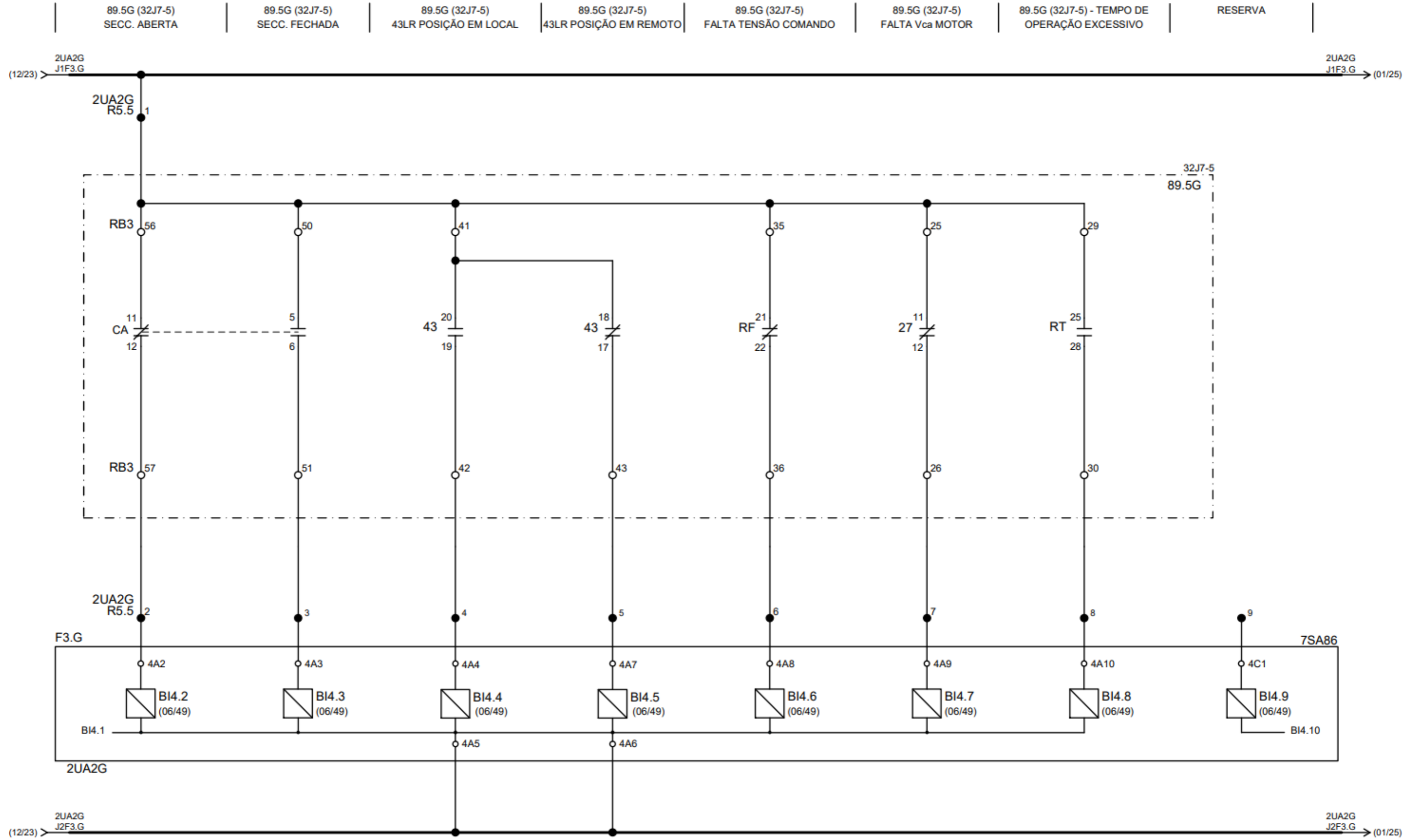


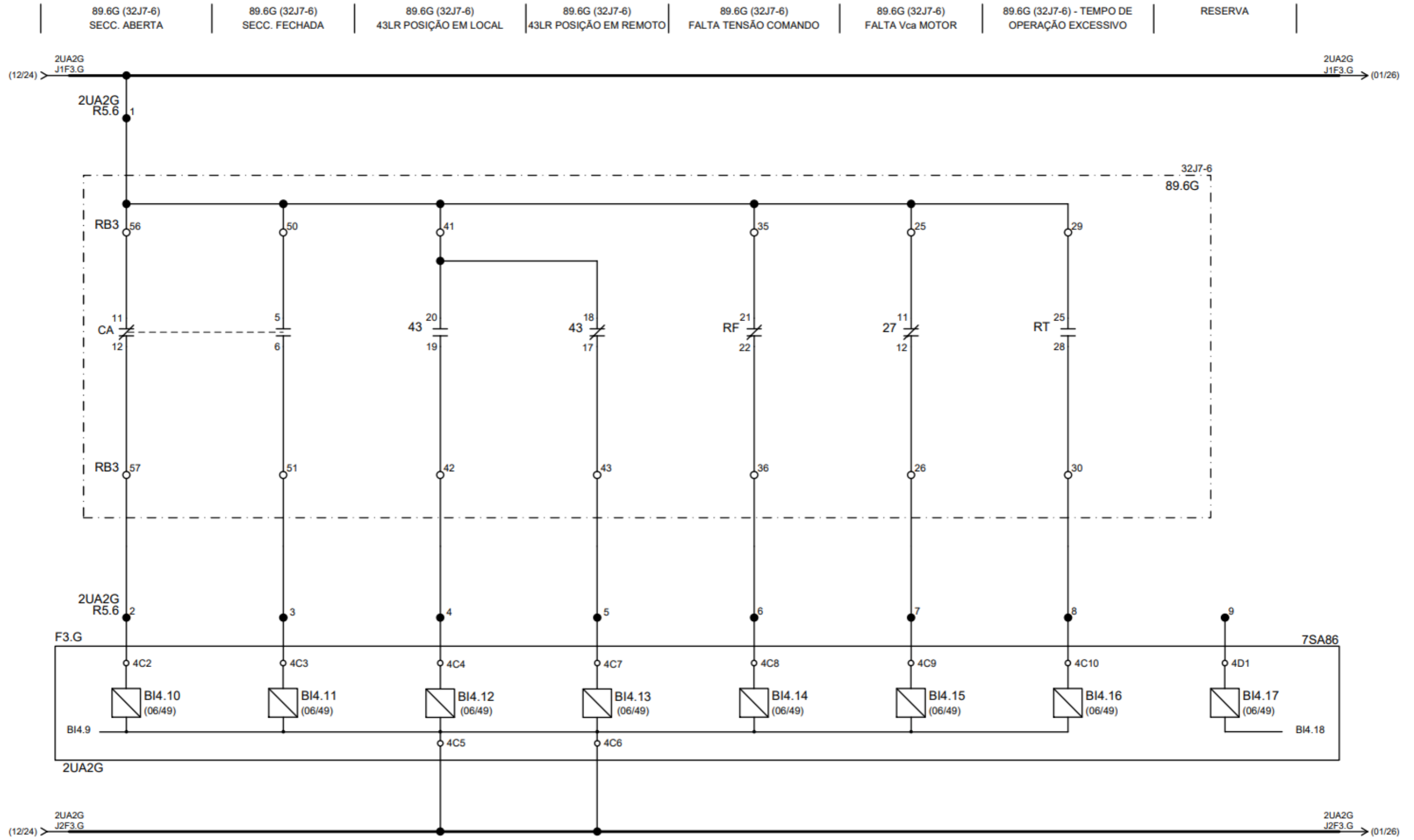


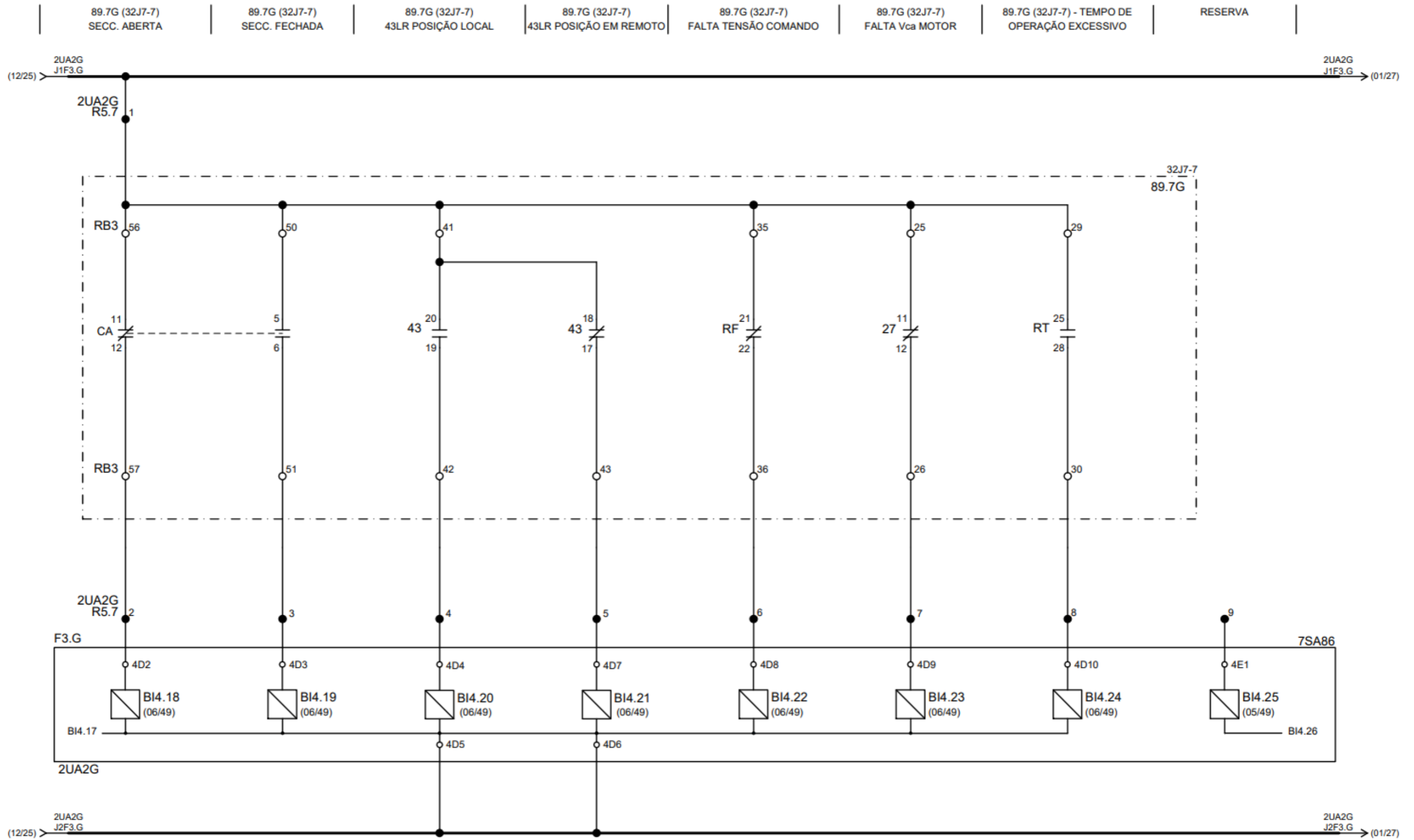
52G (12J7) FALTA Vca MOTOR | 52G (12J7) - FALTA TENSÃO 1º CIRC. DE ABERTURA | 52G (12J7) - FALTA TENSÃO 2º CIRC. DE ABERTURA | 52G (12J7) - FALTA TENSÃO CIRC. FECHAMENTO | RESERVA | RESERVA | RESERVA | RESERVA

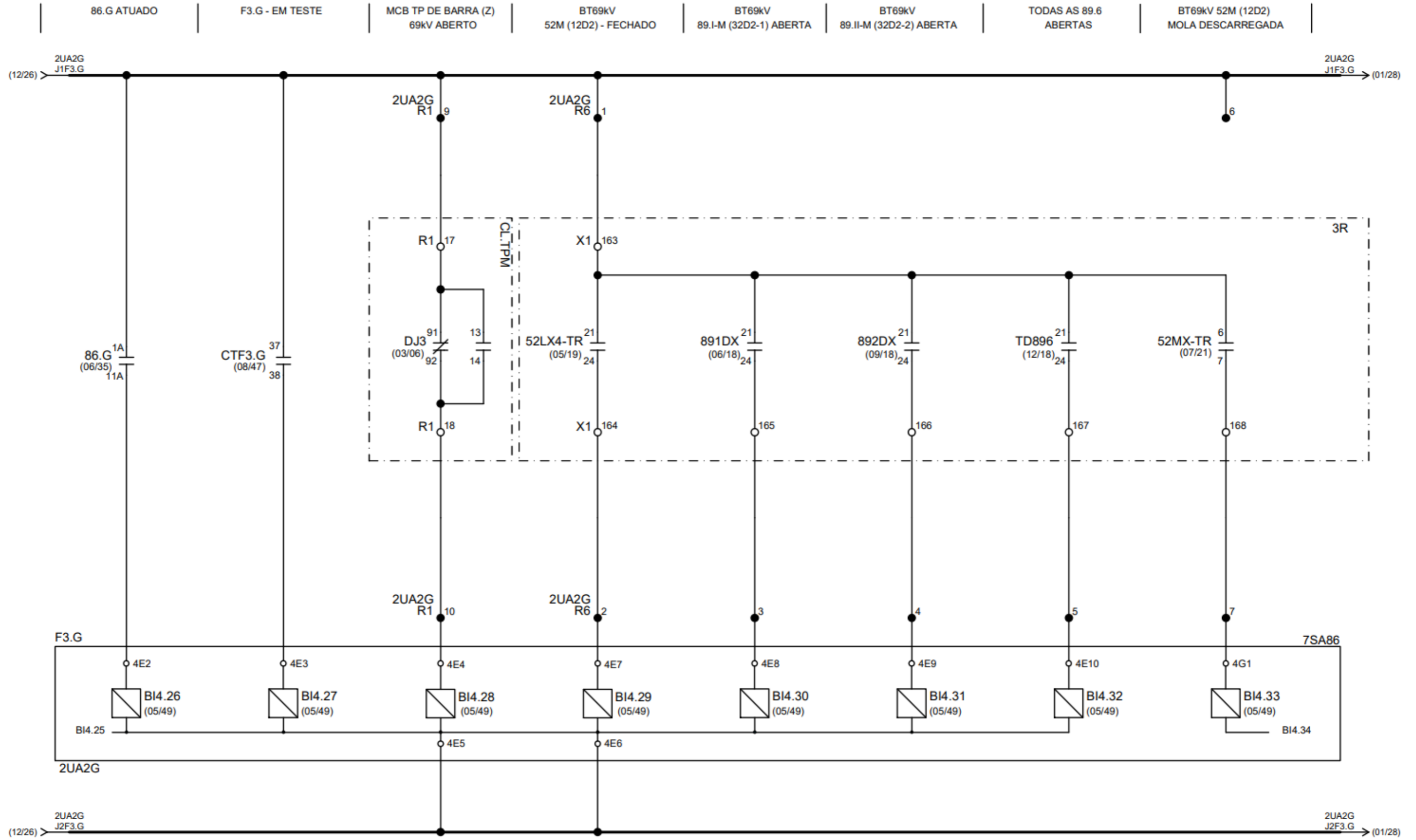


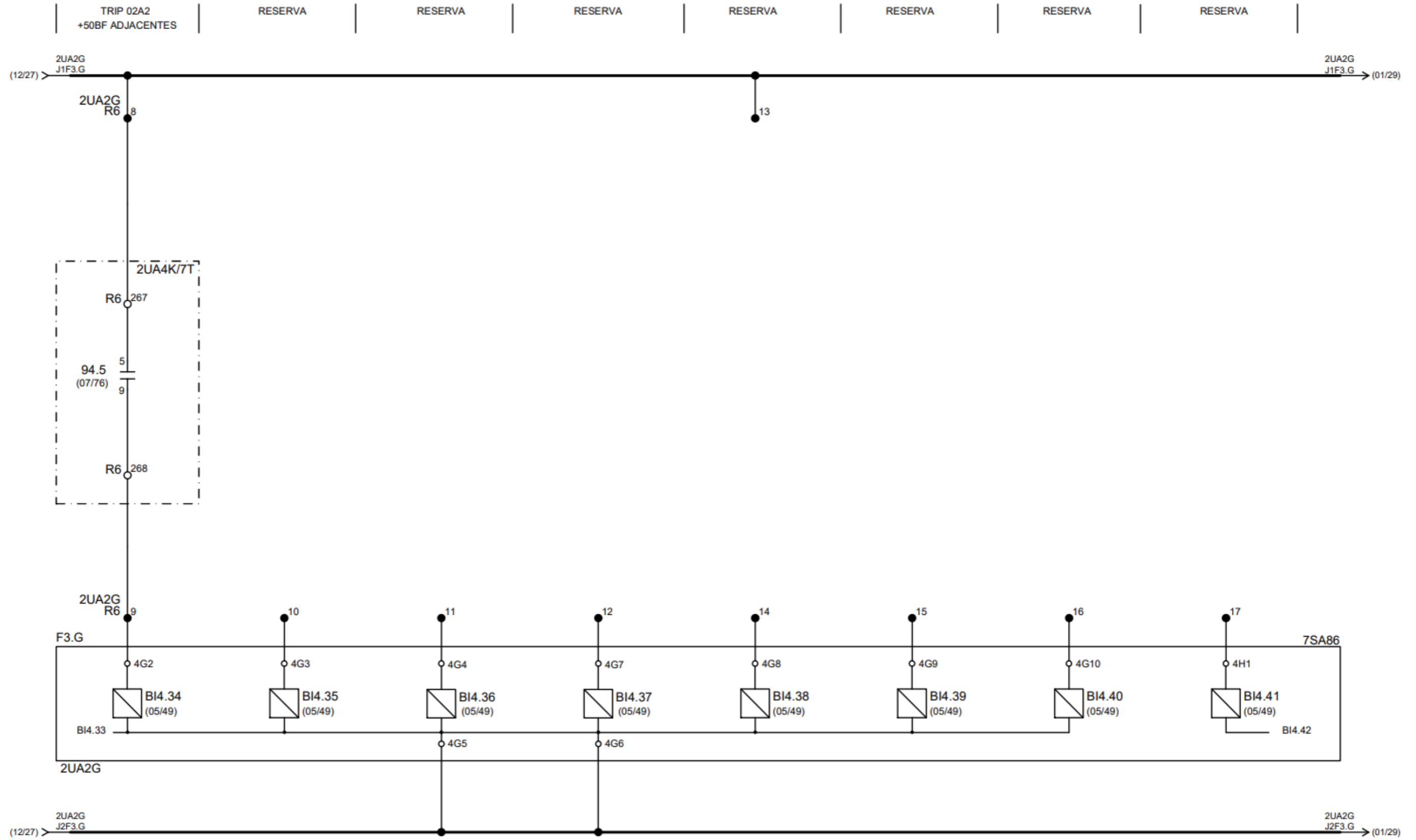


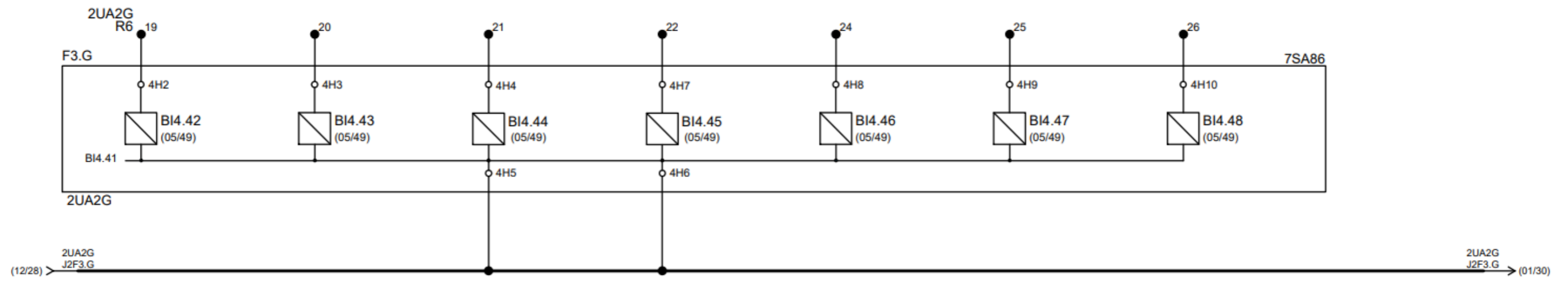




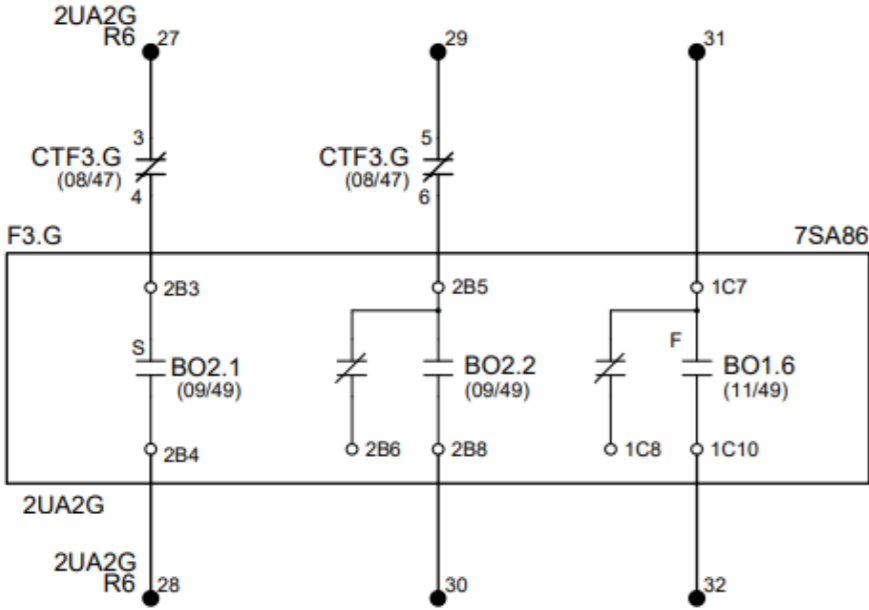


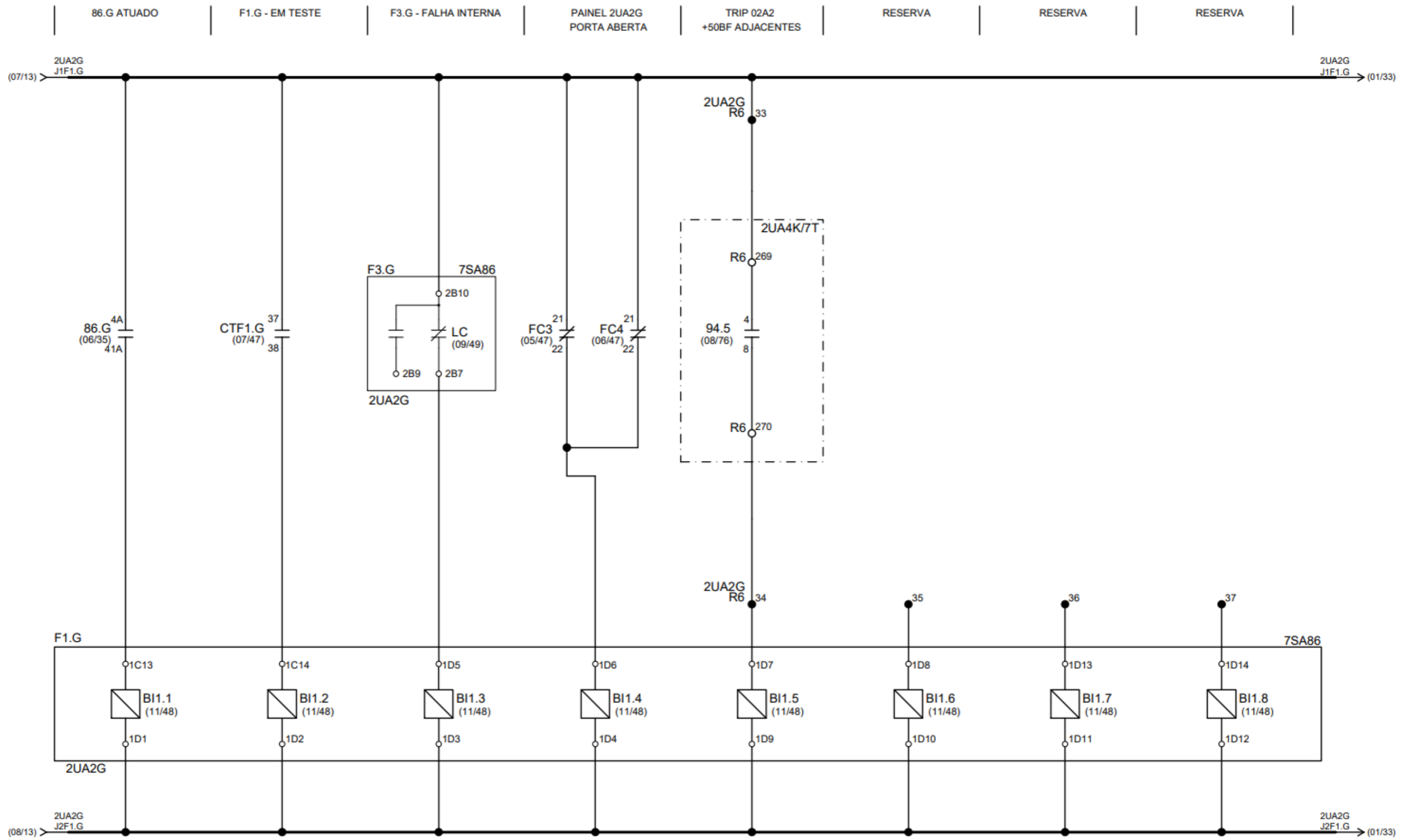


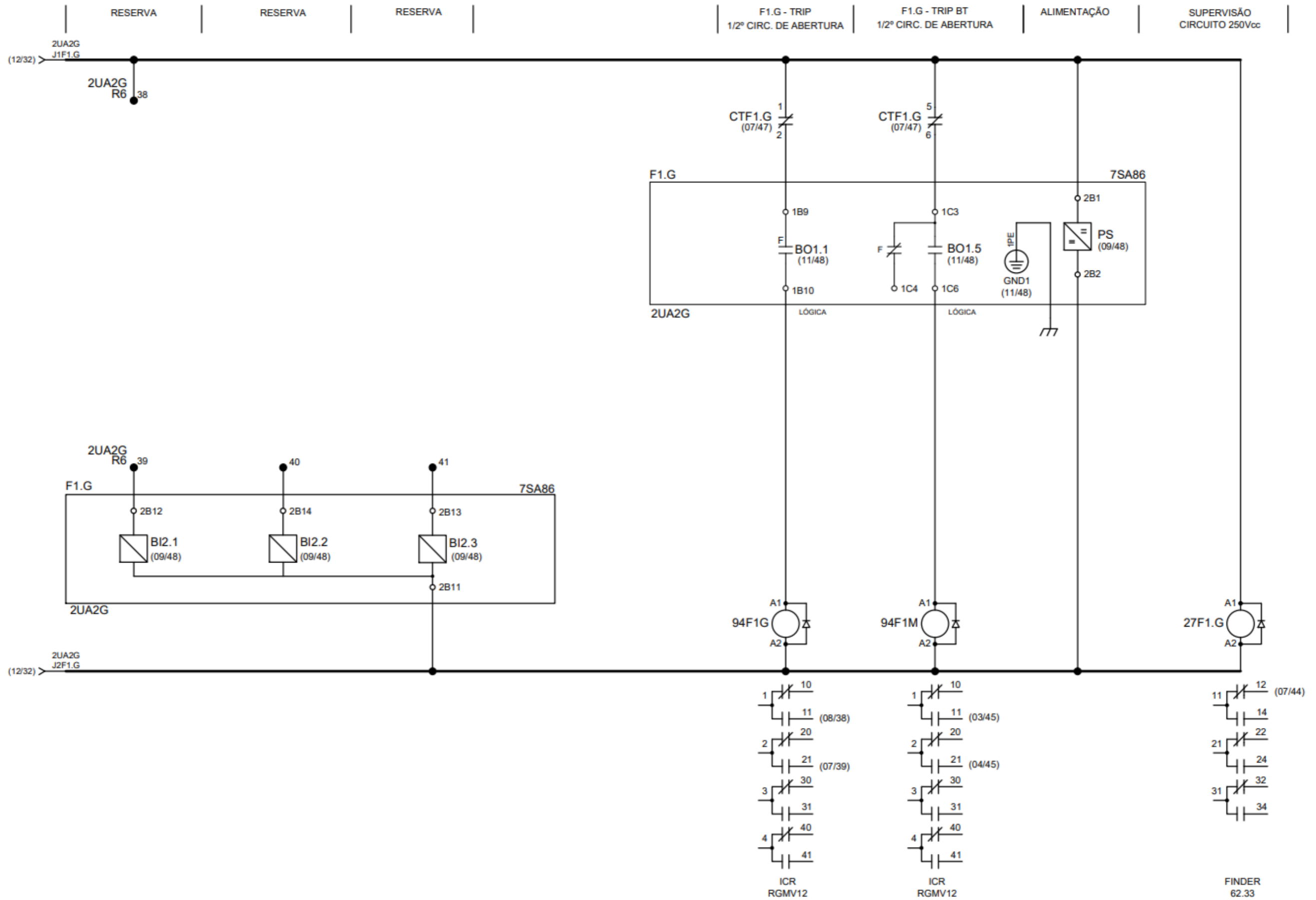




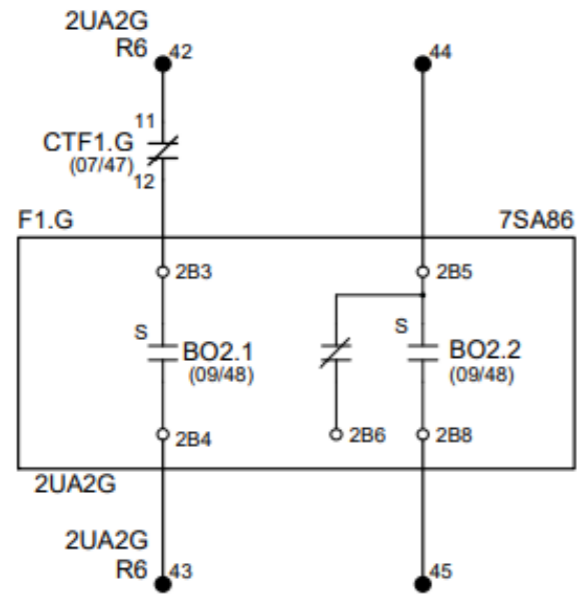
RESERVA RESERVA RESERVA

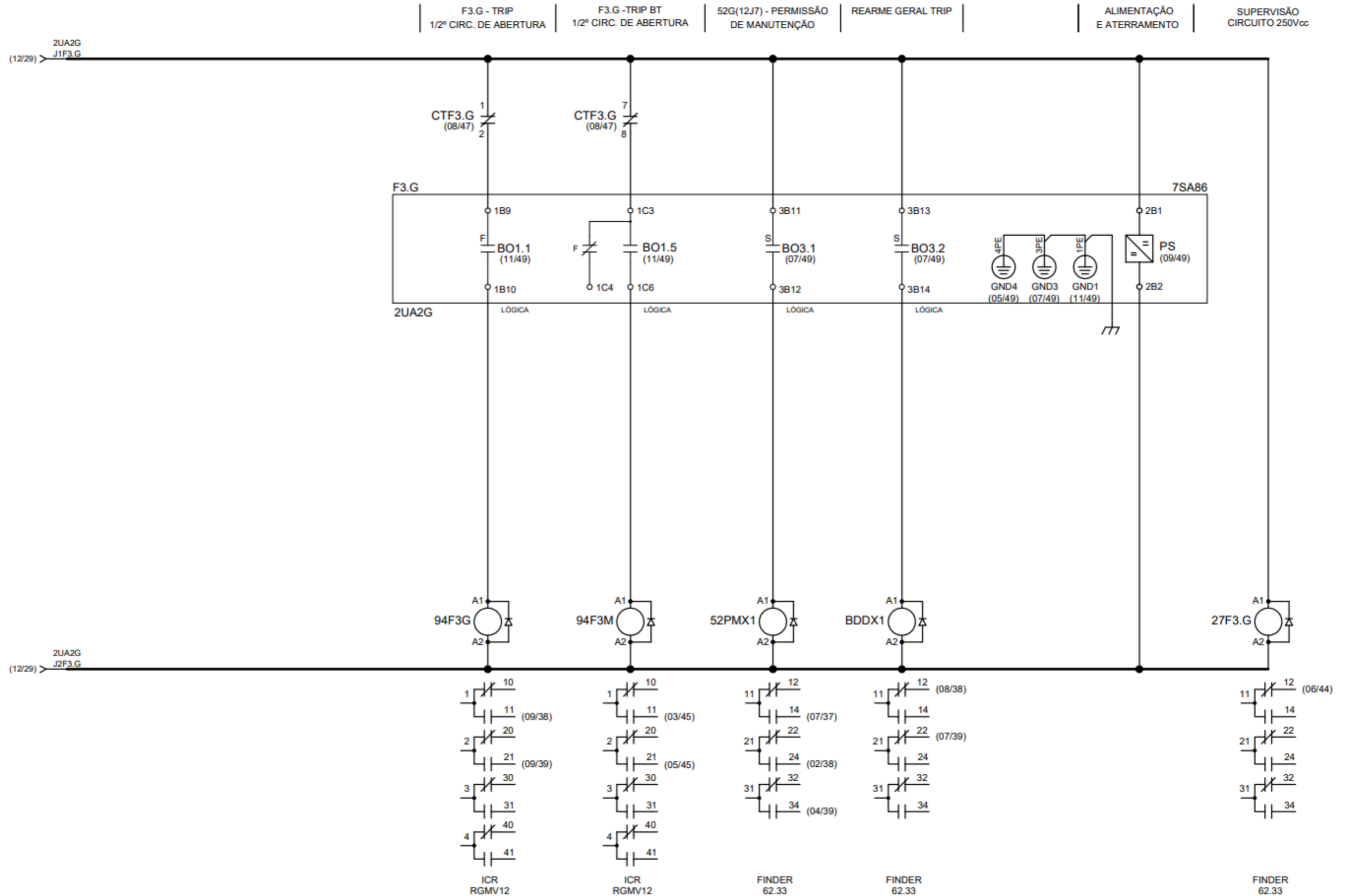


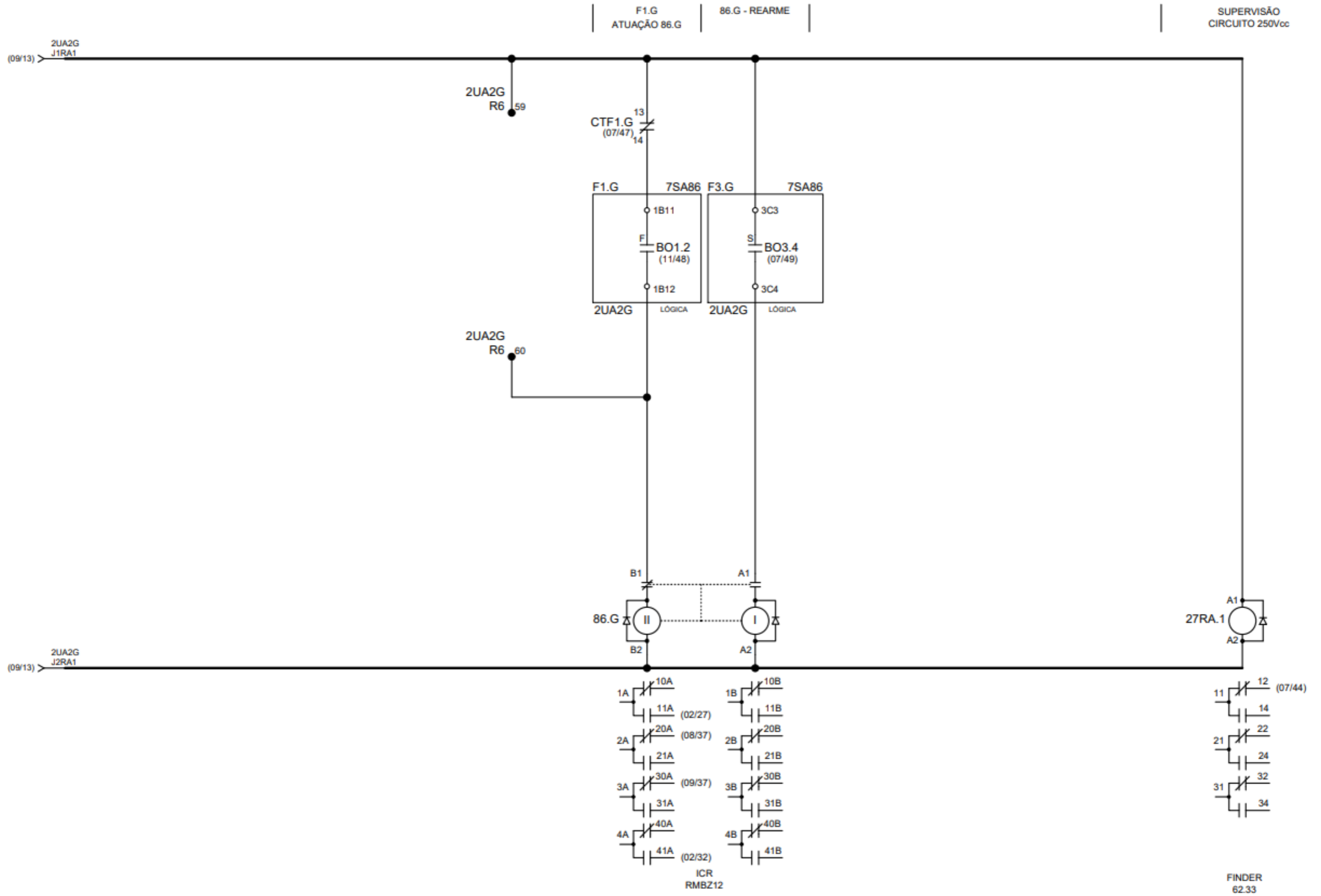


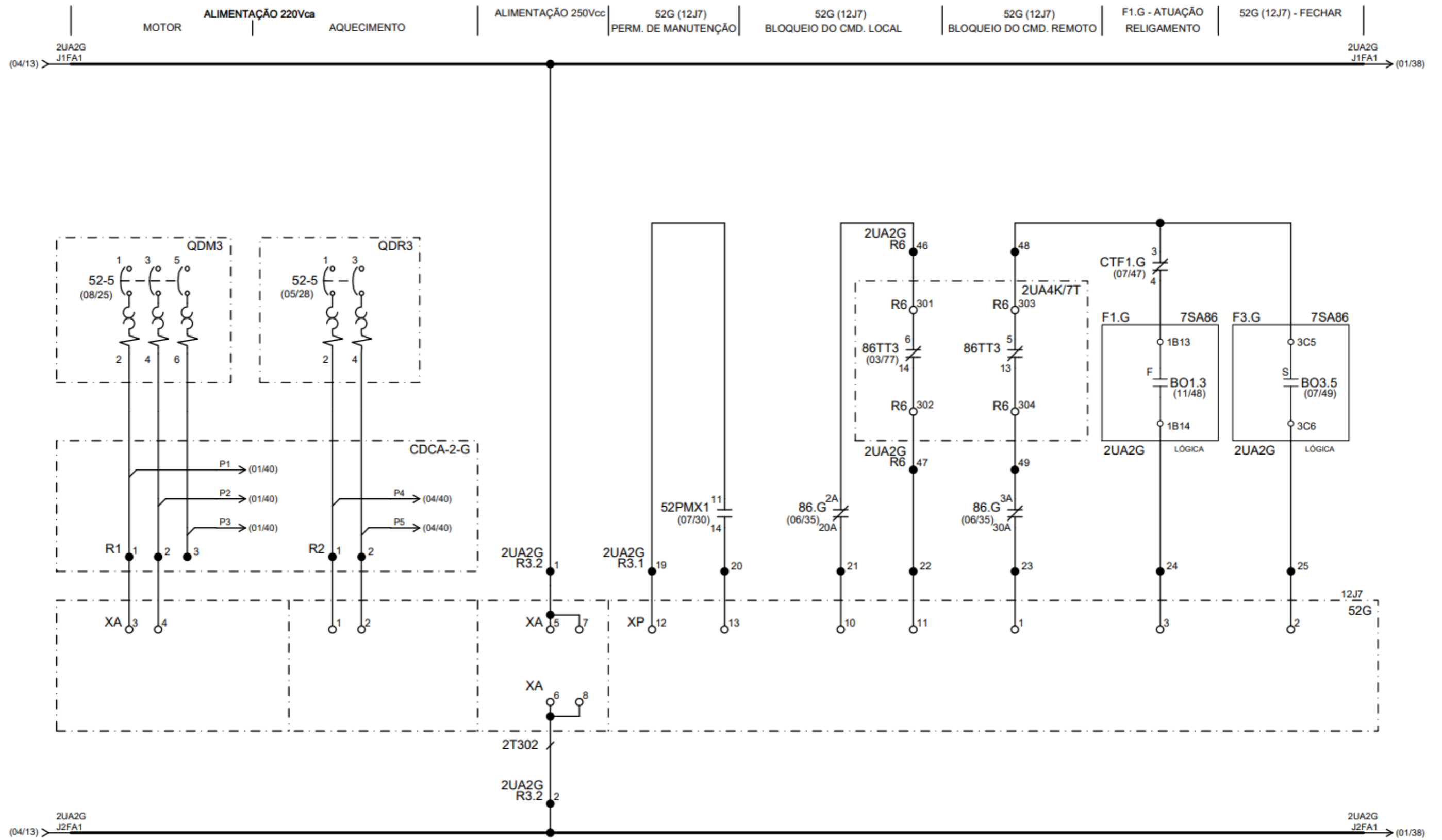


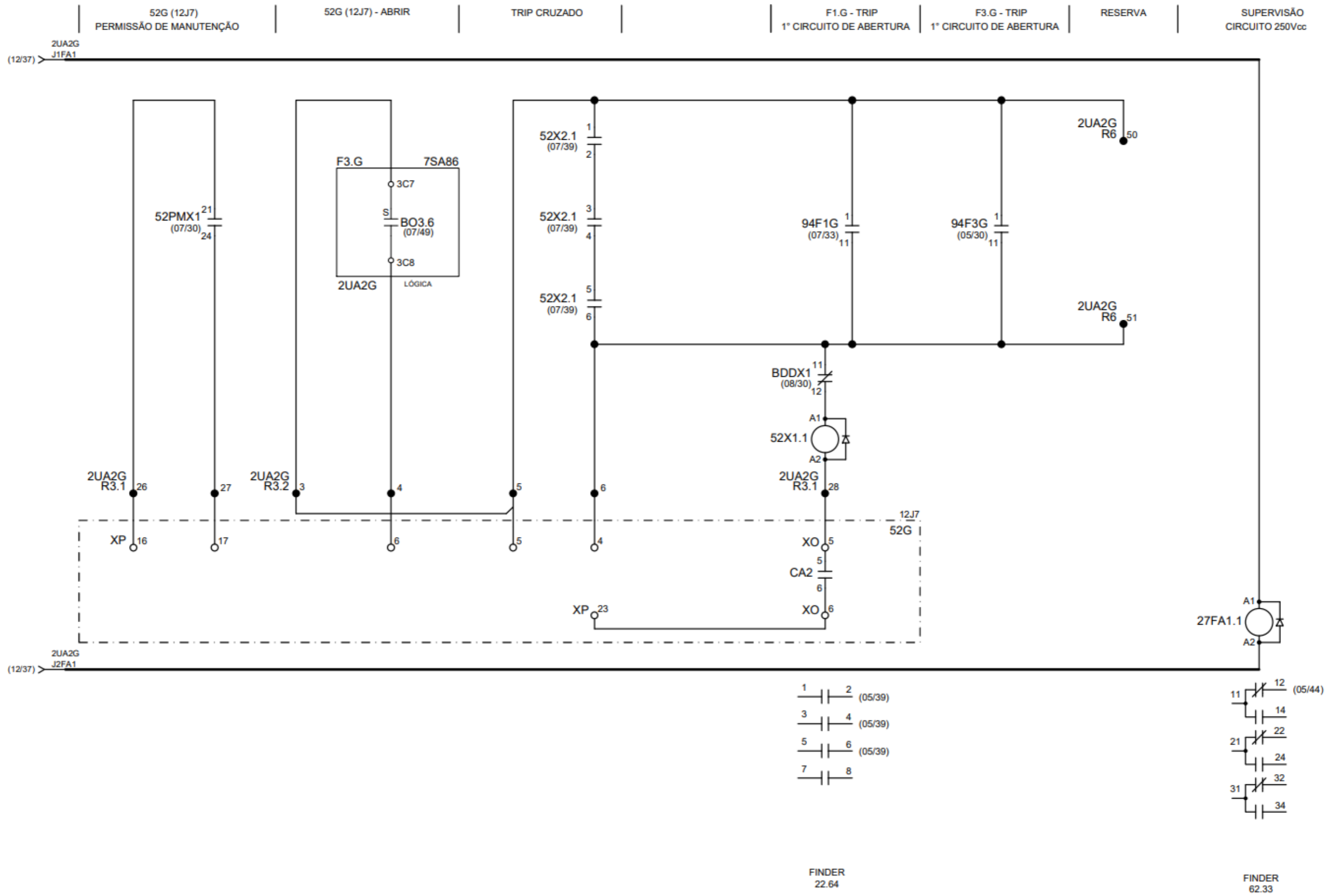
RESERVA RESERVA

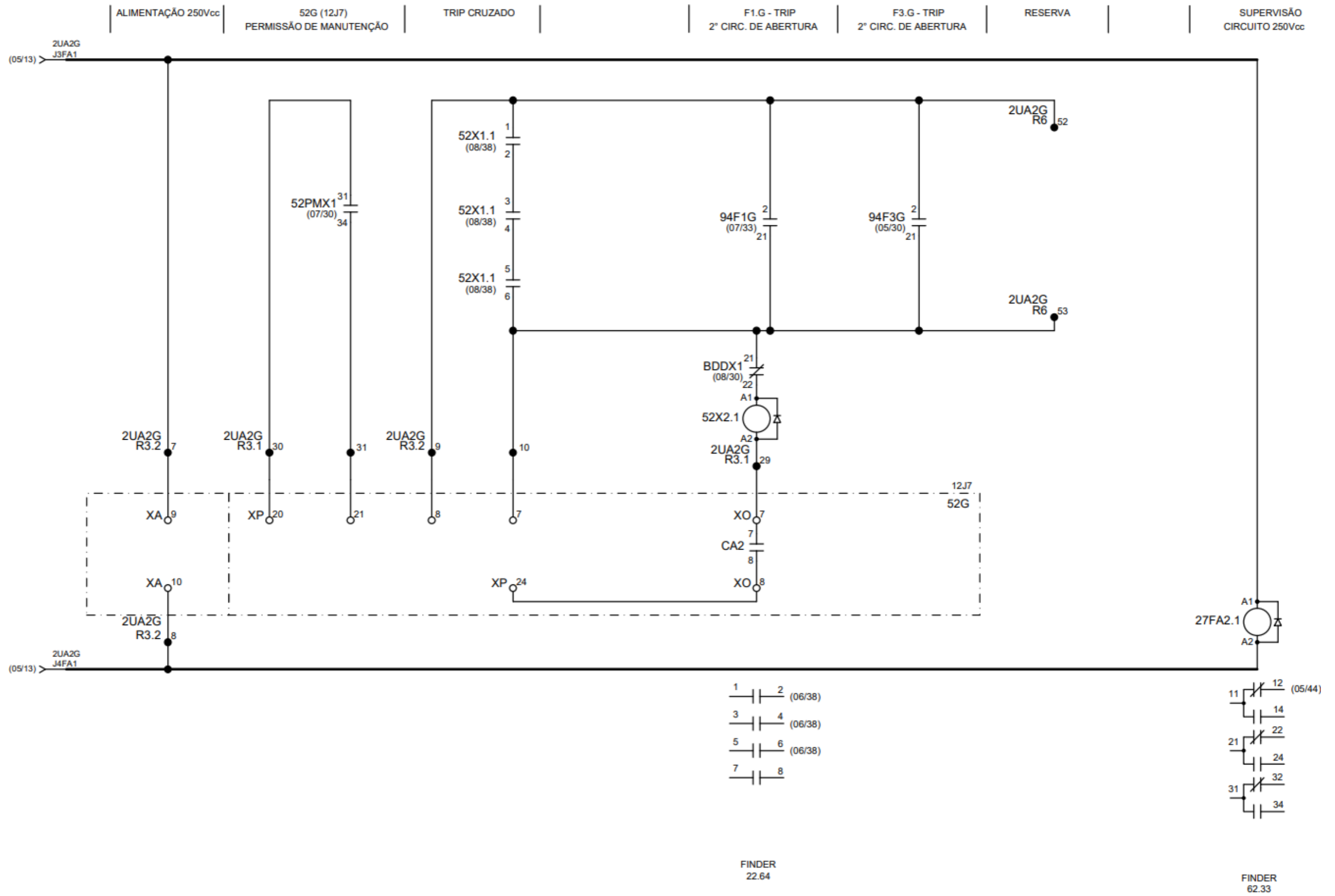


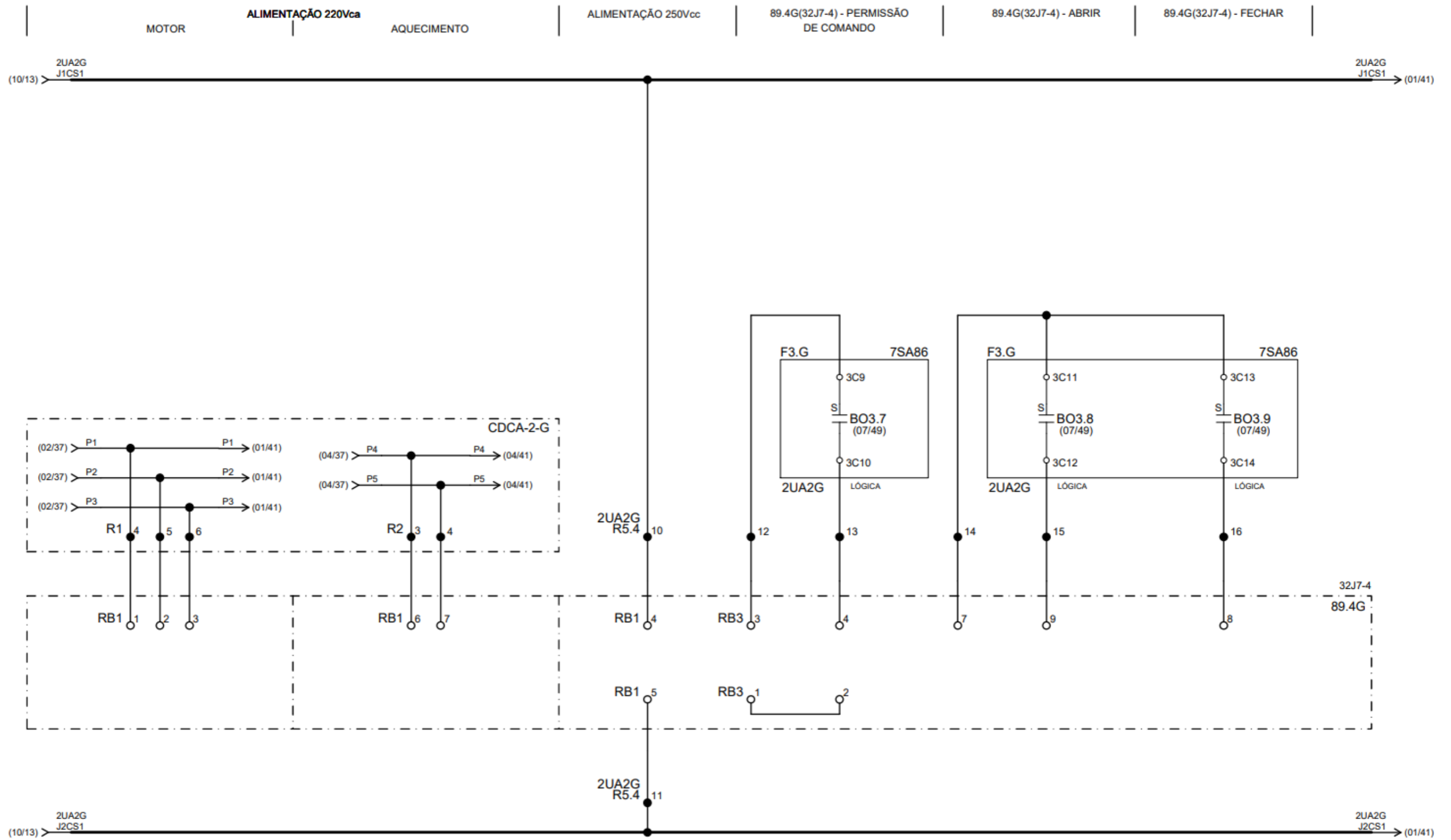




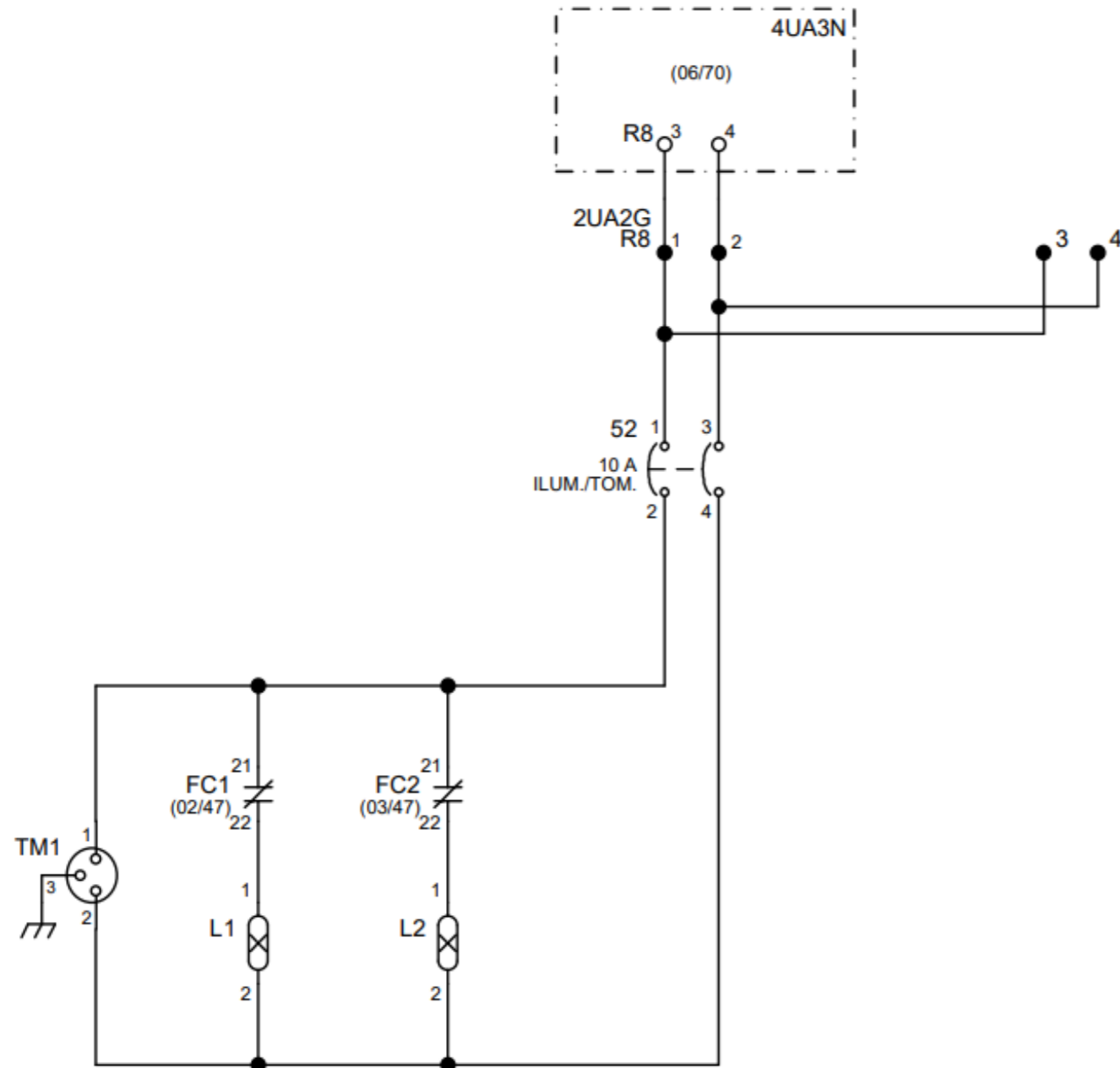








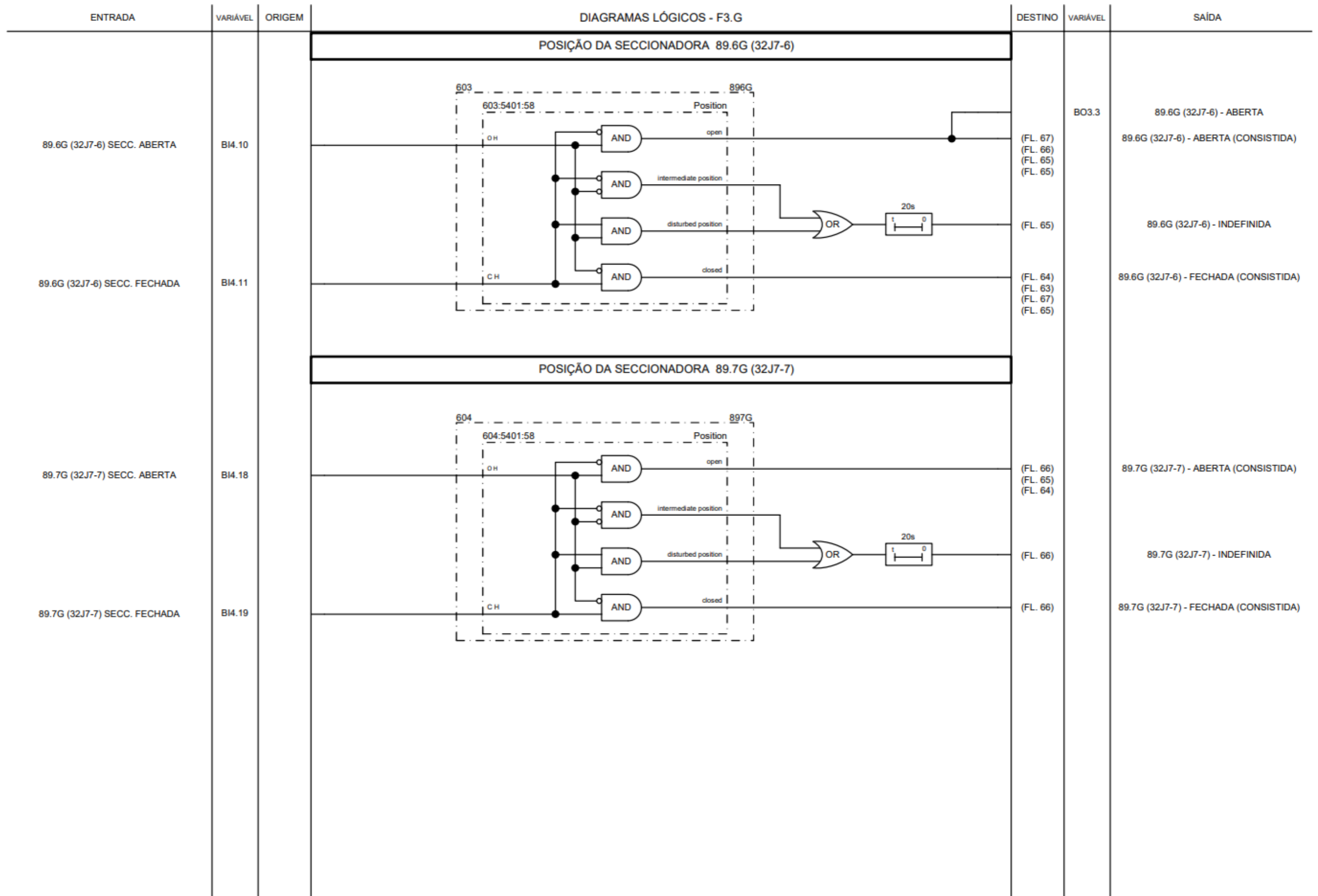
CIRCUITO DE ILUMINAÇÃO E TOMADA

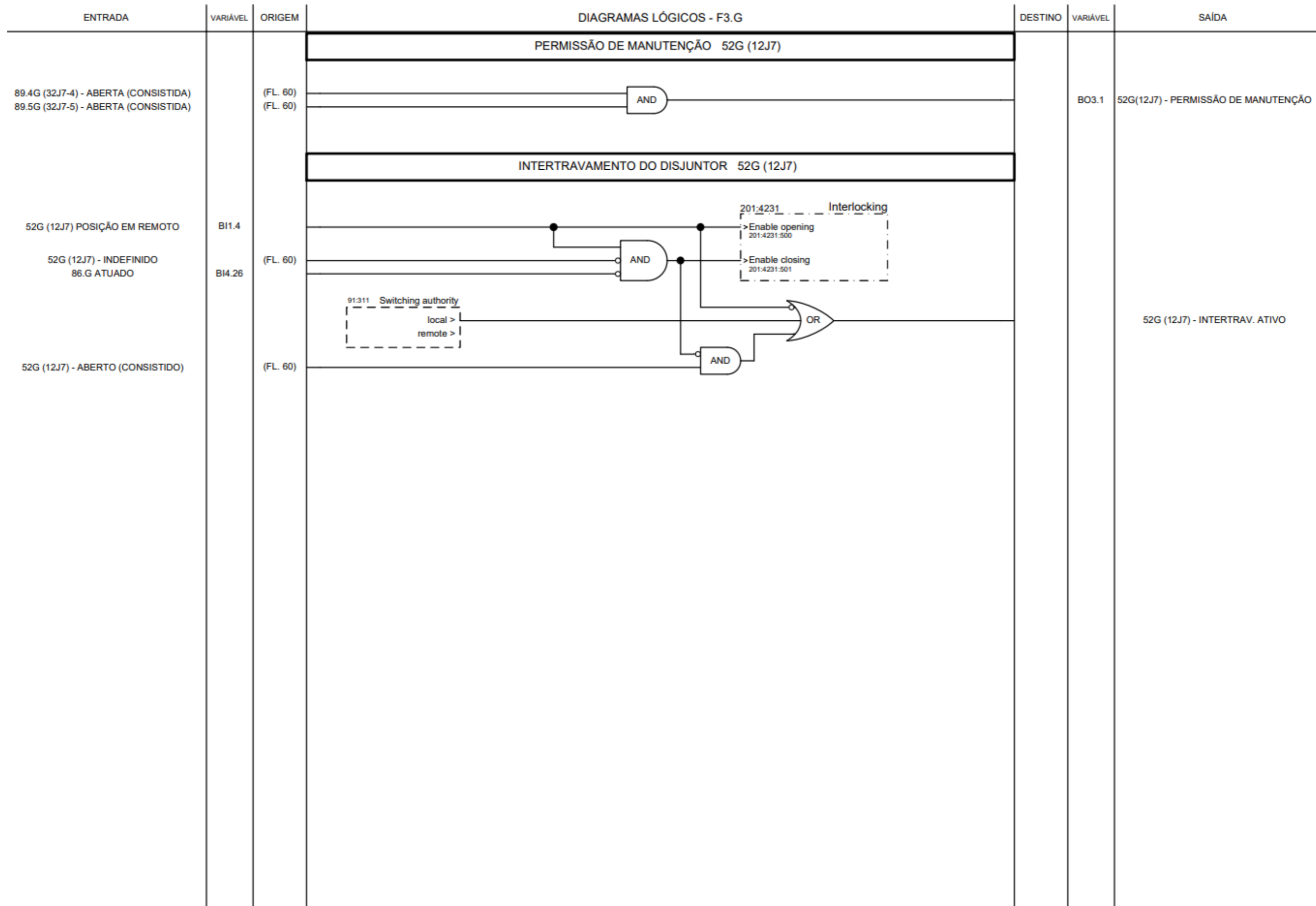


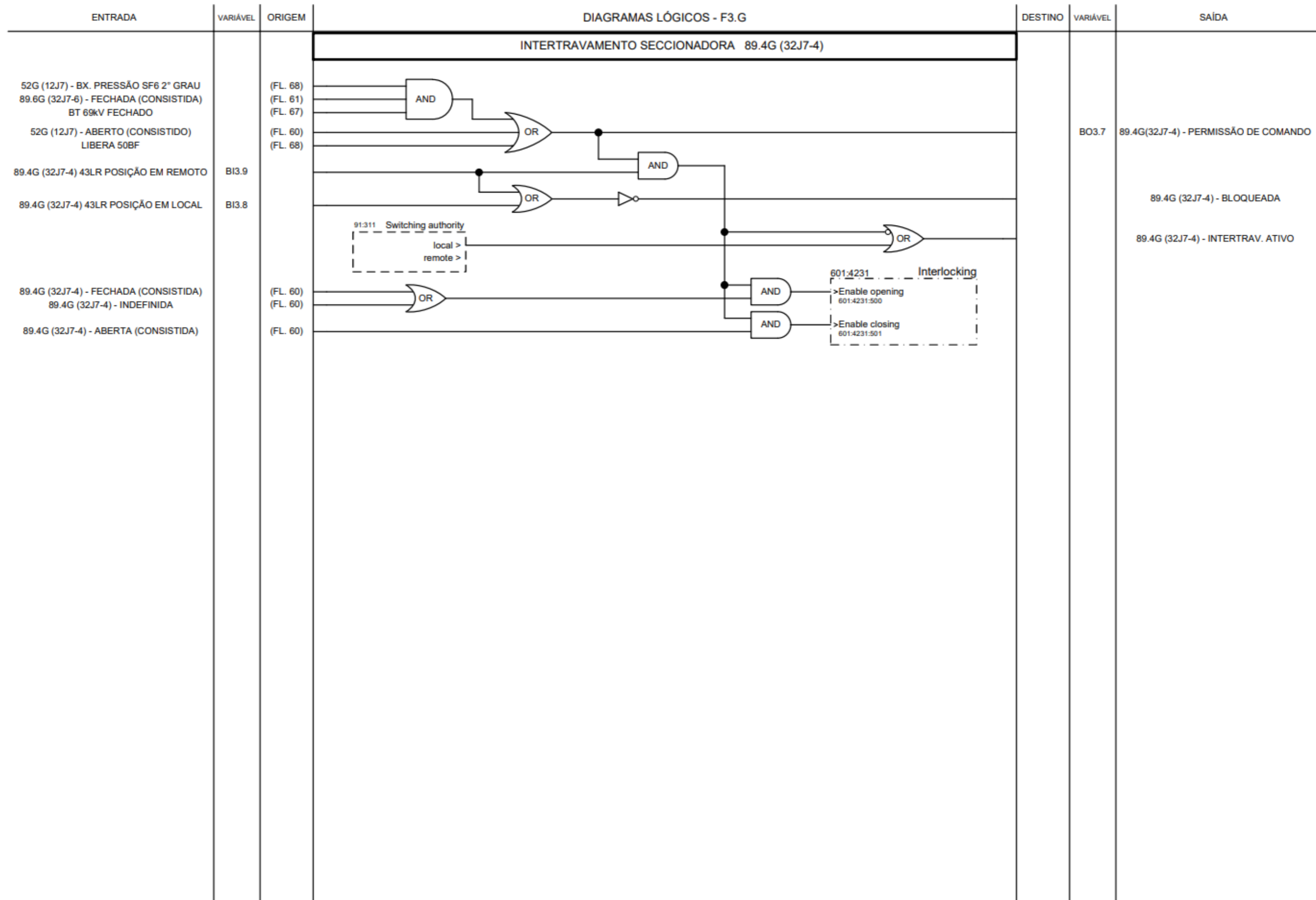
ENTRADAS E SAÍDAS GOOSE

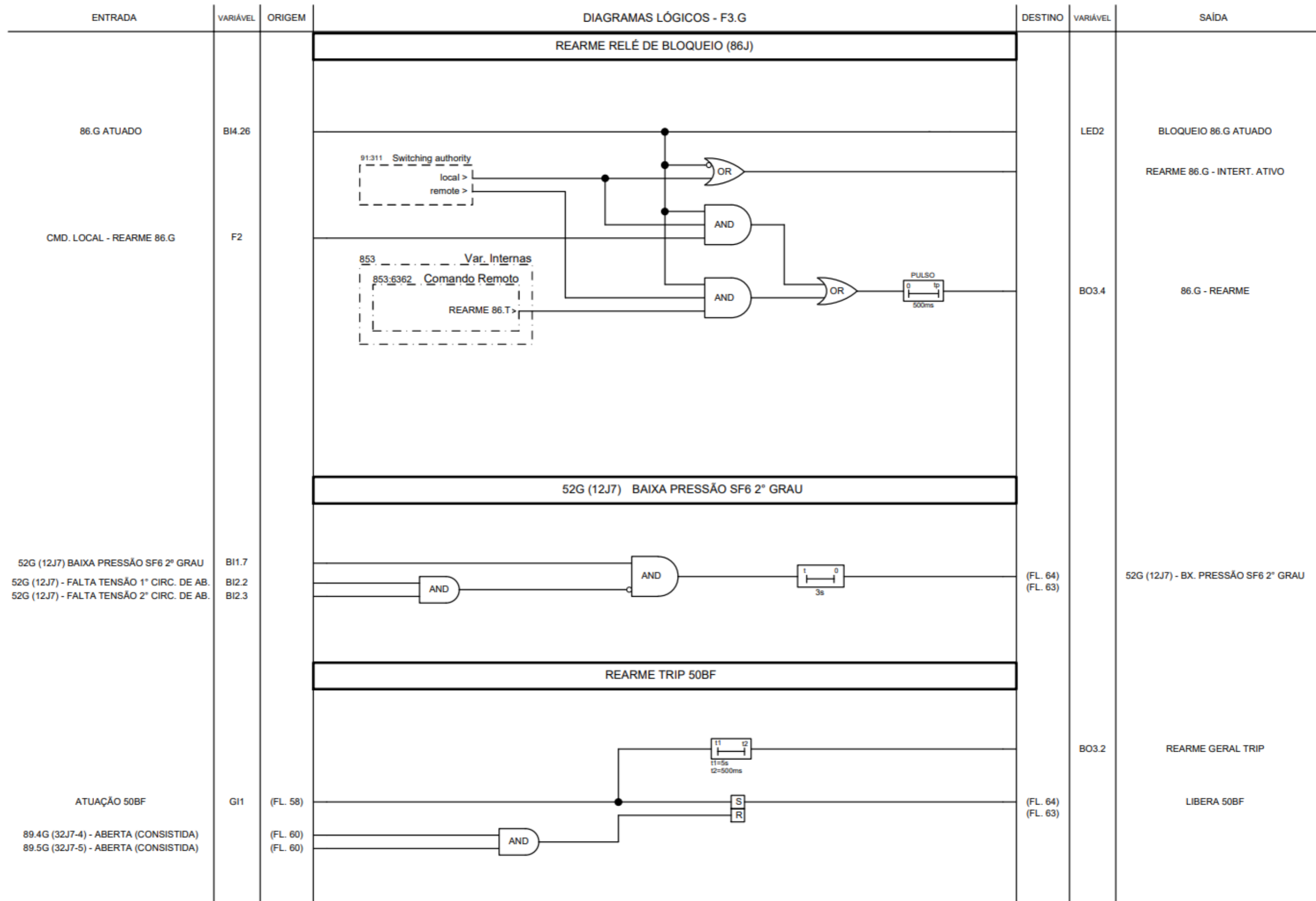
ENTRADAS GOOSE			ENTRADAS E SAÍDAS GOOSE			SAÍDAS GOOSE				
VAR.	ORIGEM	DESTINO	VAR.	GI MATRIZ	GO MATRIZ	VAR.	ORIGEM	DESTINO	VAR.	SAÍDAS GOOSE
	F1.G - ATUAÇÃO 50BF GS101 (FL. 72)	(FL. 71) (FL. 68)	GI1	ATUAÇÃO 50BF	52 - FECHADO	GO1	(FL. 67)	(FL. 72)	GS001	F3.G - 52 - FECHADO
					F3.G - TRIP GERAL	GO2	(FL. 69)	(FL. 72)	GS002	F3.G - TRIP GERAL
					TRIP 67/67N	GO3	(FL. 70)	(FL. 72)	GS003	F3.G - TRIP 67/67N
					43T_NORMAL	GO4	(FL. 67)	(FL. 72)	GS004	F3.G - 43T_NORMAL
					43T_EM TRANSFERÊNCIA	GO5	(FL. 67)	(FL. 72)	GS005	F3.G - 43T_EM TRANSFERÊNCIA
					43T_TRANSFERIDA	GO6	(FL. 67)	(FL. 72)	GS006	F3.G - 43T_TRANSFERIDA
					BLOQUEIO 50BF	GO7	(FL. 67)	(FL. 72)	GS007	F3.G - BLOQUEIO 50BF
					79 ATIVAR	GO8	(FL. 59)	(FL. 72)	GS008	F3.G - 79_ATIVAR
					TRIP 50/51	GO9	(FL. 70)	(FL. 72)	GS009	F3.G - TRIP 50/51
					TRIP 50/51N	GO10	(FL. 70)	(FL. 72)	GS010	F3.G - TRIP 50/51N
					52 MOLA DESCARREGADA	GO11	(FL. 67)	(FL. 72)	GS011	F3.G - 52 MOLA DESCARREGADA
					MCB TP DE BARRA (Z) 69kV ABERTO	GO12	(FL. 70)	(FL. 72)	GS012	F3.G - MCB TP DE BARRA (Z) 69kV AB.
					52 BX. PRESSÃO SF6 1° GRAU	GO13	(FL. 67)	(FL. 72)	GS013	F3.G - 52 BX. PRESSÃO 1° GRAU
					52 BX. PRESSÃO SF6 2° GRAU	GO14	(FL. 67)	(FL. 72)	GS014	F3.G - 52 BX. PRESSÃO 2° GRAU

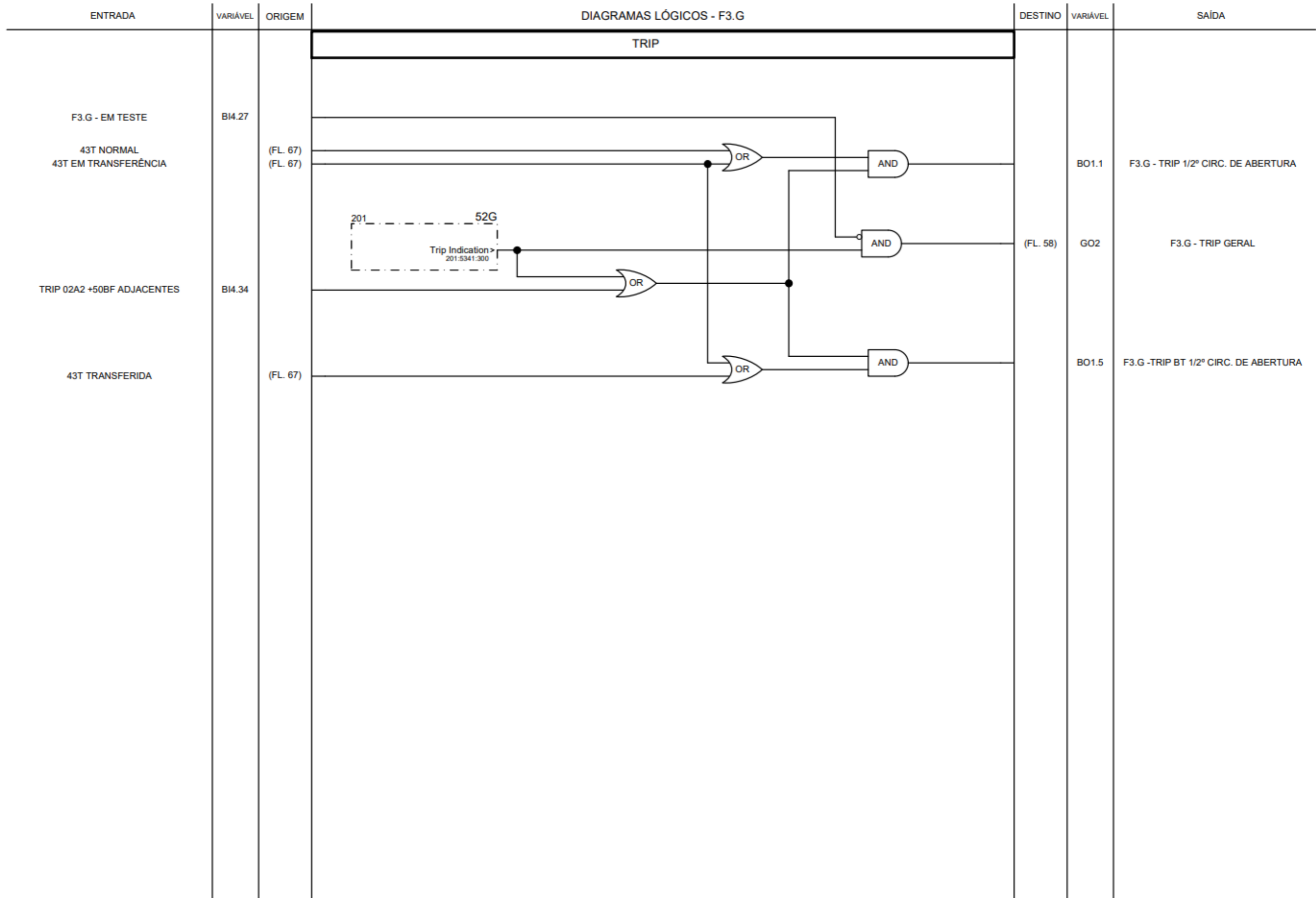
ENTRADA	VARIÁVEL	ORIGEM	DIAGRAMAS LÓGICOS - F3.G	DESTINO	VARIÁVEL	SAÍDA
POSIÇÃO DO DISJUNTOR 52G (12J7)						
52G (12J7) DISJUNTOR ABERTO	BI1.1			(FL. 62) (FL. 64) (FL. 63) (FL. 65)		52G (12J7) - ABERTO (CONSISTIDO)
52G (12J7) DISJUNTOR FECHADO	BI1.2			(FL. 62)		52G (12J7) - INDEFINIDO
				(FL. 67) (FL. 67)		52G (12J7) - FECHADO (CONSISTIDO)
POSIÇÃO DA SECCIONADORA 89.4G (32J7-4)						
89.4G (32J7-4) SECC. ABERTA	BI3.6			(FL. 63) (FL. 62) (FL. 68) (FL. 67) (FL. 67) (FL. 65)		89.4G (32J7-4) - ABERTA (CONSISTIDA)
89.4G (32J7-4) SECC. FECHADA	BI3.7			(FL. 63)		89.4G (32J7-4) - INDEFINIDA
				(FL. 63) (FL. 67) (FL. 65)		89.4G (32J7-4) - FECHADA (CONSISTIDA)
POSIÇÃO DA SECCIONADORA 89.5G (32J7-5)						
89.5G (32J7-5) SECC. ABERTA	BI4.2			(FL. 64) (FL. 62) (FL. 68) (FL. 67) (FL. 67) (FL. 66) (FL. 65)		89.5G (32J7-5) - ABERTA (CONSISTIDA)
89.5G (32J7-5) SECC. FECHADA	BI4.3			(FL. 64)		89.5G (32J7-5) - INDEFINIDA
				(FL. 64) (FL. 67) (FL. 65)		89.5G (32J7-5) - FECHADA (CONSISTIDA)

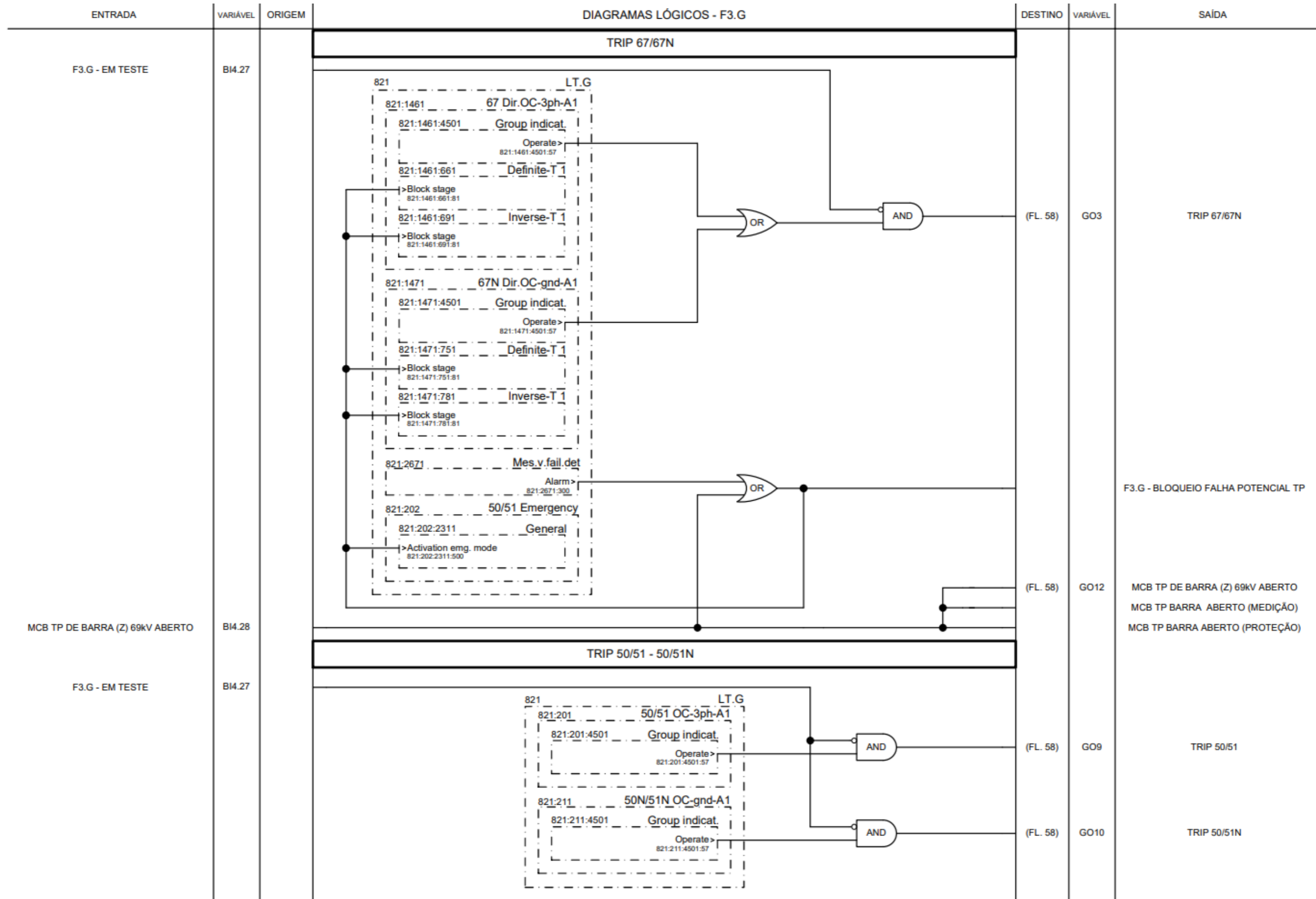


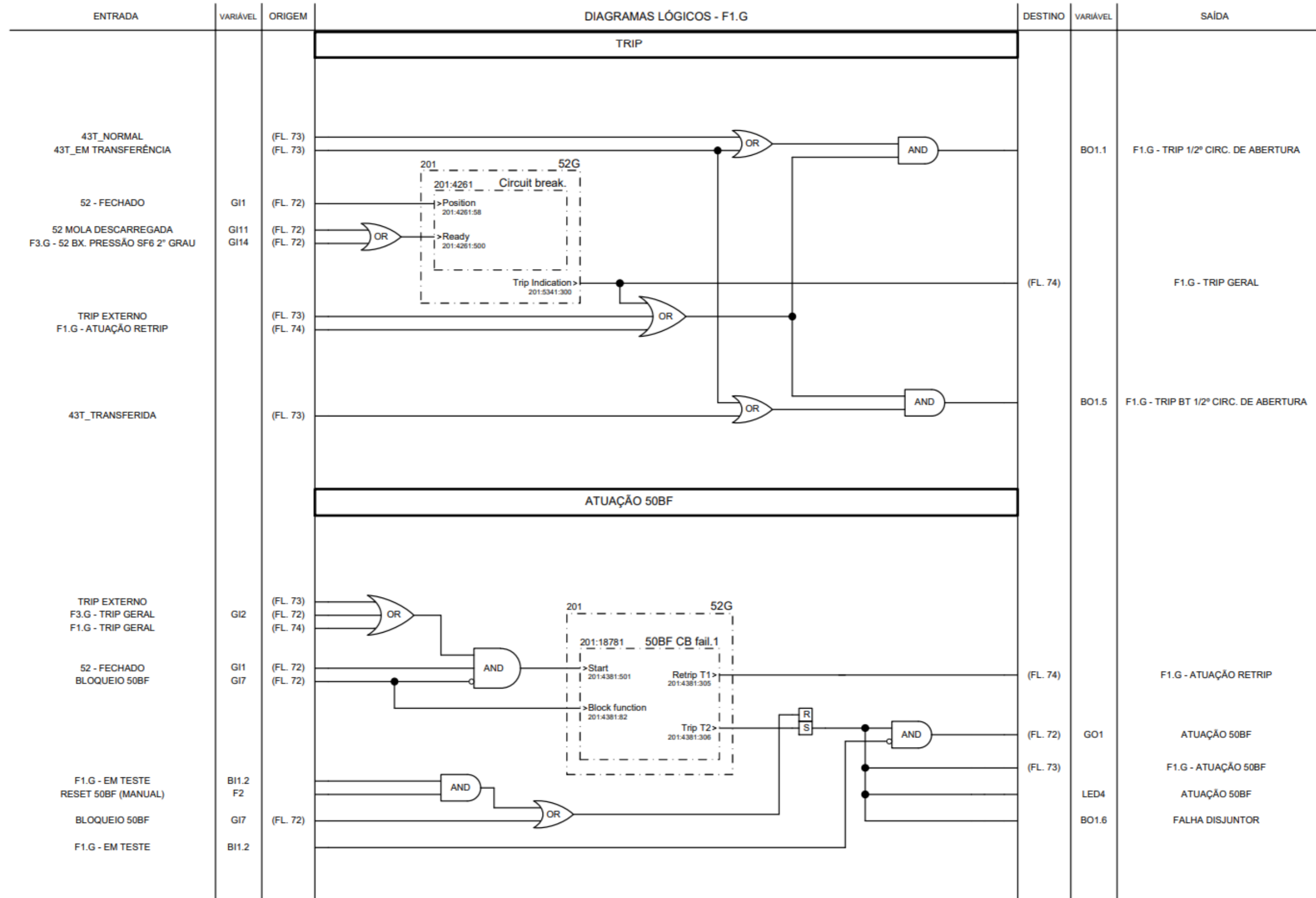












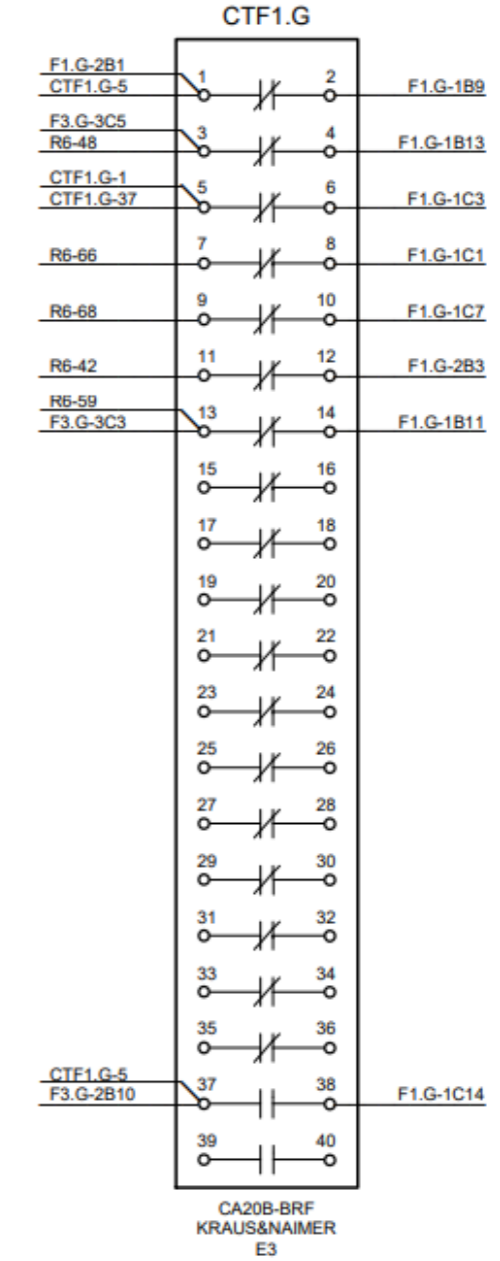
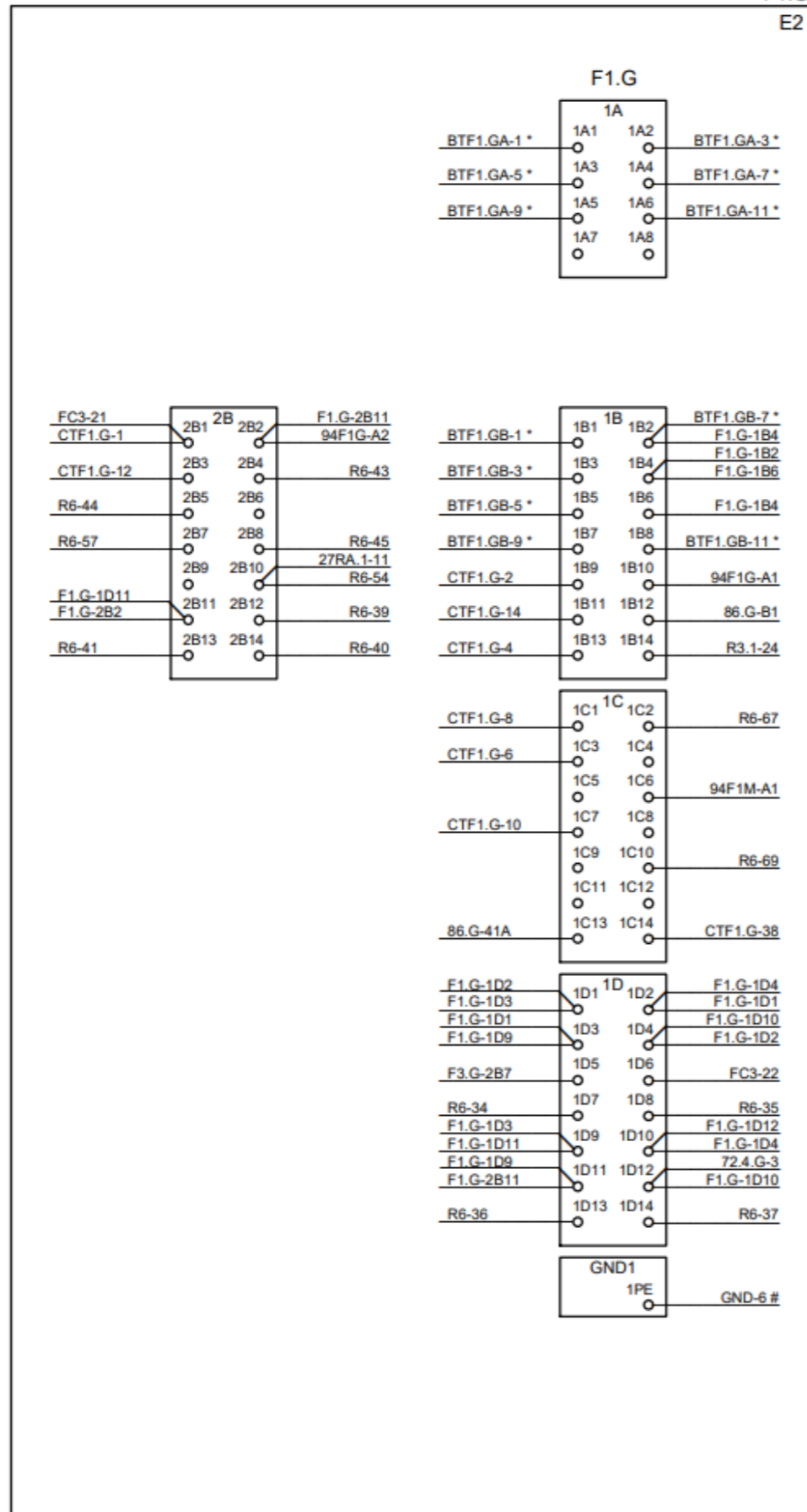
Apêndice B

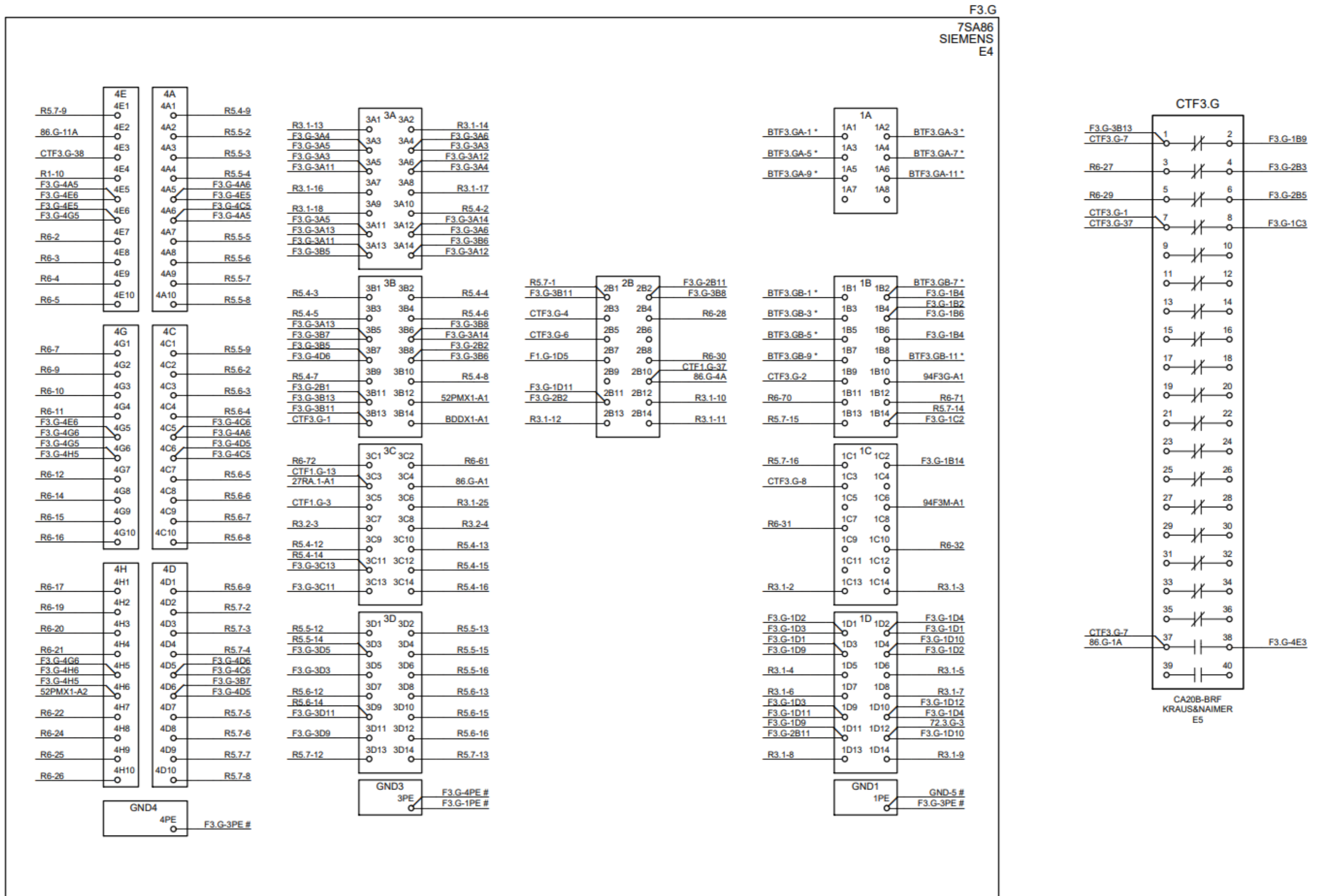
APÊNDICE B – Diagrama de Fiação

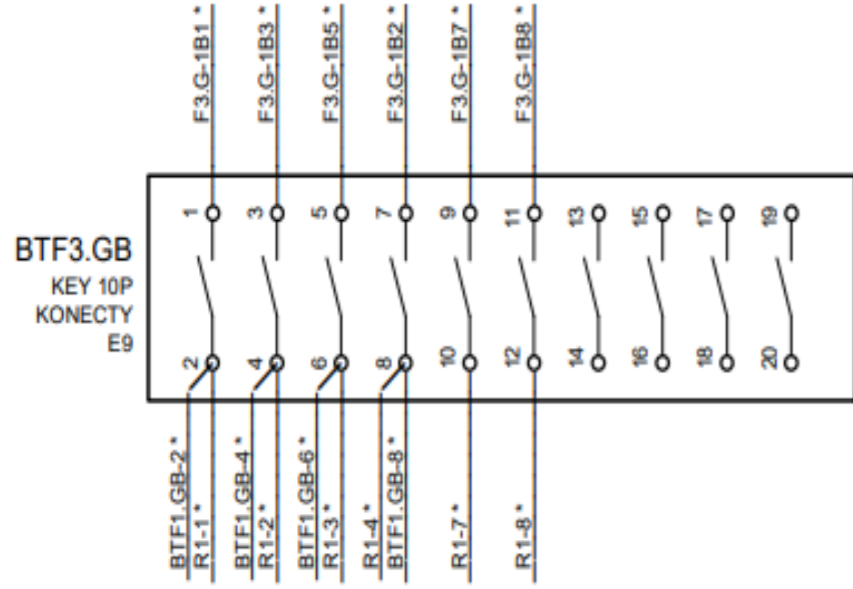
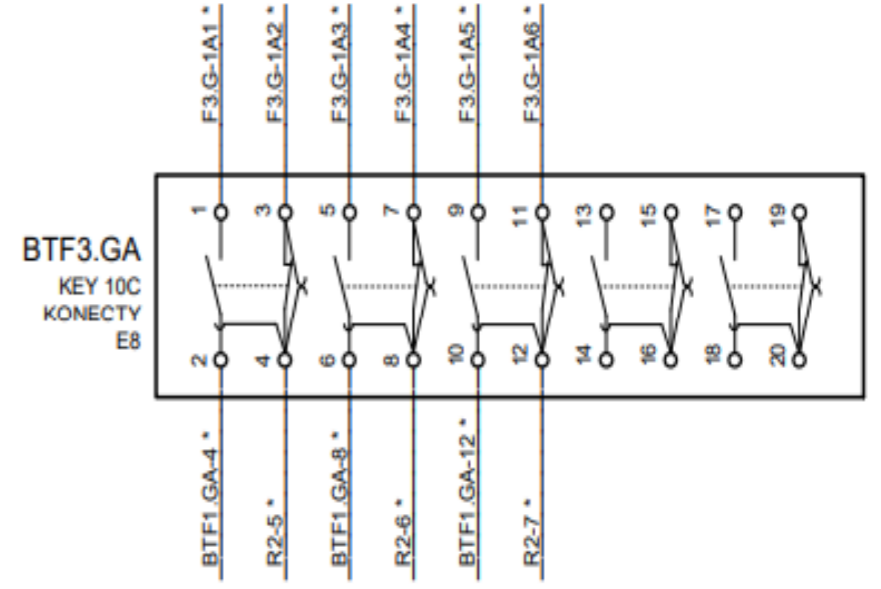
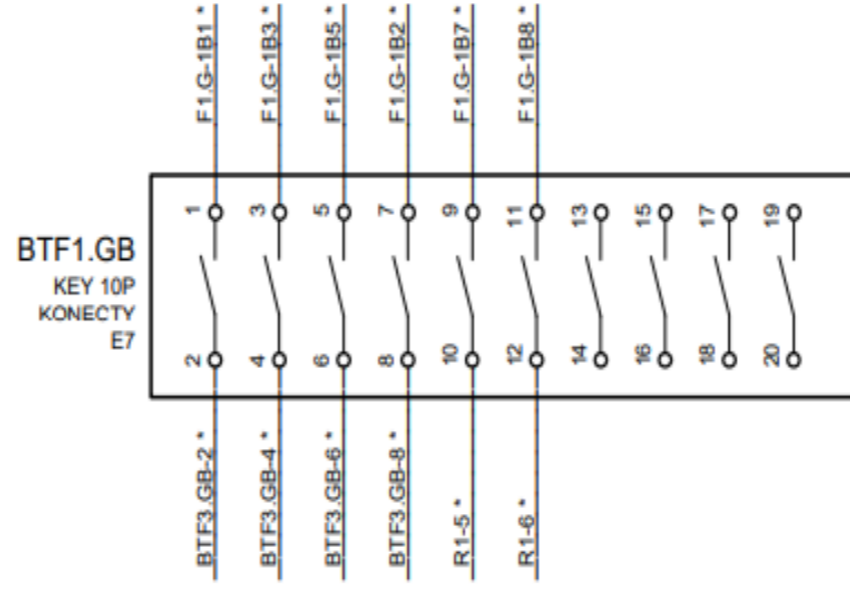
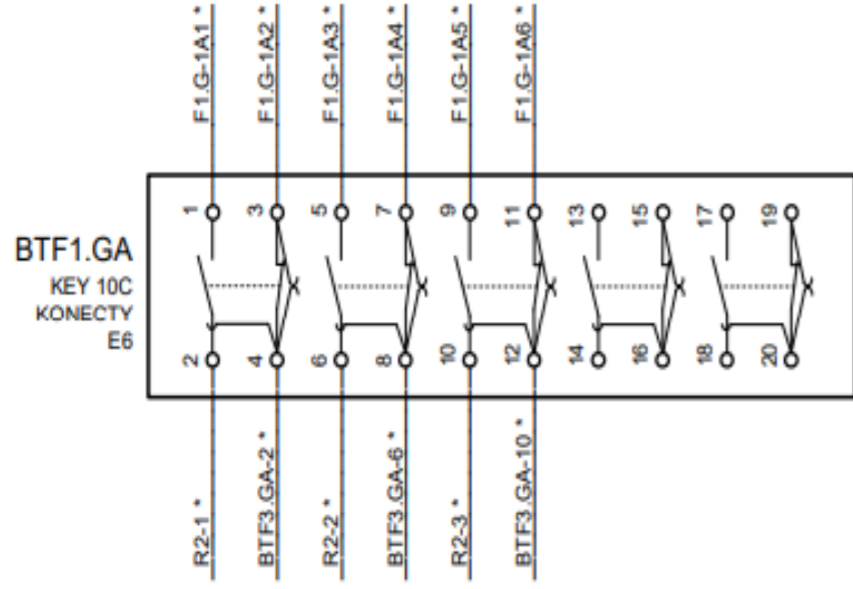
Lista de Materiais	120
Fiação Topográfica	121

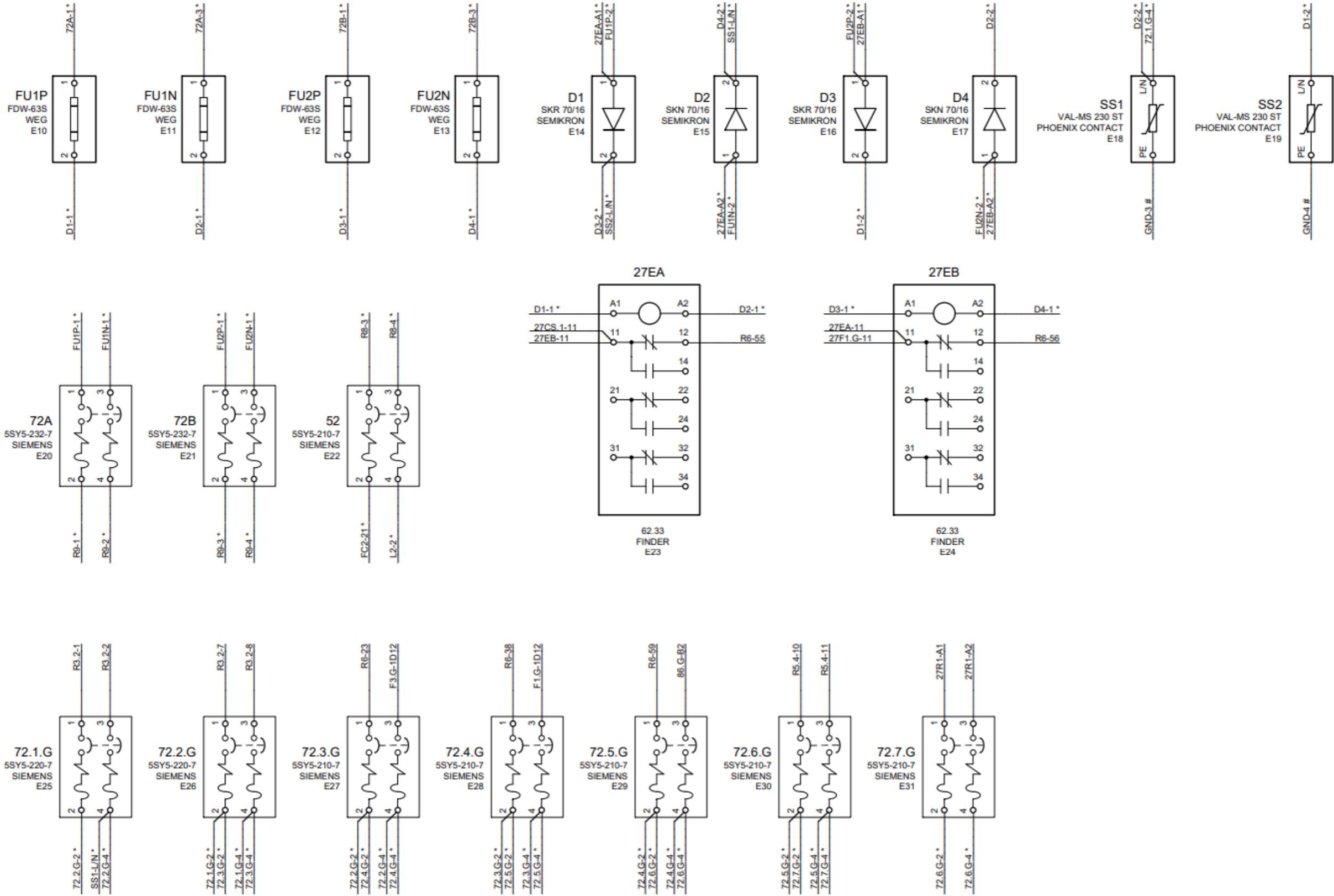
ITEM	QTDE	DESCRIÇÃO	ITEM	QTDE	DESCRIÇÃO	ITEM	QTDE	DESCRIÇÃO	ITEM	QTDE	DESCRIÇÃO
1	01	Tomada 2 Pólos + Terra, Tensão Nominal 250 Vca, Corrente Nominal 10 A + Caixa de sobrepor CÓDIGO: TM1 MODELO: 2P+T - PIAL FABRICANTE: PIAL									
2	04	Chave Fim de Curso, Contatos 1NA+1NF, Acionamento por Pino. CÓDIGO: FC3, FC2, FC4, FC1 MODELO: 3SE5 232-0CC05 FABRICANTE: SIEMENS	9	11	Relé Modular de Potência, 3 Contatos Reversíveis, Ic=16A, Tensão Bobina 250 Vcc CÓDIGO: 27F3.G, 27F1.G, 27EA, 27FA1.1, 27FA2.1, 52PMX1, 27R1, 27RA.1, 27CS.1, BDDX1, 27EB MODELO: 62.33.9.250.0040+BASE 92.03+MÓDULO 99.02.9.220.99 FABRICANTE: FINDER	17	01	Relé biestável, 8 contatos reversíveis, Ic=10 A, Umax 250 Vcc/400 Vca, tensão da bobina 250 Vcc + base PAVM320 CÓDIGO: 86.G MODELO: RMBZ12+PAVM320 FABRICANTE: ICR			
3	06	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 10 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72.3.G, 52, 72.4.G, 72.5.G, 72.7.G, 72.6.G MODELO: 5SY5-210-7 FABRICANTE: SIEMENS	10	02	Luminária com Lâmpada Fluorescente de 11W, 220Vca com Reator Integrado CÓDIGO: L2, L1 MODELO: 96900 FABRICANTE: TASCO	18	02	Diodo SKN Ifav 70A, 1600V, Pico Inverso, C/ Dissipador KP 0,8/100, Com Rabicho, Montagem M2UK C/ Isolador Pontal 16 CÓDIGO: D4, D2 MODELO: SKN 70/16 + KP 0,8/16 FABRICANTE: SEMIKRON			
4	02	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 20 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72.1.G, 72.2.G MODELO: 5SY5-220-7 FABRICANTE: SIEMENS	11	02	Chave Comutadora Posição Normal / Teste, C/ Ângulo de 90°, 20 pólos (Contatos) sendo 2 pólo na posição 'Teste' e 18 pólos na posição 'Normal', In 25 A, Montagem Frontal com 4 Furos. CÓDIGO: CTF3.G, CTF1.G MODELO: CA20B-BRF618-E FABRICANTE: KRAUS&NAIMER	19	02	Diodo SKR Ifav 70A, 1600V, Pico Inverso, C/ Dissipador KP 0,8/100, Com Rabicho, Montagem M2UK C/ Isolador Pontal 16 CÓDIGO: D3, D1 MODELO: SKR 70/16 + KP 0,8/16 FABRICANTE: SEMIKRON			
5	02	Disjuntor Bipolar, corrente nominal 32 A, tensão nominal até 440 Vcc, Ic: 10 kA, Curva C CÓDIGO: 72B, 72A MODELO: 5SY5-232-7 FABRICANTE: SIEMENS	12	04	Fusível Diazed, com base com fixação para trilho, tampa, parafuso de ajuste, anel de proteção, corrente nominal 63 A, tensão 500 VCA/500 VCC. CÓDIGO: FU2N, FU2P, FU1N, FU1P MODELO: FDW-63S + BAW 63 + TFW63 + PAW63 + APW63 FABRICANTE: WEG	20	34	Borne para terminal conexão tipo olhal para cabo até 6mm ² CÓDIGO: R1, R2, R8 MODELO: ST5 P N FABRICANTE: CONEXEL			
6	01	Unidade de proteção, case 1/3 19", display pequeno, C/ 11 BI, 9 B0, 4 entradas de corrente 5A, 4 entradas de tensão, funções base + 100 pontos de funções, DIGSI 5 e IEC 61850/Goose. CÓDIGO: F1.G MODELO: 7SA86-DAAA-AA0-0WWW0-AL0111-12111B-BAA000-000ACO-CB1BA1 (P1A148984) FABRICANTE: SIEMENS	13	02	Bloco de teste 10 pólos, 10 chaves de potencial. P P P P P P P P P P CÓDIGO: BTF1.GB, BTF3.GB MODELO: KEY-E 065 FABRICANTE: KONECTY	21	210	Borne seccionável duplo terminal conexão tipo agulha para cabo até 4mm ² CÓDIGO: R5.5, R6, R5.4, R3.1, R5.6, R5.7 MODELO: UDK4-MTK-P/P - 2775210 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT			
7	01	Unidade de proteção, case 2/3 19", display grande, C/ 71 BI, 25 B0, 4 entradas de corrente 5A, 4 entradas de tensão, funções base + 100 pontos de funções, DIGSI 5 e IEC 61850/Goose. CÓDIGO: F3.G MODELO: 7SA86-DAAA-AA0-0WWW0-AM0111-13111B-BAA000-000ACO-CB1BA1-CE0EAO (P1A288200) FABRICANTE: SIEMENS	14	02	Bloco de teste 10 polos, 5 chaves geminadas para circuito de corrente C C C C C C C C C C CÓDIGO: BTF1.GA, BTF3.GA MODELO: KEY-E 082 FABRICANTE: KONECTY	22	14	Borne para terminal conexão tipo agulha para cabo até 35mm ² CÓDIGO: R9, R3.2 MODELO: UK 35 - 3008012 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT			
8	02	Contator modular de interface, com 4 contatos NA, Ic=63A, tensão de bobina 230 Vcc, com led diodo e indicador mecânico de posição. CÓDIGO: 52X1.1, 52X2.1	15	01	Barra de Terra 30x5 mm De Cobre Nú Eletrolítico, para fixação diretamente na estrutura do painel, conexões com parafusos M4 roscados na barra e com dois conectores de pressão para cabos de 50 a 120 mm ² . CÓDIGO: GND MODELO: MAURANO FABRICANTE: MAURANO	23	02	Proteção contra surtos na alimentação. Tensão nominal: 230V AC CÓDIGO: SS1, SS2 MODELO: VAL-MS 230 ST - 2798844 + Base VAL-MS BE - 2817741 FABRICANTE: PHOENIX CONTACT			
			16	04	Relé Rápido, 4 contatos reversíveis, Ic=12 A, Umax 350 Vcc/440 Vca,						

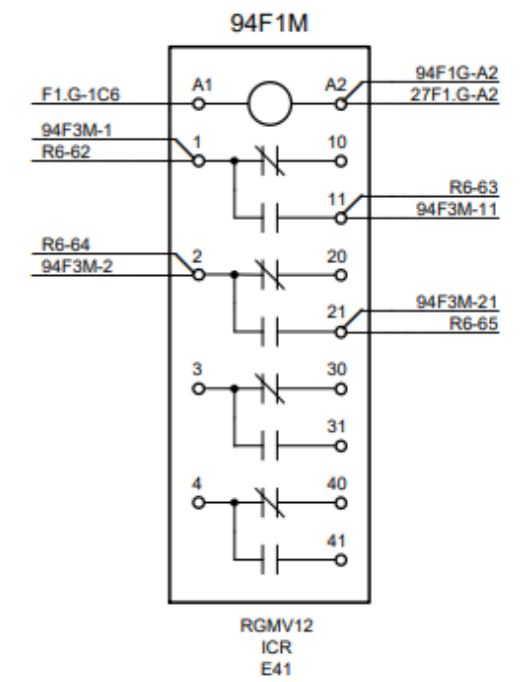
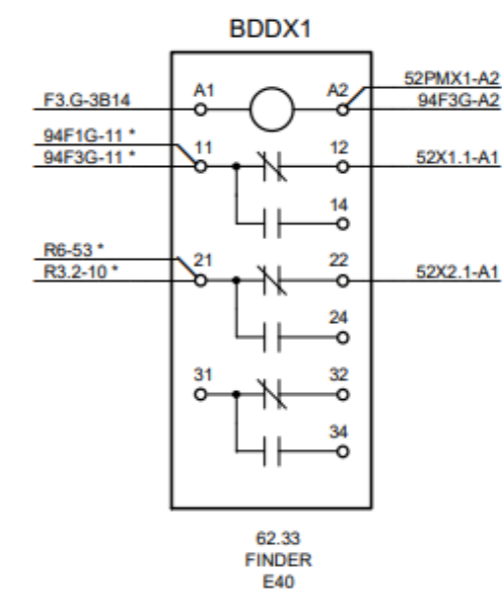
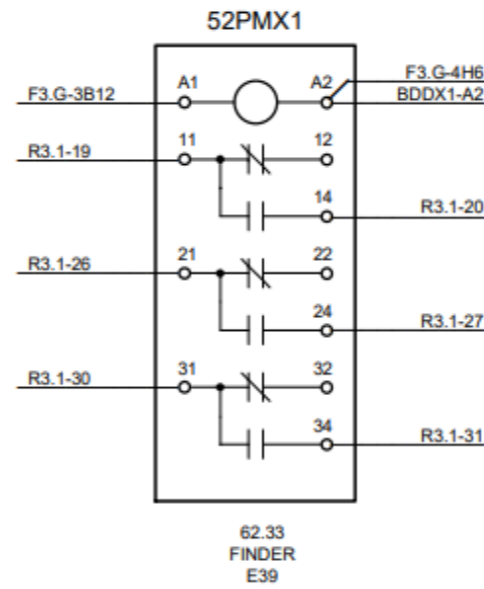
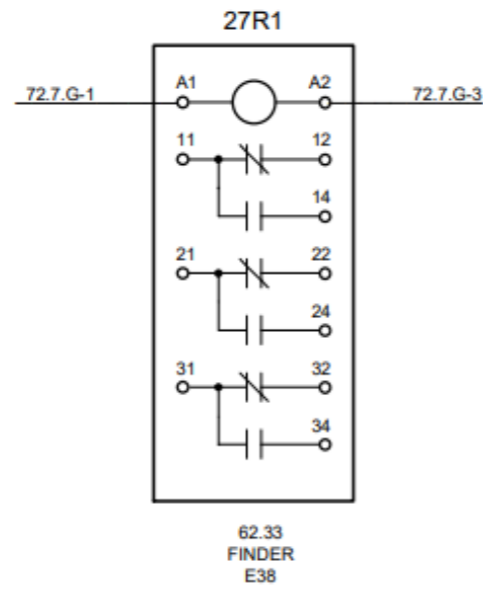
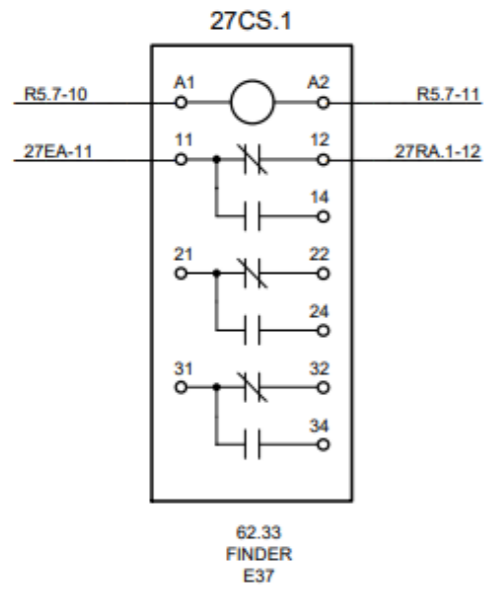
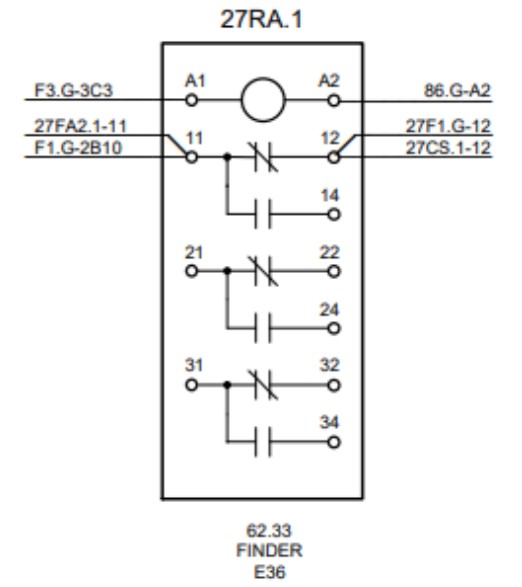
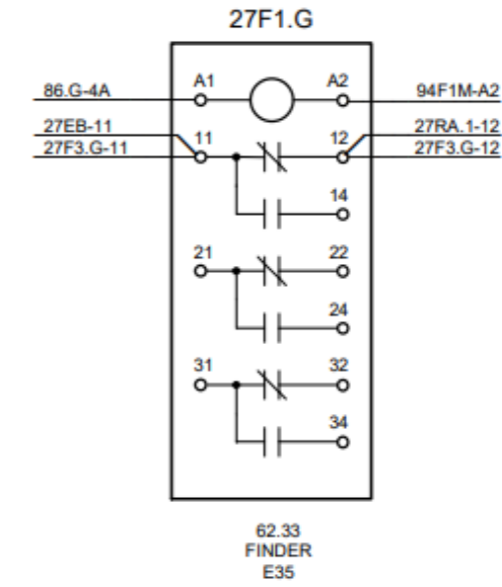
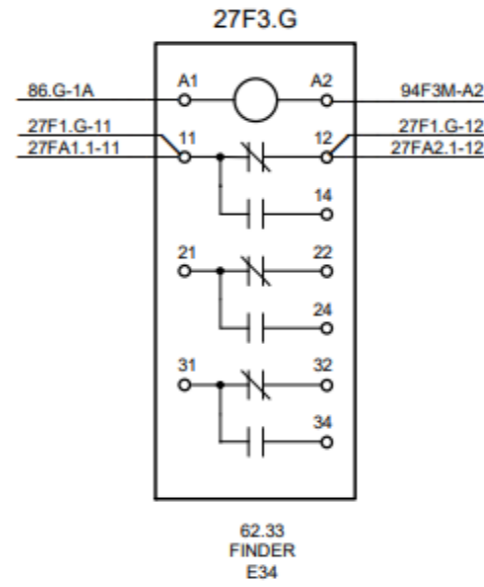
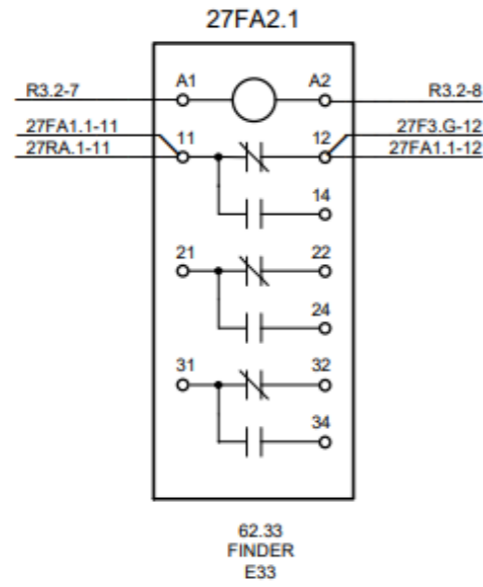
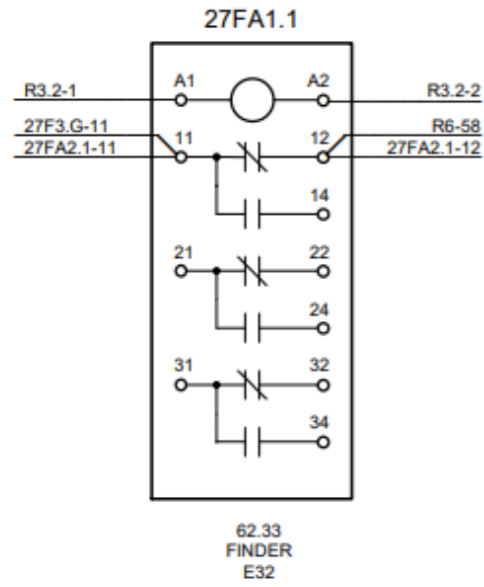
F1.G
E2

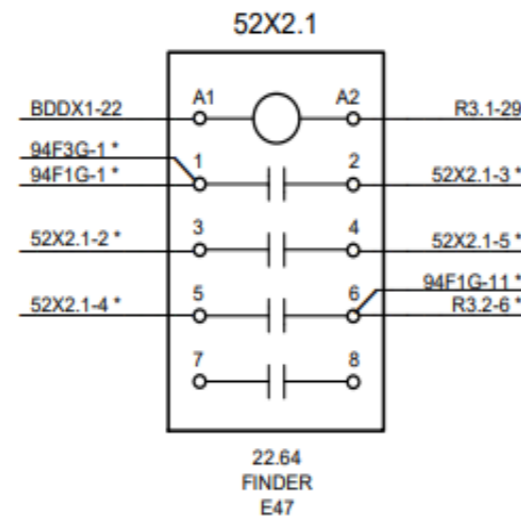
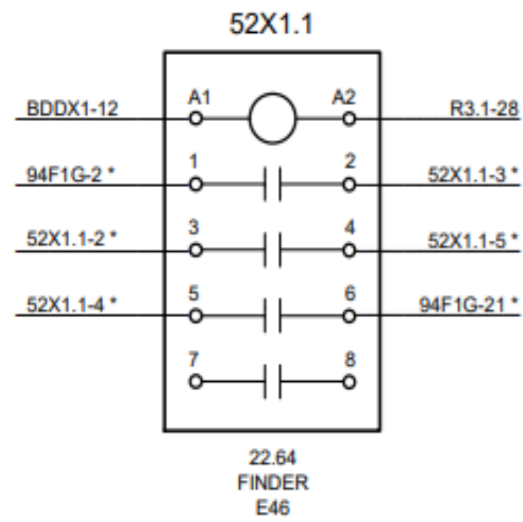
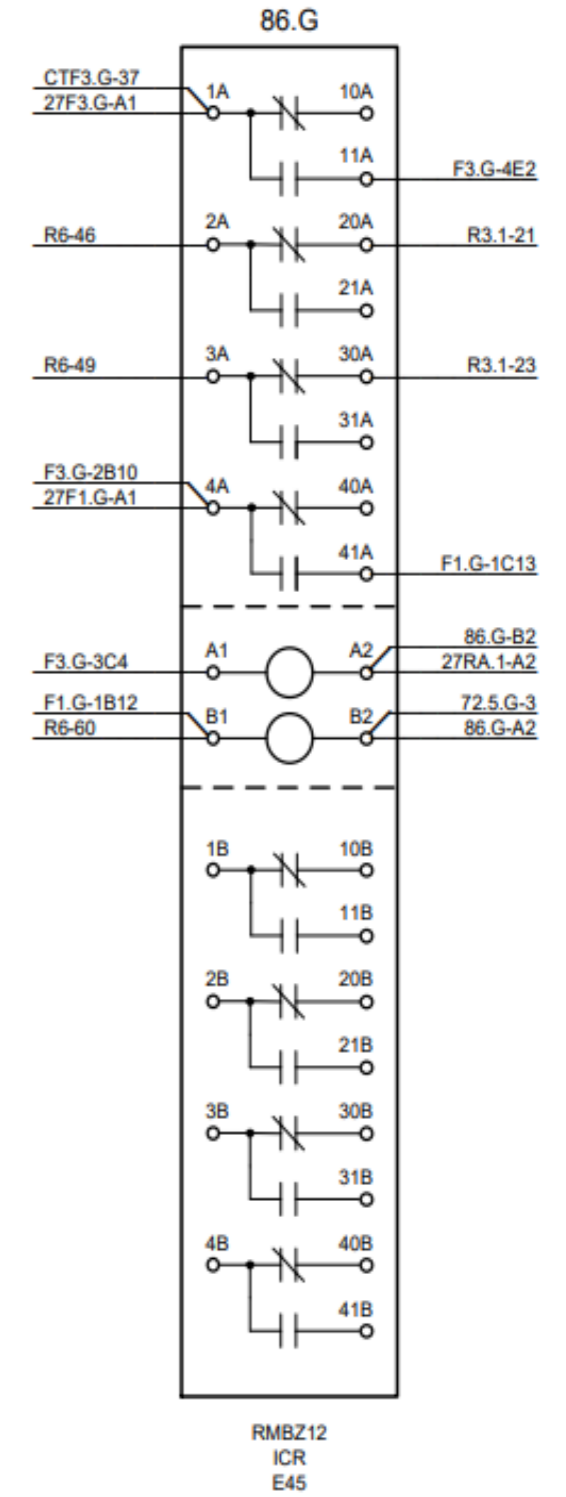
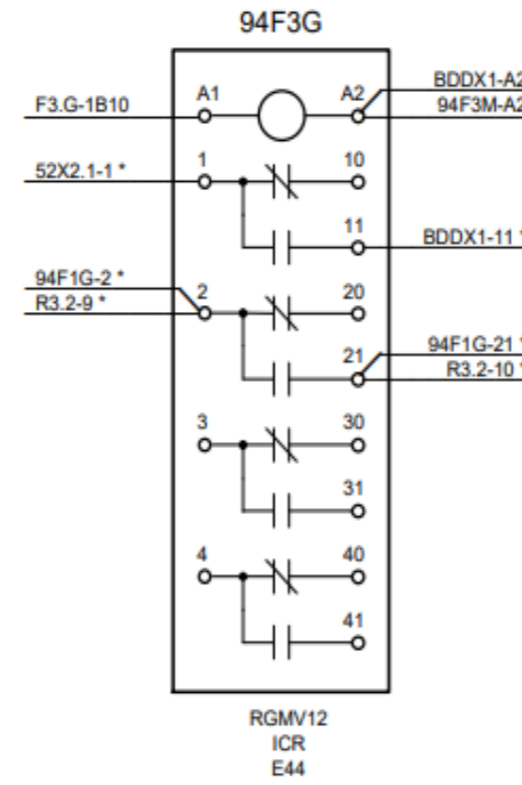
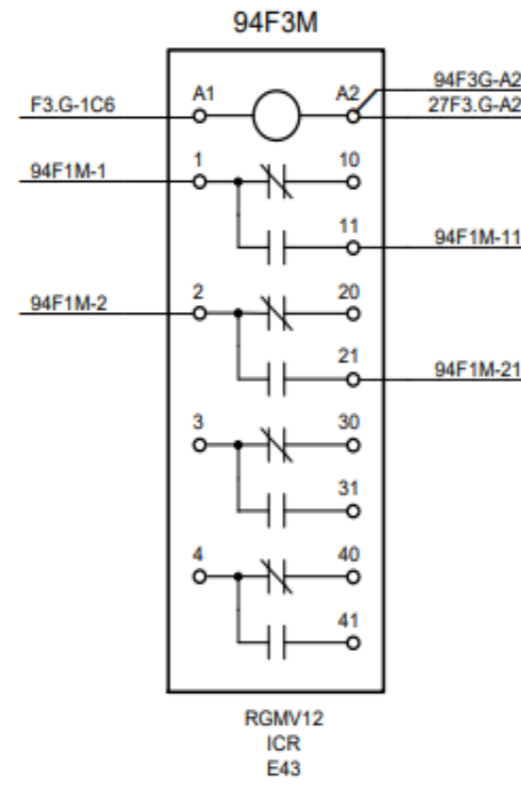
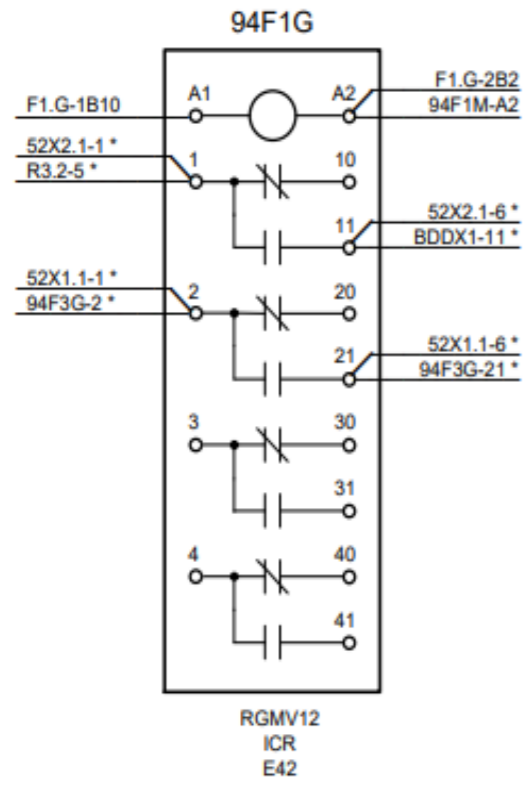


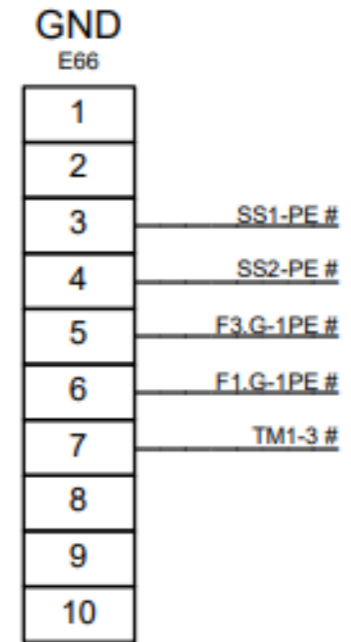
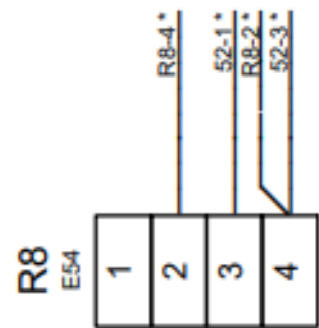
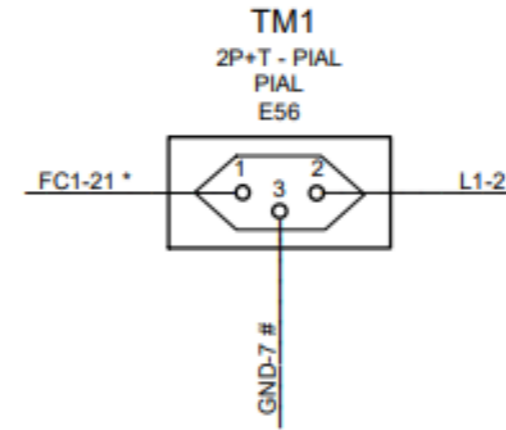
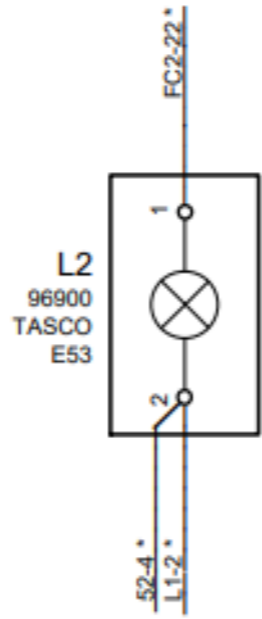
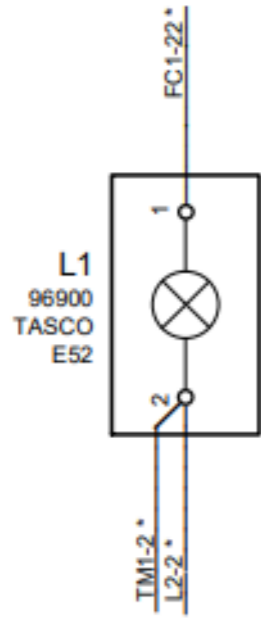
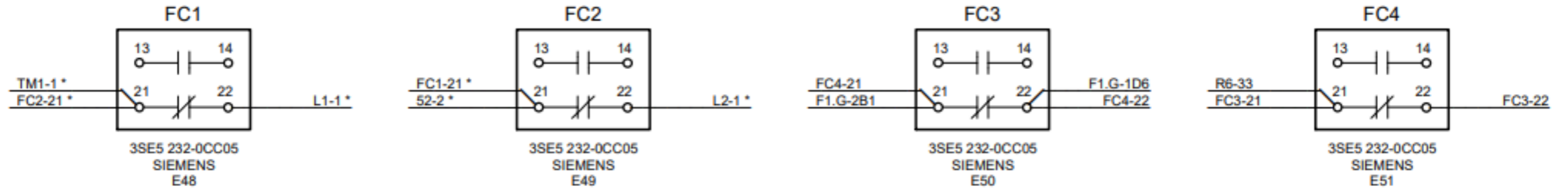


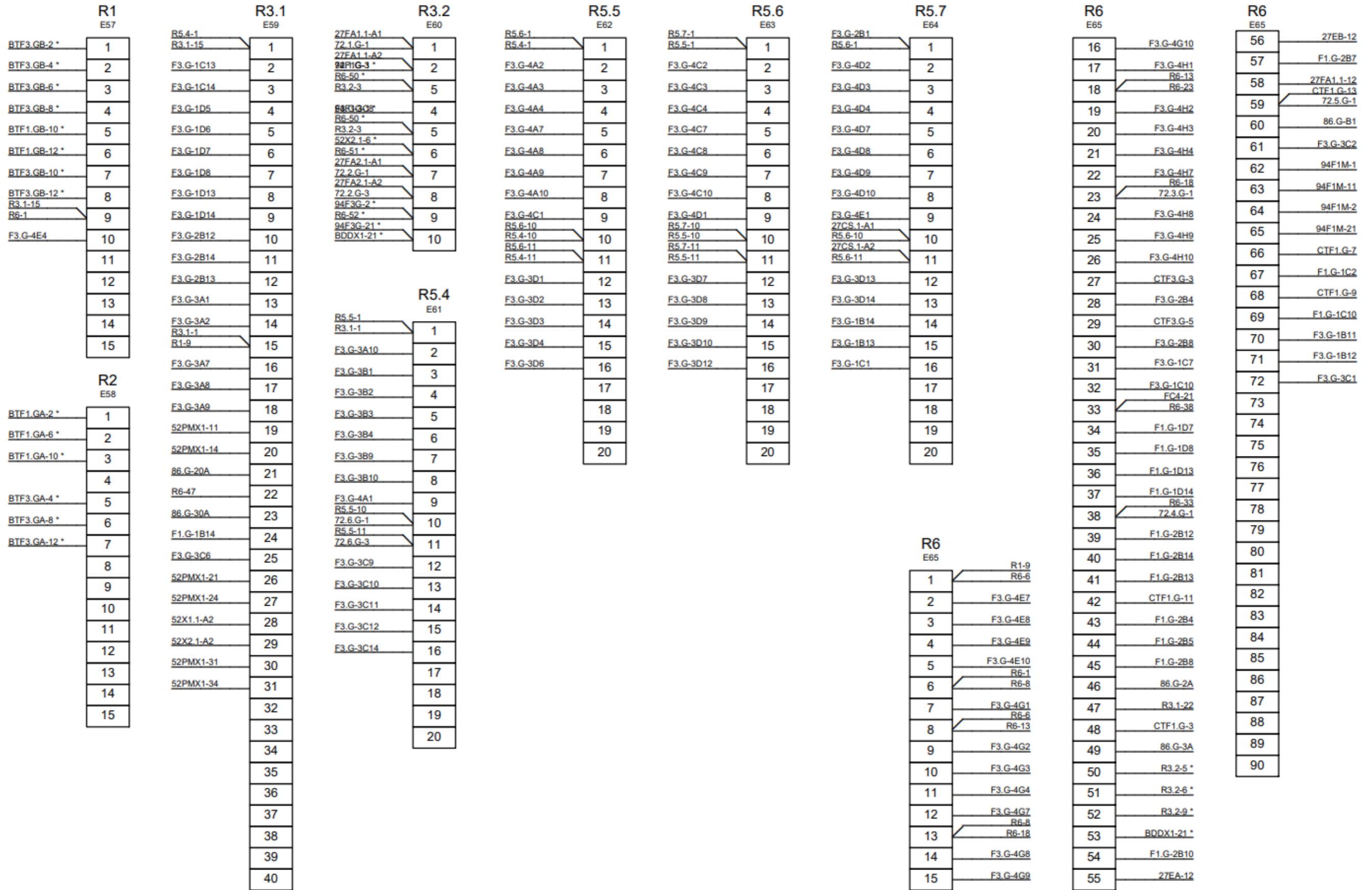












APÊNDICE C

APÊNDICE C – Diagrama de Interligação

Legenda	130
Painel	131
Disjuntor	135
Seccionadoras	135
CDCA	138
CXTC	139
Lista de Cabos	140

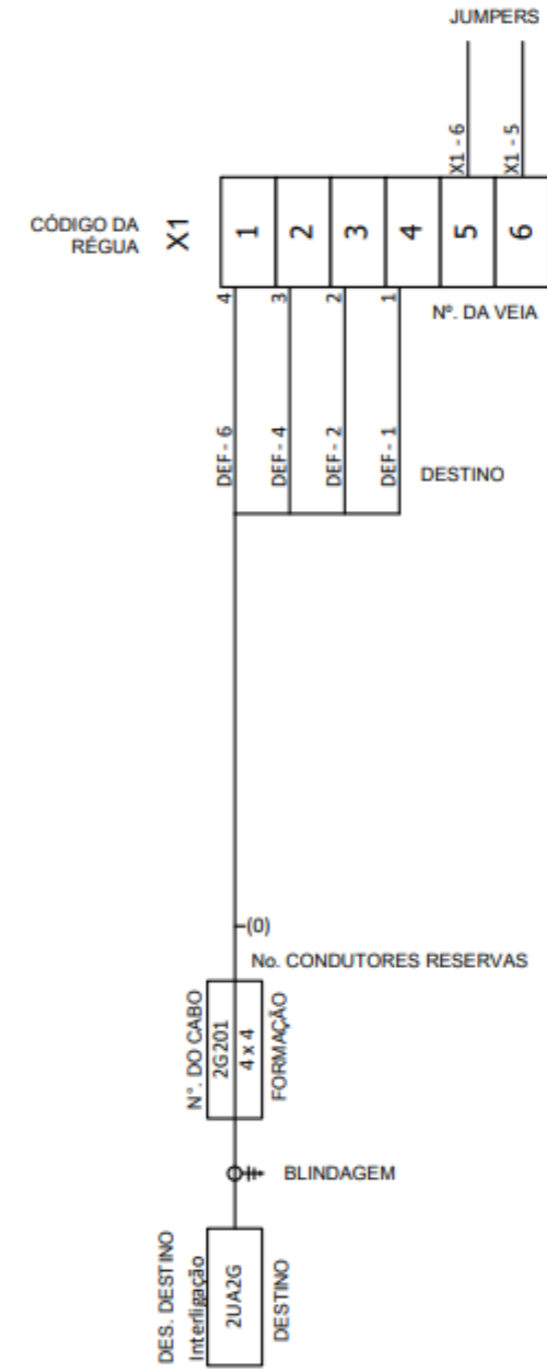
LEGENDA

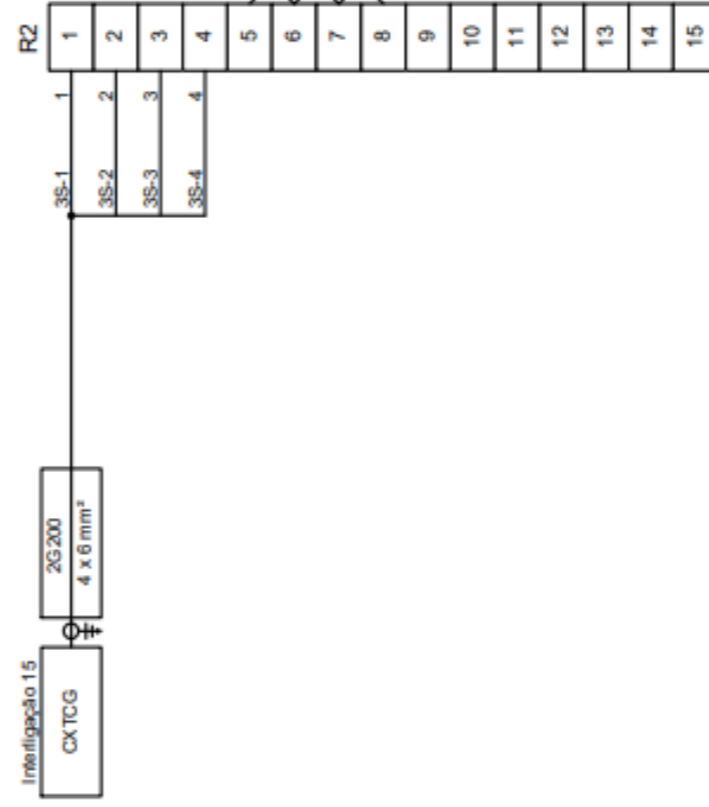
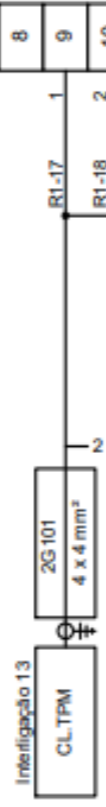
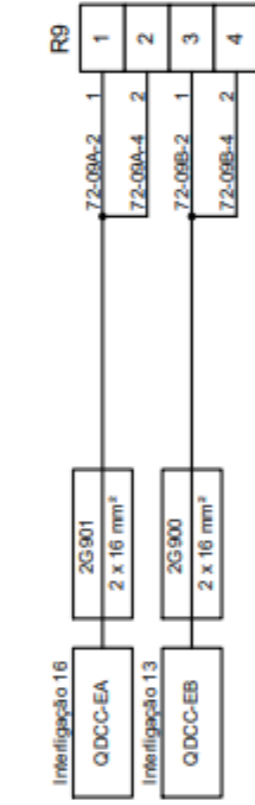
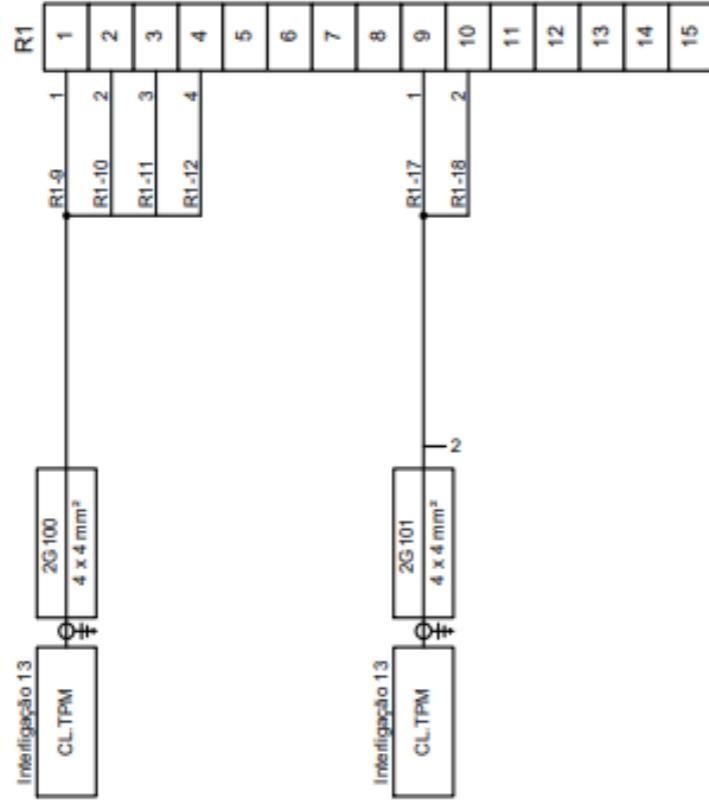
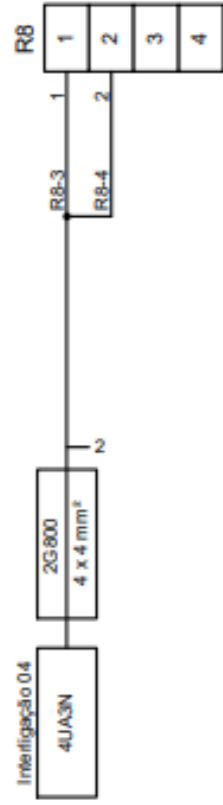
IDENTIFICAÇÃO DOS CABOS

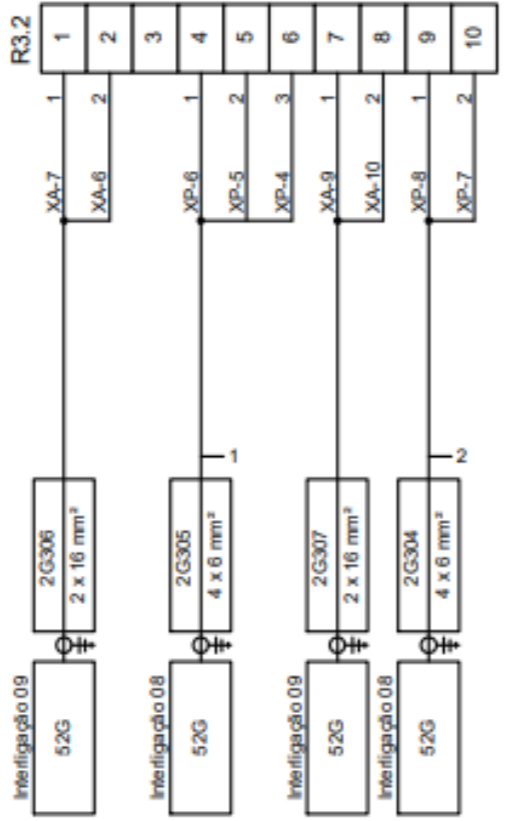
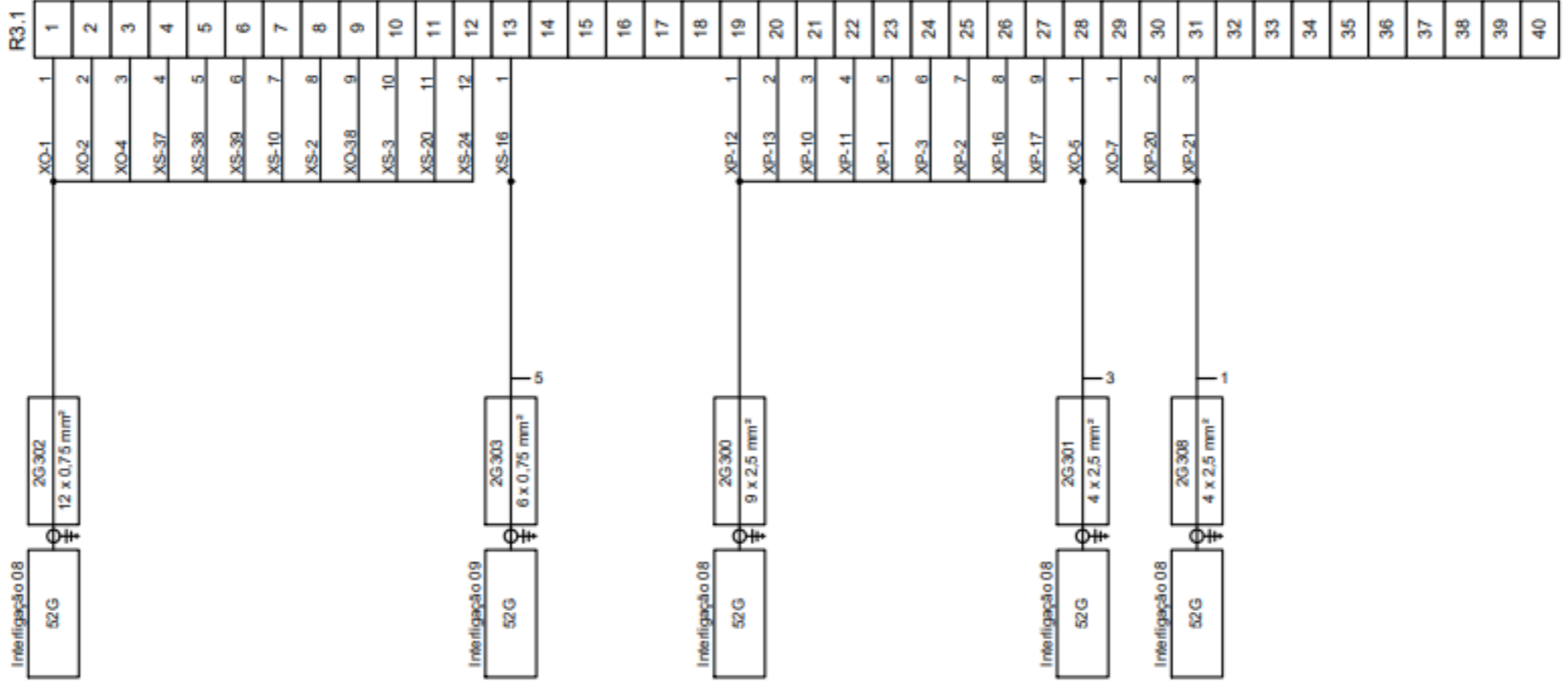


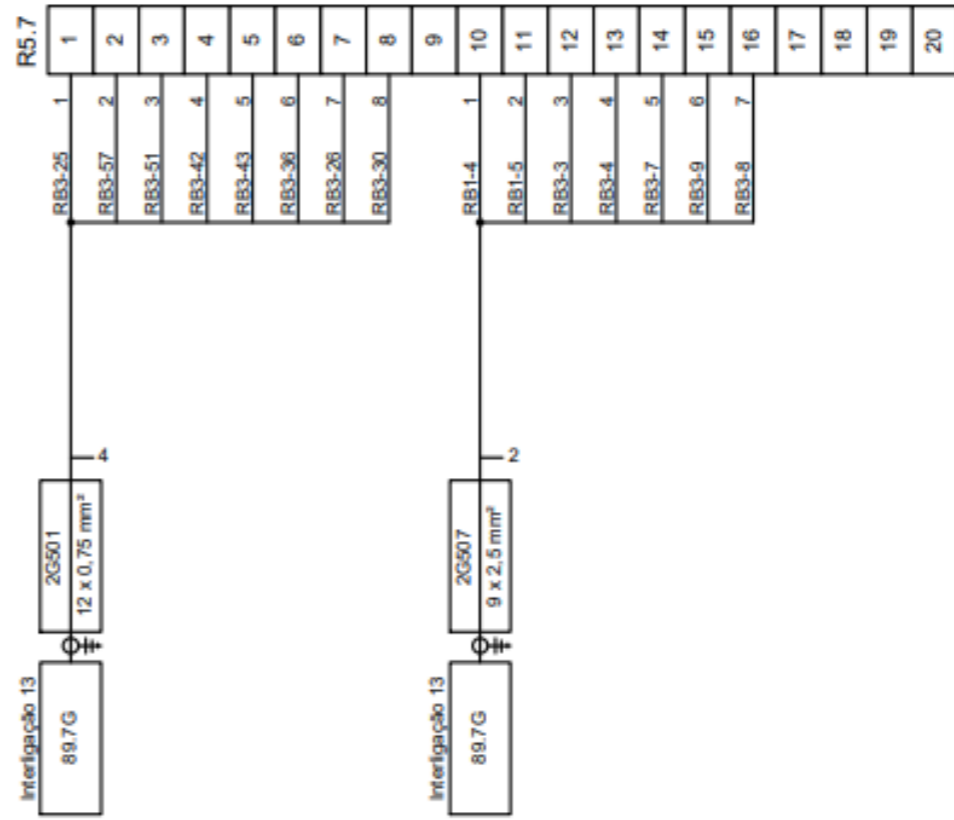
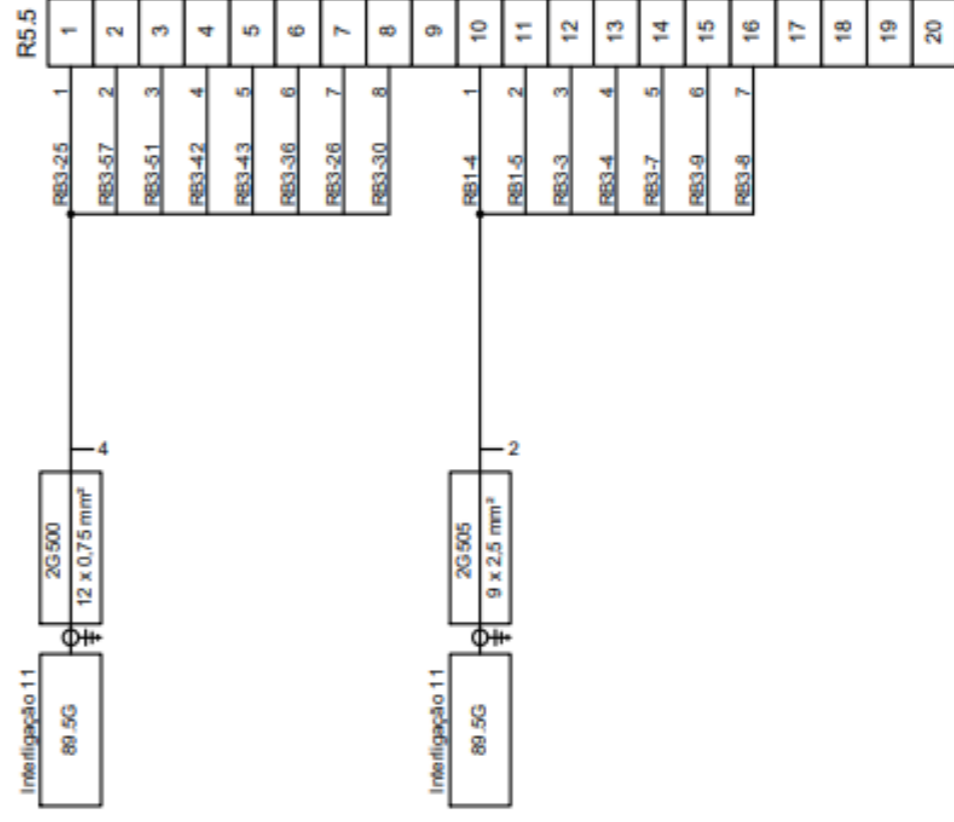
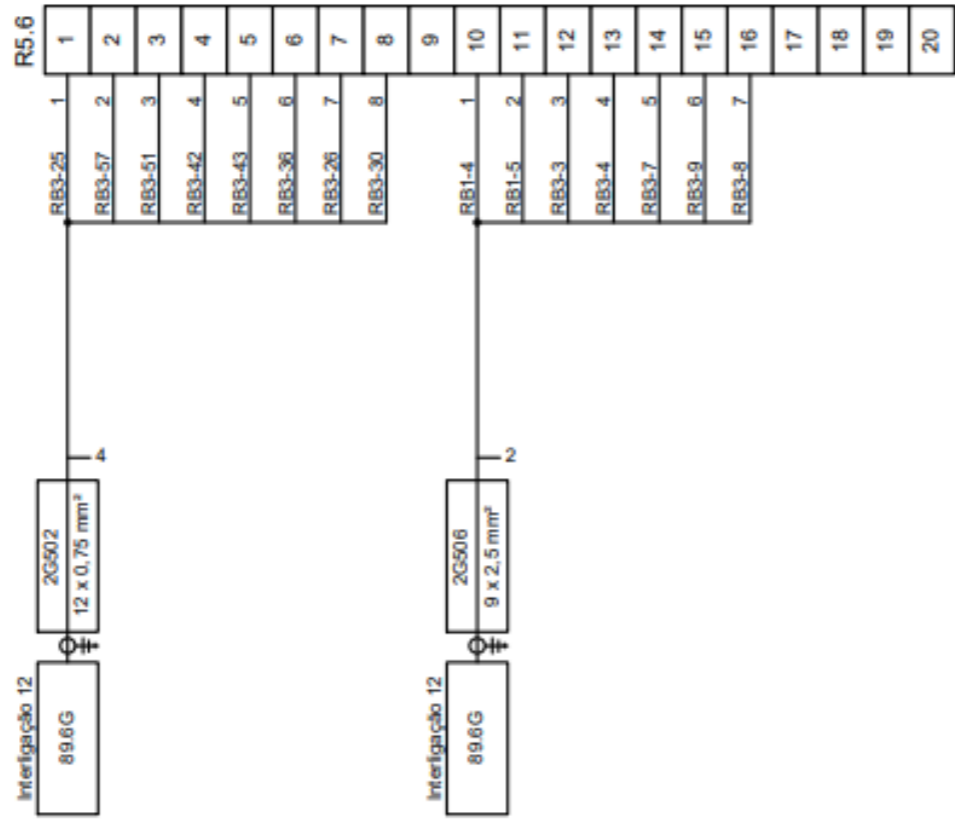
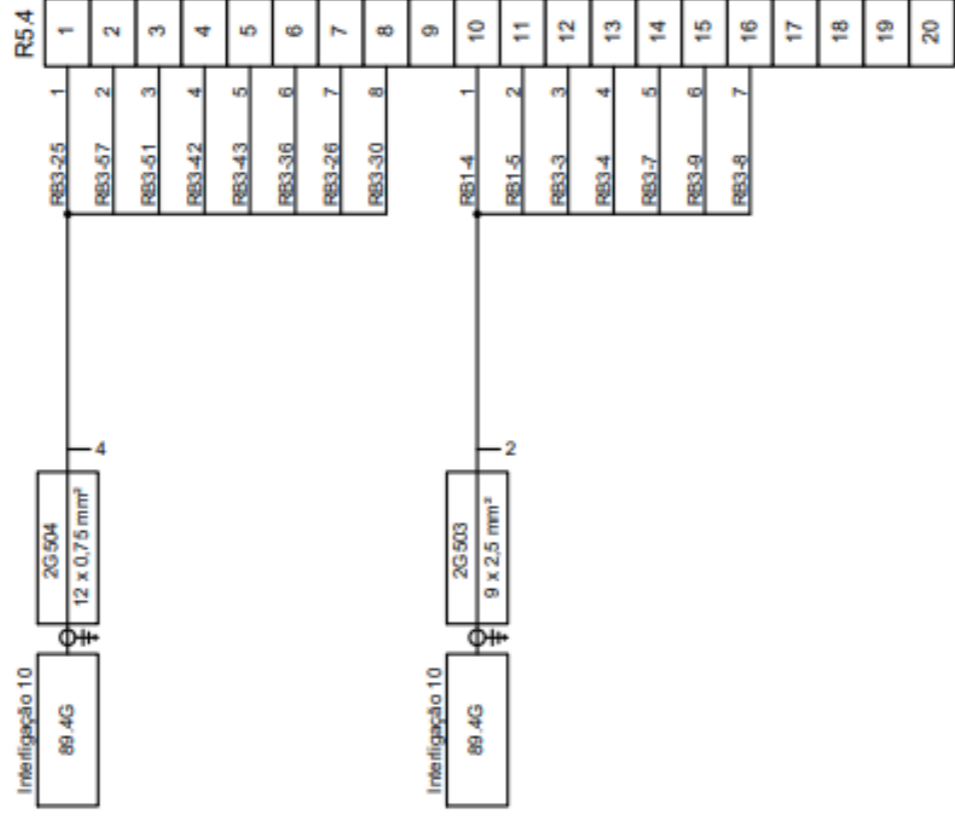
- (A) - IDENTIFICAÇÃO DO SETOR DA SE
 - 1- 13,8kV
 - 2- 69kV
 - 3- 138kV
 - 4- 230kV
 - 5- 500kV
- (B) - IDENTIFICAÇÃO DO VÃO
 - A- VÃO A
 - B- VÃO B
 - ... -
 - Z- VÃO Z
- (C) - EQUIPAMENTOS
 - 1- TP
 - 2- TC
 - 3- DISJUNTOR
 - 4- TRANSFORMADOR
 - 5- SECCIONADORA
 - 6- INTERLIGAÇÃO
 - 7- OUTROS
 - 8- SERVIÇOS AUXILIARES C.A.
 - 9- SERVIÇOS AUXILIARES C.C.
- (D) - No. DE ORDEM DO CABO

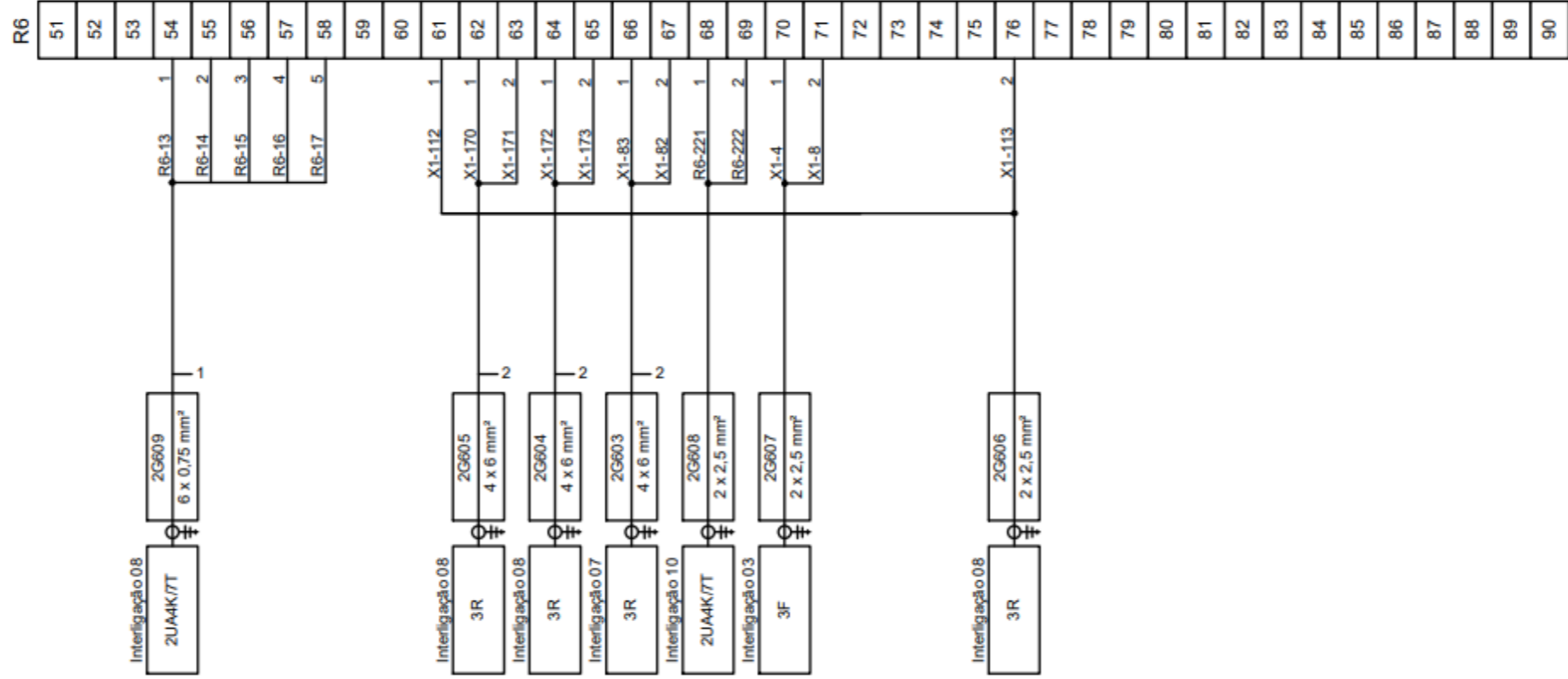
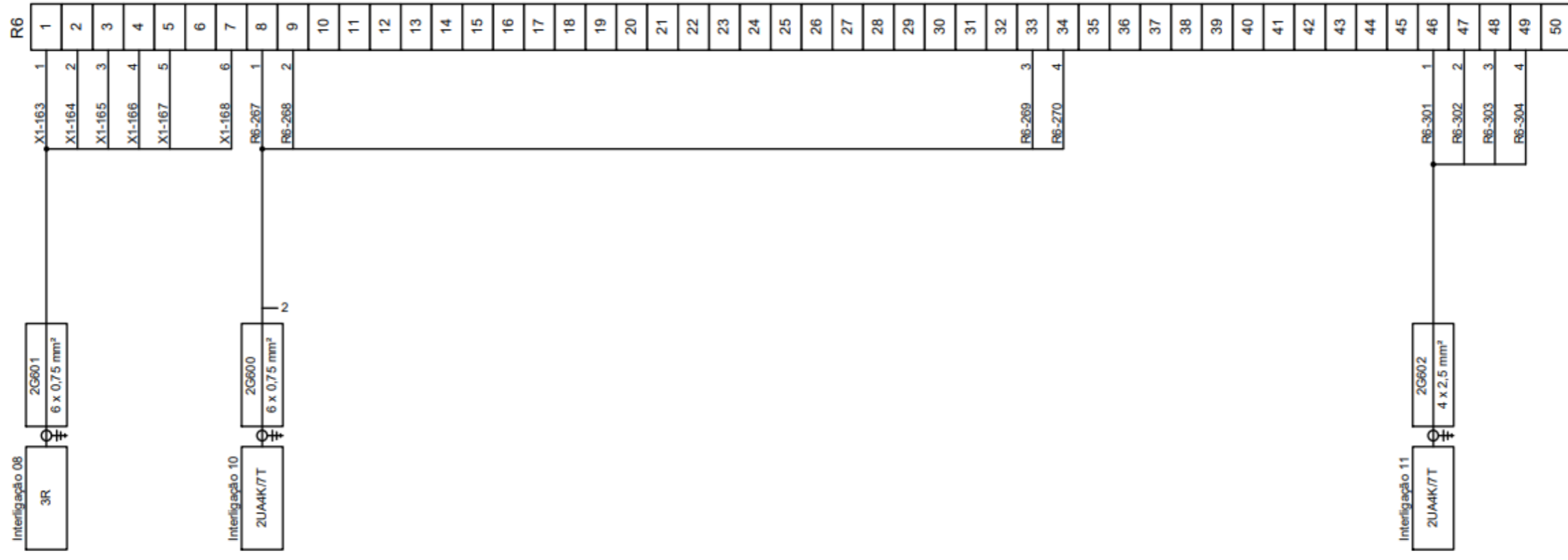
IDENTIFICAÇÃO DO ENDEREÇAMENTO E FORMAÇÃO DOS CABOS

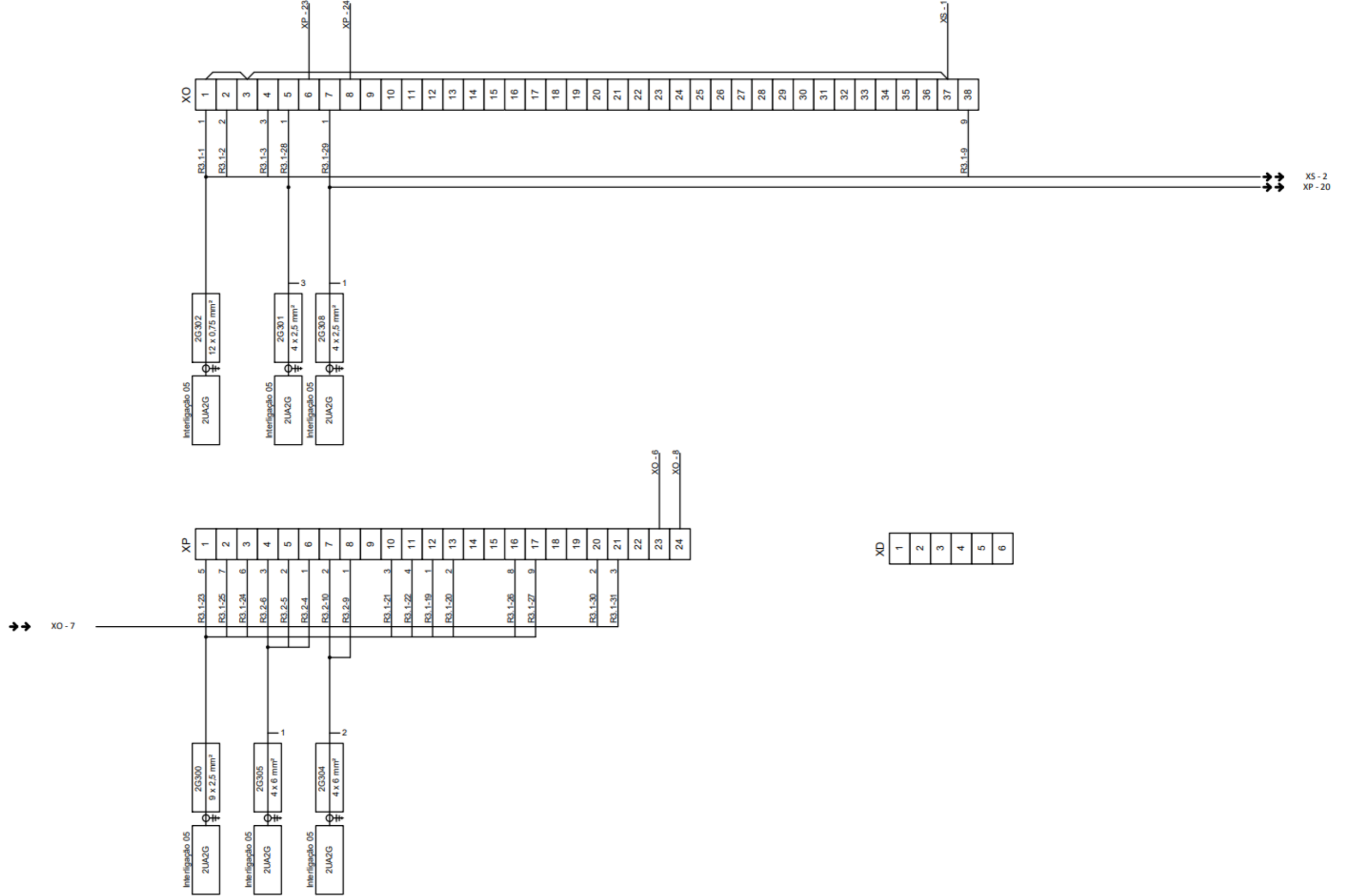


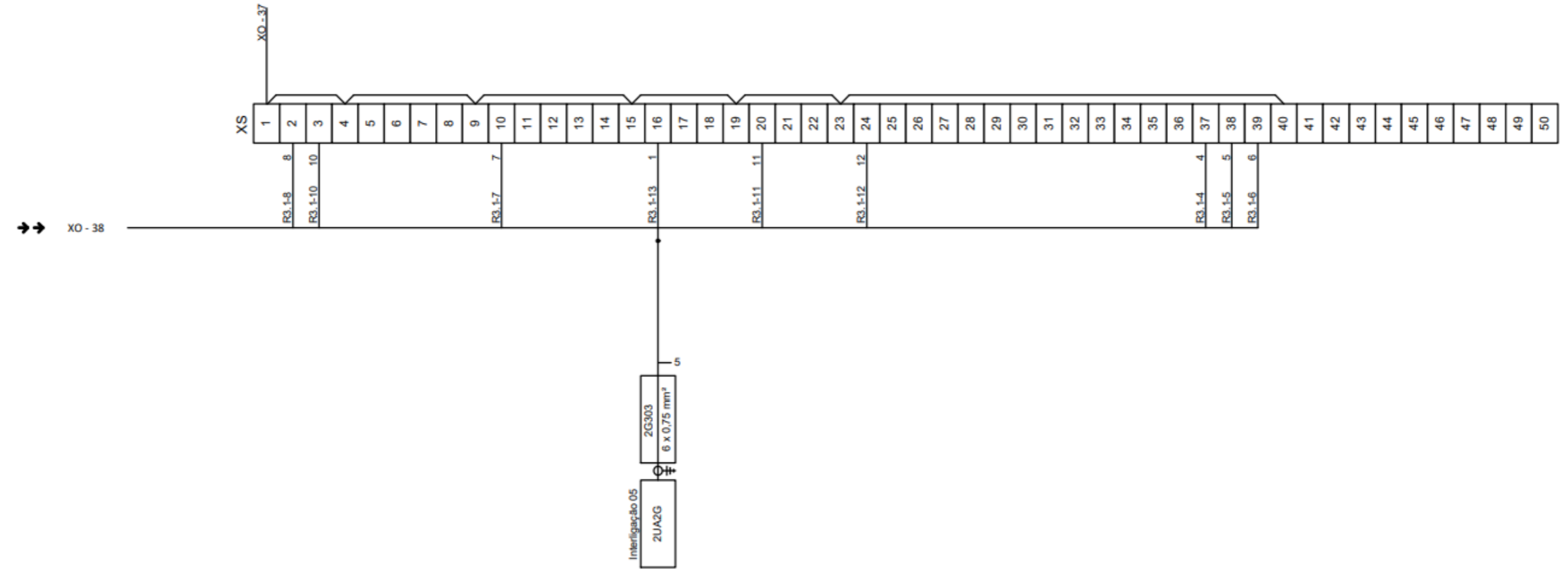












XS	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

