



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSE CLEISON CASSIANO RIBEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO, SUPERVISÃO,
CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS DA MICRORREDE UNIVERSITÁRIA DO
CAMPUS DO PICI - UFC**

FORTALEZA

2020

JOSE CLEISON CASSIANO RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO, SUPERVISÃO,
CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS DA MICRORREDE UNIVERSITÁRIA DO
CAMPUS DO PICI - UFC

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistemas de Energia Elétrica.

Orientador: Prof.^a Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão.
Coorientador: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ribeiro, Jose Cleison Cassiano.

Desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento, Supervisão, Controle e Aquisição de Dados da Microrrede Universitária do Campus do PICI - UFC / Jose Cleison Cassiano Ribeiro. – 2020.
158 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Ruth Pastôra Saraiva Leão.

Coorientação: Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio.

1. Microrrede. 2. Supervisório. 3. SCADA. 4. Eclipse Power. 5. Banco de Dados. I. Título.

CDD 621.3

JOSE CLEISON CASSIANO RIBEIRO

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE GERENCIAMENTO, SUPERVISÃO,
CONTROLE E AQUISIÇÃO DE DADOS DA MICRORREDE UNIVERSITÁRIA DO
CAMPUS DO PICI - UFC

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Sistemas de Energia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Giovanni Cordeiro Barroso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Lígia Maria Carvalho Sousa
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Me. Aluísio Vieira Carneiro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus queridos pais, Carlos e Diva.

À minha irmã Terezinha.

Aos meus amigos e colegas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelas conquistas que me permitiu obter até hoje e pelas adversidades que me fizeram crescer nessa caminhada.

Agradeço aos meus pais, Carlos e Diva, e à minha irmã Terezinha, pelo suporte que a família é capaz de dar nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus colegas da universidade pelo apoio prestado durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à Schneider Electric na pessoa do consultor técnico José Sigefredo Pinheiro Neto pelo excelente treinamento ministrado para programação do controlador lógico programável, equipamento importante na execução deste trabalho.

Agradeço à Elipse Software pelo eficiente suporte prestado durante o desenvolvimento do trabalho, esclarecendo as principais dúvidas referentes ao Elipse Power.

Agradeço à professora Ruth Leão pela oportunidade de participar deste programa de mestrado, permitindo contribuir para um setor com grande potencial de crescimento, pelas sugestões e principalmente pelas colaborações durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica da universidade pelos conhecimentos adquiridos durante as disciplinas realizadas e durante o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos professores Raimundo Furtado Sampaio, Giovanni Cordeiro Barroso, Lígia Maria Carvalho Sousa e Aluísio Vieira Carneiro, membros da banca examinadora da dissertação, pelos comentários, sugestões e contribuições para melhorar o presente trabalho.

“14 Sabendo que Aquele que ressuscitou o Senhor Jesus, nos ressuscitará a nós com Jesus, e nos apresentará convosco.

15 Pois tudo é por amor de vós, para que a graça, multiplicada por meio de muitos, faça abundar a ação de graças para glória de Deus.

16 Por isso não desfalecemos; mas ainda que o nosso homem exterior se esteja consumindo, o interior, contudo, se renova de dia em dia.

17 Porque a nossa leve e momentânea tribulação produz para nós cada vez mais abundantemente um eterno peso de glória;

18 não atentando nós nas coisas que se veem, mas sim nas que se não veem; porque as que se veem são temporais, enquanto as que se não veem são eternas.”

(Bíblia Sagrada, 2 Coríntios 4:14-18)

RESUMO

A recente tendência de integração de recursos energéticos distribuídos às redes de distribuição de energia elétrica tem levado à formação de microrredes (MR). As MR fornecem vários benefícios, sendo capaz de atender o crescimento de demanda, fornecer energia a áreas remotas e aumentar a confiabilidade do suprimento mediante indisponibilidade da rede principal ou catástrofes climáticas. Para a operação segura e eficiente de uma MR, é de suma importância o desenvolvimento e implantação de um sistema supervisorio e de gerenciamento, cuja funções básicas são de supervisão, controle e operação. Este trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e implantação de um sistema de aquisição de dados, supervisão, controle e gerenciamento da MR instalada no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará. A MR trifásica possui três subsistemas monofásicos de geração fotovoltaica (SFV-1, SFV-2, SFV-3), que operam conectados à rede, mas possuem características de operação distintas: o SFV-1 é capaz de operar em modo de *backup* com o suporte de um sistema de baterias; o SFV-2 possui dois conjuntos (*strings*) de módulos FV que podem operar conectados em série, apenas uma *string* ou as duas *strings* em paralelo; e o SFV-3 pode ser conectado a qualquer uma das três fases da rede, segundo decisão do operador. Neste trabalho, foram utilizados os softwares Eclipse Power para o desenvolvimento do sistema supervisorio, o SoMachine para programação dos equipamentos de comando da MR e o SQL Server como banco de dados, permitindo coletar dados de geração a partir de um analisador de energia instalado na MR. O protocolo Modbus TCP/IP foi utilizado para comunicação de todos os equipamentos utilizados pelo sistema supervisorio. Testes foram realizados para avaliar o desempenho das funções de gerenciamento e do SCADA na supervisão, controle e operação de cada subsistema FV, sob diferentes condições de operação da MR. Os resultados dos testes comprovaram a correta atuação dos dispositivos de comando para operação de cada subsistema da MR. As telas gráficas criadas no SCADA comprovaram o devido registro das grandezas coletadas no banco de dados criado para a MR. Por fim, também foi constatada a eficiência da central de alarmes do SCADA, bem como a tela de pesquisa de alarmes, que mostrou a eficiência na busca dos eventos e alarmes ocorridos na MR dentro do intervalo de tempo selecionado.

Palavras-chave: Microrrede. Supervisorio. SCADA. Eclipse Power. Banco de Dados.

ABSTRACT

The recent trend of integration of distributed energy resources to the electricity distribution grids has led to the formation of microgrids (MR). MRs provide several benefits, being able to meet the growing demand, supply energy to remote areas and increase the reliability of supply due to unavailability of the main network or climatic catastrophes. For the safe and efficient operation of an MR, it is essential to develop and implement a supervisory and management system, whose basic functions are supervision, control and operation. This work presents the development and implementation of a data acquisition, supervision, control and management system for the MR installed in the Electrical Engineering Department of the Federal University of Ceará. The three-phase MR has three single-phase photovoltaic generation subsystems (SFV-1, SFV-2, SFV-3), which operate connected to the network, but have different operating characteristics: the SFV-1 is capable of operating in backup mode with the support of a battery system; SFV-2 has two sets (strings) of PV modules that can operate connected in series, just one string or both strings in parallel; and the SFV-3 can be connected to any of the three phases of the grid, according to the operator's decision. In this work, Elipse Power software was used for the development of the supervisory system, SoMachine for programming MR command equipment and SQL Server as a database, allowing collecting generation data from an energy analyzer installed at MR. Modbus TCP / IP protocol was used to communicate all the equipment used by the supervisory system. Tests were carried out to assess the performance of the management and SCADA functions in the supervision, control and operation of each PV subsystem, under different operating conditions of MR. The results of the tests confirmed the correct performance of the control devices for the operation of each MR subsystem. The graphic screens created in SCADA proved the proper record of the quantities collected in the database created for MR. Finally, the efficiency of the SCADA alarm center was also noted, as well as the alarm search screen, which showed the efficiency in the search for events and alarms that occurred in the MR within the selected time interval.

Keywords: Microgrid. Supervisory. SCADA. Elipse Power. Database.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de uma MR.....	21
Figura 2 - Principais motivações para o uso de MRs	22
Figura 3 - MR com barramento CC.....	24
Figura 4 - MR com barramento CC.....	25
Figura 5 - MR em Barramento CC	26
Figura 6 - MR em Barramento CC	26
Figura 7 - Barramento CC e CA.....	27
Figura 8 - MR com barramento CA.....	28
Figura 9 - MR de <i>Tohoku Fukushi</i> , Japão	29
Figura 10 - Esquemático da MR de <i>Tohoku Fukushi</i>	29
Figura 11 - MR da prisão de Santa Rita, nos Estados Unidos, com destaque para os módulos FV instalados (à esquerda) e a planta de CaC (à direita).....	30
Figura 12 - Esquemático da MR da prisão de Santa Rita	31
Figura 13 - Mapa de Mannheim-Wallstadt, na Alemanha	31
Figura 14 - Painel de visualização da MR de Mannheim-Wallstadt, Alemanha.....	32
Figura 15 - Projeção de investimento na capacidade das MRs modulares 2020-2029	33
Figura 16 - Controle hierárquico de uma MR	34
Figura 17 - Arquitetura do sistema SCADA de uma MR.....	35
Figura 18 - Imagem simplificada de um SGBD	36
Figura 19 - Esquema Unifilar da MR do LabREI	39
Figura 20 - Visão geral do centro de operação da MR.....	40
Figura 21 - Disposição dos módulos	41
Figura 22 - Inversores on-grid da MR do LabREI	41
Figura 23 - Inversor off-grid SMA Sunny Island 3.0M-11	42
Figura 24 - Banco de baterias da MR.....	43
Figura 25 - QD Geral - Microrrede: equipamentos de proteção e manobra.....	44
Figura 26 - Analisador de energia da MR	44
Figura 27 - QD Geral - Microrrede: equipamentos de comando.....	45
Figura 28 - Controlador lógico programável TM251MESE	46
Figura 29 - CLP e módulos de expansão (entrada e transmissão).....	47
Figura 30 - Módulos de expansão (saídas e recepção)	47

Figura 31 - Interface IHM do CLP	48
Figura 32 - Disjuntores, contatos auxiliares e interruptores - seccionadores da MR	49
Figura 33 - Minirelés e módulos de conexão das saídas do CLP	49
Figura 34 - Bancos resistivos trifásico (esquerda) e monofásico (direita) – vista frontal, posterior e lateral	50
Figura 35 - Diagrama unifilar do SFV-1	51
Figura 36 - Programador horário (esquerda) e chave de comutação automática (direita)	52
Figura 37 - Diagrama unifilar do SFV-2	53
Figura 38 - Diagrama unifilar do SFV-3	54
Figura 39 - Tela inicial do SoMachine	58
Figura 40 - SoMachine Central	59
Figura 41 - Tela inicial do Logic Builder, destacando a árvore de dispositivos (a), a área de trabalho (b) e a área de catálogos (c).....	60
Figura 42 - Árvore de Dispositivos, destacando a criação de uma nova POU	61
Figura 43 - Área de trabalho e definição de uma nova variável.....	62
Figura 44 - Área de Catálogos	63
Figura 45 - Tela inicial do <i>Vijeo-Designer</i>	64
Figura 46 - Diagrama de blocos que formam o Elipse Power.....	67
Figura 47 - Tela inicial do EP.....	68
Figura 48 - Elementos da janela <i>organizer</i>	69
Figura 49 - Fluxo de desenvolvimento de aplicações no EP.....	70
Figura 50 - Modelo Elétrico, em tela de visualização de subestação, de um sistema elétrico, com três níveis de tensão (69 kV em verde, 23 kV em laranja e 13,8 kV em vermelho)	71
Figura 51 - Lista de elementos do modelo elétrico do sistema da Figura 4.12. Destaque para as configurações SCADA do Disjuntor 1	72
Figura 52 - Sistema representado em tela, após a importação de objetos do modelador	72
Figura 53 - Tela inicial do SSMS solicitando conexão a uma instância SQL Server	73
Figura 54 - Criação do BD no MSSE.....	74
Figura 55 - Criação de BD no EP pela janela <i>organizer</i> (à esquerda) e as propriedades do BD criado (à direita).....	75
Figura 56 - Criação e configuração de um histórico	76
Figura 57 - Arquitetura de comunicação da MR do LabREI	77
Figura 58 – TC de monitoramento da carga monofásica (à esquerda) e diagrama de comando da comutação entre os TCs do PCC e da carga durante o modo <i>off-grid</i> (à direita).....	79

Figura 59 - Endereços dos bits de memória dos módulos de expansão (neste caso, do primeiro módulo de entrada)	80
Figura 60 - Blocos de conversão do tipo <i>bit</i> para <i>word</i> , para enviar o estado das entradas da MR dos módulos de entrada para o CLP	81
Figura 61 - Circuitos de Comando no Logic Builder das botoeiras de acionamento direto.....	82
Figura 62 - Circuito LD para atraso de inicialização da carga durante o modo back-up do SFV-1	83
Figura 63 - Circuitos de Comando no Logic Builder das botoeiras de acionamento do SFV-3	84
Figura 64 - Circuitos de Comando no Logic Builder das botoeiras de acionamento do SFV-2	84
Figura 65 - Telas criadas no Vijeo-Design para a IHM	85
Figura 66 - Telas exibidas pela IHM	86
Figura 67 - MR desenvolvida no modelador elétrico do EP	87
Figura 68 - Configuração das tags a serem lidas pelo supervisório	89
Figura 69 - Configuração dos elementos modelados da MR.....	90
Figura 70 - Tela inicial do supervisório.....	91
Figura 71 - Comando remoto de uma CMM no SCADA.....	92
Figura 72 - Parte da tela de menus do supervisório.....	92
Figura 73 - Tela de alarmes do supervisório	92
Figura 74 - Tela do SFV-1 do Supervisório	93
Figura 75 - Tela do SFV-2 do Supervisório	93
Figura 76 - Tela do SFV-3 do Supervisório	94
Figura 77 - Quadro do submenu Gráficos do SCADA.....	94
Figura 78 - Seleção de valores nos gráficos	95
Figura 79 - Criação de uma nova Consulta no gráfico	96
Figura 80 - Configuração das penas de corrente	96
Figura 81 - Seleção da data inicial e final para consulta do histórico pelas telas de gráficos ..	97
Figura 82 - Criação de relatório para exportar gráficos.....	97
Figura 83 - Arquivo em PDF do gráfico de corrente.....	98
Figura 84 - Tela inicial do Communicator Ext, tela de conexão e de configurações	99
Figura 85 - Ferramenta Polling, destacando a escolha da grandeza cuja forma de onda atual será apresentada na tela.....	99

Figura 86 - Ferramenta Harmonic, destacando a escolha da grandeza onde serão analisados os valores de harmônicos	100
Figura 87 - Ferramenta Phasor, mostrando o diagrama fasorial da rede	100
Figura 88 - Ferramenta Ret Log	101
Figura 89 - Utilização do Log Viewer (acima, tela do Historical trends; abaixo, tela Graph)	102
Figura 90 - Criação (à esquerda) e configuração (à direita) do Servidor de Alarmes	103
Figura 91 - Configuração dos alarmes do SCADA LabREI	104
Figura 92 - Tela de Alarmes da MR	106
Figura 93 - Consulta de alarmes da MR	107
Figura 94 - Criação de relatório para arquivo de alarmes (acima), e arquivo gerado utilizando o SCADA (abaixo)	107
Figura 95 - Criação do servidor do BD da MR no SSMS	108
Figura 96 - Conexão do BD criado no EP com o criado no SQL Server 2017 Express (à esquerda) e teste de conexão (à direita)	109
Figura 97 - Criação (à esquerda) e configuração (à direita) das tabelas do BD	109
Figura 98 - Modo de funcionamento padrão da MR	111
Figura 99 - MR após a abertura da CMM1	112
Figura 100 - MR após o restabelecimento da alimentação geral	113
Figura 101 - SFV-1 no modo <i>on-grid</i> sem carga	113
Figura 102 - Alarme para o SFV-1 funcionando em modo <i>on-grid</i>	114
Figura 103 - SFV-1 em modo <i>backup</i>	114
Figura 104 - SFV-2 operando na configuração em série	115
Figura 105 - SFV-2 operando na configuração em o Paralelo com uma <i>string</i>	116
Figura 106 - SFV-2 operando na configuração Paralelo com duas <i>strings</i>	116
Figura 107 - SFV-3 conectado à fase A	117
Figura 108 - SFV-3 conectado à fase B	118
Figura 109 - SFV-3 conectado à fase C	118
Figura 110 - Gráfico de corrente da MR em 12 horas de operação	119
Figura 111 - Gráfico de potência ativa da MR em 12 horas de operação	119
Figura 112 - Formas de onda de corrente, tensão e potência ativa do SFV-1	120
Figura 113 - Gráficos de corrente e potência ativa do SFV-2	121
Figura 114 - Gráficos de corrente e potência ativa do SFV-3, com destaque para a fase atualmente conectada	122

Figura 115 - Pesquisa de alarmes no BD da MR..... 123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Entradas e saídas digitais da MR	55
Tabela 2 - Entradas analógicas da MR	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampère
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> - Código Padrão Americano para Intercâmbio de Informações
BD	Base de Dados
CA	Corrente Alternada
CaC	Célula a Combustível
CC	Corrente Contínua
CFC	<i>Continuous Function Charts</i> – Gráficos de função contínua
CLP	Controlador Lógico Programável
CMM	Chave de Monitoramento e Manobra
COMR	Centro de Operação da Microrrede
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
DNP3	<i>Distributed Network Protocol 3</i> – Protocolo de rede distribuída
EIG	<i>Electro Industries Gaugeteck</i>
EP	Elipse Power
FBD	<i>Function Block Diagram</i> – Diagrama de bloco de funções
FV	Fotovoltaica
GB	Gigabyte
GD	Geração Distribuída
GVL	<i>Global Variable List</i> – Lista de variáveis globais
I _A	Valor de corrente na fase A
I _B	Valor de corrente na fase B
I _C	Valor de corrente na fase C
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> – Comissão eletrotécnica internacional
IHM	Interface Homem – Máquina
IL	<i>Instruction List</i> - Lista de Instruções
IP	<i>Internet Protocol</i> – Protocolo de Internet
kvar	Quilovolt ampère reativo
LabREI	Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes
LD	<i>Ladder Diagram</i> – Diagrama <i>Ladder</i>
MR	Microrrede
MSSE	Microsoft SQL Server 2017 Express
OPC UA	<i>Open Platform Communications United Architecture</i> – Comunicações em plataforma aberta – Arquitetura unificada
PCC	Ponto de Conexão Comum
POU	<i>Program Organizational Unit</i> – Unidade organizacional de programa
QD	Quadro

RED	Recursos Energéticos Distribuídos
RJ45	<i>Registered Jack 45</i>
RS	Rio Grande do Sul
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i> – Unidade Terminal Remota
SB	<i>Sunny Boy</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> – Controle de supervisão e aquisição de dados
SFC	<i>Sequential Function Charts</i> – Gráficos de função sequencial
SFV-1	Subsistema Fotovoltaico 1
SFV-2	Subsistema Fotovoltaico 2
SFV-3	Subsistema Fotovoltaico 3
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Bases de Dados
SI	<i>Sunny Island</i>
SMA	<i>System, Mess and Anlagentechnik</i>
SQL	<i>Structured Query Language</i> – Linguagem de consulta Estruturada
SSD	<i>Solid State Drive</i> – Dispositivo de estado sólido
SSMS	SQL Server Management Studio
ST	<i>Structured Text</i> – Texto estruturado
T _{aux}	Transformador auxiliar
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> – Protocolo de Controle da Transmissão
UFC	Universidade Federal do Ceará
V	Volt
VA	Volt-Ampère
W	Watt

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XV
SUMÁRIO	XVII
1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa	18
1.2 Objetivos	19
1.3 Estrutura do trabalho.....	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 Microrredes.....	21
2.1.1 Configurações de MRs.....	23
2.1.2 Barramento CC	24
2.1.3 Barramento CA	26
2.1.4 Barramento CC e CA	27
2.1.5 Panorama das MRs.....	28
2.2 Sistemas Supervisórios	33
2.2.1 Hierarquia das MRs	34
2.2.2 Sistemas supervisórios e as MRs	35
2.3 Bancos de dados (BD)	36
2.4 Considerações Finais	38
3 A MICRORREDE DO CAMPUS DO PICI	39
3.1 Componentes de geração e Armazenamento	40
3.2 Centro de Operação da Microrrede.....	43
3.3 Subsistemas da MR.....	50
3.3.1 Subsistema FV 01 (SFV-1)	50
3.3.2 Subsistema FV 02 (SFV-2).....	52
3.3.3 Subsistema FV 03 (SFV-3).....	53
3.4 Pontos de monitoramento e comando da MR	54
3.5 Considerações Finais	56

4	SOFTWARES DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO	57
4.1	SoMachine	57
4.1.1	<i>Logic Builder</i>	60
4.1.2	<i>Vijeo-Designer</i>	64
4.2	Eclipse Power	65
4.2.1	Arquitetura do Eclipse Power	66
4.2.2	EP Studio.....	67
4.3	Banco de Dados	73
4.3.1	Microsoft SQL Server 2017 Express (MSSE)	73
4.3.2	Integração entre o EP e o SQL Server	74
4.4	Considerações Finais	76
5	DESENVOLVIMENTO DO SUPERVISÓRIO.....	77
5.1	Arquitetura de comunicação da MR	77
5.2	Monitoramento durante o modo off-grid do SFV-1	78
5.3	Configuração da comunicação entre os equipamentos de monitoramento da MR.....	79
5.4	Programação do CLP	80
5.5	Programação da IHM.....	85
5.6	Desenvolvimento do SCADA.....	86
5.6.1	Modelagem da MR.....	86
5.6.2	Comunicação com os equipamentos da MR	88
5.6.3	Importação de dados	89
5.6.4	Criação das telas dos subsistemas da MR	90
5.6.5	Criação das telas de gráficos	94
5.6.6	Integração com o analisador de energia.....	98
5.6.7	Criação dos alarmes e eventos do SCADA.....	101
5.7	Criação e configuração do banco de dados.....	108
5.8	Considerações finais	110
6	RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO DO SCADA LABREI.....	111
6.1	Acionamento dos subsistemas	111
6.1.1	Alimentação Geral	112
6.1.2	Subsistema FV 1	113
6.1.3	Subsistema FV 2	114
6.1.4	Subsistema FV 3	117
6.2	Gráficos.....	118

6.3	Alarmes.....	123
6.4	Considerações Finais	124
7	CONCLUSÕES	125
7.1	Trabalhos futuros.....	126
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
	ANEXO A: VISÃO GERAL DA MICRORREDE LABREI	132
	ANEXO B: CHAVE DE TRANSFERÊNCIA AUTOMÁTICA DO SFV-1	134
	ANEXO C: CMM1	136
	ANEXO D: CMM2	138
	ANEXO E: CMM3 – CIRCUITO DE FORÇA	140
	ANEXO F: CMM3 – CIRCUITO DE COMANDO	142
	ANEXO G: CMM4.....	144
	ANEXO H: CMM5 E CMM6 – CIRCUITO DE FORÇA.....	146
	ANEXO I: CMM5 E CMM6 – CIRCUITO DE COMANDO.....	148
	ANEXO J: CMM7	150
	ANEXO K: CMM8.....	152
	ANEXO L: CMM9	154

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Os sistemas de distribuição de energia elétrica congregam inúmeros componentes e vários pontos de suprimento (subestações) além de uma demanda variável, causando variações temporárias na energia que é fornecida. A exposição do sistema às contingências, suas diferentes características topológicas e a demanda variável podem causar problemas na operação da rede elétrica e no suprimento da carga. Por isso, a qualidade da energia fornecida às cargas é de suma importância para garantir a confiabilidade do sistema (CARNEIRO, 2017).

A geração distribuída (GD), que é uma opção que pode dar suporte aos requisitos de qualidade de energia. Ela pode ser definida como uma central geradora, de porte reduzido, situadas próximas do consumidor final e conectadas diretamente à rede de distribuição de energia. Dentre as grandes vantagens das GDs, estão a diminuição da necessidade de construção de grandes linhas de transmissão, reduzindo perdas no transporte de energia e a exposição às intempéries, tornando o sistema mais confiável, e a busca por redução tarifária, tendo como fomento as restrições técnicas, econômicas e ambientais para a expansão da geração centralizada não renovável (DRIEMEIER, 2009).

Desde o estabelecimento da Resolução Normativa no.482, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece as condições gerais para o acesso de GDs (microgeração e minigeração) ao sistema de distribuição de energia, as GDs avançaram no Brasil. Em 2019, o país ultrapassou o valor de 1 GW de potência instalada (ANEEL, 2019) apenas micro e minigeração, em que, em sua maioria, a fonte de produção é a geração fotovoltaica (FV). No entanto, a inclusão de GDs no sistema de distribuição aumentou a complexidade da operação, do controle e da proteção da rede.

Uma das soluções para gerenciar esse sistema de maior complexidade são as microrredes (MRs), entidades conectadas à rede de distribuição com capacidade de operação *on-grid* e/ou em *backup* para atender a um grupo de cargas prioritárias (CARNEIRO, 2017). Complementando esse gerenciamento, se faz necessário um sistema supervisorio que permita monitorar, controlar e fornecer dados de operação de uma microrrede.

Sistemas supervisorios, também denominados de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* – do inglês, supervisão, controle e aquisição de dados), são muito utilizados na automação de indústrias, principalmente as de grande porte. Um sistema SCADA permite a aquisição de dados do processo produtivo e, em conjunto com outros equipamentos de

automação, como os controladores lógicos programáveis (CLP), a realização do controle e tomada de decisão.

Sistemas supervisórios também são usados em subestações de médio e grande portes. Através do SCADA, o operador do sistema elétrico pode saber quando, por exemplo, um transformador está em sobrecarga ou um elemento do sistema elétrico está fora de serviço em função da atuação da proteção ou de serviços de manutenção. Dessa forma, o SCADA permite uma rápida identificação e solução do problema, fator essencial para a confiabilidade da rede elétrica. Sistemas de automação composto de sistemas SCADA e de funções inteligentes centralizadas e/ou distribuídas são necessários para lidar com a complexidade da operação dos sistemas de distribuição com GDs e MRs.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento, implantação e integração de um SCADA comercial em uma MR universitária instalada no Laboratório de Redes Inteligentes (LabREI), no Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), localizado no campus do Pici Prof. Prisco Bezerra, da Universidade Federal do Ceará (UFC) em Fortaleza - CE. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Realizar a comunicação de todos os componentes da MR com o SCADA;
- Programar o controlador lógico programável (CLP) para monitorar entradas e atuar saídas e o dispositivo de interface homem-máquina (IHM) para visualizar os estados dos subsistemas da MR;
- Desenvolver um SCADA para monitorar os subsistemas da MR e permitir o acionamento da mesma conforme a necessidade;
- Criar um banco de dados (BD) para armazenar e visualizar as informações de operação da MR;
- Realizar testes para avaliar o funcionamento do supervisório.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi dividido em 7 capítulos. O capítulo 1 apresenta uma breve introdução da motivação do uso do supervisório e dos objetivos específicos da dissertação.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica com a apresentação do panorama das MRs no Brasil e no mundo, além da introdução aos sistemas supervisórios, apresentando seu funcionamento e uma breve introdução sobre os bancos de dados.

O capítulo 3 apresenta a MR utilizada neste trabalho, descrevendo com detalhes seus subsistemas, funcionamento e comandos.

O capítulo 4 apresenta os softwares que foram utilizados neste trabalho: o SoMachine, para programação do CLP da MR, o Elipse Power (EP), para criação do supervisório, e o SQL Server Express 2017, para criação do BD.

O capítulo 5 detalha o desenvolvimento de todo o supervisório, desde a programação do CLP, a criação do SCADA e do BD da microrrede.

O capítulo 6 mostra os resultados do desenvolvimento, mostrando o supervisório e suas principais funcionalidades em operação.

O capítulo 7 apresenta as conclusões deste trabalho, além de sugerir trabalhos que podem melhorar a MR e o supervisório desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

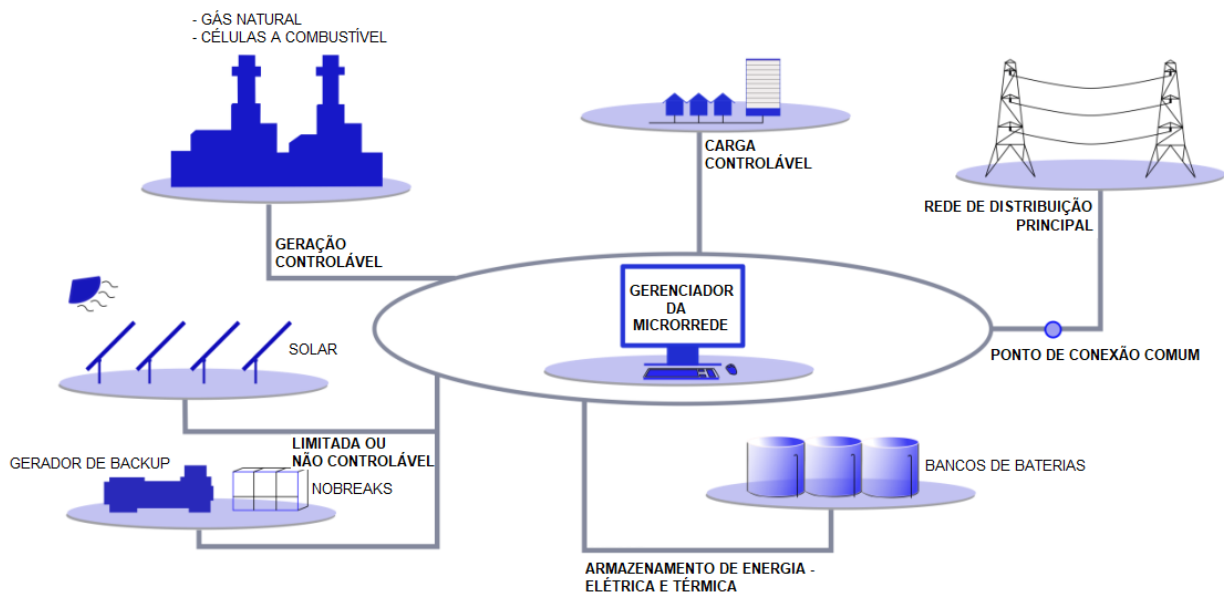
2.1 Microrredes

Microrredes podem ser definidas como um conjunto de recursos energéticos distribuídos (REDs) projetados para atender cargas, com fronteiras elétricas claramente definidas, e que atuam como uma única entidade controlável em relação à rede elétrica principal. As MRs podem ser projetadas para operar conectadas à rede hospedeira, em *backup* à rede hospedeira e/ou isolada da rede hospedeira (OLIVEIRA, 2017).

Em décadas anteriores, as MRs elétricas foram utilizadas como parte de programas de eletrificação rural em locais remotos, principalmente nos países em desenvolvimento. Com os avanços tecnológicos mais recentes, as MRs têm evoluído, permitindo integrar-se à rede elétrica, inovando o setor de distribuição de energia elétrica (BELLIDO, 2018).

Uma MR é semelhante ao um pequeno sistema elétrico, constituída por fontes renováveis e não renováveis, sistemas de armazenamento, cargas controláveis e sistema de controle, comando e proteção. Dessa forma, uma MR pode congrega diversas tecnologias de geração distribuída de pequeno porte, bem como sistemas armazenadores de energia, todos integrados, por meio de um sistema de comunicação, a um software que permite controlar e gerenciar a oferta e a demanda de energia (ALMADA, 2013). Na Figura 1 é apresentada um esquema em alto nível de um MR.

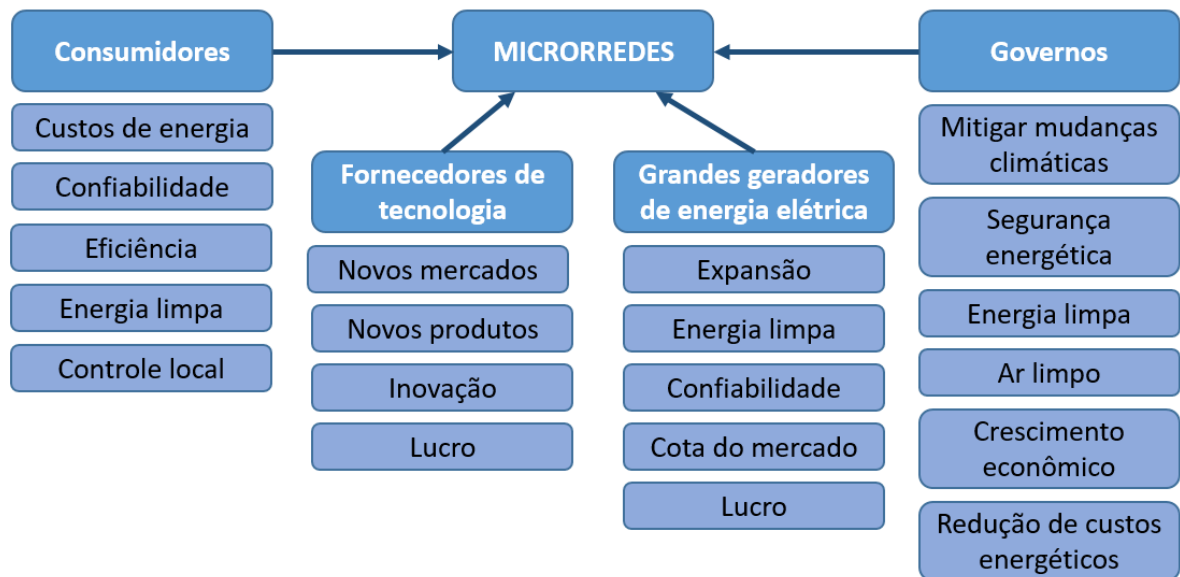
Figura 1 - Esquema de uma MR



Fonte: Adaptada de SCOTT, 2016.

Conforme é possível observar na Figura 2, motivações existentes para promover o crescimento da geração distribuída e das MRs estão presentes em pelo menos quatro grupos simpatizantes (ROMANKIEWICZ, *et. al.*, 2014), com muitas linhas de interesse em comum. Os consumidores estão mais focados na redução dos custos de energia, no aumento da confiabilidade do suprimento e no uso eficiente dos recursos energéticos disponíveis. Além disso, podem personalizar a MR segundo suas necessidades e sua capacidade de investimento, e ainda ter gerência sobre os recursos energéticos distribuídos e a carga. Os fornecedores de tecnologia buscam novas formas de negócio e prestação de serviços, oferecendo novos produtos. Os grandes geradores de energia elétrica se preocupam com a expansão do mercado enquanto atende às exigências e demandas crescentes de confiabilidade e sustentabilidade. Ambos, fornecedores de tecnologia e indústria elétrica, são orientados pelo lucro. Os governos procuram atuar nos aspectos climatológicos e de sustentabilidade sem perder de vista a segurança energética.

Figura 2 - Principais motivações para o uso de MRs



Fonte: Adaptada de ROMANKIEWICZ, *et. al.*, 2014.

Do ponto de vista técnico, as MRs apresentam várias vantagens, como a redução de perdas no alimentador da rede de distribuição, reforço na confiabilidade do suprimento de energia, promoção de alívio no carregamento dos condutores da rede de distribuição, resposta à necessidade de aumento imediato de geração mantendo a qualidade de atendimento e aumento da estabilidade do sistema.

No entanto, a despeito da modernidade tecnológica e das vantagens até então citadas, as MRs ainda trazem muitos desafios a serem superados, tais como: o alto custo de desenvolvimento, dificuldades técnicas em controlar um grande número de microfones, falta de padronização e monopolização do mercado (não há definição sobre a regulação do preço da tarifa durante a operação isolada da MR) (CARNEIRO, 2017).

2.1.1 Configurações de MRs

Uma MR é caracterizada por ser uma entidade controlável, ou seja, possui um gerenciamento que permite a operação coerente das fontes, do armazenamento e das cargas. Dessa forma, a ausência desse gerenciamento implica apenas na percepção de recursos operando individualmente, sem formar uma MR.

Dentre suas principais características funcionais e operacionais estão: a geração de energia para atender a demanda do consumidor; o gerenciamento de energia, para manter seus requisitos mínimos de geração e balanço carga-geração; a característica *plug-and-play*, para que seja possível se conectar ou desconectar-se da rede principal, além de ser capaz de inserir qualquer novo recurso sem nenhum impedimento; e a funcionalidade ponto-a-ponto, que permite à MR continuar ativa mesmo com a perda de qualquer equipamento (BELLIDO, 2018).

As MRs podem operar isoladamente (*off-grid*) ou conectadas à rede de distribuição principal (*on-grid*). Quando operam de forma não isolada, as MRs podem fornecer energia para a rede de distribuição, quando a geração for maior que a demandada pela carga, ou podem receber energia da rede, quando a geração não consegue suprir a potência demandada pelas cargas da MR. No caso de uma falta de energia ou de outro evento que cause interrupção no fornecimento da rede de distribuição, a MR se isola da rede principal (ilhamento intencional), operando no modo *backup*, de modo que os recursos energéticos da MR supram a demanda de um determinado grupo de cargas. Após o restabelecimento da energia, a MR se reconecta à rede principal, passando a operar novamente conectada à rede.

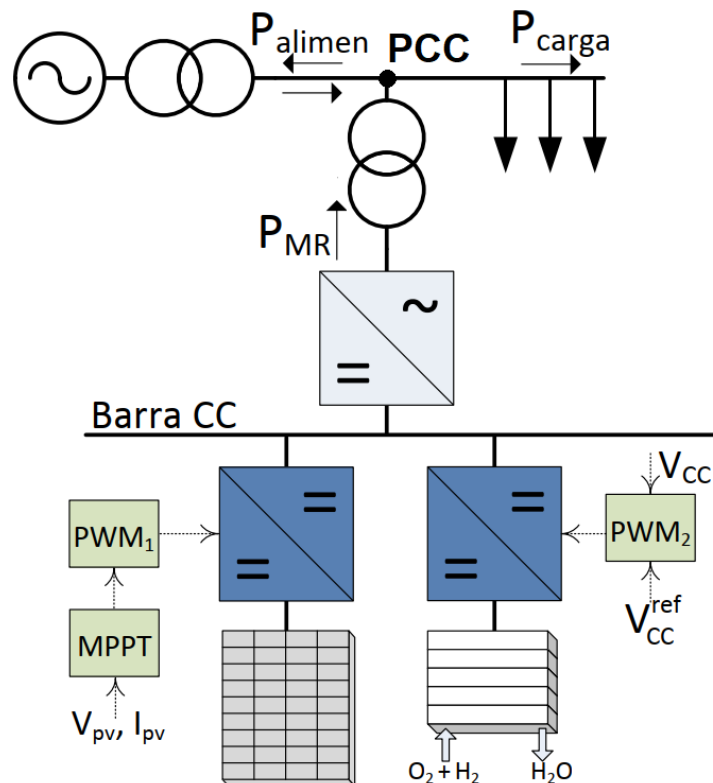
Existem concepções de topologias para integrar MRs às redes de distribuição, cada uma com as respectivas tecnologias de conversores eletrônicos necessários para seu funcionamento adequado. A principal diferença entre essas topologias está no barramento ao qual as cargas, fontes e sistemas de armazenamento estão conectados. Existem MRs com barramentos em corrente contínua (CC), corrente alternada (CA) ou mesmo ambos os tipos de barramento. Esta última topologia garante maior flexibilidade às cargas, mas exige maior complexidade no controle (ALMADA, 2013).

2.1.2 Barramento CC

Nesta topologia de MRs, não há necessidade de conversores CC-CA para as fontes, sistemas de armazenamento e de elementos da MR, sendo essa sua maior vantagem. No entanto, um conversor no ponto de conexão comum (PCC) ainda se faz necessário, devido à rede de distribuição operar em CA. Além disso, as cargas que possuem padrão CA de alimentação exigirão a instalação de inversores entre esses equipamentos e a MR, limitando os benefícios da topologia. Para estudar como a integração de MRs em barramento CC à rede de distribuição pode ser realizada, três topologias são apresentadas.

Na primeira topologia (KHANH, et al., 2010), mostrada na Figura 3, a geração é realizada por módulos FV e células a combustível (CaC). Ambas as fontes se conectam por uma mesma barra CC. Existe um conversor CC-CA no PCC da MR com a rede de distribuição. As cargas da MR são atendidas após o PCC, devido à sua alimentação ser em CA. Em seu funcionamento *on-grid*, o excesso de geração é transferido para a rede de distribuição. Como a CaC é uma fonte despachável (ou seja, gera energia independente das condições climáticas locais), a topologia não utiliza sistema de armazenamento.

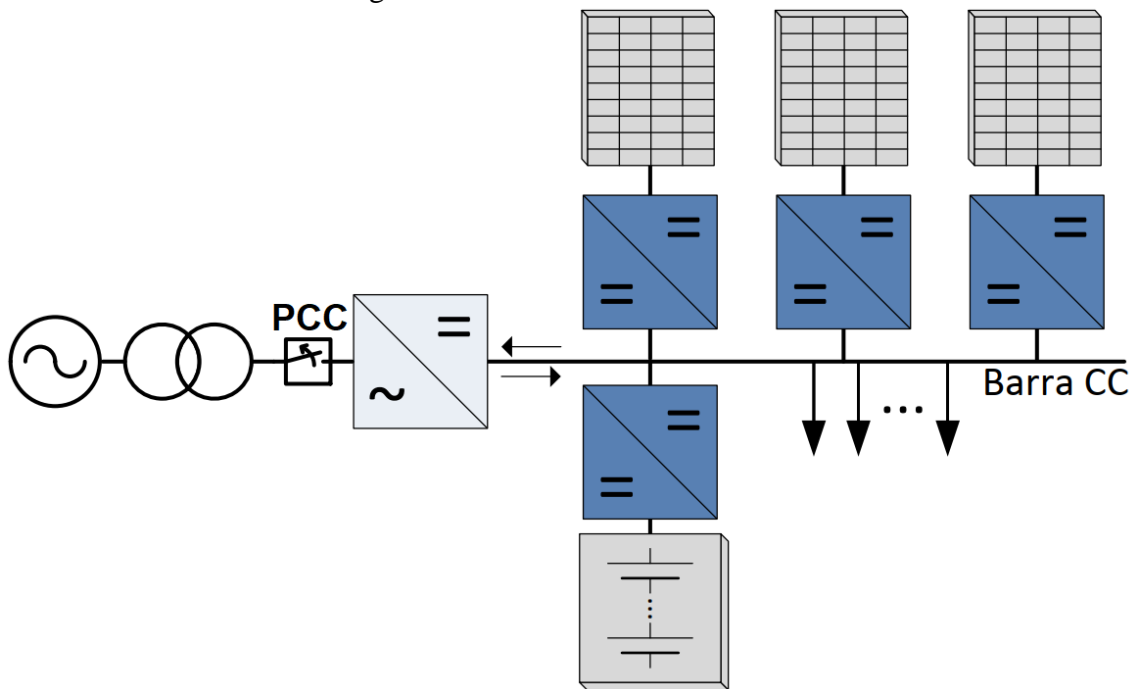
Figura 3 - MR com barramento CC



Fonte: Adaptada de KHANH, et al., 2010.

Na segunda topologia (ZHANG, et al., 2011), mostrada na Figura 4, a geração é composta de módulos FV e o sistema de armazenamento por banco de baterias. No funcionamento on-grid, o excedente de energia gerada é exportado para a rede; caso a geração não consiga suprir as cargas, a MR importa energia da rede. Em modo *off-grid*, o sistema de armazenamento é responsável por manter o nível de tensão do barramento CC e, prioritariamente, manter o controle das fontes FV (não despacháveis) e secundariamente alimentar as cargas da MR.

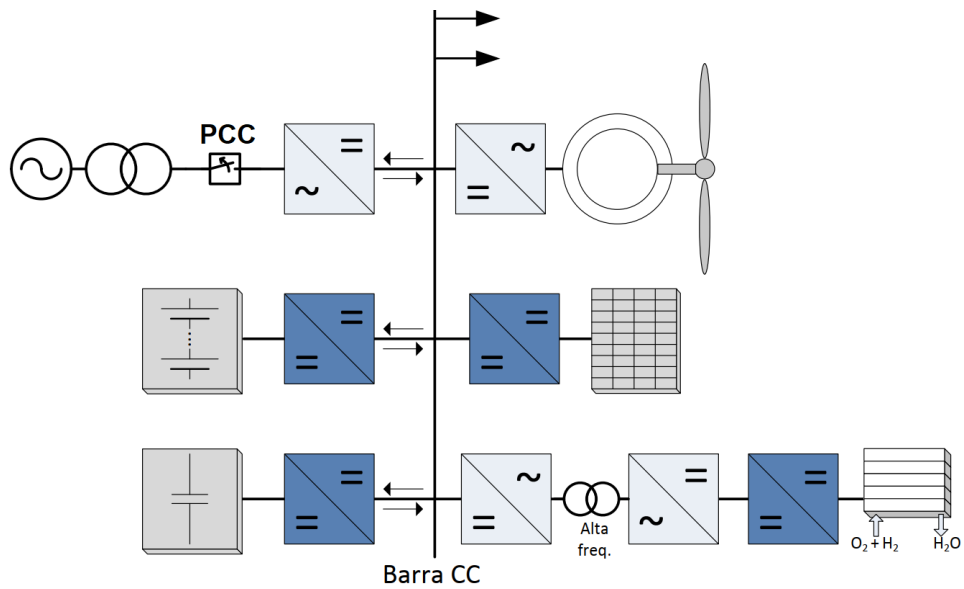
Figura 4 - MR com barramento CC



Fonte: Adaptada de ZHANG, *et. al.*, 2011.

A terceira topologia (LEE, 2010), mostrada na Figura 5 é semelhante à segunda, mas com mais diversificação de fontes e de armazenamento. A geração é realizada por um aerogerador com gerador síncrono, módulos FV e por uma CaC. Possui também dois sistemas de armazenamento, um por super capacitores e outro por baterias. As cargas são diretamente ligadas ao barramento CC. Na operação em modo *on-grid*, quando a geração é maior que a demanda, a energia vai para o sistema de armazenamento ou para a rede (se os super capacitores e as baterias estiverem carregados). Quando a geração é menor, a rede de distribuição ou o sistema de armazenamento supre a energia demandada pelas cargas. Na operação em modo isolado, a energização da MR passa a ser realizada pelo sistema de armazenamento ou pela CaC. Os super capacitores regulam a energia durante o transitório, enquanto as baterias suprem as cargas durante o regime permanente.

Figura 5 - MR em Barramento CC

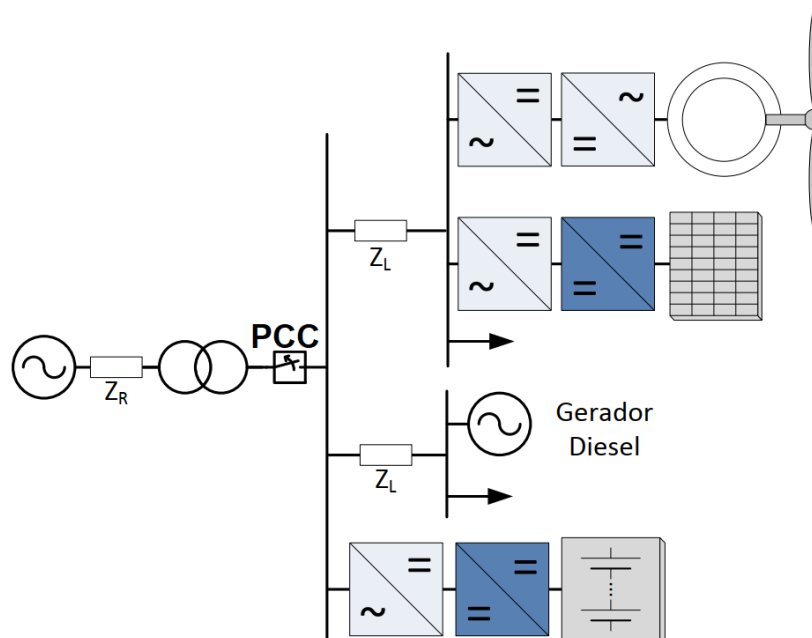


Fonte: Adaptada de LEE, *et al.*, 2010.

2.1.3 Barramento CA

Uma topologia de MR com barramento CA é apresentada, sendo mostrada na Figura 6 (JEON, *et al.*, 2010). Possui geração eólica, FV e por gerador a diesel, e a MR pode operar no modo *on-grid* e *off-grid*. O controle de carga e descarga das baterias é realizado por um inversor formador de rede. Ao operar no modo isolado, o atendimento às cargas pode ser realizado por esse inversor ou pelo gerador a diesel, dependendo da disponibilidade dos recursos para geração.

Figura 6 - MR em Barramento CA



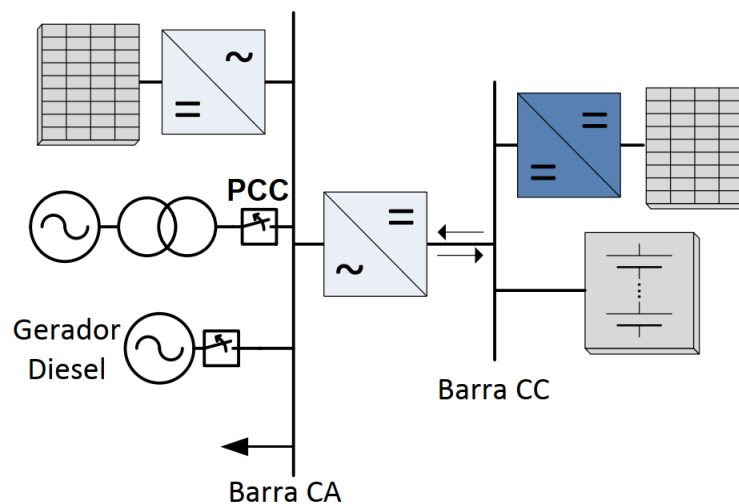
Fonte: Adaptada de JEON, *et al.*, 2010.

2.1.4 Barramento CC e CA

Topologias deste tipo possuem um conversor CC-CA que realiza a conexão de, no mínimo, duas fontes primárias CC a um barramento CA. Além disso, possuem pelo menos mais um gerador conectado ao barramento CA, seja utilizando conversor independente ou não (acoplado diretamente ao barramento CA). MRs com esses dois barramentos permitem arranjos de cargas mais flexíveis. Duas topologias deste tipo são apresentadas a seguir.

A primeira, mostrada na Figura 7, possui duas fontes FV, uma conectada em cada barra, e uma geração a diesel que se conecta no barramento CA (SERBAN, 2010). As duas barras são conectadas através de um conversor híbrido CC-CA. Nessa topologia, o conversor opera como fonte de tensão quando está em modo ilhado, e faz controle de tensão e frequência através da conversão, transferindo energia do lado CC para o lado CA. O conversor pode atuar também como fonte de corrente quando o sistema está conectado à rede ou ao gerador a diesel, para garantir a energia do conjunto da barra CC que é transferida para as cargas na barra CA. Esse mesmo conversor pode atuar ainda como retificador quando carrega as baterias.

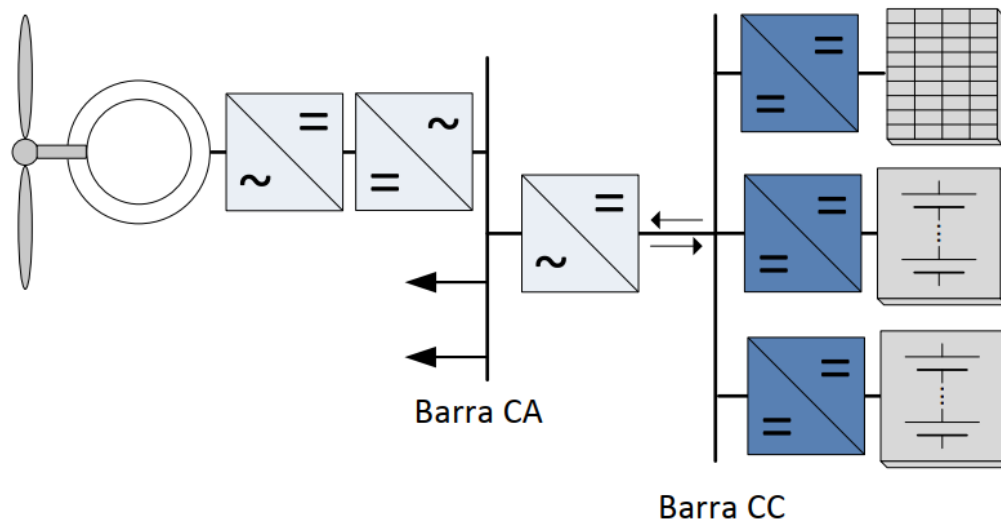
Figura 7 - Barramento CC e CA



Fonte: Adaptada de SERBAN, 2010.

A segunda topologia, mostrada na Figura 8, foi projetada como uma opção para redes isoladas, em locais onde a construção de um alimentador para fornecimento de energia é inviável (ZHANG, *et al.*, 2012).

Figura 8 - MR com barramento CA



Fonte: Adaptada de ZHANG, *et. al.*, 2012.

2.1.5 Panorama das MRs

Existem várias MRs em funcionamento no mundo operando para suprir energia ou no nível de pesquisa, em laboratórios, ou em projetos pilotos. Scott (2016) detalha MRs em operação para verificar suas funcionalidades e vantagens quando operando em conjunto com a rede de distribuição, e três delas são apresentadas neste trabalho.

A universidade de *Tohoko Fukishi*, localizada em Sendai, no Japão, possui uma das mais conhecidas MRs comerciais no mundo, sendo apresentada na Figura 9, cujo esquemático é mostrado na Figura 10. Iniciou sua operação em 2004, funcionando apenas como demonstração até 2008, e desde então opera conectada à rede de distribuição (HIROSE, *et al.*, 2013). Possui 950 kW de geração, divididos entre CaC (200 kW), turbinas a gás (700 kW) e módulos FV (50 kW). A MR atende um laboratório (classe A), duas enfermarias (Classes B1 e B3) e um hospital (classe C) dentro do campus da universidade. Esta MR foi projetada com confiabilidade (garantindo a segurança do suprimento durante distúrbios da rede principal) e resiliência (garantindo o suprimento durante faltas de energia da rede principal), a fim de prover maior qualidade de energia para as cargas críticas atendidas por ela.

A MR de Sendai teve papel fundamental durante o terremoto e o conseqüente tsunami que atingiu o Japão em 2011, quando a rede elétrica principal foi severamente danificada e o fornecimento de energia foi totalmente interrompido. A MR operou em modo ilhado, e sua

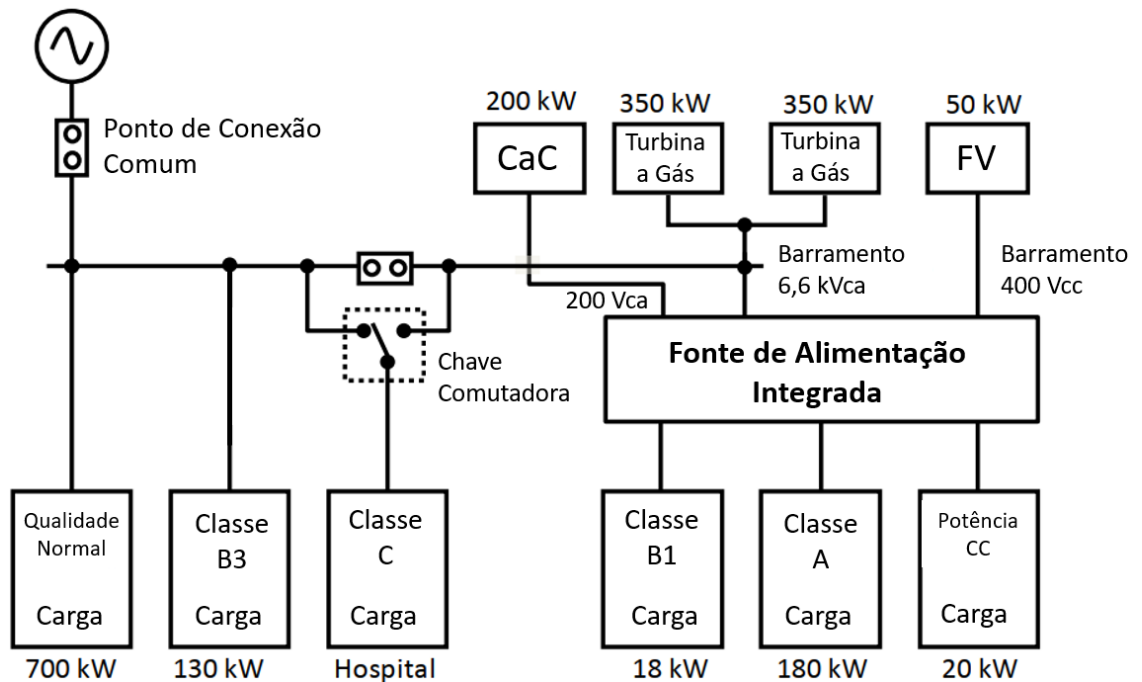
geração atendeu as cargas críticas da MR (o campus e o hospital) por dois dias, até que o fornecimento de energia da rede principal fosse restabelecido.

Figura 9 - MR de *Tohoku Fukushi*, Japão



Fonte: HIROSE, *et al.*, 2013.

Figura 10 - Esquemático da MR de *Tohoku Fukushi*



Fonte: Adaptada de HIROSE, *et al.*, 2013.

A MR da prisão de Santa Rita, nos Estados Unidos, apresentada na Figura 11 e cujo esquemático é mostrado na Figura 12, é outra rede comercial em operação. Desde 2012, ela opera com uma geração de 1,2 MW de módulos FV, 1 MW de CaC, 12,5 kW de turbinas eólicas e 2,4 MW de geradores a diesel para emergência. O sistema de armazenamento é formado por baterias de íon-lítio de 2 MW – 4 MWh. A carga demandada pela prisão tem pico de aproximadamente 3 MW.

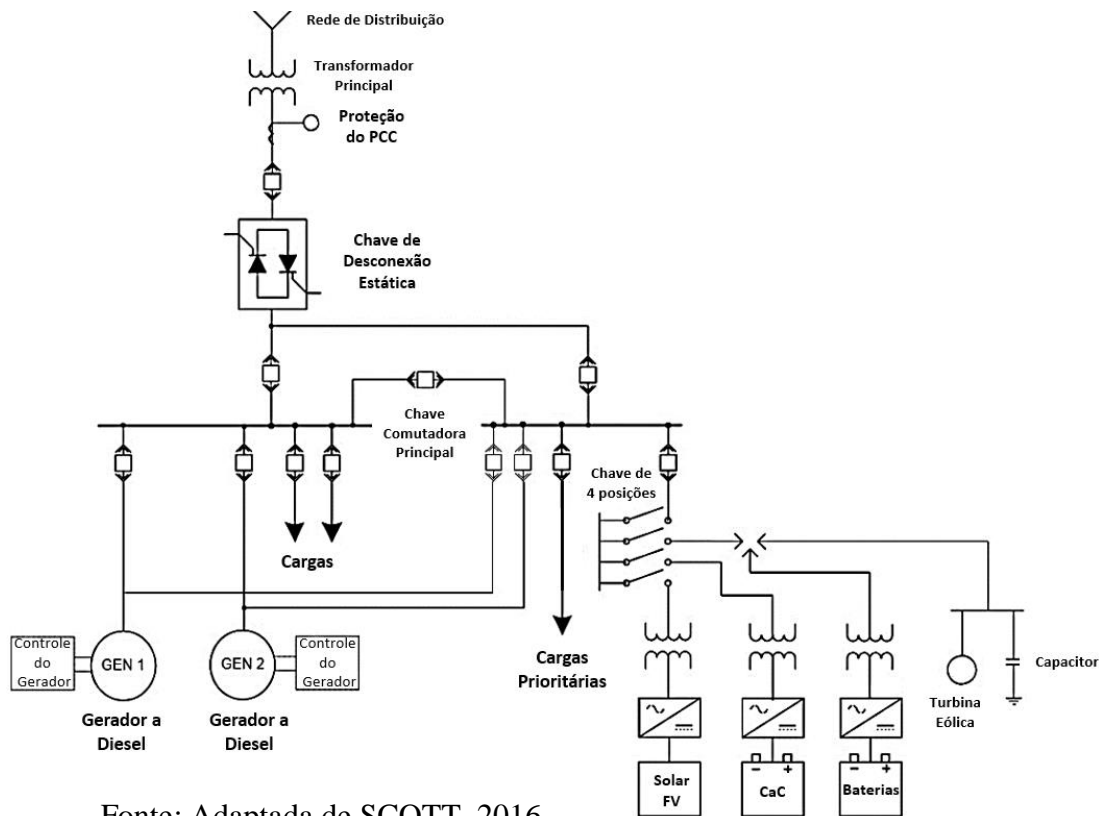
Na unidade prisional, foram instaladas uma série de recursos de geração com o objetivo de reduzir a importação de energia da prisão junto à rede de distribuição. A MR, neste local, auxilia em dois aspectos: ajuda a reduzir a demanda de energia da rede de distribuição, e conseqüentemente o custo total, além de melhorar a segurança do fornecimento à prisão.

Figura 11 - MR da prisão de Santa Rita, nos Estados Unidos, com destaque para os módulos FV instalados (à esquerda) e a planta de CaC (à direita)



Fonte: SCOTT, 2016.

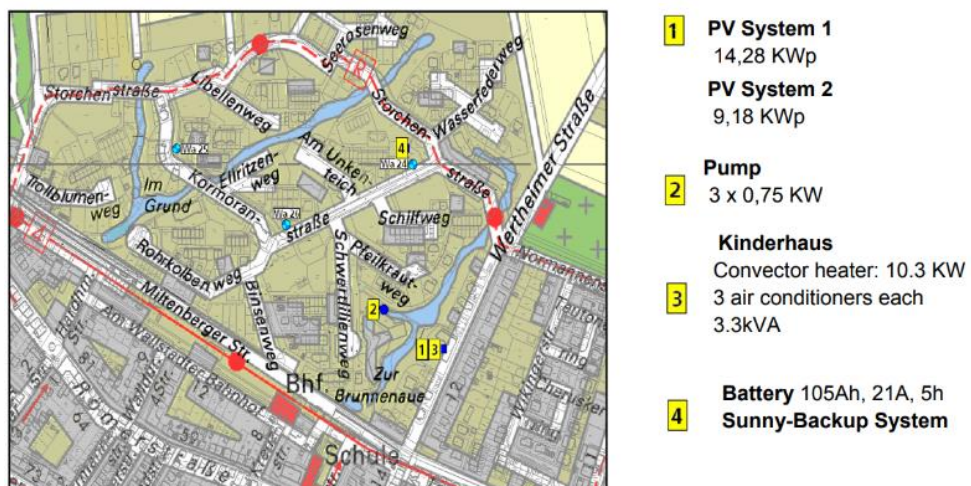
Figura 12 - Esquemático da MR da prisão de Santa Rita



Fonte: Adaptada de SCOTT, 2016.

A MR de *Mannheim-Wallstadt*, na Alemanha, é um projeto residencial de teste, operando desde 2006, sendo apresentada na Figura 13. A geração da MR inclui vários sistemas FV privados (total de 23,5 kW), 4,7 kW de CaC e duas turbinas de ciclo combinado de 14,5 kW. O sistema de armazenamento é realizado por baterias de 105 Ah, dimensionadas para suprir 10 kW de cargas por uma hora. Essa MR atende 580 residências e 1200 habitantes estão envolvidos no projeto.

Figura 13 - Mapa de Mannheim-Wallstadt, na Alemanha



Fonte: KHATTABI, 2009.

O principal objetivo do projeto foi desenvolver uma MR capaz de alternar rápido e suavemente do modo conectado para o modo ilhado, além de permitir o teste de outras operações e inovações. Além dos aspectos técnicos, uma função fundamental é testar e desenvolver atitudes dos consumidores em relação às MRs. Um exemplo desse envolvimento dos consumidores com a MR é observado quando, em 2006, foi desenvolvida a iniciativa “*Washing with the sun*” (lavando com o sol). Durante um mês, habitantes foram selecionados e orientados a mudar o uso de máquinas de lavar e secar para períodos que coincidem com o pico de geração. O objetivo da iniciativa foi avaliar a habilidade dos habitantes em se adaptarem à estratégia de gerenciamento da demanda. Os resultados da iniciativa se mostraram bem sucedidos. Outra medida foi a instalação de um painel, apresentado na Figura 14, que mostra, em tempo real, a quantidade de energia elétrica gerada pelos módulos FV. A explanação intuitiva ressalta a importância dos sistemas FV aos habitantes envolvidos no projeto.

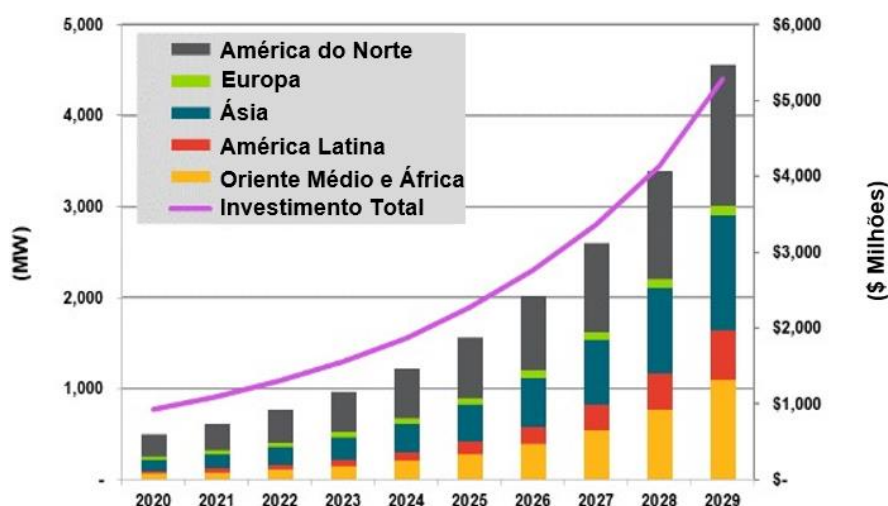
Figura 14 - Painel de visualização da MR de Mannheim-Wallstadt, Alemanha



Fonte: KHATTABI, 2009.

Um novo tipo de MR que possui grande potencial no mercado são as MRs modulares, que se diferem das convencionais por serem adquiridas já pré-montadas, e permitem aumentar sua capacidade instalando outros módulos, como peças de encaixe. Essas MRs são mais vantajosas pelo fato de já possuírem os principais componentes de *hardware* pré-configurados e procedimentos de implantação simplificados, reduzindo a necessidade de engenharia no local durante a instalação (MICROGRID KNOWLEDGE, 2019). A Navigant Research (2019) elaborou uma projeção de crescimento desse mercado, mostrado na Figura 15, entre os anos de 2020 e 2029, chegando ao patamar de US\$ 5 bilhões em 2029.

Figura 15 - Projeção de investimento na capacidade das MRs modulares 2020-2029



Fonte: Adaptada de Navigant Research, 2019.

2.2 Sistemas Supervisórios

Sistemas supervisórios, ou simplesmente SCADA, são softwares destinados a monitorar e rastrear informações de um processo produtivo, de um sistema elétrico, ou de uma instalação física qualquer. Essas informações são obtidas por sensores, cujos dados são manipulados, comparados, analisados, podendo haver atuação de comando como resultado da análise, armazenados e apresentados ao usuário quando solicitados.

Os primeiros SCADA eram telemétricos e permitiam informar o estado atual do processo industrial de forma periódica através de painéis de lâmpadas e indicadores. Os sistemas de automação mais modernos utilizam tecnologias para automatizar o monitoramento e o controle dos processos industriais, coletando dados em ambientes complexos e apresentando-os de modo amigável para o operador (COELHO, 2010).

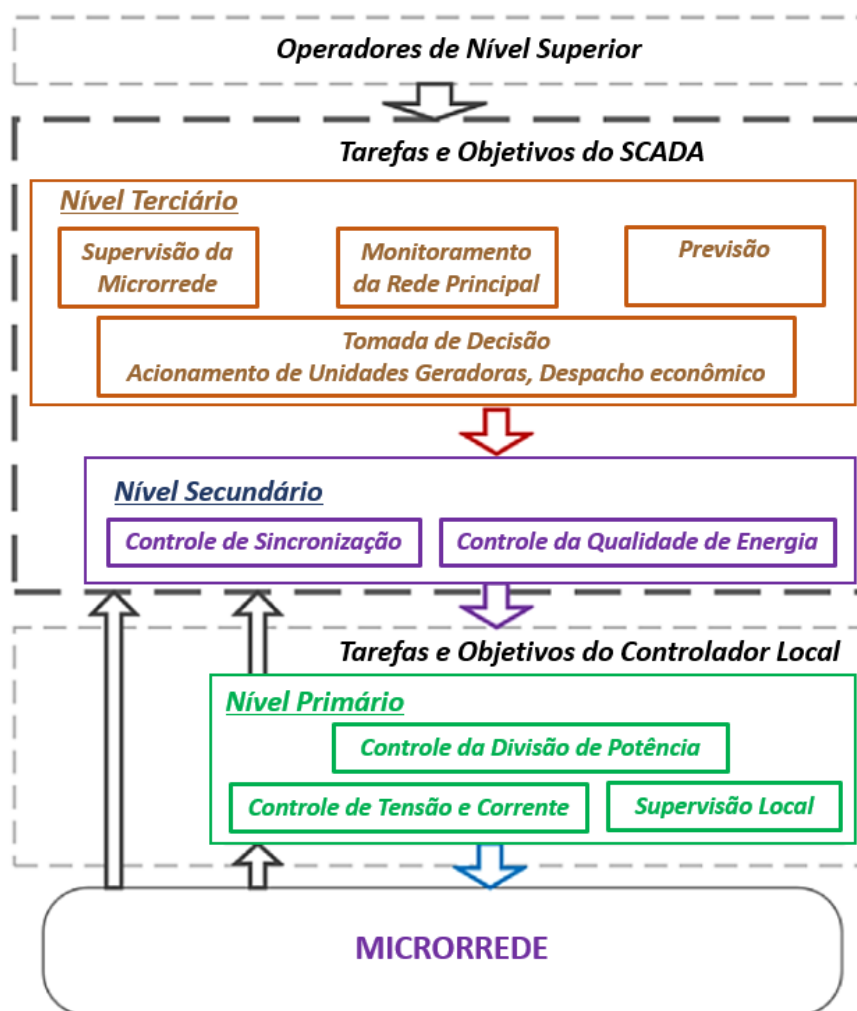
Segundo Mott (2012), os supervisórios possuem como principais vantagens:

- Apresentação de análise de tendências, de forma a facilitar a tomada de ações proativas para maximização da produção, através do histórico das informações armazenadas em bancos de dados (BDs);
- Presença de alarmes que sinalizam falhas no processo em tempo real, registrando-as no BD para futuras consultas;
- Possibilidade de intervenção manual e automática do processo a partir da sala de controle;
- Capacidade de Gerar relatórios e gráficos a partir dos alarmes e das tendências.

2.2.1 Hierarquia das MRs

O gerenciamento de uma MR é um sistema complexo de controle multiobjetivo, que lida com questões de diferentes áreas técnicas, escalas de tempo e níveis físicos. As principais áreas de interesse incluem compartilhamento de potência da carga, regulação de tensão, frequência e qualidade da potência e participação no mercado. Para lidar com essas questões adequadamente, um esquema de controle hierárquico, apresentado na Figura 16, é amplamente aceito como uma solução para gerenciamento eficiente de uma MR (MENG, *et al.*, 2016).

Figura 16 - Controle hierárquico de uma MR



Fonte: Adaptada de MENG, *et al.*, 2016.

Esse controle compreende três níveis. No nível 1, ou primário, corresponde ao controle local dos níveis de tensão, corrente e potência de cada RED da MR. Controladores de nível superior fornecem as referências para os valores dos parâmetros de controle.

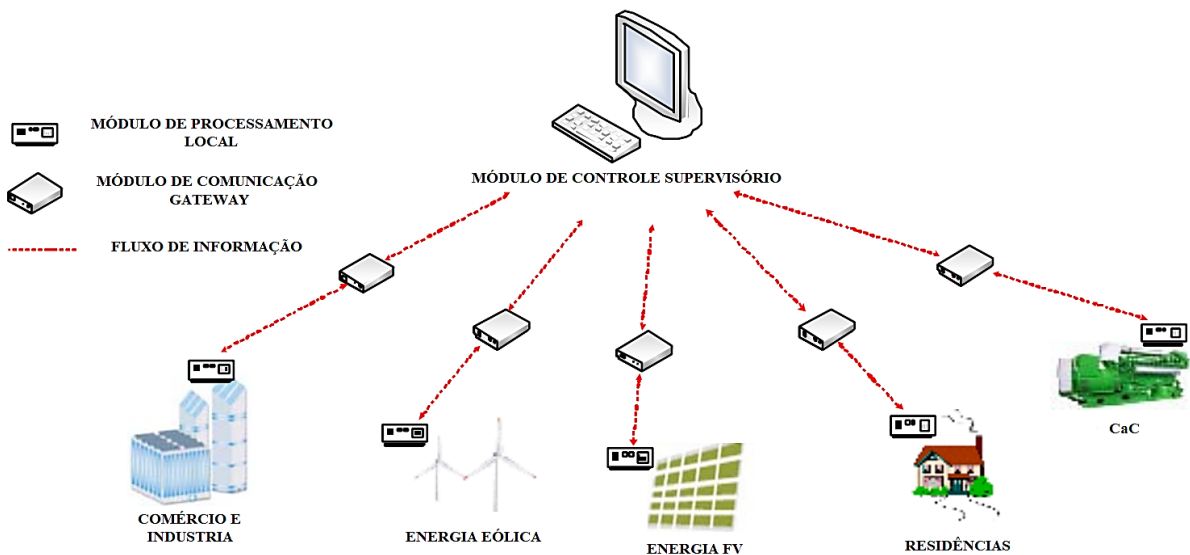
O nível hierárquico 2, ou secundário, realiza a restauração da frequência e da tensão, além de realizar a sincronização, detecção de ilhamento e conexão/desconexão da MR da rede elétrica principal.

No nível 3, ou terciário, é realizado o gerenciamento da troca de energia com a rede principal ou com outras MRs, com o objetivo de otimizar a operação da MR a partir de méritos de interesses, principalmente econômicos e de eficiência. Para o gerenciamento, é essencial conhecer a MR, a rede de distribuição à qual ela está conectada e MRs circunvizinhas. Nesta camada é onde são executadas as funções de supervisão, controle e aquisição de dados, ou simplesmente SCADA (MENG, *et al.*, 2016).

2.2.2 Sistemas supervisórios e as MRs

Uma arquitetura de SCADA para uma MR é mostrado na Figura 17, e é dividido em três partes. A primeira parte é formada pelos módulos de processamento locais, responsáveis por coletar os dados de operação da geração distribuída, dos sistemas de armazenamento e das cargas e controla os dispositivos correspondentes. O módulo de comunicação *gateway* realiza a troca de informações entre os módulos locais e o módulo de controle do SCADA. Por fim, o módulo de controle do sistema supervisório é responsável pela análise avançada da MR e pela complexa tomada de decisões para gerar os controles correspondentes à operação do sistema (CHEN, *et al.*, 2013).

Figura 17 - Arquitetura do sistema SCADA de uma MR



Fonte: Adaptada de CHEN, *et al.*, 2013.

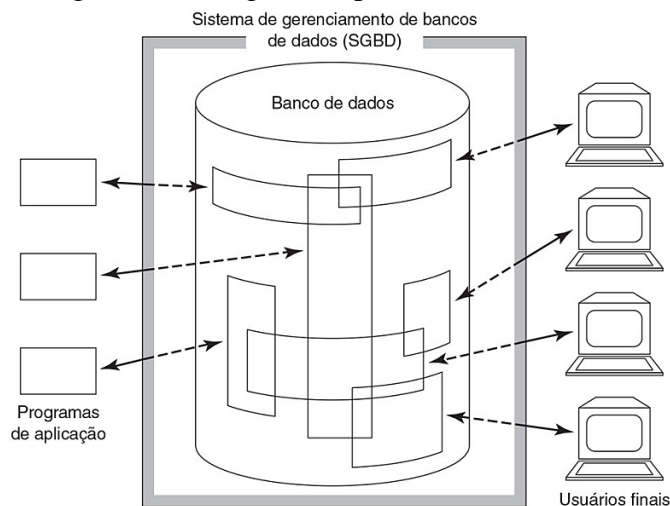
Para o desenvolvimento de um SCADA adequado e eficaz para uma MR, alguns aspectos necessitam ser observados:

- Devem ser instalados equipamentos com contatos auxiliares para monitorar a mudança de estado dos componentes da MR e da rede de distribuição;
- Instalar equipamentos de comando e manobra (atuadores, mais comumente relés e contadores) e controladores que serão auxiliados por sensores e por esses atuadores;
- Disponibilizar mapas de registradores dos equipamentos a serem monitorados e comandados (cujas informações geralmente é obtida com os fabricantes);
- Recomenda-se que todos os equipamentos da MR possuam portas de comunicação padronizadas e mais atuais (Ethernet/ fibra óptica) e que possam ser integradas através de um mesmo protocolo. Caso isso não seja possível devido à especificidade de um equipamento, deve-se utilizar conversores de protocolo para permitir essa integração.

2.3 Bancos de dados (BD)

Um BD é um sistema computacional com a finalidade geral de armazenar informações e permitir que usuários busquem e atualizem essas informações quando necessário (DATE, 2003). *Softwares* que possuem recursos que podem manipular as informações dos BDs e interagir com o usuário são chamados de sistemas de gerenciamento de bases de dados (SGBD), apresentado na Figura 18. Esses sistemas possuem controle de informações mais eficientes, otimizam as consultas, possuem suporte à rede e grande capacidade de armazenamento.

Figura 18 - Imagem simplificada de um SGBD



Fonte: DATE, 2004.

Um SGBD envolve quatro componentes maiores: dados, *hardware*, *software* e usuários. Os dados são as informações registradas dentro de um BD. De modo geral, os dados de um BD estão integrados e compartilhados. Um banco é integrado quando ele pode ser imaginado como a união de diversos arquivos que, de outra forma, seriam distintos. O BD se torna compartilhado quando as partes individuais de dados podem ser compartilhadas entre diversos usuários diferentes. O *hardware* é formado pelas memórias secundárias onde residem os BDs (discos rígidos, dispositivos de estado sólido – *solid state drive* ou SSD – etc.), em conjunto a outros dispositivos associados, unidades de controle etc. Os *softwares*, ou SGBDs, é a camada de interface entre o BD físico e o usuário, e todas as solicitações dos usuários para acessar o BD são manipuladas pelo SGBD. Usuários de BDs são divididos em 3 classes: o programador de aplicações, que escreve os programas de aplicação que utilizam os BDs, o usuário final, que acessa os dados armazenados no BD, e o administrador do banco de dados, responsável por manter e atualizar o BD (DATE, 2003).

Existem comercialmente vários SGBDs para atender as necessidades da aplicação do desenvolvedor. Neste trabalho são apresentados três SGBDs: Access, Oracle e SQL Server, pelo fato destes serem compatíveis com o software supervisor utilizado neste trabalho.

O Access é a plataforma de banco de dados do pacote Office. Ele é usualmente preferido por desenvolvedores de pequenas aplicações que não exigem muito esforço de *hardware*. Ele é rápido em pequenos BDs e possui configuração simples, além de ser preparado para ser executado em computadores que operam utilizando o Windows. No entanto, o arquivo de dados cresce muito rapidamente, e tem compatibilidade limitada (LIBERATO, 2014). Este software não possui versão gratuita, sendo necessário adquirir uma licença para uso.

O Oracle é a principal plataforma de banco de dados utilizada comercialmente. Trabalha em grande velocidade para grandes bancos de dados e possui grande robustez, segurança, confiabilidade e grande capacidade de expansão do sistema. No entanto, todas essas funcionalidades exigem um bom *hardware* para executar o *software*, e suas versões completas possuem custos muito elevados. Além disso, a administração de um BD em Oracle exige especialização técnica (ELIPSE KNOWLEDGEBASE, 2020). Este software possui uma versão gratuita, chamado Oracle Database 18c Express Edition, que permite até 12 GB de armazenamento de dados.

O Microsoft SQL server foi criado como complemento ao Windows NT. As versões do software se tornaram mais seguras a partir de 2008, aumentando sua confiabilidade com menor tempo e custo de desenvolvimento. Possui excelente desempenho e estabilidade e suporta BDs de grande porte. No entanto, não tem recursos contra falhas de desligamento durante a

atualização dos dados, além de não executar *backup* consistente com a base de dados operando. O mesmo possui uma versão gratuita, chamado SQL Server Express, que permite armazenamento de até 10 GB de dados (LIBERATO, 2014).

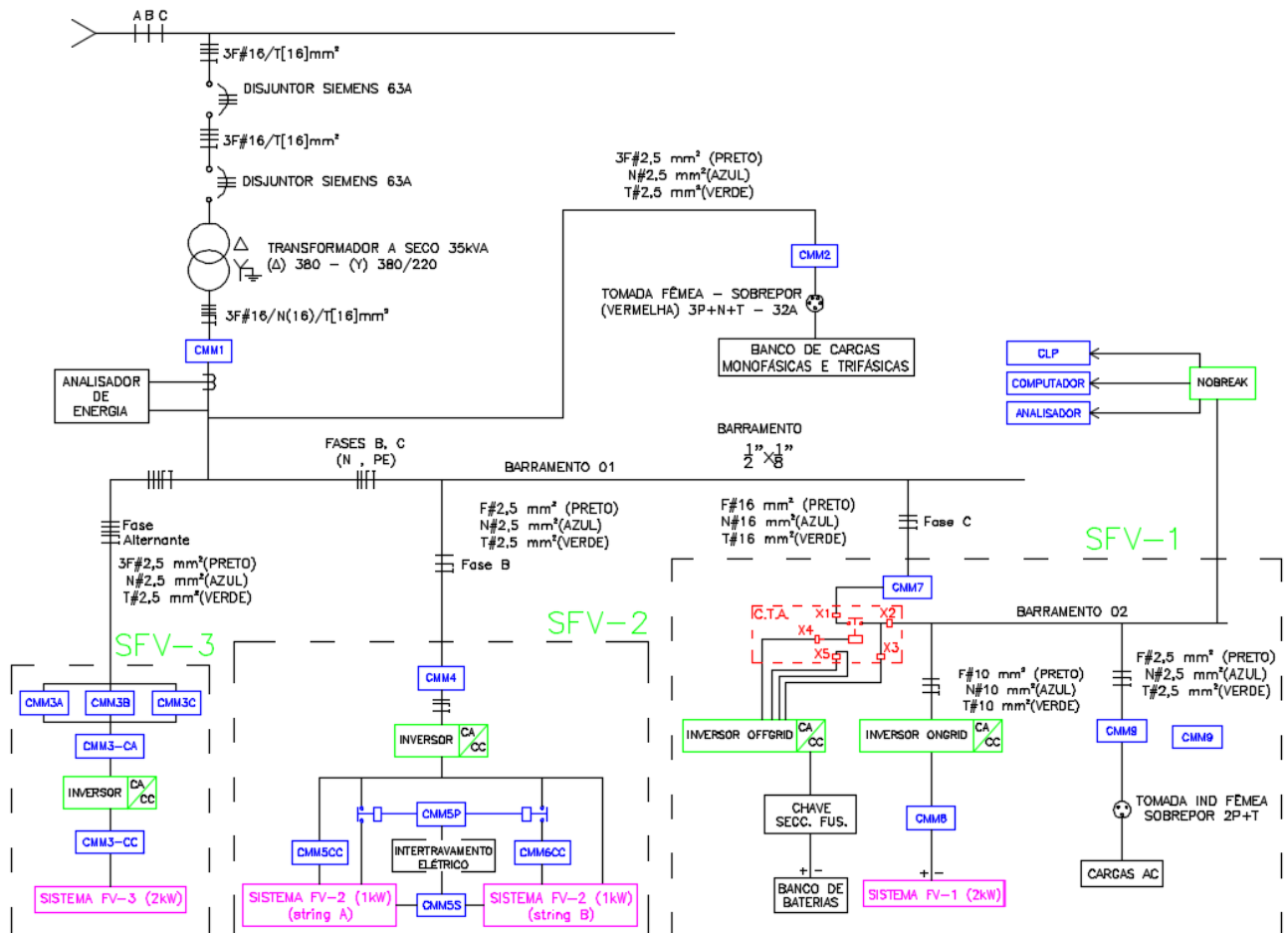
2.4 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentadas as principais configurações de operação das MRs, mostrando algumas das principais MRs em operação em diferentes partes do mundo, as quais constataam disseminação dessa concepção e das tecnologias envolvidas. Adicionalmente, foram apresentadas definição, vantagens, funcionamento e os principais componentes de um supervisor eficiente. Finalmente, foram discutidas as definições e apresentadas as plataformas de BDs compatíveis como o software utilizado para desenvolvimento do supervisor neste trabalho.

3 A MICRORREDE DO CAMPUS DO PICI

A MR do Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes – LabREI é composta de 30 módulos FVs para geração de 7,8 kWp, divididos em três subsistemas monofásicos de 2,6 kWp cada. Também possui um sistema de armazenamento com 4 baterias de 200 A.h cada, bancos de resistores, sendo um trifásico de 6 kW e outro monofásico de 2 kW, usados como carga para testes da MR, e um sistema supervisorório, como mostrado no esquema unifilar da MR, na Figura 19 e no anexo A.

Figura 19 - Esquema Unifilar da MR do LabREI



Fonte: Adaptada de CARNEIRO, 2017.

Pela Figura 19, é possível verificar os três subsistemas que forma a MR do LabREI. A geração de cada uma é formada por 10 módulos FVs, sendo um conectado por dois inversores SMA (um *on-grid* e outro *off-grid*) e os outros dois conectado por um inversor *on-grid* cada (de fabricantes Fronius e Renesola).

Cada subsistema possui uma característica própria de operação, que será descrita neste capítulo. Essas características distintas foram projetadas com o objetivo de estudar diferentes formas de operação, tornando a MR mais flexível e didática.

No LabREI está o centro de operação da MR, sendo possível a operação local, realizada através de botoeiras no quadro (QD) QD Geral – Microrrede, bem como remotamente, neste último caso através do SCADA desenvolvido.

Todos os componentes da MR dentro do LabREI são apresentados na Figura 20: os inversores – SMA *on-grid* (a), SMA *off-grid* (b), Fronius (c) e Renesola (d), o QD Geral – Microrrede (e), os bancos trifásico (f) e monofásico (g) e o computador do SCADA LabREI (h).

Figura 20 - Visão geral do centro de operação da MR



Fonte: Própria do autor.

3.1 Componentes de geração e Armazenamento

Os módulos FVs são de silício policristalino, de 260 W cada, com 2,6 kW de potência nominal por fase, visando atender uma carga de 2 kW em cada subsistema da MR. Os módulos estão instalados sobre telhado em amianto, em uma estrutura metálica com inclinação de 15° com vistas a facilitar a drenagem de água da chuva e evitar acúmulo de particulado, além de atender aos critérios de garantia do fabricante, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Disposição dos módulos



Fonte: CARNEIRO, 2017.

Os inversores de cada sistema monofásico para operação *on-grid* são mostrados na Figura 22, de fabricação SMA modelo Sunny Boy 3000TL-21 (SB), Fronius modelo Galvo 2.0.1 e Renesola modelo Replus 2000TL. Todos os inversores apresentam as proteções mínimas exigidas pelas normas vigentes para esses equipamentos, que são sincronismo (25), sobre/sub frequência (81), sobretensão (59), subtensão (27) e anti-ilhamento.

Figura 22 - Inversores on-grid da MR do LabREI



(a) SMA-Sunny boy

(b) Fronius Galvo

(c) Renesola Replus

Fonte: CARNEIRO, 2017.

Para operação no modo *off-grid*, o inversor formador de rede de fabricação SMA, modelo Sunny Island 3.0M-11 (SI) (Figura 23), é responsável por detectar a condição de falta de tensão na rede externa e comandar o desligamento do sistema FV da rede hospedeira para operação *off-grid*. O diagrama unifilar de conexão deste componente se encontra no anexo B. Quando a rede principal é restaurada, o inversor formador de rede faz o sincronismo do sistema FV para retorno à conexão *on-grid*. Durante o modo isolado, o SI tem como fonte o sistema de baterias que fornece referência de tensão e frequência para operação em modo isolado (processo chamado de formação de rede de backup). A formação dessa rede dura aproximadamente 20 segundos. Com a rede formada, o inversor SB encontra condições para voltar a gerar energia a partir dos módulos FVs, suprindo a carga prioritária do sistema *off-grid* e fornecendo também energia ao inversor SI no processo de recarga das baterias, quando houver capacidade de produção acima da demanda. Caso a energia gerada não seja suficiente para atender toda a demanda, o SI fornece o complemento necessário ao atendimento.

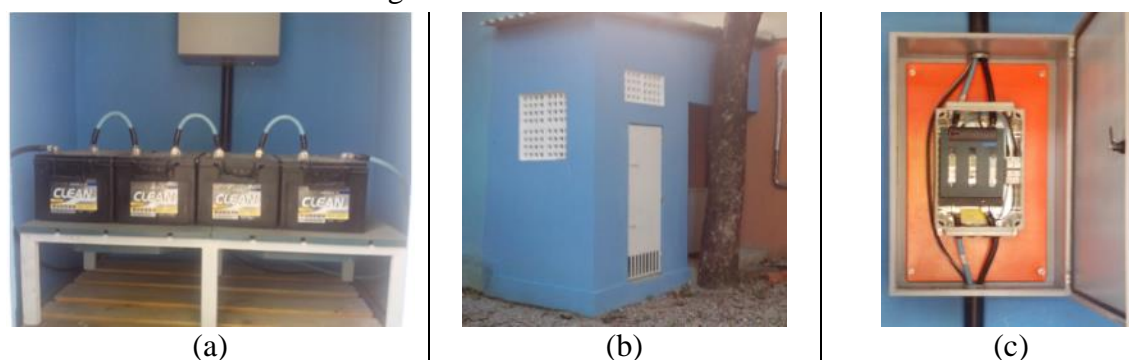
Figura 23 - Inversor off-grid SMA Sunny Island 3.0M-11



Fonte: CARNEIRO, 2017.

O banco de baterias da MR é formado por quatro baterias do tipo chumbo-ácido, conectadas em série (Figura 24 (a)), dimensionado para atender 2 kW de cargas prioritárias por 3 horas. As baterias estão instaladas em uma pequena sala anexo ao LabREI, com telhado formado por telhas de fibrocimento de perfil ondulado e aberturas para melhor ventilação do ambiente das baterias (Figura 24 (b)). Uma chave seccionadora fusível protege o banco de baterias (Figura 24 (c)).

Figura 24 - Banco de baterias da MR



Fonte: CARNEIRO, 2017.

3.2 Centro de Operação da Microrrede

O centro de operação da microrrede (COMR) é o local físico onde estão todos os elementos de proteção, manobra e comando dos subsistemas fotovoltaicos da MR. O COMR é formado por um quadro elétrico de distribuição, nomeado QD Geral – Microrrede, no qual é possível realizar a operação manual da MR. Com o desenvolvimento do supervisor, o COMR passou a contar com um computador *desktop* com tela para visualização do SCADA que permite o gerenciamento da MR.

O QD Geral – Microrrede pode ser dividido em duas seções. Na primeira seção, estão os equipamentos de proteção e manobra da MR (disjuntores e contadores). Também é nesta seção onde é realizada a operação manual da MR, através de botoeiras de comando instaladas na porta do quadro, conforme mostrado na Figura 25.

Cada botoeira aciona um conjunto de componentes (contadores) de acordo com a sua função. Cada conjunto foi nomeado de chave de monitoramento e manobra (CMM), sendo responsável por realizar o acionamento dos subsistemas da MR. Os elementos que formam cada uma dessas CMMs são apresentados nos diagramas dos anexos C ao L:

- CMM1 – Acionamento geral da MR;
- CMM2 e CMM9 – Acionamento geral dos bancos resistivos trifásico e monofásico, respectivamente;
- CMM3A, CMM3B, CMM3C, CMM3-CA e CMM3-CC: Acionamento e manobra do Subsistema FV 3 (SFV-3);
- CMM4, CMM5S, CMM5P, CMM5CC e CMM6CC: Acionamento e manobra do Subsistema FV 2 (SFV-2);
- CMM7 e CMM8: Acionamento e manobra do Subsistema FV 1 (SFV-1).

Figura 25 - QD Geral - Microrrede: equipamentos de proteção e manobra



Fonte: Própria do autor.

Nesta seção do quadro, está instalado um analisador de energia, modelo NEXUS 1500, da fabricante *Electro Industries Gaugetech* (EIG), conectado no PCC da MR, como mostra a Figura 26. O equipamento é responsável pela aquisição dos dados de qualidade de energia entrando ou saindo da microrrede. Dentre suas principais funções, estão o monitoramento em tempo real, análise e registro da qualidade de energia, registro de transitórios e possibilidade de uso para monitoramento e atuação de chaves de manobra.

Figura 26 - Analisador de energia da MR



Fonte: Própria do autor.

O analisador possui uma interface gráfica com muitos recursos de monitoramento, porém o fabricante também disponibiliza um *software*, no qual podem ser realizadas, dentre outras funções, a configuração do equipamento, a coleta e a visualização do histórico de grandezas e visualização em tempo real de formas de onda de tensão e corrente. A comunicação entre dispositivo e computador pode ser realizada via porta USB (entrada serial) ou Ethernet, entradas nativas do analisador. Este modelo pode ser conectado à rede através dos protocolos Modbus RTU, Modbus TCP e DNP3.

Ao lado do CLP, o analisador de energia é um componente importante no desenvolvimento do SCADA para a MR, pois os dados em tempo real coletados pelo equipamento serão utilizados para monitorar o estado atual dos dispositivos de proteção e de manobra da MR.

Na segunda seção do QD Geral – Microrrede, mostrado na Figura 27, se localizam os equipamentos de comando da MR, que incluem o controlador lógico programável (CLP), os relés e interfaces de conexão entre os relés e os contadores.

Figura 27 - QD Geral - Microrrede: equipamentos de comando



Fonte: Própria do autor.

O CLP, apresentado na Figura 28, é o principal componente desta seção, responsável pelo acionamento remoto do comando da MR. O modelo do CLP é TM251MESE, do fabricante Schneider Electric e dispõe de uma porta serial, duas portas Ethernet 1 e uma porta Ethernet 2, todas com conector RJ45, ou uma porta USB-mini. Os protocolos de comunicação suportados pelo CLP são o RS232/ RS485 na comunicação serial e Modbus TCP Client/Server, Slave Modbus TCP, EtherNet/IP Adapter, EtherNet/IP Originator e OPC UA Server na comunicação Ethernet.

Figura 28 - Controlador lógico programável TM251MESE



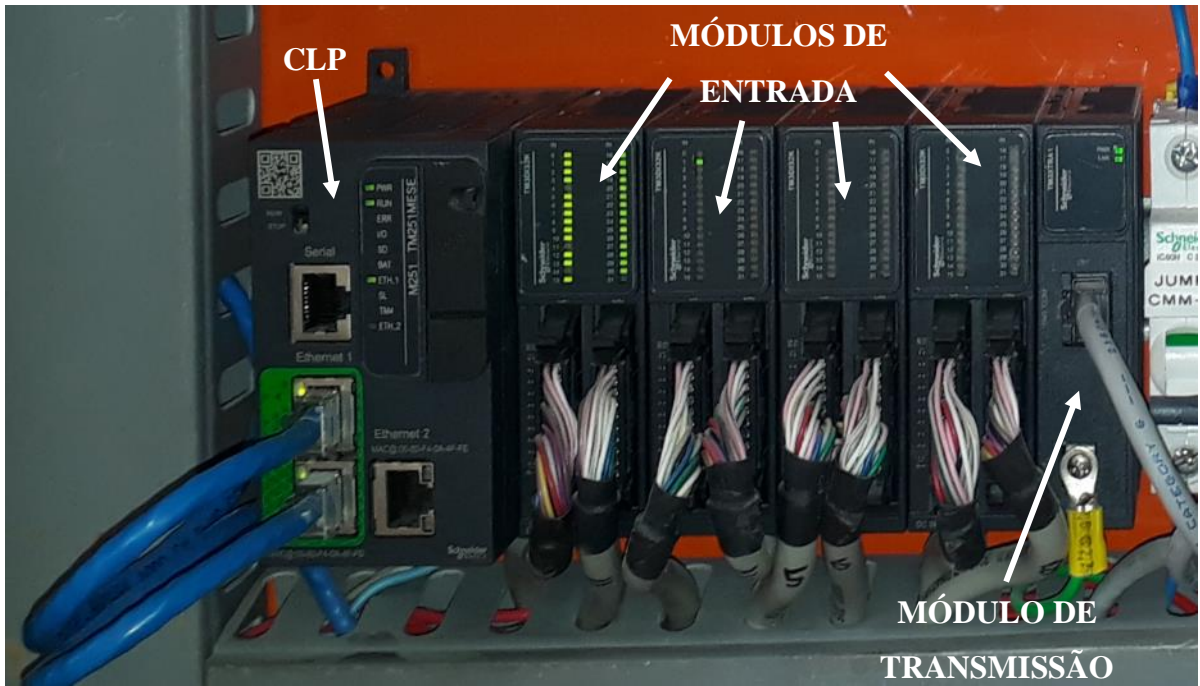
Fonte: Schneider Electric, 2019.

O CLP TM251MESE pode contar com módulos de expansão cujo tipo e número varia de acordo com a necessidade da aplicação. Em particular, o M251 pode conectar no máximo 7 módulos de expansão do tipo TM3 de entrada e/ou saída simultaneamente. Para contornar o uso dessa limitação, faz-se o uso de um módulo de transmissão e outro de recepção. Cada módulo de recepção amplia a capacidade de conexão do CLP em mais 7 módulos de entrada e/ou saída. Para melhor organização da montagem, os módulos de entrada e de transmissão foram conectados diretamente no CLP; os módulos de saída foram conectados no módulo de recepção, e este conectado ao módulo da transmissão, conforme mostram a Figura 29 e a Figura 30. A alimentação do CLP é realizada por uma fonte de 24 V instalado no QD Geral – Microrrede.

Para a MR, foram utilizados 10 módulos de expansão, dos seguintes tipos:

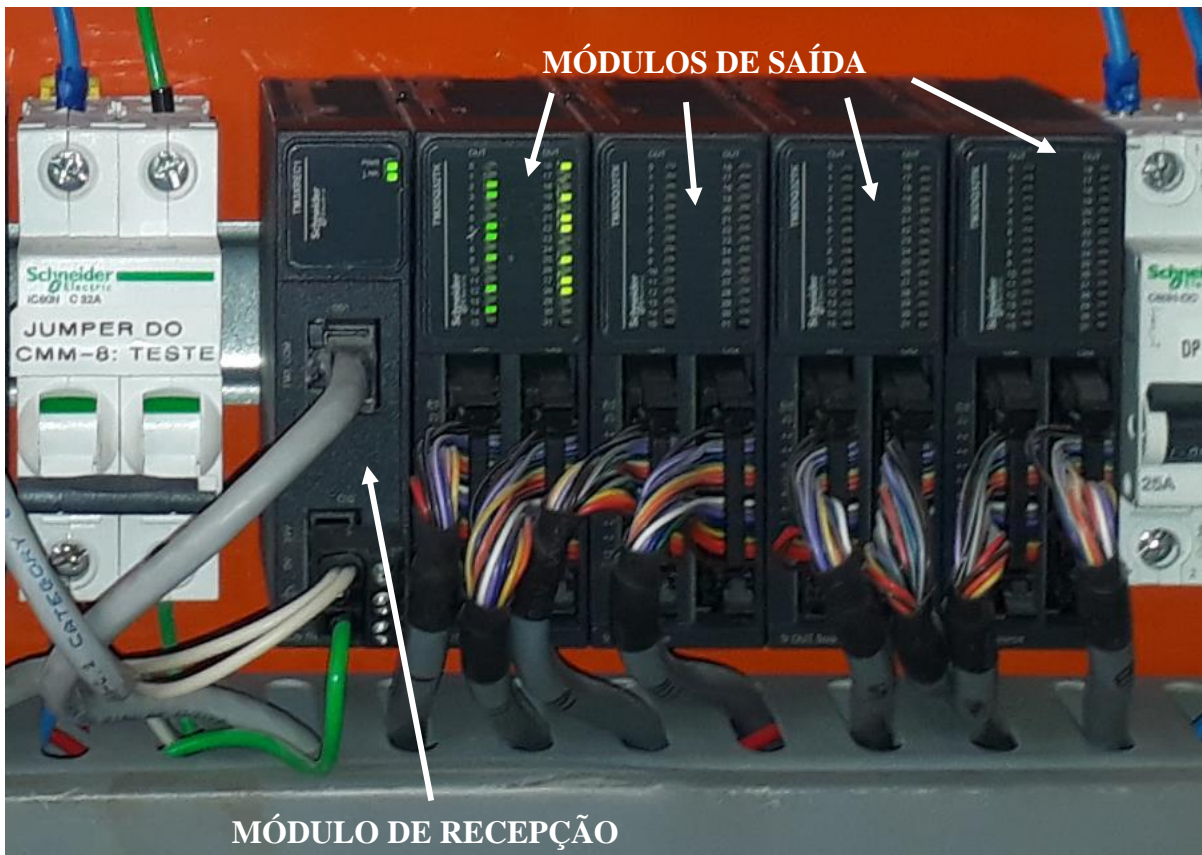
- 4 módulos de expansão com 32 entradas digitais (modelo TM3DI32K);
- 4 módulos de expansão com 32 saídas digitais (modelo TM3DQ32TK);
- Um módulo de expansão para transmissão (modelo TM3XTRA) e outro para recepção de dados (modelo TM3XREC).

Figura 29 - CLP e módulos de expansão (entrada e transmissão)



Fonte: Própria do autor.

Figura 30 - Módulos de expansão (saídas e recepção)



Fonte: Própria do autor.

O CLP da MR possui ainda uma interface IHM (Interface Homem-Máquina), mostrado na Figura 31. O equipamento é uma pequena tela com função *touchscreen*, que permite o acionamento e o monitoramento simples de equipamentos gerenciados pelo CLP. A comunicação da IHM com o CLP também pode ser realizada através do protocolo Modbus TCP.

Figura 31 - Interface IHM do CLP



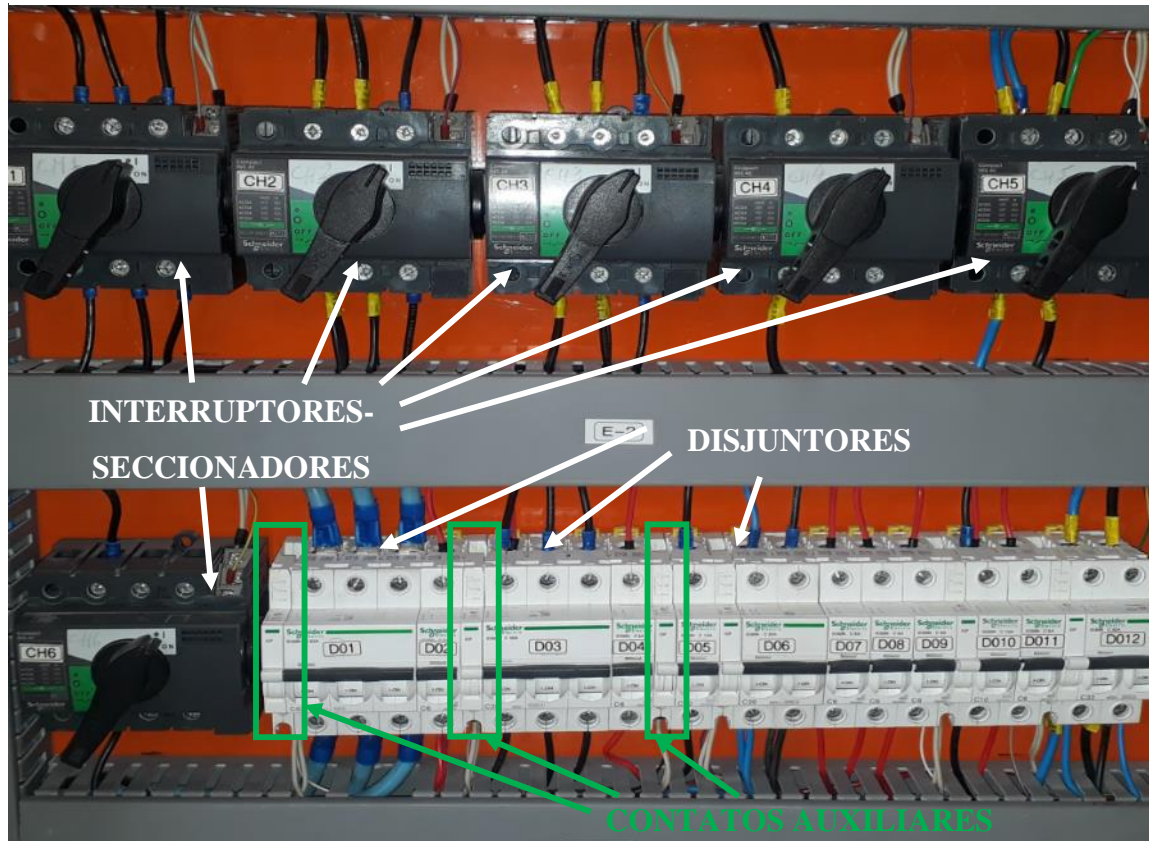
Fonte: Própria do autor.

Os pontos de entrada a serem monitorados pelo CLP são os estados atuais dos principais disjuntores e contadores que acionam os subsistemas da MR. A maioria dos disjuntores monitorados possuem um contato auxiliar externo acoplado à manopla, como mostra a Figura 32. Dessa forma, quando um disjuntor no QD Geral desarma, o contato auxiliar também desarma. Seis disjuntores do quadro são interruptores-seccionadores, os quais possuem um contato auxiliar incorporado à estrutura do dispositivo. Para os contadores, foram utilizados blocos de contatos auxiliares para monitorar o estado atual deles.

Para conexão dos pontos a serem monitorados e controlados pelo CLP foram utilizados cabos de conector HE10, com 32 pinos. As entradas do CLP vão monitorar os estados (ligado ou desligado) atuais dos disjuntores e contadores. Por isso, uma das pontas do cabo com conector HE10 foi cortado, e cada um dos fios foi conectado nos contatos auxiliares dos equipamentos (seguindo o esquema de identificação de pinos das entradas do módulo de expansão, segundo o manual do fabricante).

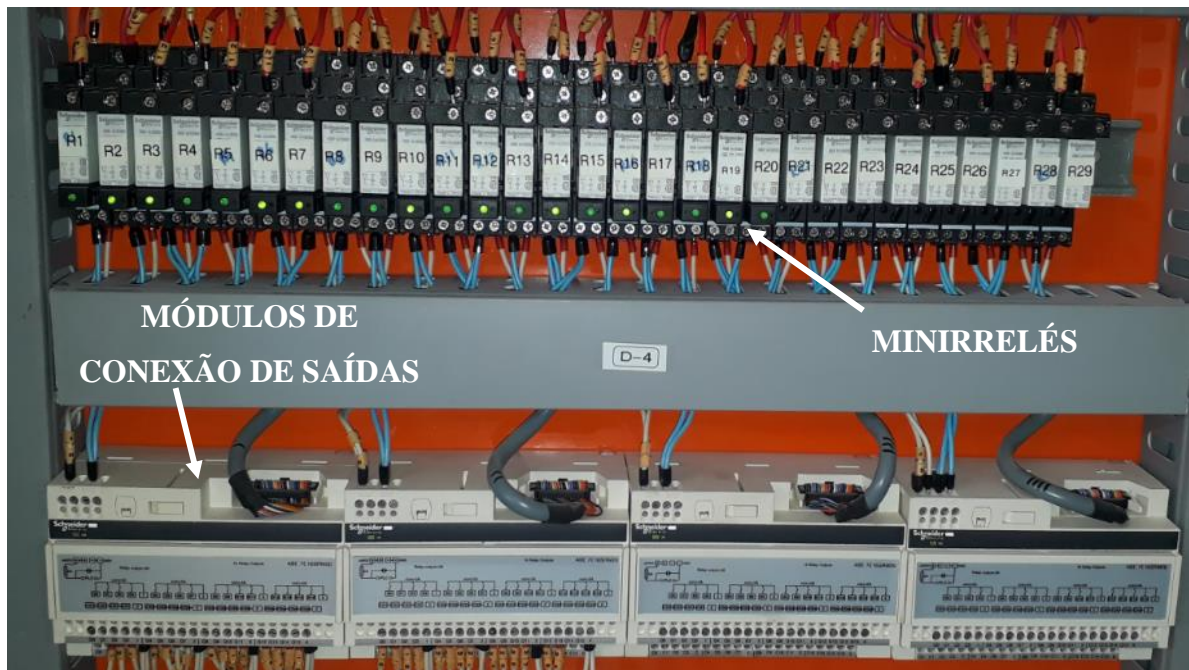
Para que o CLP acione as saídas de acordo com a operação de cada subsistema FV, foram utilizados mini relés para acionamento dos contadores. A conexão entre os mini relés e o CLP foi realizada através de um módulo de interface específico, conforme mostra a Figura 33.

Figura 32 - Disjuntores, contatos auxiliares e interruptores - seccionadores da MR



Fonte: Própria do autor.

Figura 33 - Minirelés e módulos de conexão das saídas do CLP



Fonte: Própria do autor.

Para a realização de testes, o COMR inclui um banco de cargas resistivas trifásico e outro monofásico, mostrados na Figura 34. O banco trifásico é formado por 3 módulos resistivos de 2 kW cada, conectados em estrela, e cada módulo é formado por 10 estágios de 200 W, cada um podendo ser acionado individualmente através de chaves seletoras. Um disjuntor no banco permite a conexão do neutro do centro da conexão estrela com o neutro da rede ou a operação do banco sem neutro.

Figura 34 - Bancos resistivos trifásico (esquerda) e monofásico (direita) – vista frontal, posterior e lateral



Fonte: CARNEIRO, 2017.

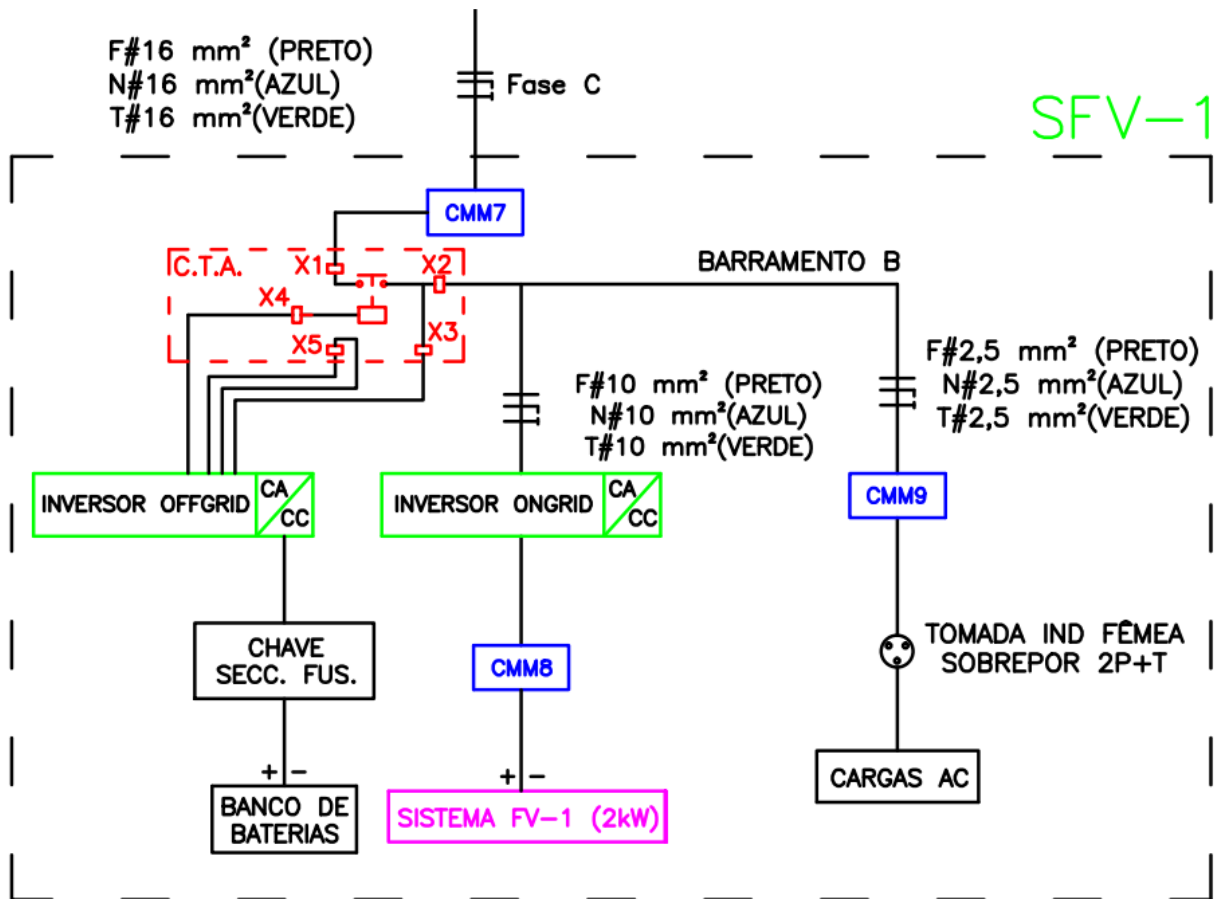
O banco resistivo monofásico é utilizado para simular uma carga prioritária conectada no SFV-1 (que opera *off-grid*). Esse banco tem as mesmas características de um módulo do banco trifásico, isto é, 2 kW formado por 10 estágios de 200 W cada.

3.3 Subsistemas da MR

3.3.1 Subsistema FV 01 (SFV-1)

Este subsistema foi projetado para trabalhar fornecendo energia à rede do Campus e como *backup*, atendendo a cargas prioritárias na ausência de energia da rede hospedeira. Essa operação é realizada através dos inversores da SMA, com o inversor SB utilizado para conexão *on-grid* e o inversor SI utilizado para formar a rede isolada tendo o banco de baterias como fonte para referência de tensão durante a operação *off-grid*. A Figura 35 mostra o esquema unifilar do SFV-1.

Figura 35 - Diagrama unifilar do SFV-1



Fonte: Adaptada de CARNEIRO, 2017.

O SFV-1 está conectado à fase C da rede de distribuição, e, no seu acionamento, estão envolvidos os CMMs 7, 8 e 9. Com a MR energizada (CMM1 acionada), o subsistema está operando no modo *on-grid* quando a CMM7 e a CMM8 estão acionadas. Neste caso, o inversor SB estará fornecendo energia para o banco resistivo monofásico, que é alimentado quando a CMM9 está acionada, ou injetando na rede quando houver excedente. Além disso, nesse modo de operação o SI carrega o banco de baterias quando necessário. No caso de falta de energia, o SFV-1 opera no modo *off-grid* quando a CMM7 estiver aberta (desconectada da rede principal) e a CMM8 acionada. O inversor SI alimentado pelo banco de baterias, juntamente com o inversor SB alimentado pelos módulos FVs passam então a suprir a demanda da carga (o banco monofásico, quando acionado). A chave de transferência automática (CTA) da MR é responsável pela comutação do sistema *on-grid* para *off-grid* em caso de falta de energia.

3.3.2 Subsistema FV 02 (SFV-2)

Este subsistema opera somente no modo *on-grid*, e está conectado à fase B da rede de distribuição e usa o inversor Fronius Galvo 2.0.1, que possui duas entradas para conexão dos módulos FVs, designadas de porta A e porta B. Em cada entrada, está instalado um conjunto (*string*) de cinco módulos FVs em série. Ambos os conjuntos podem ser conectados em série ou em paralelo.

A conexão das *strings* em série tem como objetivo possibilitar a partida do inversor no início da manhã quando a radiação não é suficiente para estabelecer a tensão mínima de operação do inversor (CARNEIRO, 2017). Para isso, existe na MR um programador horário (timer) programado para conectar as *strings* em série no início da manhã. Essa comutação automática para o modo série realizado pelo timer pode ser ativada ou desativada através da mudança de posição de uma chave comutadora na porta do QD Geral – Microrrede. Caso não haja necessidade da comutação automática pelo timer, a chave deve ser posicionada no modo manual. O timer e a chave de comutação automática são apresentados na Figura 36.

Figura 36 - Programador horário (esquerda) e chave de comutação automática (direita)

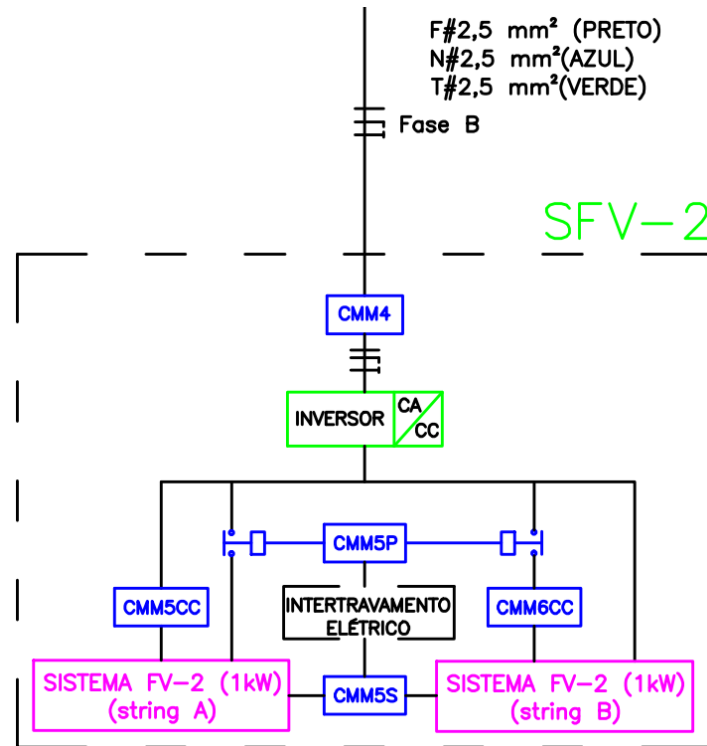


Fonte: Própria do autor.

Cinco CMMs são utilizados para acionamento do SFV-2, e o esquema unifilar desse subsistema é mostrado na Figura 37. A CMM4 é a chave geral do subsistema. As chaves CMM5S e CMM5P são responsáveis por definir o modo de operação, em série ou em paralelo, e a CMM5CC e CMM6CC são as chaves gerais das *strings* A e B, respectivamente. Com o SFV-2 operando (através do acionamento da CMM4), o subsistema estará operando com as *strings* em série quando as chaves CMM5S e CMM5CC estão acionadas. Quando ele opera com apenas uma *string*, duas chaves são acionadas: a CMM5P e a chave geral de uma das *strings* (CMM5CC ou CMM6CC). Quando o subsistema opera em paralelo, as chaves CMM5P,

CMM5CC e CMM6CC estarão acionadas simultaneamente. Como é possível observar pelo diagrama unifilar do SFV-2, as chaves CMM5S e CMM5P possuem intertravamento físico entre elas, evitando acionamento simultâneo das mesmas e, por consequência, danos aos equipamentos da MR.

Figura 37 - Diagrama unifilar do SFV-2



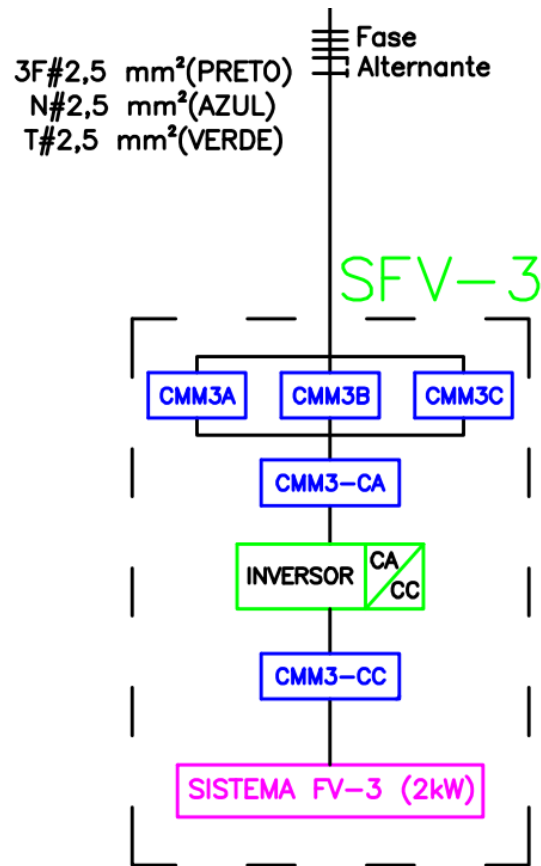
Fonte: Adaptada de CARNEIRO, 2017.

3.3.3 Subsistema FV 03 (SFV-3)

Este subsistema opera no modo *on-grid* usando inversor Replus 2000T, da Renesola. O subsistema SFV-3 foi projetado com a flexibilidade de ser conectado a qualquer uma das fases (A, B ou C) da rede hospedeira, permitindo, pois, a comutação entre fases. O SFV-3 permite ao operador da MR, por exemplo, a compensação do desequilíbrio de carga ao permutar o subsistema para a fase com maior solicitação de energia.

A escolha da fase a qual o SFV-3 deverá ser conectado é realizado pelas chaves CMM3A (fase A), CMM3B (Fase B) e CMM3C (fase C). As três chaves possuem intertravamento físico entre si para evitar curto-circuito por acionamento simultâneo. Após o acionamento da chave da fase onde o subsistema vai se conectar, devem ser acionadas as chaves gerais do lado CA (CMM3CA) e do lado CC (CMM3CC) do inversor. A Figura 38 apresenta o diagrama unifilar do SFV-3.

Figura 38 - Diagrama unifilar do SFV-3



Fonte: CARNEIRO, 2017.

3.4 Pontos de monitoramento e comando da MR

Para que o sistema supervisorio desenvolvido para a MR funcione de forma satisfatória, os estados dos principais componentes da MR e os valores das principais grandezas elétricas precisam ser monitorados. Para isso, foram instalados diversos contatos auxiliares para alguns disjuntores do QD – Geral Microrrede, o analisador de energia e os módulos de expansão do CLP da MR.

O CLP será o responsável por monitorar as entradas e saídas digitais da MR. Pontos digitais apresentam apenas dois estados: aberto ou fechado. Já os valores dos pontos analógicos monitorados serão fornecidos pelo analisador de energia e pelo inversor SI.

A Tabela 1 apresenta todos os pontos digitais que foram utilizados durante o desenvolvimento do sistema supervisorio desenvolvido para a MR do LabREI. Todas as entradas e saídas são monitoradas pelo CLP. Desta tabela, observa-se que os contatores possuem entradas e saídas, ou seja, são monitoradas e podem ser atuadas. No entanto, os disjuntores são apenas monitorados.

Tabela 1 - Entradas e saídas digitais da MR

Equipamento	Tipo de ponto	Elementos Monitorados	Localização
Disjuntor	Entrada	D01	Circuito de força da CMM1 (Anexo C)
		D03	Circuito de força da CMM2 (Anexo D)
		D05 / D06	Circuito de força do SFV-3 (Anexo E)
		D10	Circuito de força da CMM4 (Anexo G)
		D12 / D13	Circuito de força do SFV-2 (Anexo H)
		D15	Circuito de força da CMM7 (Anexo J)
		D17	Circuito de força da CMM8 (Anexo K)
Disjuntor Interruptor Seccionador	Entrada	D19	Circuito de força da CMM9 (Anexo L)
		CH0	Circuito de força da CMM1 (Anexo C)
		CH1	Circuito de força da CMM2 (Anexo D)
		CH2	Circuito de força do SFV-3 (Anexo E)
		CH3	Circuito de força da CMM4 (Anexo G)
		CH4	Circuito de força da CMM7 (Anexo J)
		CH5	Circuito de força da CMM8 (Anexo K)
Contatores	Entrada e Saída	CH6	Circuito de força da CMM9 (Anexo L)
		C1	Circuito da CMM1 (Anexo C)
		C2	Circuito da CMM2 (Anexo D)
		C3 / C4 / C5/ C6 / C7	Circuito do SFV-3 (Anexo E)
		C8	Circuito da CMM4 (Anexo G)
		C9 / C10 / C11 / C12 / C13	Circuito do SFV-2 (Anexo H)
		C14	Circuito da CMM7 (Anexo J)
		C15	Circuito da CMM8 (Anexo K)
C16	Circuito da CMM9 (Anexo L)		
		C17	Circuito da C.T.A (Anexo B)

Fonte: Própria do autor.

A Tabela 2 apresenta todos os pontos analógicos que foram utilizados na criação do sistema supervisório. Todos esses pontos são apenas entradas, ou seja, o SCADA realizará apenas o monitoramento.

As grandezas apresentadas na Tabela 2 foram as utilizadas pelo sistema supervisório desenvolvido neste trabalho, mas trabalhos futuros podem realizar o monitoramento de outras grandezas analógicas fornecidas pelo analisador e pelo inversor.

Tabela 2 - Entradas analógicas da MR

Equipamento	Grandezas Monitoradas
Analisador de Energia	Tensão Monofásica (V), Tensão Trifásica (V), Corrente (A), Potência Ativa (W), Potência Reativa (kvar), Potência Aparente (VA), Fator de potência por fase e Frequência (Hz)
Inversor SI	Nível de Baterias (%)

Fonte: Própria do autor.

3.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou a MR instalada no LabREI, para a qual foi desenvolvido o supervisor, objetivo deste trabalho. Foram apresentados os principais componentes da MR e, principalmente, o funcionamento de cada um dos subsistemas que a compõem, explicando suas principais características e particularidades de operação. Além disso, também foram apresentados os pontos digitais e analógicos que serão monitorados pelo SCADA desenvolvido e que serão utilizados para envio de comandos.

4 SOFTWARES DE DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Para o desenvolvimento do SCADA para a MR do LabREI, foram utilizados dois softwares: SoMachine e Elipse Power (EP). O primeiro foi desenvolvido pela Schneider Electric para programar e comissionar o CLP TM251MESE existente na MR, de fabricação Schneider. O segundo software é uma plataforma de desenvolvimento de sistemas de supervisão para sistemas elétricos, desenvolvido pela Elipse Software. A versão 4.3 do SoMachine foi utilizada para realizar a programação do CLP da MR e a versão 4.6.163 da plataforma EP foi utilizada no desenvolvimento do SCADA da MR.

Também fez parte deste trabalho o desenvolvimento de um banco de dados (BD) dos principais parâmetros coletados pelo SCADA. O BD foi criado utilizando o software SQL Server 2017 Express, da Microsoft.

4.1 SoMachine

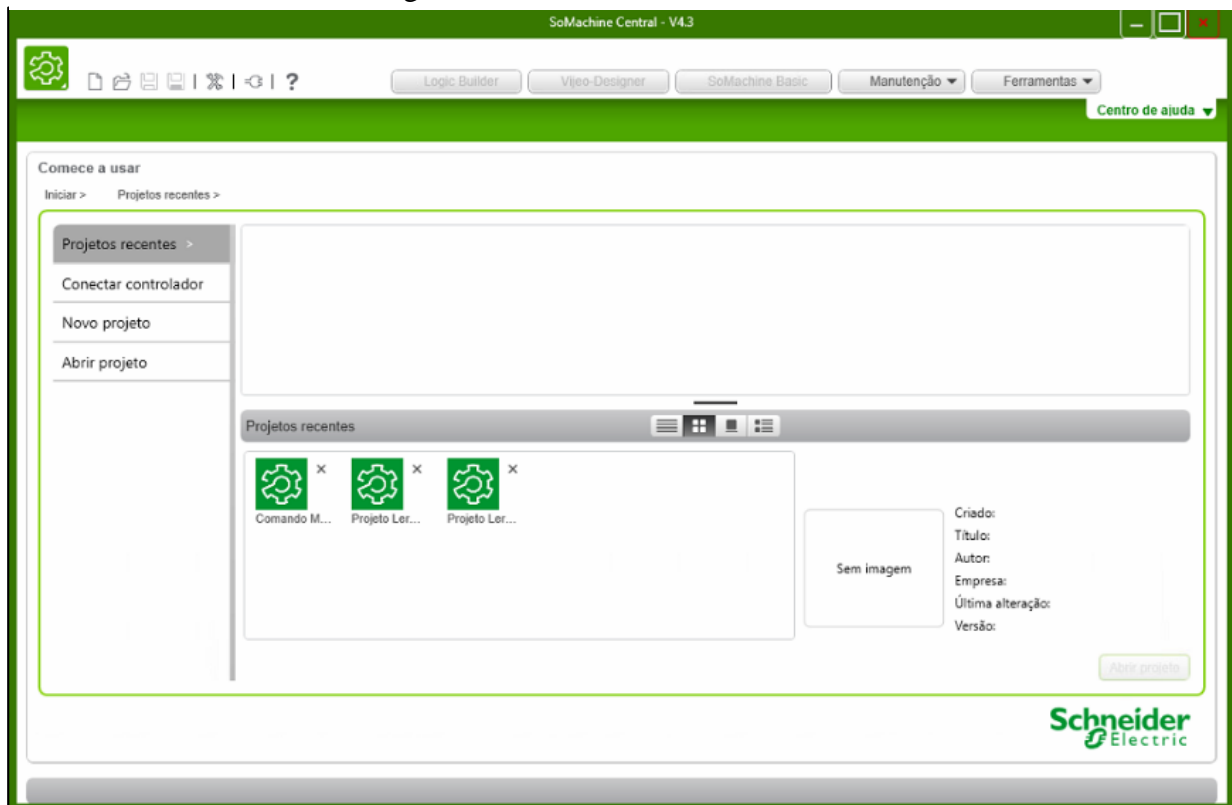
O SoMachine, produzido pela Schneider Electric, é um software projetado para desenvolver, configurar e comissionar em um único ambiente os equipamentos da fabricante, incluindo lógica, controle de movimento, IHM e funções de automação de rede relacionadas. É compatível com vários modelos de dispositivos comercializados pelo fabricante, como CLPs, módulos de expansão (TM2, TM3, TM5 e TM7) e IHMs. Dentre os principais recursos e funções disponibilizados pelo software estão (SCHNEIDER ELECTRIC, 2017):

- Suporte às linguagens de programação definidas na IEC 61131-3;
- Depuração e diagnósticos especializados;
- Tela de visualização;
- Atualização de software para os equipamentos suportados pelo software;
- Localizador de blocos de funções integrado para simplificar a programação;
- Modelos de aplicações e funções.

A versão 4.3 do SoMachine utilizada neste trabalho possui uma interface principal de usuário que permite a administração de projetos, utilização de ferramentas de desenvolvimento providas pelo SoMachine e o gerenciamento do fluxo de trabalho de uma aplicação (referenciado como projeto). Essa interface é chamada de SoMachine Central.

Na administração de projetos, o usuário pode abrir, fechar, criar, salvar, importar, exportar e imprimir projetos realizados pelo usuário, além de permitir o gerenciamento das propriedades e opções do projeto. Essas funcionalidades já estão disponíveis logo que o software é aberto, quando o SoMachine solicita a abertura de um projeto (novo ou já existente), como mostra a Figura 39.

Figura 39 - Tela inicial do SoMachine



Fonte: Schneider Electric, 2020.

Uma vez criado ou aberto um projeto, a tela do SoMachine Central é aberta, permitindo a utilização dos seguintes recursos:

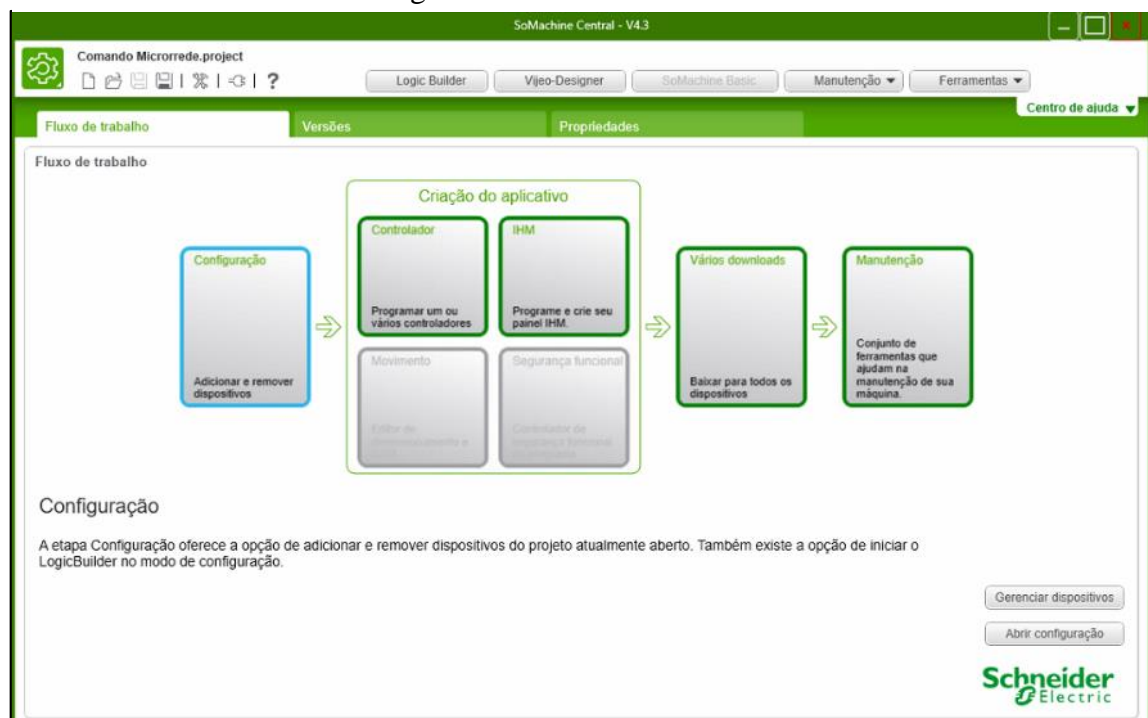
- *SoMachine Logic Builder*: esta ferramenta permite a programação dos aplicativos a serem utilizados nos CLPs do fabricante.
- *Vijeo-Designer*: ferramenta utilizada para desenvolvimento de interfaces gráficas para os dispositivos IHM do fabricante.
- Ferramentas de manutenção: permite utilizar o *SoMachine Configuration Manager*, ferramenta que realiza o *download*, a instalação e a atualização do SoMachine, além de gerenciar as licenças do software.

Na compra de um CLP mais moderno, uma licença do SoMachine é fornecida com o equipamento, e que foi utilizada para programar o mesmo. Existe, porém, uma versão gratuita do software, chamado SoMachine *Basic*, que permite a configuração, programação e comissionamento de aplicativos para controladores lógicos da Schneider. Esta versão gratuita possui a limitação de ser compatível apenas com o modelo CLP M221 do fabricante.

As ferramentas do SoMachine utilizadas no desenvolvimento do supervisório foram o *Logic Builder*, para programar o CLP da MR, e o *Vijeo-Designer*, para programar a IHM.

A tela da SoMachine Central é mostrada na Figura 40. Ela exibe um diagrama de fluxo de trabalho da aplicação quando um projeto é aberto ou criado.

Figura 40 - SoMachine Central



Fonte: Schneider Electric, 2020.

O fluxo de trabalho é formado pelos seguintes recursos, utilizados para, criar, gerenciar e manter os projetos desenvolvidos no SoMachine:

- **Configuração:** permite adicionar ou remover dispositivos que serão programados pelo projeto em desenvolvimento no software. Quando selecionado, permite abrir uma caixa de diálogo para realizar essas tarefas.
- **Desenvolvimento da aplicação:** responsável pela programação das aplicações no controlador e da IHM. Quando selecionado, permite abrir o *Logic Builder* (no caso do controlador) ou o *Vijeo-Designer* (no caso da IHM).

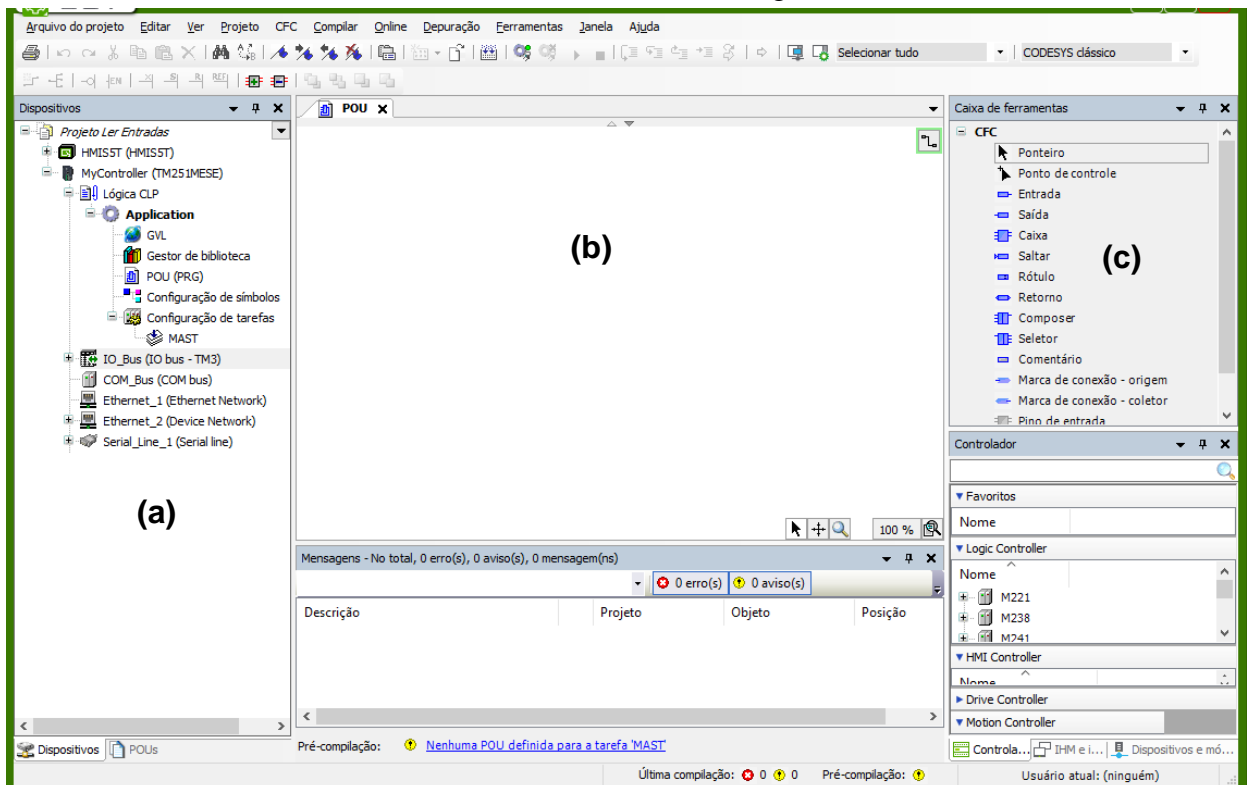
- Múltiplos Downloads: realiza download da aplicação aos dispositivos adicionados no quadro de configuração.
- Manutenção: permite o uso de ferramentas de manutenção para a aplicação, como o Assistente de Controlador.

4.1.1 *Logic Builder*

É a ferramenta que realiza a programação da aplicação a ser utilizado no CLP. O ambiente do *Logic Builder* foi utilizada para implementar a programação do sistema de controle no CLP. A tela principal é dividida em três partes principais: as árvores de dispositivos, a área de trabalho e a área de catálogos, como mostra a Figura 41.

A árvore de dispositivos é utilizada para configurar o hardware do controlador atual. Também permite visualizar os recursos do CLP e dos módulos de expansão adicionados ao projeto.

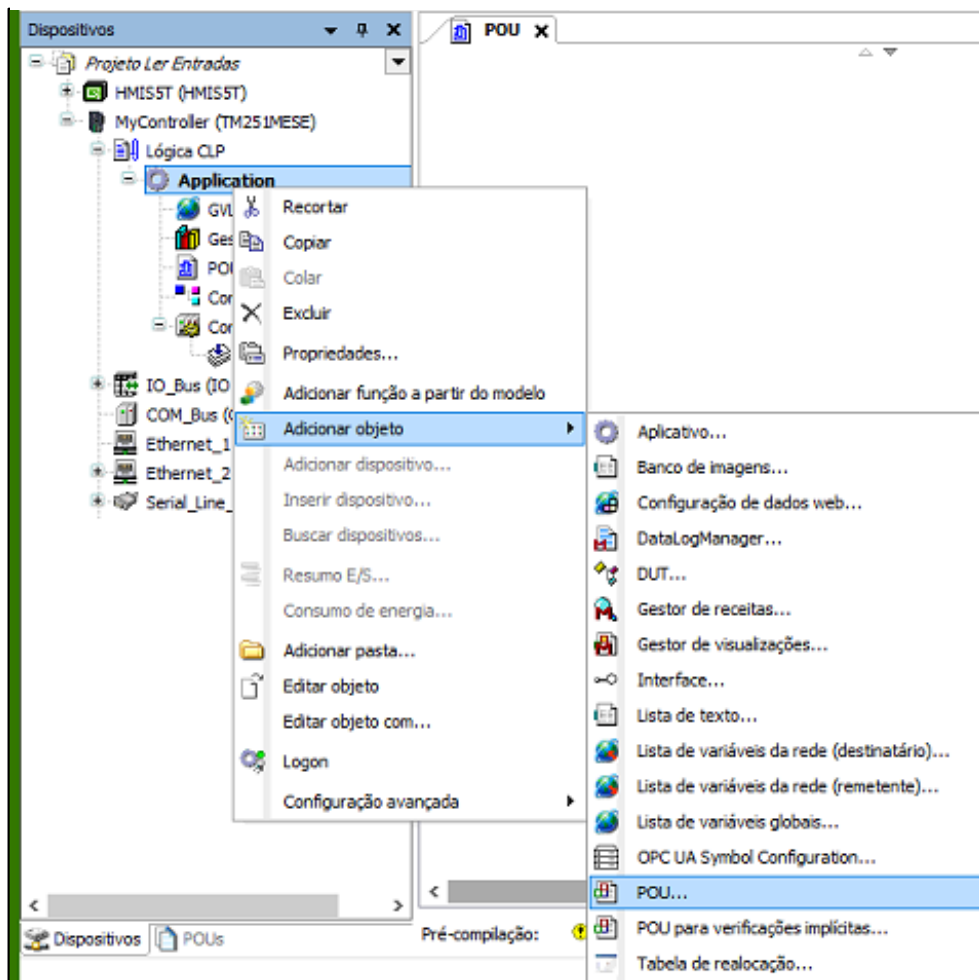
Figura 41 - Tela inicial do Logic Builder, destacando a árvore de dispositivos (a), a área de trabalho (b) e a área de catálogos (c)



Fonte: Schneider Electric, 2020.

Na árvore de dispositivos, são definidas a lista de variáveis globais (*Global Variable List – GVL*) e a sequência de tarefas (*tasks*) do projeto a serem executadas pelo CLP. A árvore permite adicionar outros objetos à aplicação, sendo o mais importante deles as unidades organizacionais de programa (*Program Organizational Unit – POU*). Nesses objetos são embarcadas as rotinas de desenvolvimento do sistema de controle da aplicação. A Figura 42 mostra as ferramentas da árvore de dispositivos.

Figura 42 - Árvore de Dispositivos, destacando a criação de uma nova POU

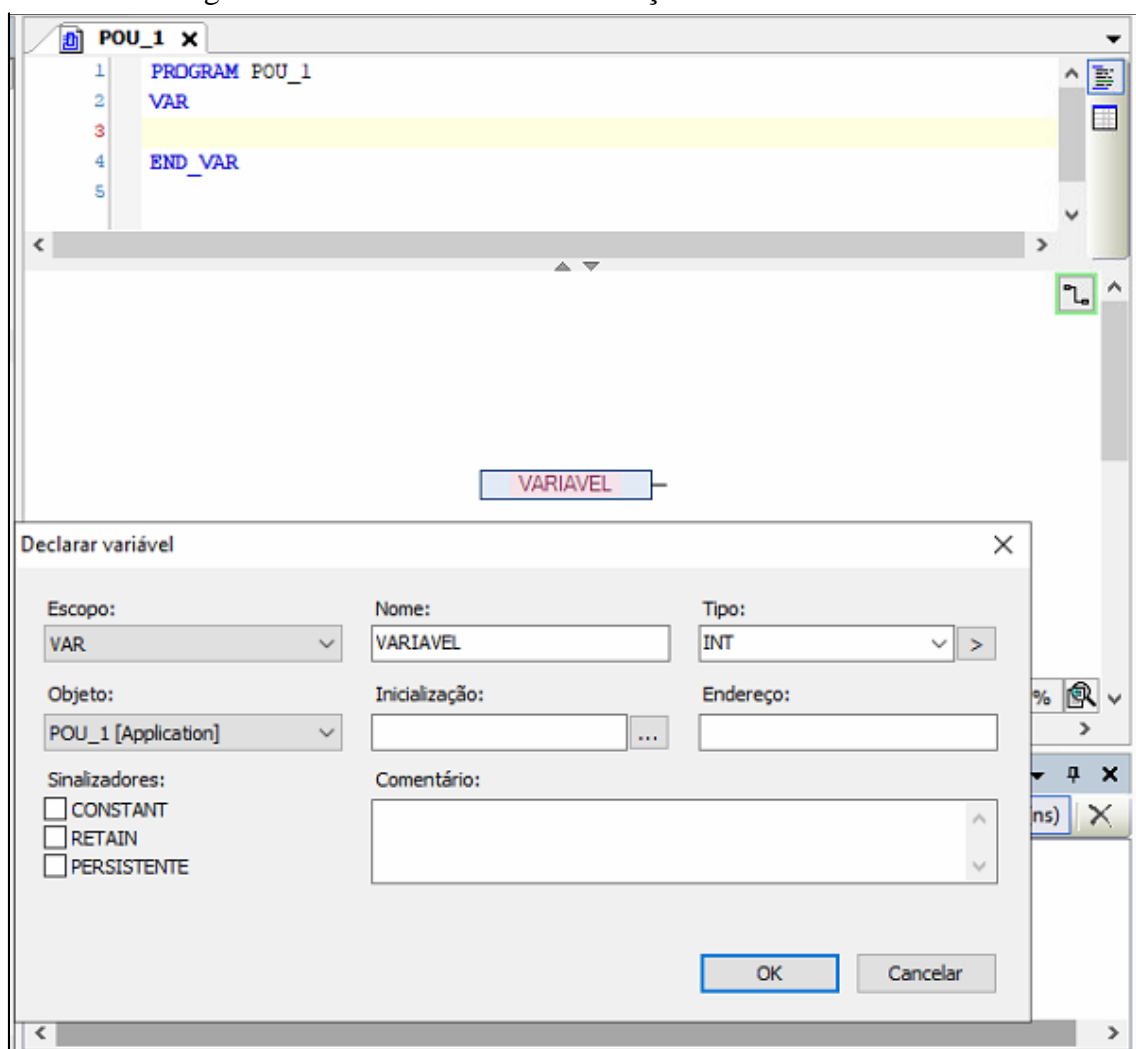


Fonte: Schneider Electric, 2020.

Ao se criar uma POU, é necessário definir a linguagem de programação que o desenvolvedor deseja utilizar. As formas de programação disponíveis na versão 4.3 do SoMachine são o diagrama de bloco de funções (FBD), diagrama de lógica *Ladder* (LD), gráfico de função contínua (CFC), gráfico de função sequencial (SFC), lista de instruções (IL) e o texto estruturado (ST). É possível criar mais de uma POU em um projeto, e podem também ser criadas POUs com linguagens de programação diferentes no mesmo projeto.

Na área de trabalho é o ambiente de programação do projeto, de acordo com a linguagem que o desenvolvedor escolheu ao criar a POU. Ao se criar uma nova variável na área de trabalho de uma POU, o *Logic Builder* abre uma tela para configurar a nova variável, definindo o seu tipo, o valor inicial da mesma e se ela será local (a variável existe apenas na POU onde foi criada) ou global (existirá em todas as POUs criadas no projeto), como mostra a Figura 43. A lista de variáveis locais da POU é mostrada no topo da área de trabalho, podendo ser ocultada de acordo com a preferência do desenvolvedor.

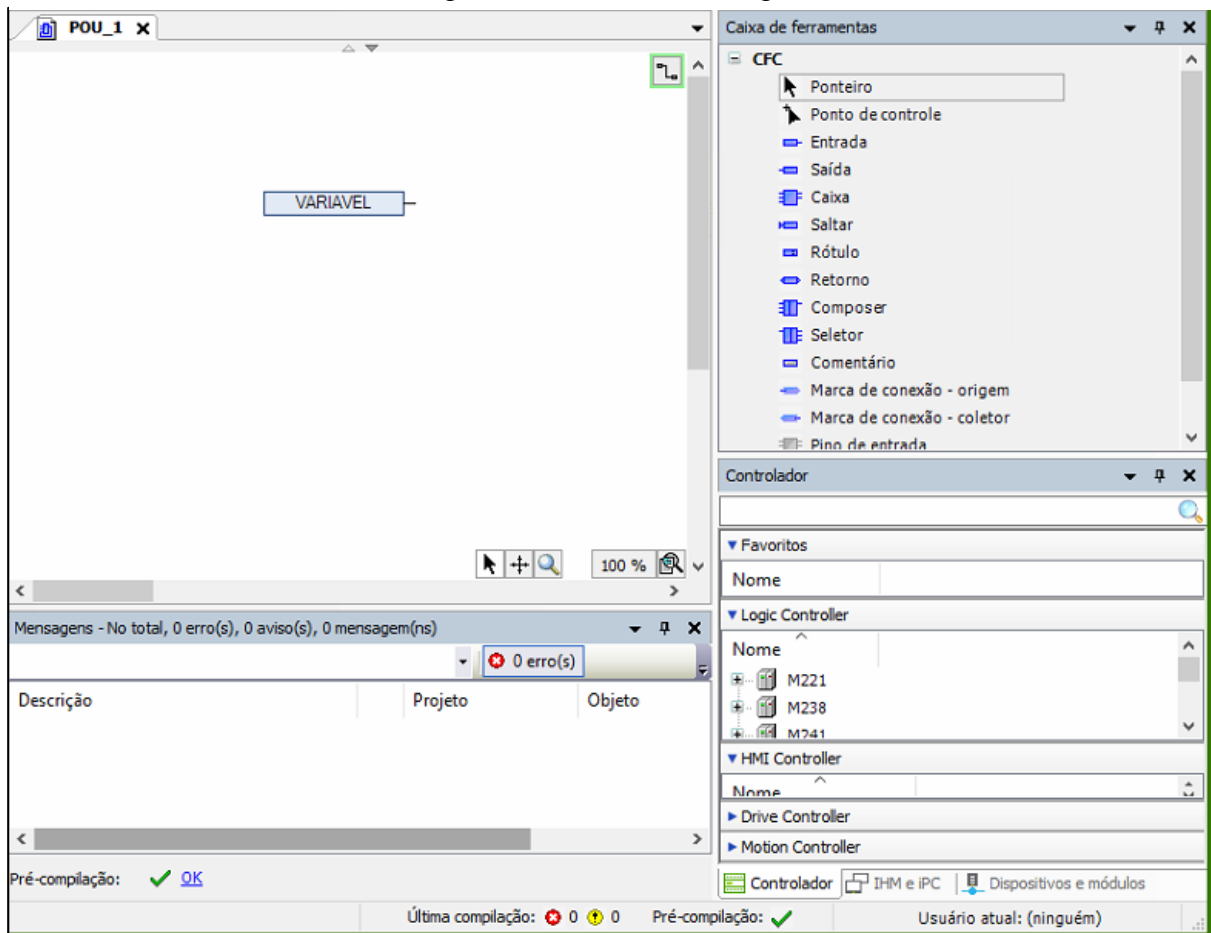
Figura 43 - Área de trabalho e definição de uma nova variável



Fonte: Schneider Electric, 2020.

A área de catálogos permite a visualização de itens utilizados na programação da aplicação. Podem ser adicionados, por exemplo, catálogos de hardware (dispositivos do fabricante) ou lógicos (lista de variáveis e ferramentas de programação), como mostra a Figura 44.

Figura 44 - Área de Catálogos



Fonte: Schneider Electric, 2020.

Uma vez desenvolvidas, as POU's precisam ser incluídas nas *tasks* do projeto. Após esse processo, o projeto pode ser compilado (para detecção de erros) e executado. A execução do projeto deve ser realizada primeiramente através do modo de simulação, quando o SoMachine cria um CLP virtual que permite simular o funcionamento do projeto para verificar o estado das variáveis e se a aplicação se comporta conforme o esperado.

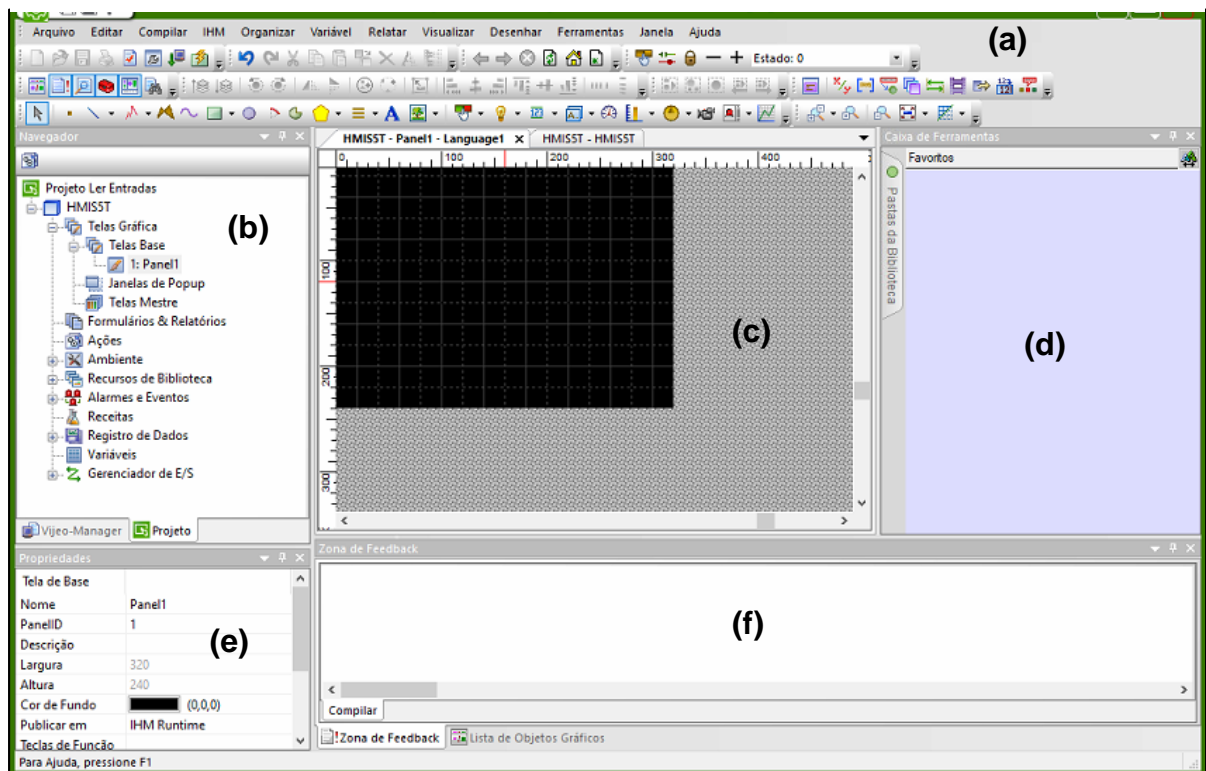
Uma vez que o projeto foi simulado, ele é enviado ao CLP que o projeto está conectado, e o funcionamento da aplicação é realizado colocando o controlador em execução (modo *run*). Caso a aplicação não funcione de forma esperada, ou se deseja parar o CLP, o *Logic Builder* também pode parar o CLP (modo *stop*).

4.1.2 *Vijeo-Designer*

Esta ferramenta é utilizada para desenvolver aplicações gráficas para IHM. A Figura 45 mostra a tela inicial da ferramenta, contemplando os seus principais recursos:

- Barra de menus e de ferramentas (a): permite acessar todos os recursos para desenvolver a aplicação;
- Navegador (b): usado para criar e acessar todos os elementos da aplicação;
- Editor gráfico (c): região onde a aplicação é desenvolvida;
- Caixa de ferramentas (d): mostra uma coleção de objetos gráficos predefinidos para uso na aplicação em desenvolvimento;
- Zona de *feedback* (e): indica quaisquer erros ou advertências que tenham ocorrido durante a validação ou a compilação do projeto no *Vijeo-Designer*;
- Propriedades (f): permite configurar o objeto selecionado.

Figura 45 - Tela inicial do *Vijeo-Designer*



Fonte: Própria do autor.

Durante a criação de um novo projeto no *Vijeo-Designer*, é necessário definir o modelo do dispositivo IHM que está sendo programado. Isso definirá o tamanho da área gráfica a ser trabalhada, e esse tamanho será o da tela real do dispositivo.

O IHM é projetado para trabalhar em conjunto com um CLP. Durante a programação do IHM, é necessário que as variáveis a serem utilizadas no dispositivo sejam as mesmas utilizadas na programação do controlador. Para isso, o *Logic Builder* possui um recurso chamado *Symbol Configuration* que pode ser acessado pelo *Vijeo-Designer*, permitindo exportar as variáveis utilizadas para programar o CLP e utilizá-las para programar a IHM.

Na ferramenta, podem ser criadas várias telas para utilização na IHM, de acordo com a necessidade do desenvolvedor. O *Vijeo-Designer* fornece vários objetos gráficos para utilização, mas outros elementos também podem ser adicionados pelo usuário.

Após a programação, a aplicação deve ser testada para verificar seu funcionamento. O *Vijeo-Designer* também possui um modo de simulação para realizar esse teste. Após a confirmação do funcionamento adequado do projeto, este deve ser enviado à IHM da mesma forma que a aplicação do *Logic Builder* vai para o CLP.

4.2 Elipse Power

O software utilizado para o desenvolvimento do supervisório foi o *Elipse Power Studio*, produzido pela empresa brasileira Elipse Software, com sede em Porto Alegre, RS, que também atua nos Estados Unidos e em vários países da Europa e da Ásia. A empresa desenvolve soluções em software para gerenciamento de processos, de sistemas elétricos inteligentes, predial, de infraestrutura de data center, e gerenciamento digital da informação em tempo real (ELIPSE SOFTWARE, 2020).

O Elipse Power (EP) foi desenvolvido para auxiliar na criação de aplicações de supervisão, análise e controle de sistemas de energia elétrica, e tem como objetivo integrar diversos sistemas de apoio à operação do sistema elétrico com toda a estrutura SCADA em uma só ferramenta, facilitando a interação entre diversos setores operacionais da empresa que adquire o produto.

O software é formado por três módulos principais do ponto de vista do usuário:

- *E3 Server*: servidor de aplicações responsável pelo gerenciamento dos principais processos do sistema, incluindo a comunicação em tempo real com equipamentos de controle. Este módulo também é responsável por enviar informações e telas a clientes conectados em qualquer local.

- E3 *Studio*: módulo de configuração do sistema, servindo como plataforma de desenvolvimento. Possui um ambiente amigável, permitindo a configuração da comunicação e editores de *scripts* e de gráficos para criar as telas de operação. Esta ferramenta também permite a edição simultânea de um aplicativo por diversos usuários.
- E3 *Viewer*: interface de operação, que permite visualizar e operar a aplicação no servidor em qualquer computador via browser ou com programa executável, sem necessidade de instalar o projeto na máquina cliente, pois todos os componentes necessários do projeto são baixados e registrados ou atualizados automaticamente.

4.2.1 Arquitetura do Elipse Power

A forma de operação do EP utiliza o conceito de domínio. Um domínio inclui, em um único ambiente, a definição dos computadores executando tarefas em tempo real (os servidores), e os dados do projeto a serem executadas nesses servidores, permitindo a execução de vários projetos em cada servidor.

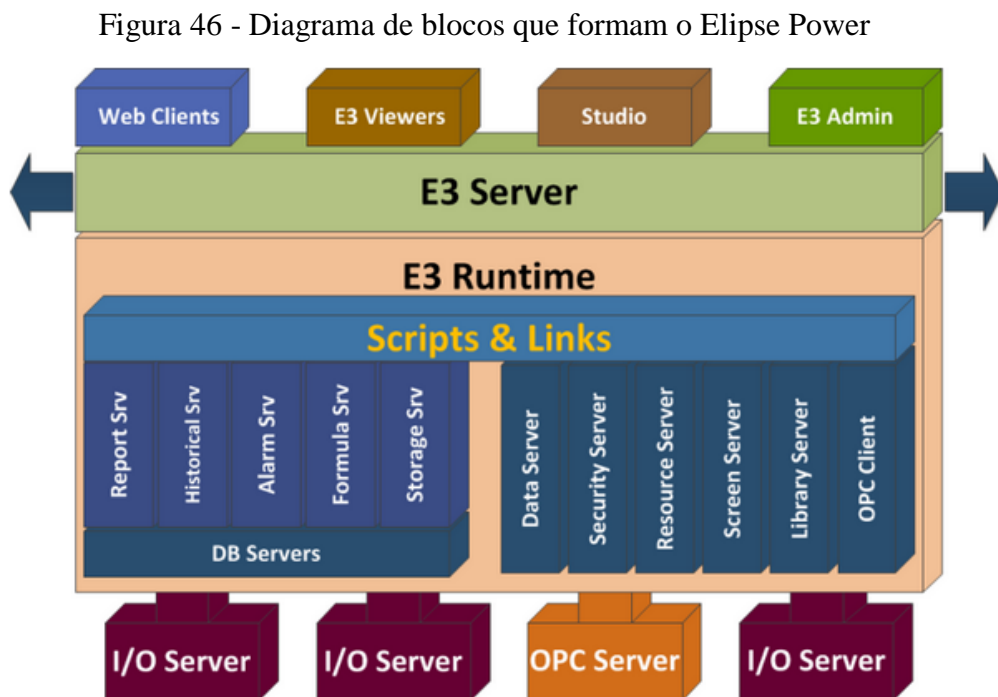
Essa forma de operação surgiu a partir da necessidade da comunicação mútua entre vários computadores executando sistemas SCADA simultaneamente para realizar tarefas diversas. Essas tarefas, em sistemas SCADA mais antigos, necessitavam que cada servidor possuísse uma cópia da aplicação na base de dados local, e cada SCADA só rodava somente uma base de dados configurada por vez. Isso levava a problemas de administração, como controlar versões de aplicações, aplicar mudanças em todos os servidores e trabalhar com diferentes fabricantes de software.

Quando dois ou mais projetos, cada um com seus objetos próprios (como telas, *drivers* de comunicação, alarmes, históricos, banco de dados etc.) estão em um mesmo domínio, eles podem acessar as propriedades e objetos um do outro como se residissem em uma única base de dados. Isso é possível devido ao estabelecimento de *links* que um objeto pode fazer com outro. Ou seja, se ambos os objetos existem e estão em execução, o *link* fica ativo, e qualquer mudança de valores é enviada de forma assíncrona entre as partes; se um dos objetos é parado, o *link* é interrompido, e a aplicação é notificada da forma que foi definida pelo usuário.

Fisicamente, um domínio é constituído por um servidor operando de forma isolada ou por dois servidores em configuração dual *stand-by*. Dessa forma, cada *viewer* (interface de usuário do cliente para operar e visualizar a aplicação) não se conecta apenas ao servidor, mas a um domínio. Assim que são conectados, o servidor e o cliente passam uma verificação entre si da existência de objetos do sistema a serem registrados e atualizados no computador cliente.

Após a tela do *viewer* ser aberta, servidor e cliente somente trocam valores em tempo real, e realizam consultas a bases de dados via mensagens TCP/IP

A Figura 46 apresenta a visão geral dos blocos de construção do EP, onde é possível verificar que a arquitetura interna do software é totalmente escalável, e cada tarefa principal é realizada por um módulo separado. O *E3 Server* cria um processo em tempo de execução (*run time*) que de fato irá executar a aplicação. É dentro desse processo onde se encontram os servidores específicos do EP, com os serviços utilizados pelos outros módulos do software.



Fonte: Elipse Software, 2015.

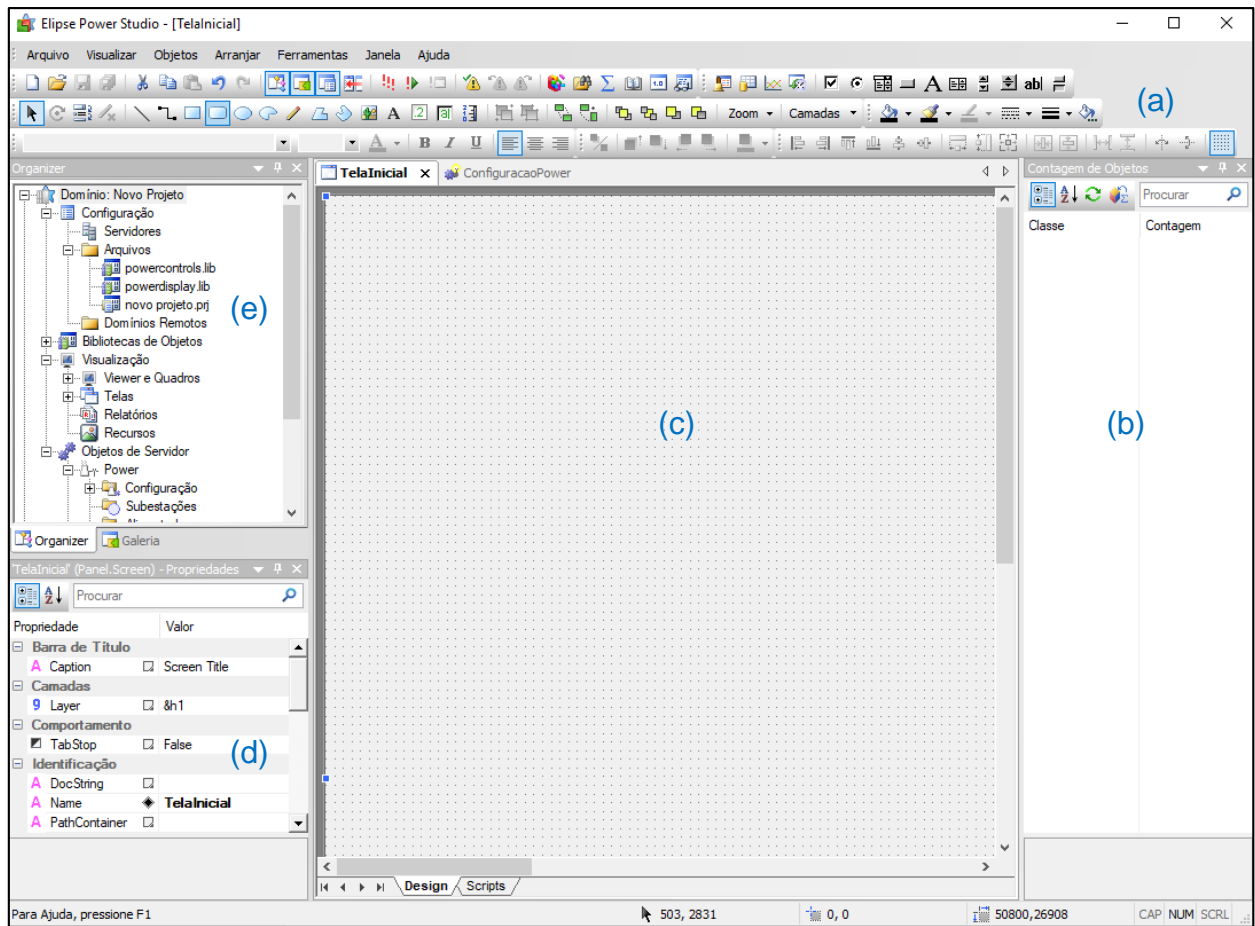
4.2.2 EP Studio

O módulo *EP Studio* é o ambiente onde as aplicações do EP são desenvolvidas e domínios, projetos e bibliotecas são criados e mantidos.

Quando o *EP Studio* é aberto, o usuário deve escolher entre iniciar o EP sem abrir nenhum domínio, criar um novo domínio (opção que vai executar o assistente de novas aplicações no EP) ou abrir um já existente para edição. Após a criação ou abertura de um domínio, o *EP Studio* está pronto para o desenvolvimento da aplicação pelo usuário.

Quando um novo domínio é criado pelo assistente do EP, a tela da Figura 47 é aberta. Essa figura mostra os principais recursos do módulo.

Figura 47 - Tela inicial do EP



Fonte: Elipse Software, 2020.

As barras de ferramentas do EP Studio (item (a) da Figura 47) mostram os objetos, componentes e demais recursos que podem ser utilizados nas telas do software. Dentre outras funções, é possível criar, abrir e salvar um novo projeto, executar o domínio e abrir e executar o *viewer*, além de inserir e formatar objetos e figuras nas telas.

A seção de contagem de objetos (item (b) da Figura 47) permite visualizar a quantidade e a identificação de todos os objetos existentes dentro do domínio aberto no EP Studio, e estão separados por classes ordenadas alfabeticamente ou agrupadas por módulos.

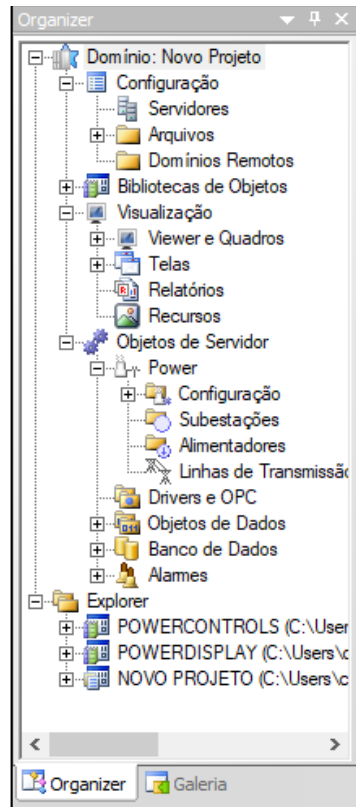
A área de trabalho (item (c) da Figura 47) é o local onde as *views* são mostradas. Permite editar e configurar os quadros e as telas da aplicação do E3 Studio.

A lista de propriedades (item (d) da Figura 47) permite visualizar e configurar as propriedades do objeto selecionado na área de trabalho.

A janela *organizer*, apresentada na Figura 48, é um recurso que permite uma organização simples de toda a aplicação atual. Durante a edição, ajuda na configuração de todos os objetos envolvidos no sistema através de uma árvore hierárquica de opções. Essa janela é

dividida em dois modos de visualização. O modo Domínio mostra apenas informações dos objetos abertos que estão contidos no domínio. O modo Explorer apresenta as bibliotecas e projetos que estão abertos no EP Studio atualmente, mesmo de domínios diferentes.

Figura 48 - Elementos da janela *organizer*



Fonte: Elipse Software, 2020.

O modo Domínio é organizado em quatro grupos. O grupo Configuração apresenta os servidores que estão configurados e os nomes dos arquivos de biblioteca e de projetos que pertencem ao domínio. O grupo Bibliotecas de Objetos reúne os objetos ElipseX (ferramenta de criação de bibliotecas no software) de todas as bibliotecas do domínio. Os grupos Visualização e Objetos de Servidor reúne os objetos restantes do domínio que executam na máquina cliente e na máquina servidor, respectivamente.

A forma de interface básica do SCADA com o usuário são as telas. Cada aplicação pode conter um número ilimitado de telas, e é onde são realizados os monitoramentos de processos da aplicação. Podem ser inseridos nas telas objetos de primitivas do editor gráfico (retas, círculos e polígonos), imagens e bibliotecas gráficas ElipseX. Telas podem ser abertas em modo *full-screen* (ocupando toda a tela) ou em modo janela, com altura e largura definidas pelo usuário.

Os quadros são objetos que organizam e estruturam a interface do usuário, criando visualizações compostas dentro da janela principal do *viewer* ou do navegador. Quadros permitem utilizar divisores, permitindo a um mesmo quadro mostrar mais de uma tela simultaneamente. Por exemplo, uma parte do divisor de um quadro pode usar uma tela que nunca muda ou muda pouco, como um menu, e a outra parte visualizam as outras telas propriamente ditas.

O EP possui um recurso importante para modelagem dos objetos de um sistema elétrico, chamado de configurador do *power*. Este objeto concentra o modelador elétrico do sistema, os recursos de importação de dados e configurações referentes à padronização de tipos de medidas, de comandos, níveis de tensão, cores dos displays e cores das chaves e disjuntores.

O fabricante sugere um fluxo de desenvolvimento de aplicações no EP, com o intuito de organizar e facilitar esse processo, que é apresentado na Figura 49.

Figura 49 - Fluxo de desenvolvimento de aplicações no EP



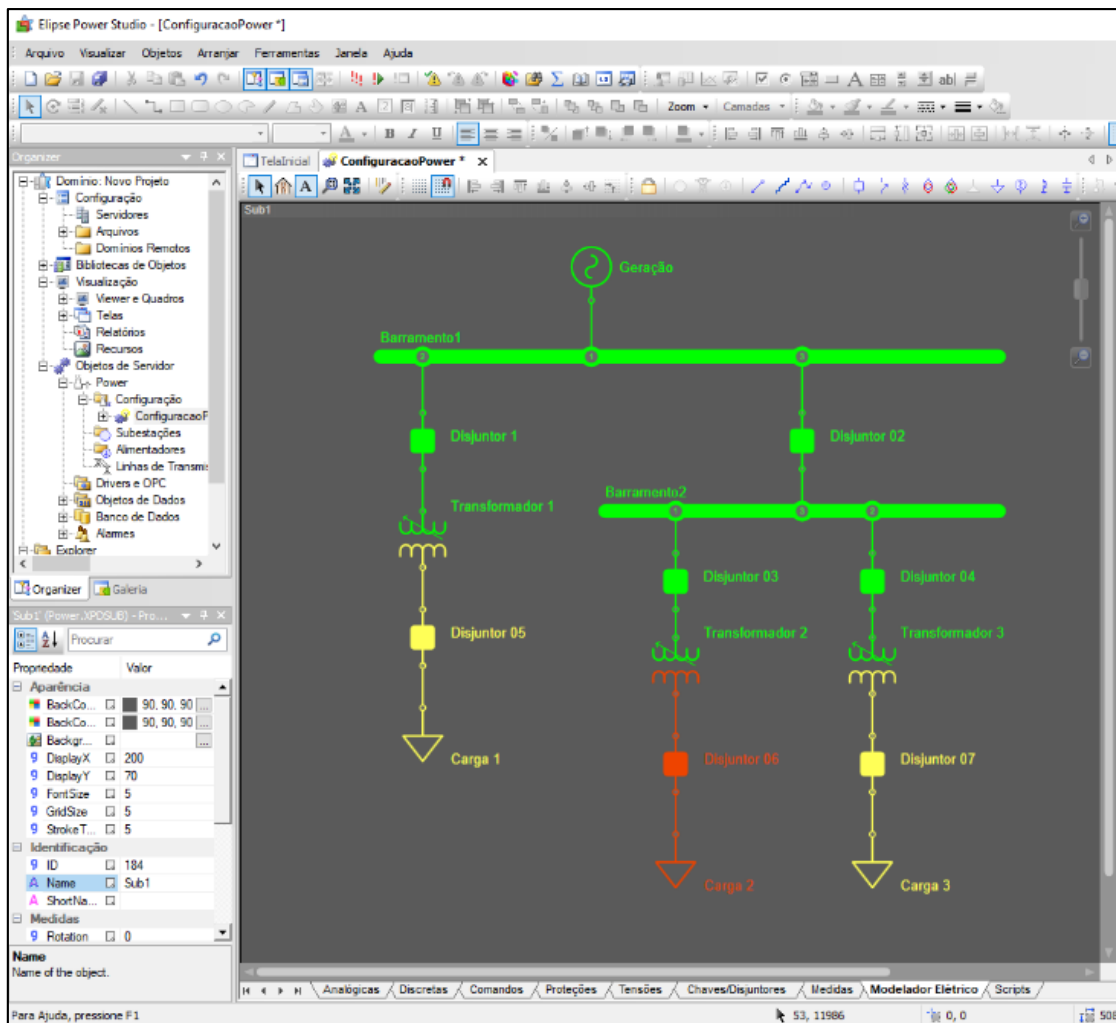
Fonte: Elipse Software, 2015.

O modelador elétrico é uma ferramenta que possui uma interface gráfica que reúne todas as informações elétricas do sistema e as armazena em arquivo. Também permite configurar a conectividade entre os equipamentos e a posição deles. O modelador, apresentado na Figura 50, possui barras de ferramentas que permitem criar novos elementos elétricos e navegar pelo sistema modelado.

Para facilitar a navegação e criação dos modelos, essa ferramenta possui três níveis hierárquicos distintos:

- A tela de visualização e edição de sistema, que permite criar e visualizar subestações interligadas através de linhas de transmissão e alimentadores;
- A tela de visualização e edição de subestações, que permite modelar todos os equipamentos de uma subestação; e
- A tela de visualização e edição de alimentadores, que permite modelar detalhadamente todos os equipamentos que compõem um alimentador.

Figura 50 - Modelo Elétrico, em tela de visualização de subestação, de um sistema elétrico, com três níveis de tensão (69 kV em verde, 23 kV em laranja e 13,8 kV em vermelho)



Fonte: Elipse Software, 2020.

Na importação de dados, as informações configuradas na modelagem elétrica são importadas e sincronizadas em uma aplicação estruturada separada, dentro da qual podem ser adicionadas programações como *scripts*, *links* para variáveis (*tags*) de comunicação e para objetos de tela, alarmes, históricos etc.

Após a importação, é possível adicionar e configurar medidas, comandos, proteções e intertravamentos no sistema, conforme mostra a Figura 51.

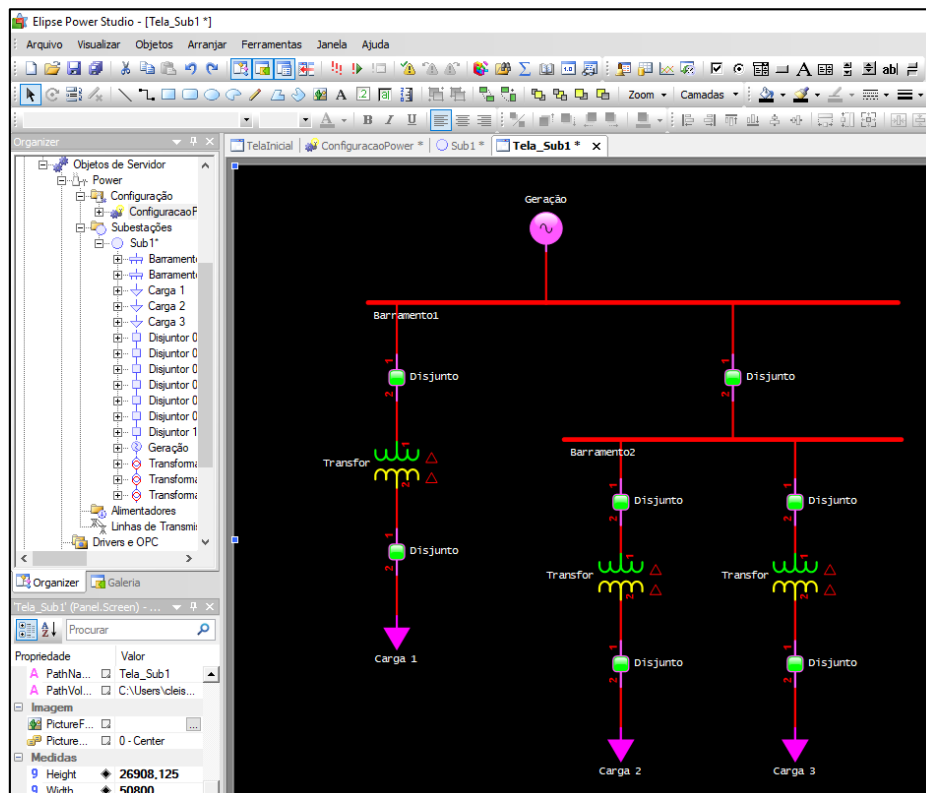
O EP possui a ferramenta importador de tela, com o intuito de facilitar a criação de telas de operação das subestações e dos alimentadores. Essa ferramenta associa os objetos de controle de tela aos respectivos objetos de dados. Ela permite gerar uma primeira versão da tela, permitindo realizar pequenos ajustes. Após a importação, pode ser necessária a realização de alterações ou adequação nas posições dos equipamentos. A Figura 52 mostra como o sistema criado no modelador se apresenta após a importação.

Figura 51 - Lista de elementos do modelo elétrico do sistema da *Erro! Fonte de referência não encontrada.* Destaque para as configurações SCADA do Disjuntor 1

Nome	Tipo	Tag
Sub1		
Geração		
Barramento1		
Transformador 1		
Disjuntor 1		
Terminal1		
Terminal2		
Measurements		
Commands		
Protections		
Interlocks		
Disjuntor 02		
Barramento2		
Transformador 2		
Transformador 3		
Disjuntor 03		
Disjuntor 04		
Carga 1		
Disjuntor 05		
Carga 2		
Disjuntor 06		
Carga 3		
Disjuntor 07		

Fonte: Elipse Software, 2020.

Figura 52 - Sistema representado em tela, após a importação de objetos do modelador



Fonte: Elipse Software, 2020.

Após a aplicação ser criada e executada, a tela do E3 Viewer é aberta. Essa tela será a versão do SCADA que será visualizado pelo usuário que utilizar a aplicação.

4.3 Banco de Dados

Para armazenar as informações obtidas pelo EP neste trabalho, um banco de dados foi criado. O EP possui suporte para integrar suas aplicações em bancos de dados de três softwares: Microsoft Office Access, Oracle e Microsoft SQL Server.

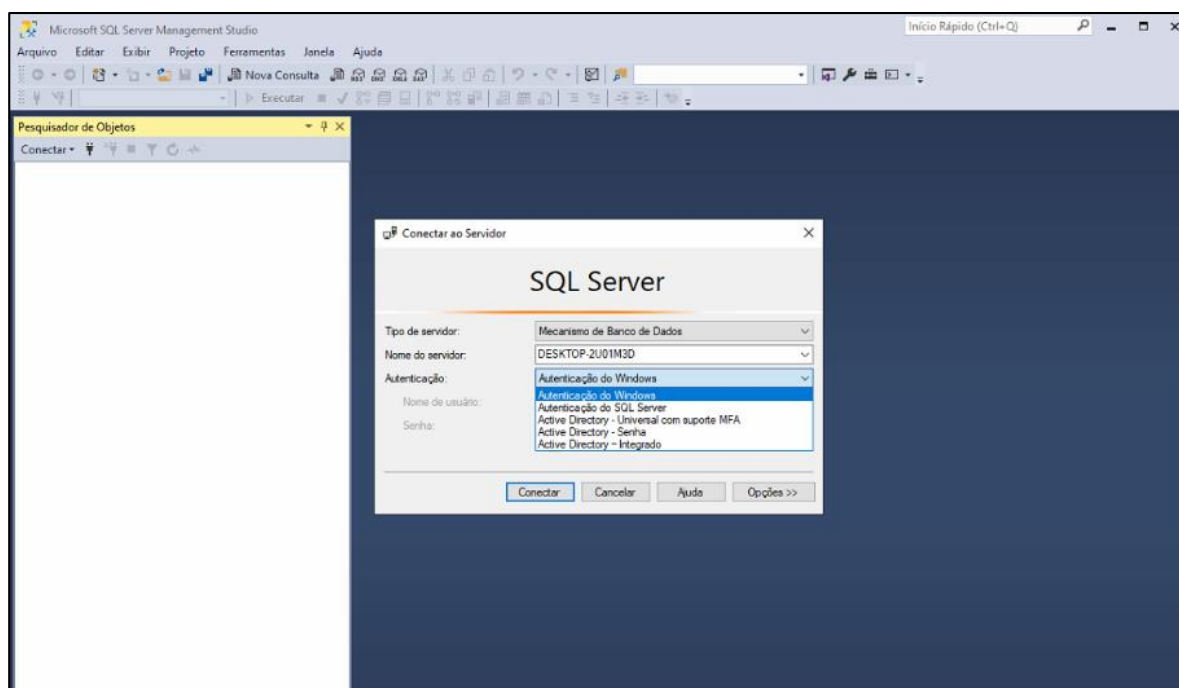
A versão escolhida para o BD do supervisor da MR foi o SQL server por ser um software mais confiável e estável e possuir uma versão gratuita para fins não comerciais.

4.3.1 Microsoft SQL Server 2017 Express (MSSE)

O *software* MSSE é a versão gratuita do SQL Server utilizado para o BD da MR, e pode ser obtido no site da Microsoft. Após sua instalação, é necessário adquirir (também do site da Microsoft) e instalar o SQL Server Management Studio (SSMS), ferramenta gratuita que vai permitir gerenciar os dados no BD criado no SQL Server.

Na instalação do MSSE, um servidor para o BD (chamado de instância), é criado. Durante o gerenciamento dos dados, o SSMS solicitará a conexão a uma instância. Isso porque o SQL Server permite a criação de várias instâncias em um mesmo computador, cada uma com seus próprios BDs e características independentes umas das outras. A Figura 53 mostra a tela inicial do SSMS solicitando a instância na qual se deseja conectar.

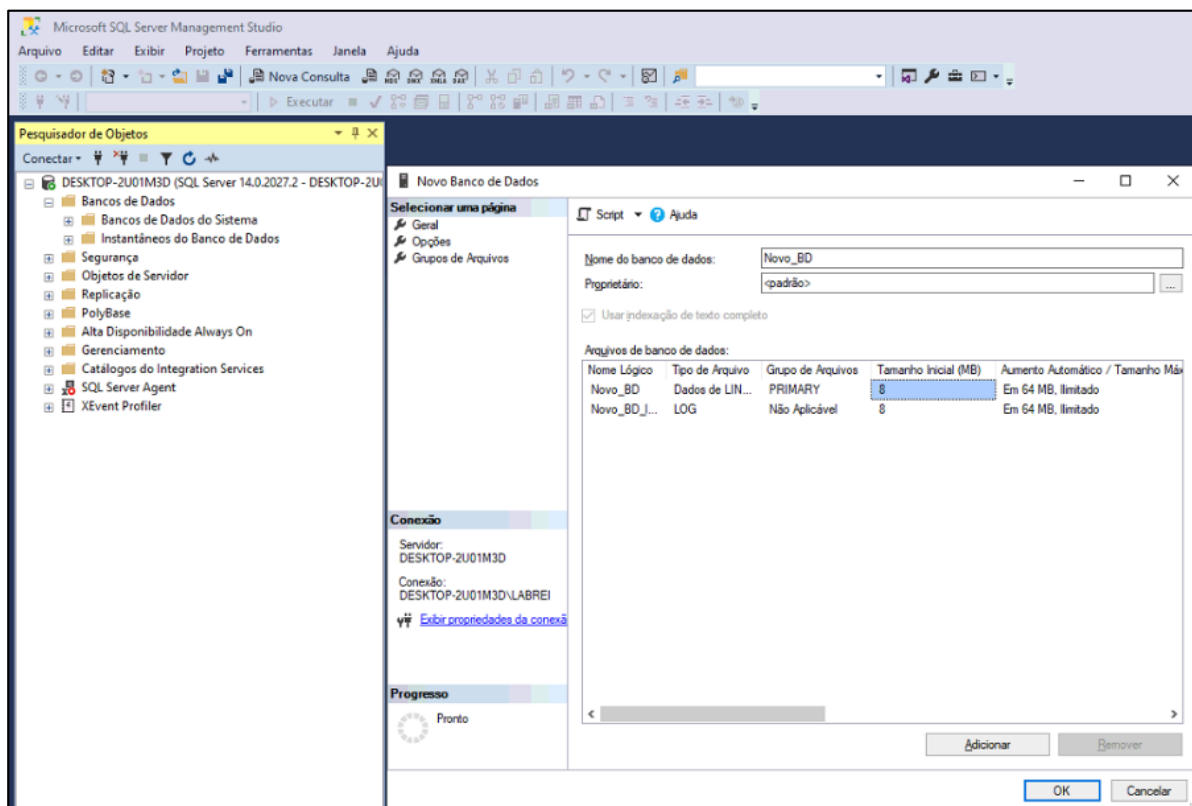
Figura 53 - Tela inicial do SSMS solicitando conexão a uma instância SQL Server



Fonte: Microsoft, 2020.

Uma vez conectado a uma instância, um novo BD pode ser criado a partir da janela Pesquisador de Objetos. Durante a criação, podem ser configurados o nome, o tamanho e o local do novo BD, como mostra a Figura 54.

Figura 54 - Criação do BD no MSSE



Fonte: Microsoft, 2020.

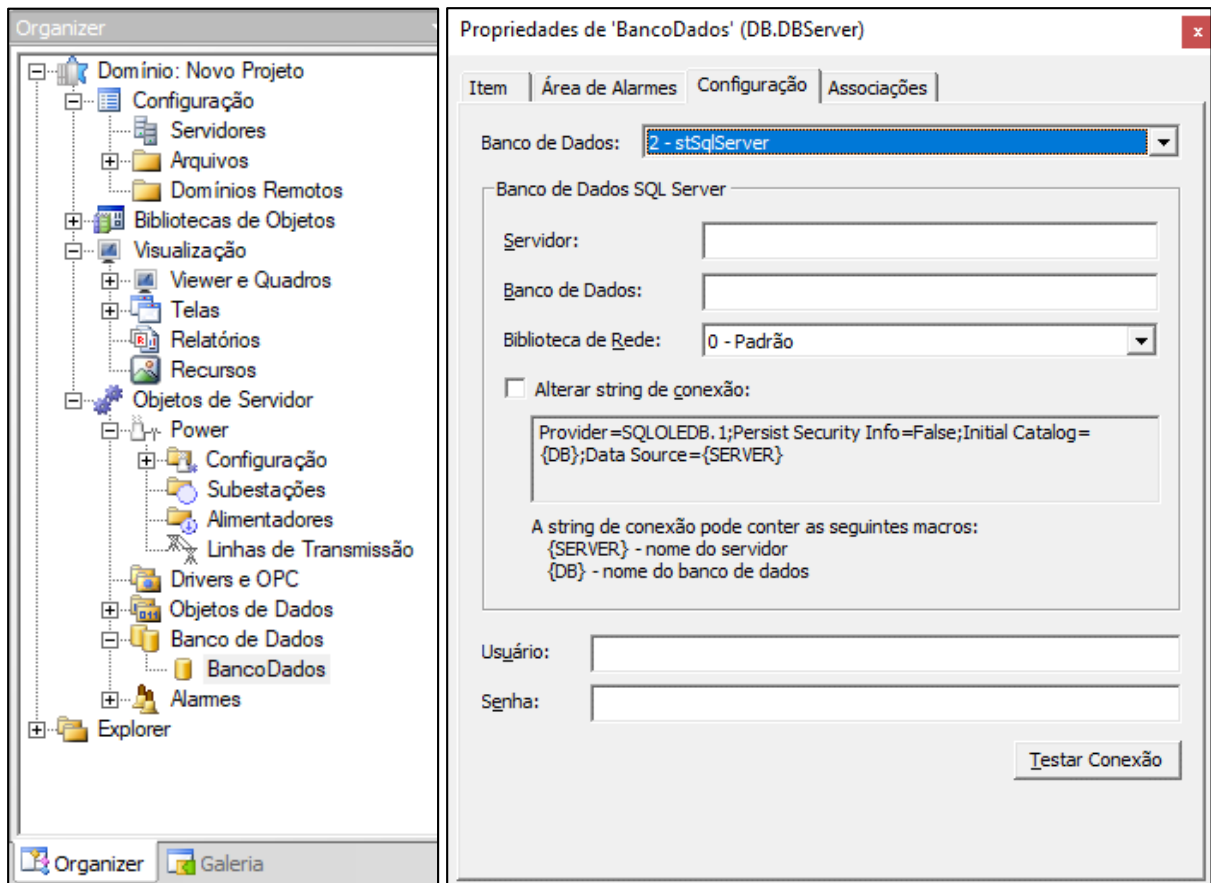
4.3.2 Integração entre o EP e o SQL Server

Embora seja necessária a instalação do *software* para criação do BD, o EP é capaz de gerenciar as configurações e o armazenamento dos dados dentro do banco. No modo domínio, dentro da janela *organizer*, na seção objetos do servidor, existe a ferramenta Banco de Dados, como mostra a Figura 55. Na configuração das propriedades do BD, é necessário definir principalmente a plataforma (Access, Oracle ou SQL Server) e usuário e senha (se houver) do banco de dados criado nesse software.

Uma vez criado, o banco já pode ser utilizado para receber as informações desejadas do supervisor. Pela janela *organizer*, podem ser criados históricos (módulos que armazenam dados da aplicação no BD, e permitem análises futuras a esses dados), *storages* (módulos que funcionam como os históricos, mas apenas quando há uma variação significativa da informação,

tornando o armazenamento mais compacto) e fórmulas (módulos destinados a armazenar e transferir conjuntos de valores para determinados agrupamentos de variáveis, criando configurações pré-definidas) para armazenar ou acessar informações do BD. Criar cada um desses módulos no EP irá criar uma tabela no BD ao qual está conectado.

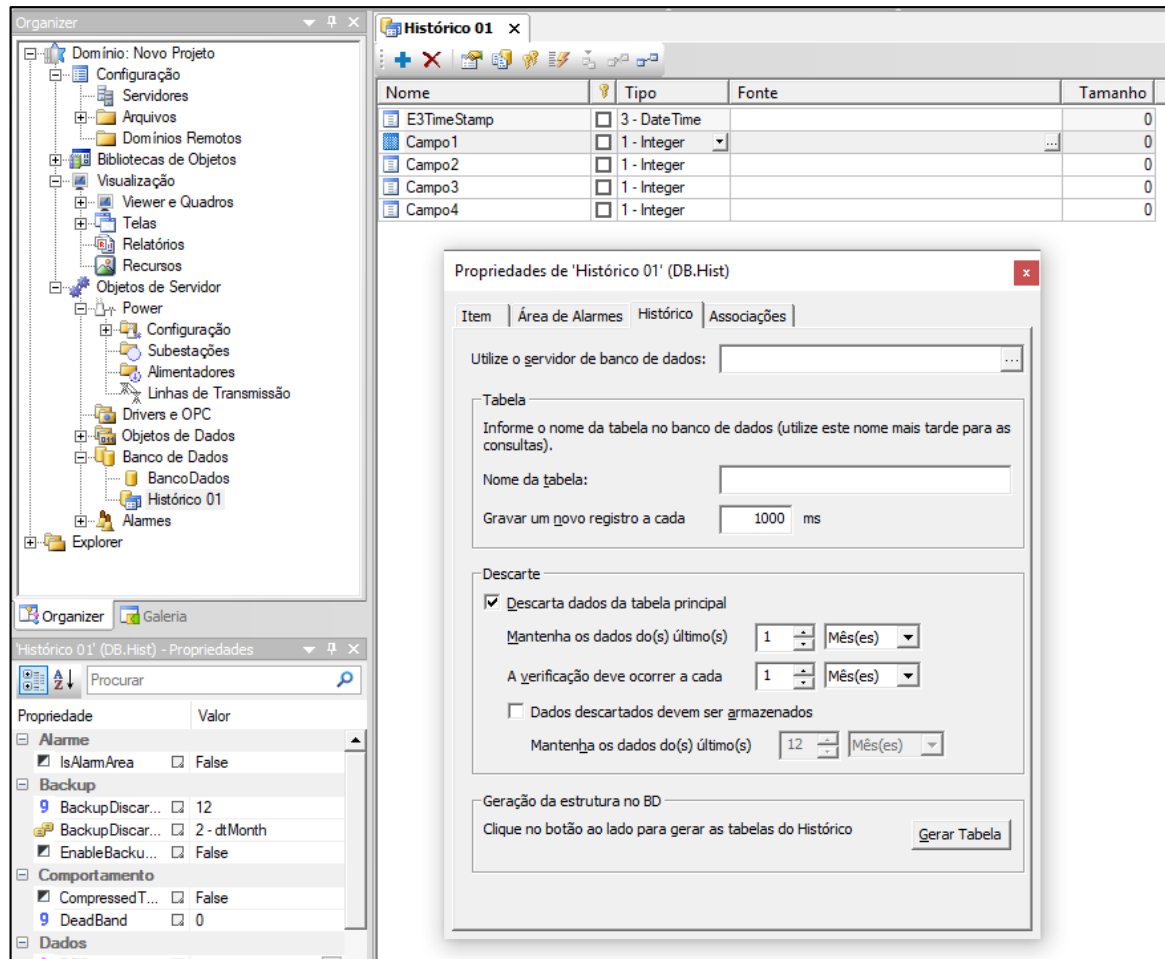
Figura 55 - Criação de BD no EP pela janela organizer (à esquerda) e as propriedades do BD criado (à direita)



Fonte: Elipse Software, 2020.

Na criação de um histórico, por exemplo, o desenvolvedor pode criar vários campos que vão corresponder a uma linha na tabela a ser criada no BD. Nas propriedades do histórico, podem ser definidos também o nome da tabela, o intervalo de registro e o tempo para descartar os dados da tabela principal, com a opção de manter esses dados descartados por mais tempo ou não. Esse processo de criação e configuração são mostrados na Figura 56.

Figura 56 - Criação e configuração de um histórico



Fonte: Elipse Software, 2020.

4.4 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados os softwares utilizados neste trabalho. O SoMachine integra as duas principais ferramentas utilizadas na programação do CLP e da IHM da MR: o *Logic Builder* e o *Vijeo-Designer*, respectivamente. O software Elipse Power foi utilizado no desenvolvimento do SCADA para a MR LabREI. Foram apresentadas sua estrutura e, principalmente, o fluxo de trabalho para o desenvolvimento de uma aplicação para monitoramento de redes elétricas. E, finalmente, o Microsoft SQL Server foi o software utilizado para a criação do BD, para registro das principais informações coletadas pelo supervisor, bem como sua integração com o EP.

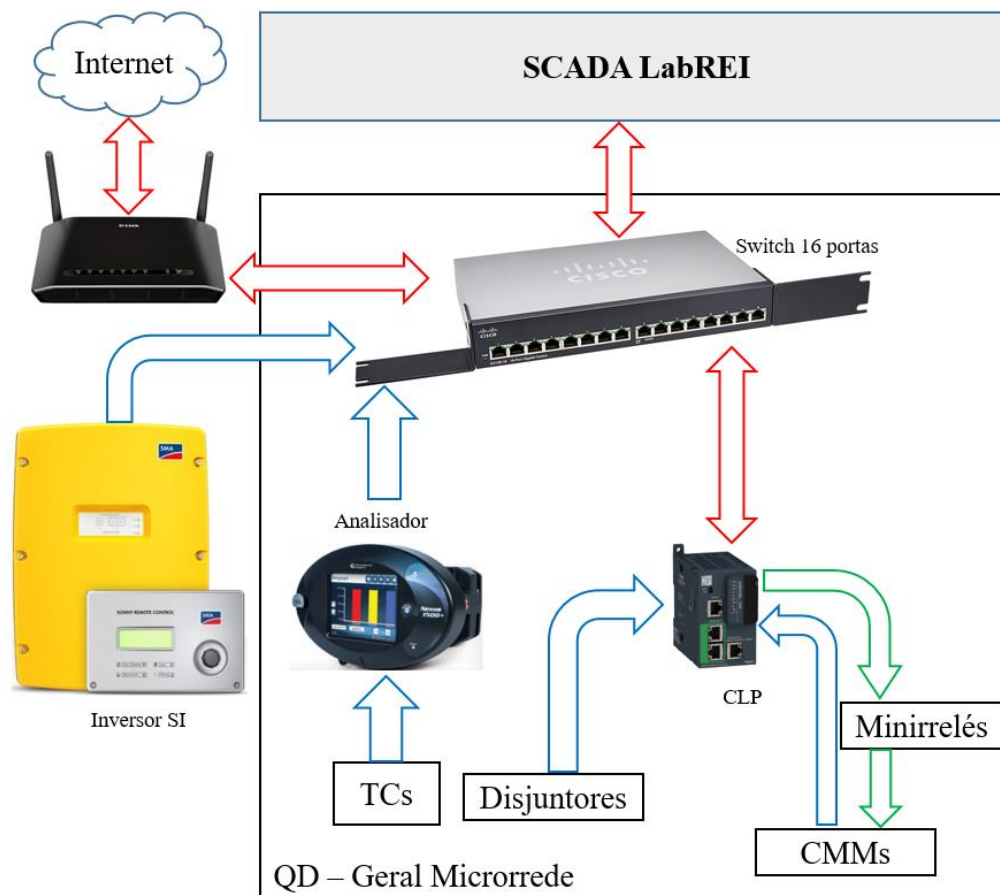
5 DESENVOLVIMENTO DO SUPERVISÓRIO

Este capítulo tem por objetivo apresentar o desenvolvimento do supervisório da MR do campus do Pici, desde a programação do CLP no SoMachine, a programação do Elipse Power à criação do BD.

5.1 Arquitetura de comunicação da MR

A Figura 57 apresenta a arquitetura de comunicação entre o SCADA desenvolvido (denominado de SCADA LabREI) e a MR da universidade. Para conexão dos equipamentos utilizados no supervisório, foi utilizado um *switch* de 16 portas (fabricante CISCO), que foi instalado na seção dos equipamentos de comando do QD Geral – Microrrede.

Figura 57 - Arquitetura de comunicação da MR do LabREI



Fonte: Própria do autor.

O *switch* é conectado à internet através de um roteador (fabricante D-Link). O inversor SI, o analisador e o CLP realizam o monitoramento da MR, e também são conectados ao *switch*. Este envia todos os dados coletados ao computador com o SCADA LabREI. Comandos realizados a partir do sistema supervisor são executados pelo CLP através dos minirrelés instalados no QD-Geral Microrrede.

O LabREI possui um *nobreak* que alimenta o computador com o SCADA, o *switch*, o CLP e o analisador. O equipamento possui autonomia de aproximadamente 40 minutos com todos esses componentes ligados. Isso evita que a operação do sistema supervisor seja interrompida durante uma falta geral de energia da rede de distribuição.

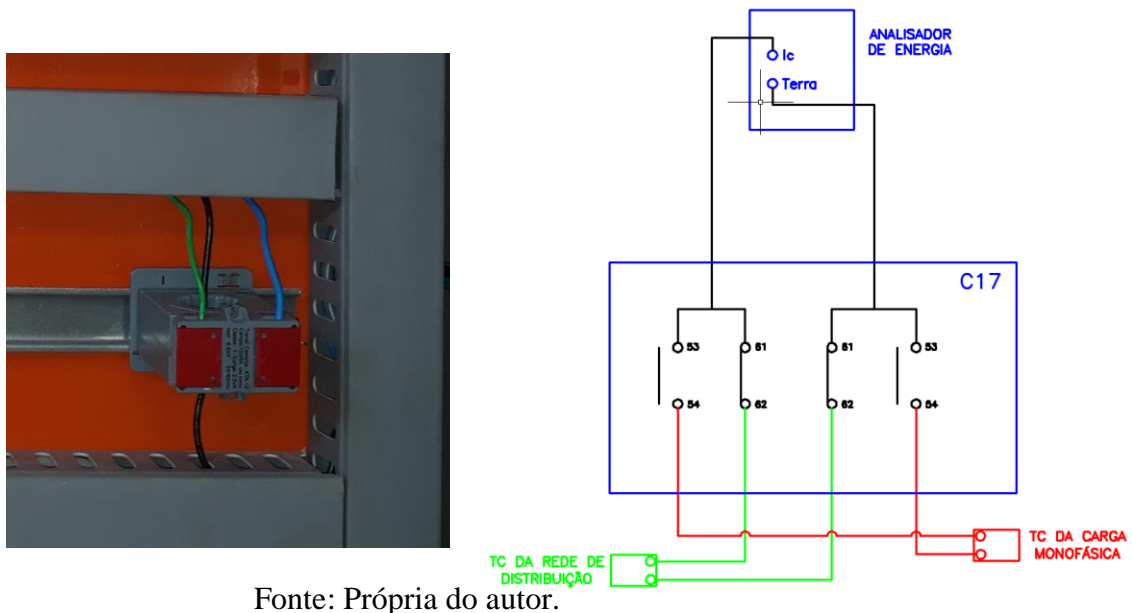
5.2 Monitoramento durante o modo off-grid do SFV-1

Durante o desenvolvimento do SCADA LabREI, verificou-se a necessidade de monitorar a carga monofásica instalada no SFV-01 durante o modo *off-grid*. O analisador de energia monitora continuamente as fases A, B e C e o neutro no ponto de conexão comum (PCC) da MR com a rede de distribuição.

Para monitorar a tensão na carga durante o modo ilhado, foi alterado o ponto de conexão do condutor de tensão da fase C do analisador de energia do PCC para o barramento exclusivo do SFV-1 (barramento 02, mostrado no anexo A). Isso é possível porque é desejado que este barramento esteja sempre energizado pela rede de distribuição para manter a tensão de flutuação ao inversor *on-grid* e ao banco de baterias. Dessa forma, a tensão deste barramento será a mesma da fase C, e o analisador pode monitorar a tensão do SFV-1 durante o modo ilhado.

O monitoramento da corrente da carga durante o modo ilhado é realizado através de um transformador de corrente (TC) adicional, instalado no QD – Geral Microrrede. Para isso, foi criada uma lógica de comando entre o novo TC, o TC da fase C da MR e o contator C17 (responsável por comutar o SFV-1 entre os modos *on-grid* e *off-grid*). Nesse comando, apresentado na Figura 58, quando o subsistema está no modo *on-grid*, o contator estará aberto, e o TC selecionado para ser lido pelo analisador de energia será o que está instalado no PCC da MR; durante o modo ilhado, o contator C17 é fechado, e o analisador fará o registro dos valores fornecidos pelo TC da carga monofásica.

Figura 58 – TC de monitoramento da carga monofásica (à esquerda) e diagrama de comando da comutação entre os TCs do PCC e da carga durante o modo *off-grid* (à direita)



Fonte: Própria do autor.

5.3 Configuração da comunicação entre os equipamentos de monitoramento da MR

Antes de desenvolver o supervisor, foi necessário definir a comunicação de todos os equipamentos a serem utilizados nele, como CLP, IHM, analisador de qualidade de energia, inversor SI, computador onde será instalado o supervisor e o roteador de acesso à internet do LabREI. A forma de comunicação escolhida entre esses dispositivos foi o protocolo TCP/IP, por ser muito utilizado e todos os equipamentos citados são compatíveis com este protocolo.

Para configurar um equipamento no protocolo TCP/IP, três elementos necessitam ser configurados: o endereço de IP, que corresponde à identificação própria do dispositivo na rede; a máscara de sub rede, elemento que identifica quais partes do endereço de IP pertencem à rede remota ou ao equipamento conectado à rede (*host*); e o *gateway* padrão, endereço que permite a conexão dos *hosts* da rede local à internet (MICROSOFT, 2019).

Como há apenas um único roteador em toda a MR, o endereço do *gateway* padrão de todos os equipamentos será único e igual ao do roteador.

A máscara de sub rede escolhida para a MR, a qual é formada pela combinação de apenas dois valores (0 e 255), foi o valor 255.255.255.0. Isso significa que os três primeiros octetos (cada número corresponde a um conjunto de 8 bits, por isso o termo) são fixos e identificam a rede, enquanto o último define o *host*. Dessa forma, todos os equipamentos da MR vão possuir esse valor de máscara e os endereços de IP desses dispositivos terão os três primeiros octetos iguais aos três primeiros octetos do roteador; o último octeto será diferente para cada um, de forma a identificá-los no supervisor.

5.4 Programação do CLP

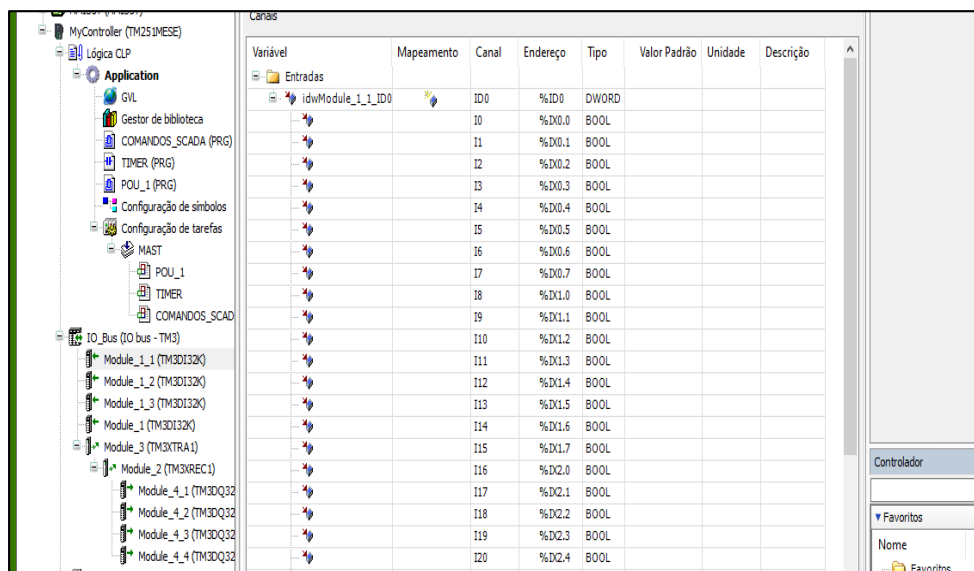
Antes de programar o CLP TM251 MESE e a IHM HMIS5T, foi necessário incluir os dispositivos ao novo projeto criado no SoMachine. Após a configuração da rede, o SoMachine identifica automaticamente os dois equipamentos, permitindo aos mesmos serem incluídos ao projeto.

A programação do CLP foi realizada no *Logic Builder* utilizando principalmente a linguagem de implementação CFC. Nessa linguagem, diagramas de blocos são utilizados como representação, e cada comando é representado por um bloco, permitindo uma maior liberdade de programação em relação ao diagrama de blocos.

Além desta linguagem de programação, também foi utilizada a lógica *ladder* (LD) para utilizar blocos de contagem de tempo (*timers*), com o objetivo de criar um atraso de inicialização na carga monofásica. Quando o CLP aciona o modo *backup* do SFV-1, pode haver picos de corrente transitória enquanto o inversor SI forma a rede para funcionamento *off-grid*. Esses picos podem causar danos em cargas sensíveis se elas forem acionadas durante esse intervalo. Por esse motivo, foi implementado um atraso de 20 segundos para o acionamento da carga durante o acionamento *off-grid* pelo inversor SI.

O CLP foi programado em duas etapas. A primeira consistiu no monitoramento das entradas do dispositivo. Para isso, os módulos de expansão TM3 também foram incluídos no projeto. Como mostra a Figura 59, o SoMachine mostra o endereçamento dos bits de memória de cada módulo de expansão.

Figura 59 - Endereços dos bits de memória dos módulos de expansão (neste caso, do primeiro módulo de entrada)

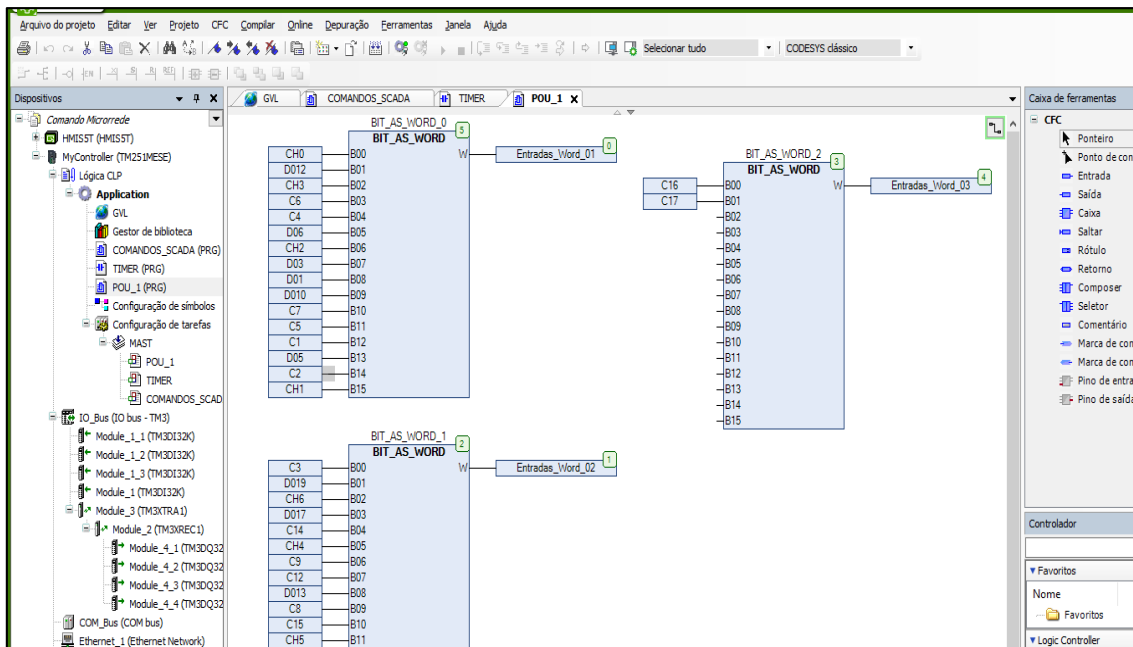


Variável	Mapeamento	Canal	Endereço	Tipo	Valor Padrão	Unidade	Descrição
Entradas							
idwModule_1_1_ID0		ID0	%ID0	DWORD			
		10	%DX0.0	BOOL			
		11	%DX0.1	BOOL			
		12	%DX0.2	BOOL			
		13	%DX0.3	BOOL			
		14	%DX0.4	BOOL			
		15	%DX0.5	BOOL			
		16	%DX0.6	BOOL			
		17	%DX0.7	BOOL			
		18	%DX1.0	BOOL			
		19	%DX1.1	BOOL			
		110	%DX1.2	BOOL			
		111	%DX1.3	BOOL			
		112	%DX1.4	BOOL			
		113	%DX1.5	BOOL			
		114	%DX1.6	BOOL			
		115	%DX1.7	BOOL			
		116	%DX2.0	BOOL			
		117	%DX2.1	BOOL			
		118	%DX2.2	BOOL			
		119	%DX2.3	BOOL			
		120	%DX2.4	BOOL			

Fonte: Própria do autor.

Com esses endereços, foram criados blocos de entradas, onde cada bloco foi endereçado a um bit de memória do módulo que está sendo utilizado por algum componente da microrrede (disjuntor ou contator). Após criados os blocos de entrada dos *bits* utilizados na MR, foi realizado o envio das informações da entrada no supervisão. Para isso, primeiro foi necessário enviar os valores dos *bits* de memória dos módulos para um valor no mapa de endereços de memória do CLP (o mapa de endereços do CLP foi fornecido pelo fabricante), pois o EP possui acesso aos dados no CLP, e não nos módulos. Como a MR usa atualmente 34 entradas dos módulos TM3, foi utilizado três blocos conversores de tipo, de *bit* para *word* (grupo de 16 bits), conforme mostra a Figura 60. As saídas desses blocos foram endereçadas em um valor tipo *word* da memória do CLP, diminuindo assim a quantidade de endereços de memória utilizados no dispositivo.

Figura 60 - Blocos de conversão do tipo *bit* para *word*, para enviar o estado das entradas da MR dos módulos de entrada para o CLP



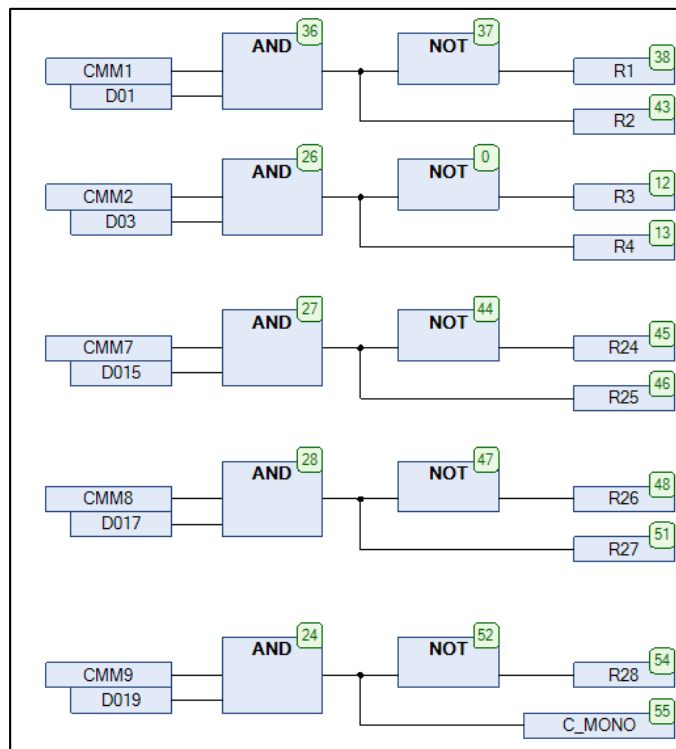
Fonte: Própria do autor.

A segunda etapa foi a programação do comando do SCADA para os relés de saída. Para comandar os minirrelés, foi realizada uma configuração no *Logic Builder* utilizando blocos lógicos (AND, NOT e XOR) para cada botão de acionamento da MR, com o intuito de facilitar o envio dos comandos pelo supervisão. Para isso, foram reservados 15 endereços de memória do CLP para servir de auxiliares. Esses valores, que serão recebidos do supervisão, correspondem a uma botoeira controlável na porta do QD Geral – Microrrede. Assim, para cada

uma dessas saídas, foi criado um circuito lógico no SoMachine para atuar os relés conforme o estado desejado dessa botoeira.

Os circuitos de acionamento direto, isto é, que apenas energizam o circuito (CMM1, CMM2, CMM4, CMM7 e CMM8) só poderão ser energizados se seus disjuntores de alimentação também estiverem energizados, justificando o uso do bloco AND. Cada uma dessas botoeiras são acionadas quando apenas um dos dois relés que fazem parte dos seus respectivos comandos são energizados, justificando o uso da porta NOT, conforme mostra a Figura 61.

Figura 61 - Circuitos de Comando no *Logic Builder* das botoeiras de acionamento direto



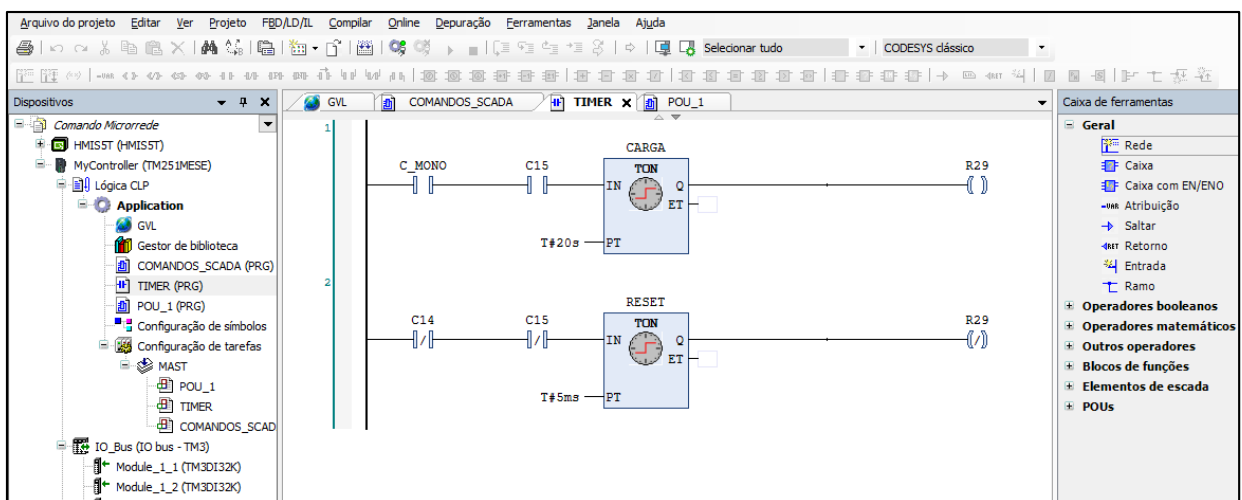
Fonte: Própria do autor.

O acionamento da CMM9 (carga monofásica) também é direto, mas o circuito criado não energiza diretamente o minirrelé que comanda seu acionamento. Em vez disso, esse circuito aciona uma variável auxiliar chamada C_MONO. O valor dessa variável passa por um circuito em uma segunda POU, programada em LD, como apresenta a Figura 62. Nesse circuito, na linha 1, quando C_MONO é acionada, o sinal vai para um timer de 20 segundos, energizando o minirrelé da CMM9 ao final desse tempo.

O circuito LD criado na linha 2 garante que o timer opere corretamente no modo backup. Imediatamente na ausência da alimentação do SFV-1 pela rede de distribuição, todo o subsistema será desenergizado, desativando a CMM 7, CMM8 e a CMM9. No entanto, o

comando da MR permanecerá energizado, e, conseqüentemente, os minirrelés de acionamento dessas CMMs permanecerão ativos, ligando as chaves ao mesmo tempo quando o inversor SI iniciar a formação da rede. Para evitar isso, a CMM8, representada pelo contator C15 no circuito, funcionará como um reset para o minirrelé da CMM9. Quando for detectada falta de energia, CMM7 (contator C14) e CMM8 estarão desligadas; o timer de reset é, então, acionado, desabilitando o minirrelé da CMM9 (o tempo de reset é bem curto, apenas para desenergização). Quando o inversor SI começar a formar a rede de backup, CMM8 será energizada, iniciando a contagem do timer principal. Assim, quando a CMM9 for efetivamente acionada, o inversor SI terá formado a rede, evitando danos de pico de corrente transitória nas cargas acionadas.

Figura 62 - Circuito LD para atraso de inicialização da carga durante o modo back-up do SFV-1

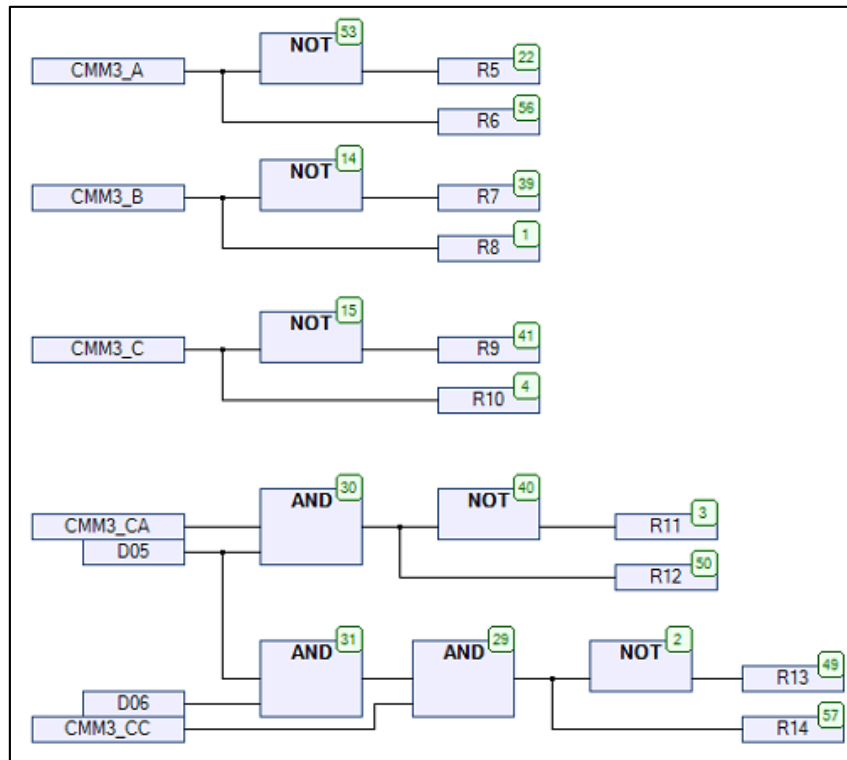


Fonte: Própria do autor.

Para os circuitos de acionamento do SFV-3, o comando das botoeiras seletoras de fase (CMM3A, CMM3B e CMM3C) foram construídos de forma semelhante aos de acionamento direto, exceto pelo fato desses circuitos não possuírem disjuntor de proteção. Os circuitos das outras duas botoeiras (CMM3-CA e CMM3-CC), foram construídos também de forma semelhante às outras acima, porém elas só são acionadas caso os seus respectivos disjuntores de proteção estejam fechados, conforme mostra a Figura 63.

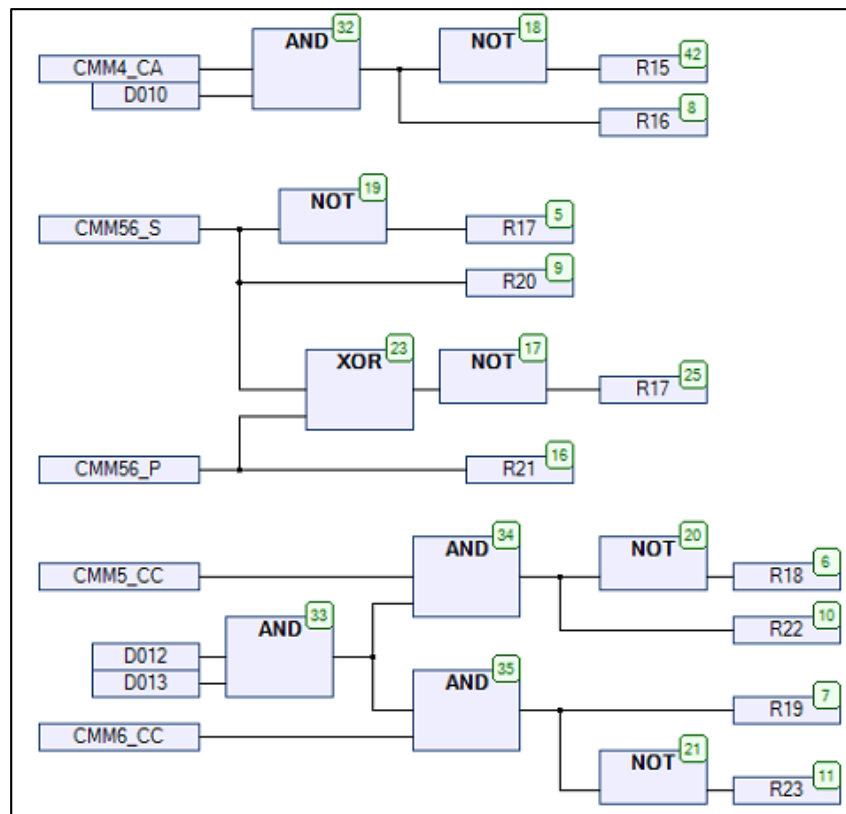
Nos circuitos do SFV-2, as botoeiras CMM5 e CMM6 foram construídas de forma semelhante às da CMM3-CA, pois elas só atuam se os respectivos disjuntores de proteção estiverem fechados. Nos circuitos das botoeiras CMM5S e CMM5P, uma lógica ligeiramente diferente foi utilizada, pois essas botoeiras não podem ser energizadas simultaneamente. Por isso, foi utilizada um bloco lógico XOR, que vai garantir que apenas uma das duas botoeiras seja acionada por vez, conforme mostra a Figura 64.

Figura 63 - Circuitos de Comando no Logic Builder das botoeiras de acionamento do SFV-3



Fonte: Própria do autor.

Figura 64 - Circuitos de Comando no Logic Builder das botoeiras de acionamento do SFV-2



Fonte: Própria do autor.

Com os circuitos das entradas e das saídas concluídos, foi definido um estado inicial para as variáveis de saída. Isso para que, quando houver uma falta de energia no LabREI, o CLP retome o estado energizado dos subsistemas da MR, evitando que a mesma fique desligada por longos períodos.

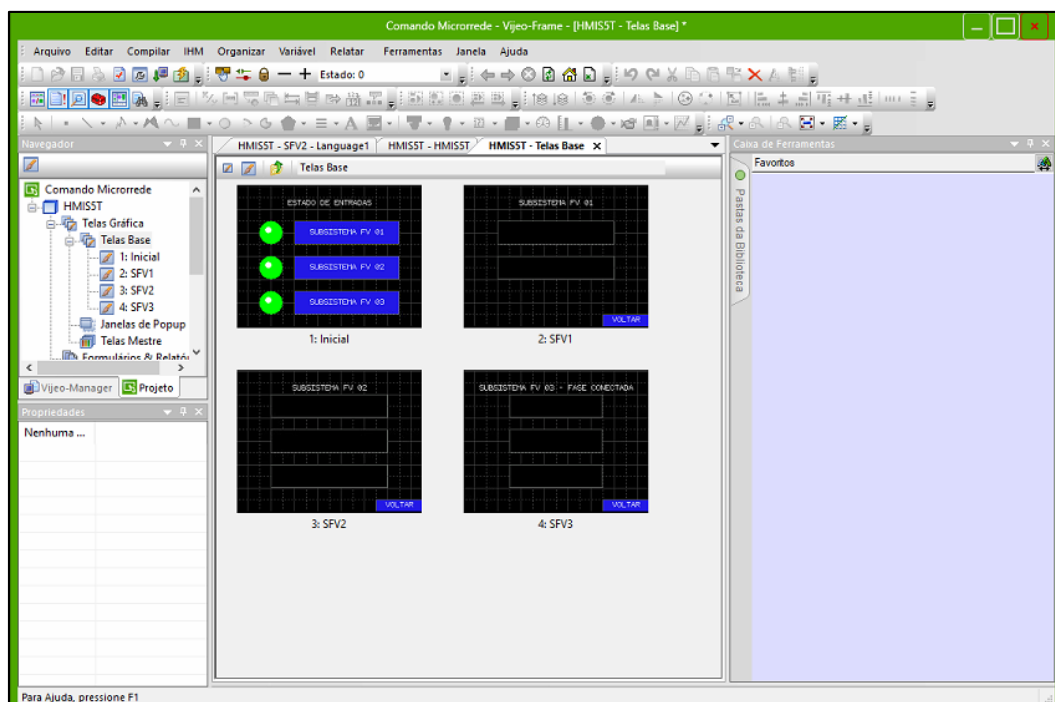
Após a finalização da programação, o projeto, depois de simulado para verificação de erros, foi enviado ao CLP e o mesmo iniciado (modo *run*).

5.5 Programação da IHM

Com a IHM adicionado ao projeto do SoMachine, foi utilizado o *Vijeo-Designer* para desenhar as telas a serem mostradas na IHM. Quatro telas foram criadas, como mostradas na Figura 65:

- A tela principal mostra os subsistemas ativos no momento;
- A segunda tela indica se o SFV-1 está operando no modo *on-grid* ou *off-grid*;
- A terceira tela indica se o SFV-2 está operando com as duas *strings* em série ou em paralelo, ou com apenas uma das *strings*;
- A quarta tela mostra qual fase está conectada atualmente o SFV-3.

Figura 65 - Telas criadas no Vijeo-Design para a IHM



Fonte: Própria do autor.

As variáveis utilizadas nas telas foram importadas do *Logic Builder* para o *Vijeo-Design*. Para isso, dentro do *Logic Builder*, foi criado um objeto de configuração de símbolos, que disponibiliza todas as variáveis criadas para o *Vijeo-Design*.

Após a criação das telas, o projeto, depois de simulado para verificação de erros, foi enviado para a IHM. Após o envio e reinicialização do equipamento, o dispositivo já exibe as telas desenvolvidas, como mostram a Figura 66.

Figura 66 - Telas exibidas pela IHM



Fonte: Própria do autor.

5.6 Desenvolvimento do SCADA

5.6.1 Modelagem da MR

Após a criação de um novo projeto no EP, o desenvolvimento do supervisor se iniciou com a modelagem da MR dentro do modelador elétrico. Os equipamentos da MR foram modelados para que o EP os enxergasse como componentes de uma subestação, para melhor representação dos componentes no supervisor. Para isso, foi construída uma subestação¹ na tela de visualização e edição de sistema. Essa subestação representa a MR para fins de modelagem da MR dentro da tela de subestação.

A MR funciona em dois níveis de tensão: 380 V trifásico e 220 V monofásico. Para modelar esses dois níveis, foi utilizado um transformador auxiliar (nomeado T_{aux}) 380V/220V, para definir as cores das barras de acordo com seu nível de tensão (azul para monofásico e laranja para trifásico). Esse transformador permite a visualização, via EP, de quais barras estão ou não energizadas na operação do SCADA. Os elementos trifásicos da MR modelados no EP foram o transformador isolador, os disjuntores CH0 e D3, a CMM1 e o banco de resistores trifásico.

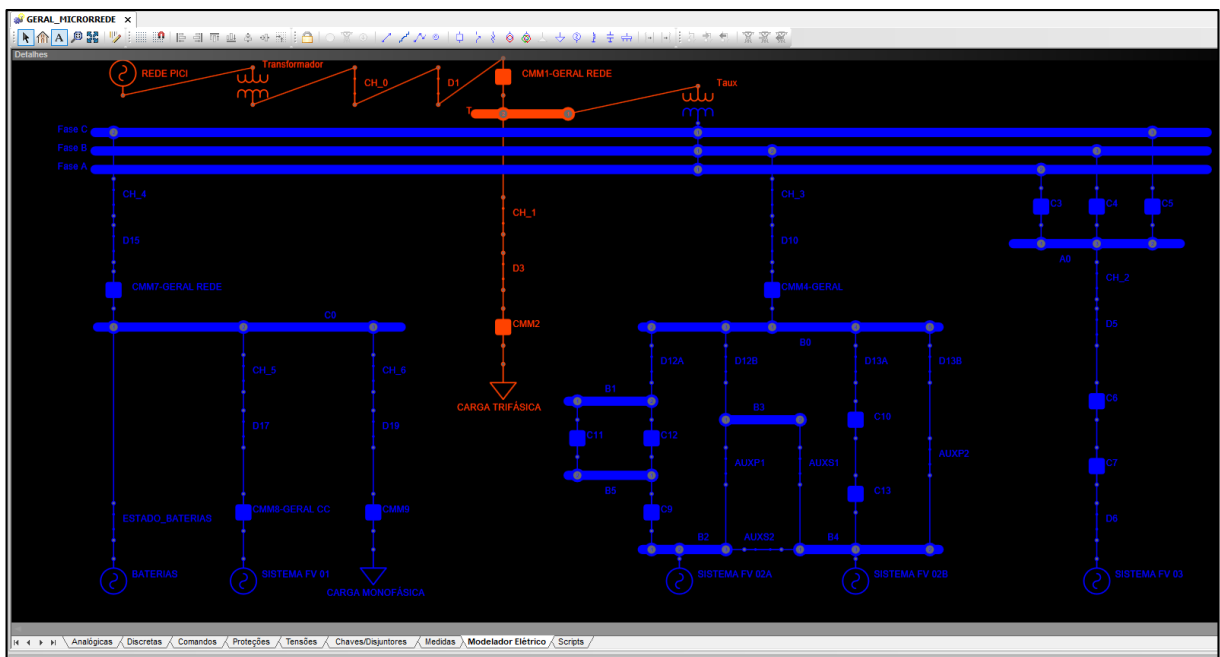
¹ A subestação é apenas figurativa para utilizar o modelador do Elipse Power. Contudo, a aplicação é iniciada na tela de Sistema, e os equipamentos da MR modelados como equipamentos de subestação.

Os minirrelés da MR só atuam os contatores, que são representados pelas CMMs. Os disjuntores da MR não são motorizados, por isso só podem ser acionados de forma manual. Para modelar os elementos dos subsistemas SFV-1 e SFV-3, foram adotadas as seguintes configurações, de acordo com as entradas e saídas monitoradas pelo CLP:

- Representação dos disjuntores da MR como chaves no EP, pois as mesmas não podem ser controladas remotamente. Isso ocorre porque os disjuntores são de manopla e os minirrelés não conseguem acioná-los;
- Representação das CMMs como disjuntores no EP, já que esses serão os elementos controláveis;
- A rede de alimentação, os módulos FV e o banco de baterias foram representados como geradores, já que fornecem a energia para a MR;
- Utilização de símbolos de cargas para os bancos de resistores.

A modelagem do SFV-2 foi mais complexa que a dos outros subsistemas em relação à sua apresentação, pois o objetivo da modelagem no supervisor é tornar a sequência de acionamento de cada subsistema mais objetivo para melhor entendimento. A forma encontrada para facilitar esse entendimento no SFV-2 foi utilizando um conjunto de quatro chaves auxiliares (que não existem fisicamente), onde duas estariam conectando as *strings* de módulos do SFV-2 em série e os outros dois em paralelo quando necessário. A Figura 67 mostra o resultado da modelagem da MR no EP.

Figura 67 - MR desenvolvida no modelador elétrico do EP



Fonte: Própria do autor.

5.6.2 Comunicação com os equipamentos da MR

Antes de realizar a importação dos objetos do modelador elétrico para configuração, foi necessário configurar a comunicação do supervisório com os outros elementos da MR (analisador de energia, CLP e inversor SI). Como a comunicação foi realizada no protocolo TCP/IP, foi utilizado o *driver* Modbus, para configurar a comunicação no EP.

Esse *driver* é disponibilizado no site da Eclipse Software. Após realizado o *download*, o *driver* deve ser carregado no EP através do item *drivers* e OPC, dentro de objetos de servidor, na janela *organizer*. Uma vez carregado, é necessário configurar o *driver* escolhendo a forma de comunicação e as operações que o *driver* deve realizar durante a comunicação.

A forma de comunicação pode ser via RTU, ASCII ou TCP. Uma vez definido, deve-se configurar os detalhes da forma de acordo com os parâmetros da aplicação desejada. Em nosso caso, a comunicação será via Modbus TCP, e os parâmetros necessários para a comunicação são o endereço de IP e a porta do equipamento.

As operações que o *driver* deve realizar depende das características dos dados a serem enviados ou recebidos. O *driver* possui algumas operações predefinidas. Por exemplo, a operação 1 permite leitura e escrita de dados tipo *word*, a operação 2 permite leitura e escrita de dados tipo *double word* e a operação 3 é leitura e escrita de inteiros de 16 bits. O usuário também pode criar operações personalizadas de acordo com os dados fornecidos por cada equipamento. Após o carregamento do *driver* e a criação de um novo bloco de comunicação (local onde serão criadas as *tags* a serem recebidas ou enviadas para o equipamento), será preciso informar o número da operação e o endereço do registrador a ser lido.

Três equipamentos foram utilizados na comunicação com o EP. Por isso, foi criada uma pasta para cada equipamento, cada um com seus próprios blocos de comunicações e configurações.

Foram criados dois blocos de comunicação para o CLP, um para as entradas (estados dos elementos da MR) e outro para as saídas de comando. As operações utilizadas nos blocos foram somente leitura de *bits* para entradas e leitura e escrita de *bits* para as saídas. A Figura 68 mostra os blocos criados para o CLP.

Para o analisador, foi criado um bloco de leitura de inteiros de 32 *bits*. Foram utilizados os principais dados fornecidos pelo analisador (tensão, corrente, potência, fator de potência) para serem lidos pelo SCADA.

Figura 68 - Configuração das tags a serem lidas pelo supervisor

The screenshot shows a software interface with a tree view on the left and a main table on the right. The tree view shows a hierarchy of folders and files, including 'Configuração', 'Arquivos', 'Objetos de Servidor', and 'Objetos de Dados'. The main table lists various tags and their configurations.

Nome	Dispo...	Item	P1/N1...	P2/N2...	P3/N3...	P4/N4...	Ta...	Var...
ENTRADAS MICRORR			0	0	0	0	34	1000
CMM1_CH0							0	
D012							1	
CMM4_CH3							2	
CMM3_C6							3	
CMM3_C4							4	
D05							5	
CH_2							6	
CMM2_D3							7	
D01							8	
CMM4_D10							9	
CMM3_C7							10	
CMM3_C5							11	
CMM1_C1							12	
D05							13	
CMM2_C2							14	
CMM2_CH1							15	
CMM3_C3							16	
CMM9_D19							17	
CMM9_CH6							18	
CMM8_D17							19	
CMM7_C14							20	
CMM7_CH4							21	
CMM5_C9							22	
CMM56P_C12							23	
D013							24	
CMM4_C8							25	
CMM8_C15							26	
CMM8_CH5							27	
CMM7_D15							28	
CMM6_C10							29	
CMM56P_C13							30	
CMM56S_C11							31	
CMM9_C16							32	
SAÍDAS MICRORREDE			1	6	0	160	30	1000
CMM1							0	
CMM2							1	
CMM7							2	
CMM8							3	
CMM9							4	
CMM3_A							5	
CMM3_B							6	

Fonte: Própria do autor.

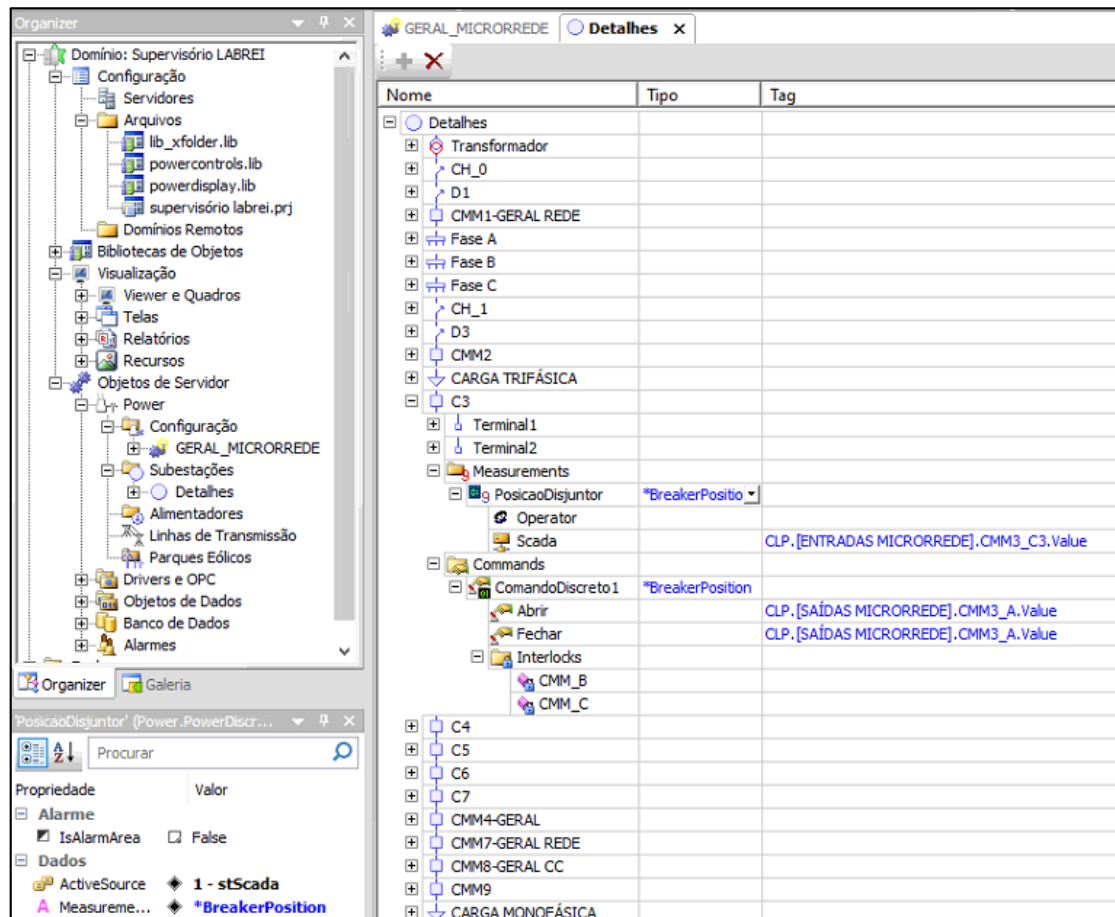
Para o inversor SI, os dados escolhidos para serem lidos foram os de status de operação (*on-grid* ou *off-grid*) e nível de bateria. A operação utilizada no bloco foi a leitura de *double words*.

5.6.3 Importação de dados

Com o sistema modelado e as *tags* criadas, a importação dos dados para configuração pode ser realizada. Após esse processo, os disjuntores e as chaves do modelo podem ser configurados de acordo com o funcionamento da MR. A configuração da visualização dos estados (pasta *Measurements*) dos disjuntores e das CMMs foi realizada utilizando os valores dos módulos de entradas do CLP. Para configurar as saídas, foram criados comandos (pasta *Commands*) para permitir o acionamento das CMMs (abrir e fechar) a partir do supervisor.

Além disso, foram criados intertravamentos (pasta *Interlocks*) para impedir energização acidental de setores dos subsistemas que só podem operar em um estado por vez. Esses setores são as CMMs seletoras de configuração de *strings* do SFV-2 (série ou paralelo) e as seletoras de fase do SFV-3 (fase A, B ou C), conforme mostrado na Figura 69.

Figura 69 - Configuração dos elementos modelados da MR



Fonte: Própria do autor.

Com os elementos do modelador devidamente configurados, seguiu-se para a criação das telas do supervisório.

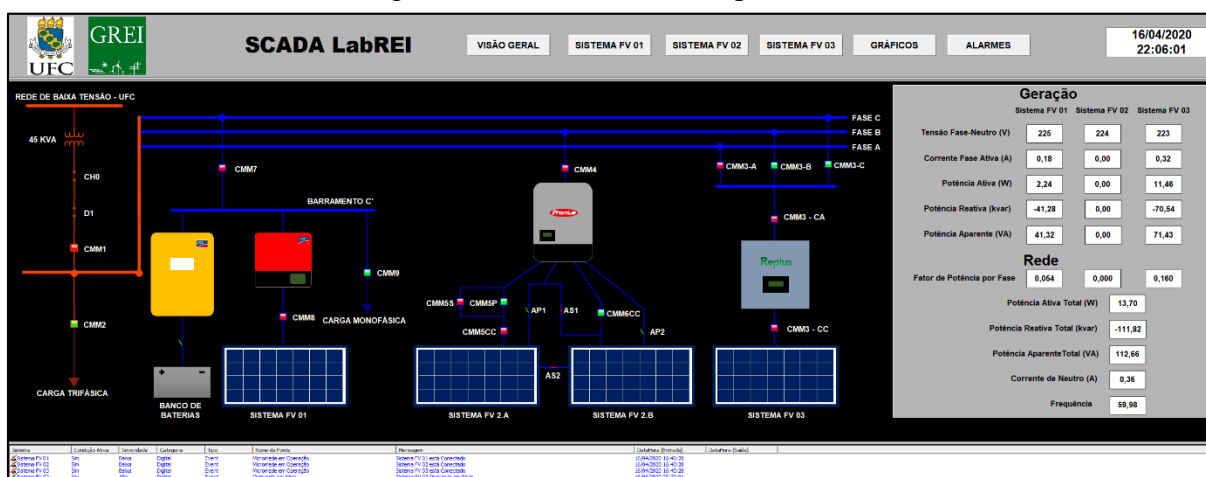
5.6.4 Criação das telas dos subsistemas da MR

A tela padrão do supervisório desenvolvido será um quadro com três áreas. Na área superior está a localização da tela dos menus, a qual possui os botões que permitem navegar pelas demais telas do supervisório. Na área inferior está a tela dos alarmes, mostrando os principais eventos ocorridos na MR. A área central mostra a tela atualmente solicitada ao supervisório pela tela de menus.

Foi criada uma tela principal que será mostrada no início da execução do supervisório, mostrada na Figura 70. Essa tela mostra toda a MR, e foi criada exportando os objetos do modelador elétrico e aplicando uma formatação para uma visão geral da MR. Foram criadas e inseridas imagens dos inversores, dos módulos FV, das cargas trifásica e monofásica e das baterias para ajudar no entendimento da operação da MR.

Além do modelador elétrico, foi incluído na tela principal um quadro com o resumo dos principais parâmetros da geração atual: tensões fase-fase e fase-neutro, corrente, potências ativa, reativa e aparente, fator de potência e frequência. Essas grandezas são exibidas em caixas de texto, que estão ligadas às variáveis especificadas em Drives e OPC do EP.

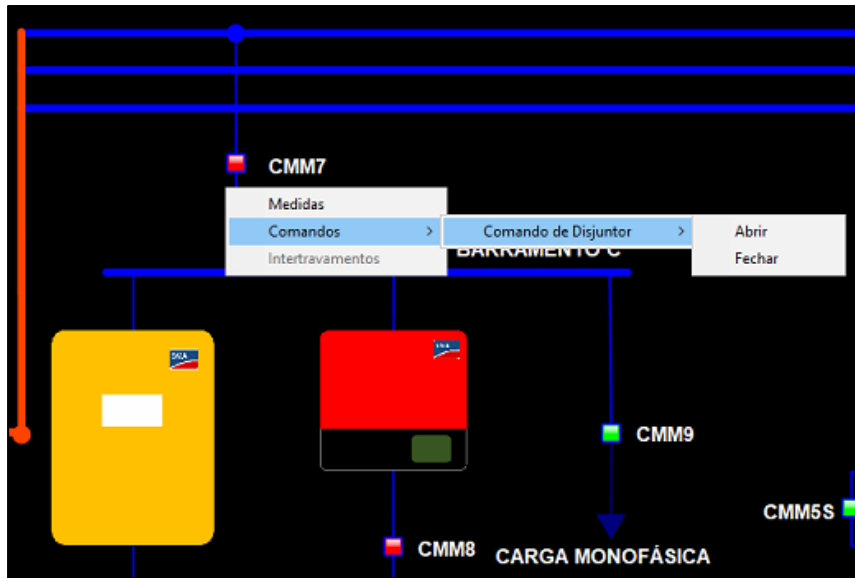
Figura 70 - Tela inicial do supervisório



Fonte: Própria do autor.

Na tela principal, cada CMM (representada por um bloco quadrado, como mostra a Figura 71) pode ser operada. Ao clicar em uma delas, aparecem três opções: “medidas”, que apresenta informações do estado atual da CMM, “comandos”, que permite abrir ou fechar a chave, e “intertravamentos”, que mostra se existe algum intertravamento. Quando uma CMM possui intertravamento, a CMM só pode ser fechada se não houver impeditivo. Na MR, isso ocorre no SFV-2 (pois o subsistema pode operar em série ou em paralelo) e nas CMMs seletoras do SFV-3 (pois o mesmo só pode operar em uma fase por vez). Disjuntores físicos que são monitorados pelo CLP foram representados no SCADA como chaves, pois estas são apenas de leitura. Para fechar (ligar) uma CMM que não está sendo impedida por algum intertravamento, deve-se clicar na CMM, escolher a opção “comandos”, depois a opção “comando do disjuntor” e então a opção “fechar”. Se a CMM desejada não permitir mudança de comando devido a um intertravamento, será preciso abrir a CMM que está intertravada com ela, e só então acionar a CMM desejada. Para abrir, os passos são os mesmos, mas deve-se clicar na opção “abrir”.

Figura 71 - Comando remoto de uma CMM no SCADA



Fonte: Própria do autor.

A tela de menus, mostrado na Figura 72, possui seis botões, que selecionam a tela central a ser exibida. O botão “Visão Geral” exibe a tela principal. Os botões “Sistema FV 01”, “Sistema FV 02” e “Sistema FV 03” selecionam a tela específica do respectivo subsistema (SFV-1, SFV-2 e SFV-3). O botão “Gráficos” seleciona a tela com os gráficos de monitoramento das grandezas da MR, e o botão “Alarmes” mostra o resumo de eventos ocorridos na MR.

Figura 72 - Parte da tela de menus do supervisor



Fonte: Própria do autor.

A tela de alarmes, mostrado na Figura 73, exibe os principais eventos ocorridos na MR, sinalizando, por exemplo, se o SFV-1 está operando *on-grid* ou *off-grid*, a forma de conexão do SFV-2 e em qual fase está conectado o SFV-3. Também alerta o usuário se algum disjuntor monitorado pelo CLP está atuado, facilitando a detecção de problemas na MR.

Figura 73 - Tela de alarmes do supervisor

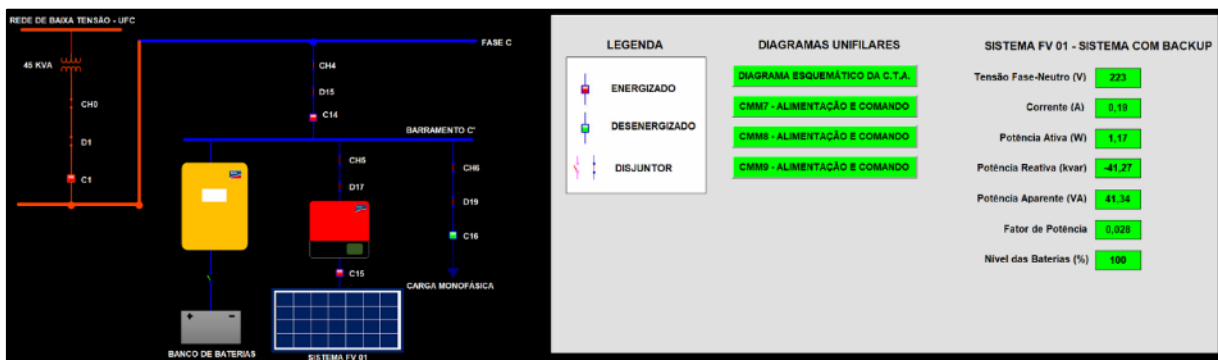
Sistema	Condição Ativa	Severidade	Categoria	Tipo	Nome da Fonte	Mensagem
Sistema FV 01	Sim	Baixa	Digital	Event	Microrrede em Operação	Sistema FV 01 está Conectado
Sistema FV 02	Sim	Baixa	Digital	Event	Microrrede em Operação	Sistema FV 02 está Conectado
Sistema FV 03	Sim	Baixa	Digital	Event	Microrrede em Operação	Sistema FV 03 está Conectado
Sistema FV 02	Sim	Alta	Digital	Event	Operando em Série	Sistema FV 02 Operando em Série
Sistema FV 03	Sim	Baixa	Digital	Event	Fase Atual A	Sistema FV 03 Conectado à Fase A
Sistema FV 01	Não	Alta	Digital	Condition	Sistema em Modo Backup	
Geral Microrrede	Não	Alta	Digital	Condition	Alimentação Geral Desligada	

Fonte: Própria do autor.

Além das telas principais já descritas, foi criada uma tela para cada subsistema FV, detalhando alguns de seus elementos e apresentando informações adicionais. Essas informações incluem os contadores de cada CMM da MR e seus disjuntores associados, os diagramas unifilares de alimentação e de comando de cada CMM e os principais parâmetros de cada subsistema.

Cada tela de subsistema contém uma informação característica deste. Na tela do SFV-1, além dos parâmetros de medição, exibe também o estado da carga atual do banco de baterias, como mostra a Figura 74.

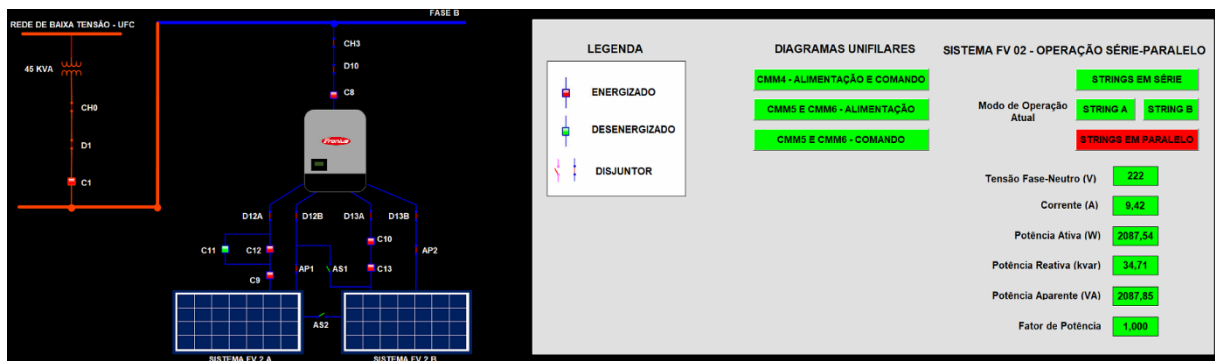
Figura 74 - Tela do SFV-1 do Supervisório



Fonte: Própria do autor.

Na tela do SFV-2, está incluída a informação, em vermelho, do modo de operação atual do subsistema: *strings* em série, apenas uma das *strings* ativa (A ou B) ou as duas *strings* em paralelo, como mostra a Figura 75. Cada opção também é um botão, que, ao ser pressionado, comuta o SFV-2 para o modo de operação selecionado. Ao se selecionar o modo de operação por essa tela, o botão primeiro desliga o modo de operação ativo para depois entrar como o novo modo, precaução tomada devido ao intertravamento entre as configurações série e paralelo.

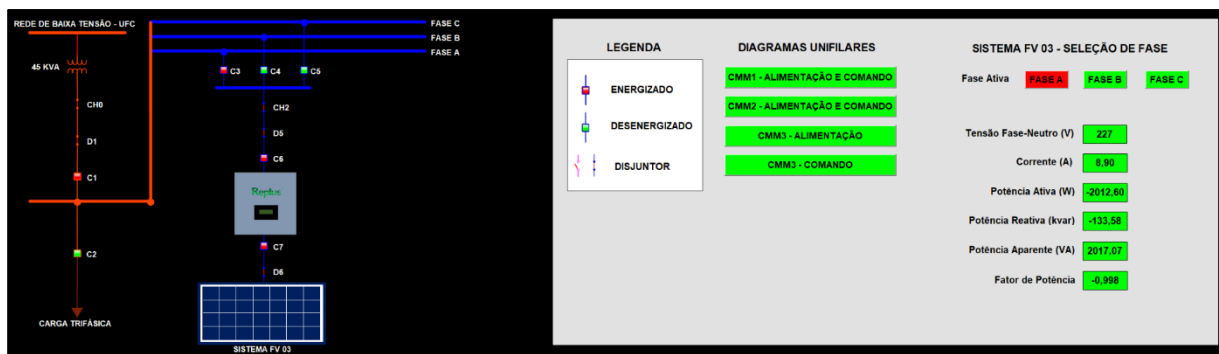
Figura 75 - Tela do SFV-2 do Supervisório



Fonte: Própria do autor.

Na tela do SFV-3, mostrada na Figura 76, está incluída a informação da fase atual onde o subsistema está conectado. Da mesma forma como na tela do SFV-2, cada opção de fase também é um botão que permite comutar rapidamente a fase no qual o SFV-3 deve permanecer conectado. A construção dos botões que permitem visualizar o modo de operação dos subsistemas SFV-2 e SFV-3 foram desenvolvidos através de scripts no EP. Ao se selecionar a fase por essa tela, o botão primeiro desliga a CMM ativa e depois entrar na nova fase, precaução tomada devido ao intertravamento entre as fases.

Figura 76 - Tela do SFV-3 do Supervisório



Fonte: Própria do autor.

5.6.5 Criação das telas de gráficos

Para a tela dos gráficos, foi criado um quadro específico com duas divisões verticais: uma para uma tela de menu dos gráficos e outra para os gráficos gerados pelo EP. A tela de menu dos gráficos possui 7 botões principais: Tensão trifásica (em V), Tensão monofásica (em V), Corrente (em A), Potência aparente (em VA), Potência Ativa (em W), Potência Reativa (em kvar) e Estado da bateria (%), como mostra a Figura 77.

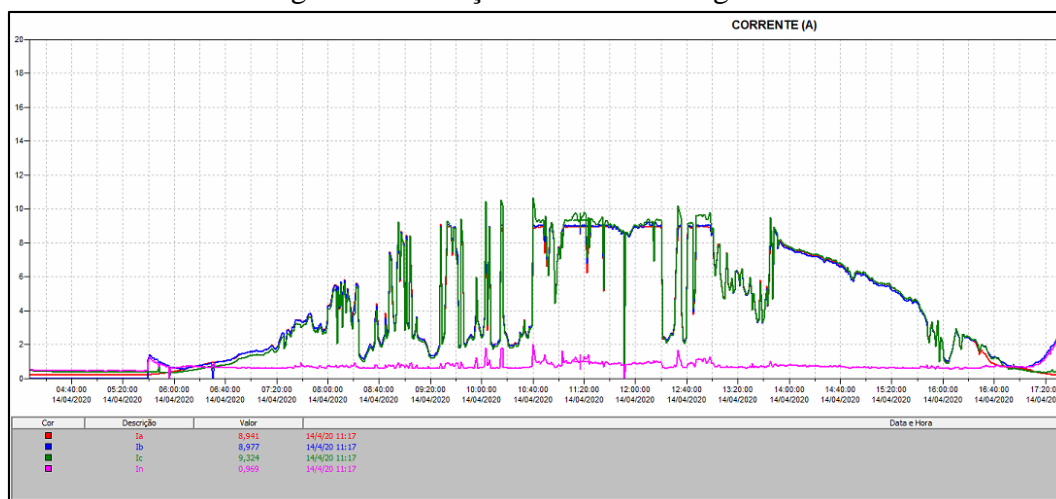
Figura 77 - Quadro do submenu Gráficos do SCADA



Fonte: Própria do autor.

Quando o submenu Gráfico da tela de menus é selecionado, a tela aberta será a do gráfico de Corrente. Todos os gráficos mostram os dados em tempo real e histórico obtidos pelo analisador de energia da MR e armazenados no BD. Cada gráfico possui uma área à direita que informa dados de cada fase. Clicando no gráfico, essa área dá informações de valor e horário do ponto clicado, como apresenta a Figura 78.

Figura 78 - Seleção de valores nos gráficos



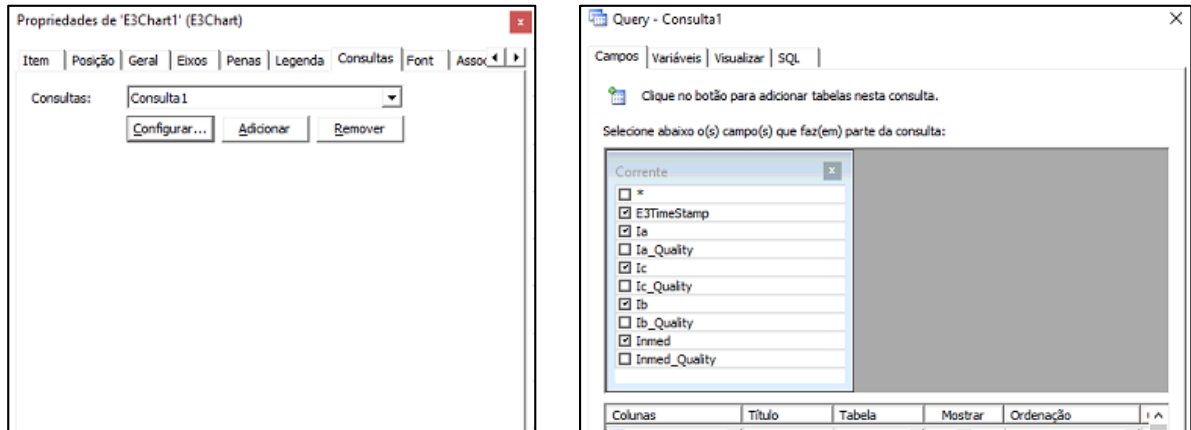
Fonte: Própria do autor.

A criação de cada gráfico foi realizada utilizando a ferramenta E3 Chart, que cria uma área gráfica ao desenvolvedor. Através da janela de propriedades do gráfico, várias ferramentas ficam acessíveis, como formatação de escalas de eixos e penas (nome dado às informações coletadas exibidas no gráfico), além da criação de legendas. Também por essa janela, é possível ligar uma pena a uma tabela de um BD, caso exista. Gráficos criados por essa ferramenta podem ser de três tipos: tempo real, que mostra os dados momentâneos, histórico, que exhibe os valores armazenados no BD, e de tempo real e histórica, que exhibe dados do BD mas é atualizado em tempo real em um intervalo de tempo definido pelo desenvolvedor.

No desenvolvimento do supervisor, os gráficos criados foram do tipo tempo real e histórico, para exibir dados das últimas 24 horas de funcionamento da MR. Durante a criação do gráfico, uma das propriedades disponíveis é a aba Consultas. Por meio dela, pode-se criar uma Consulta, que é simplesmente adicionar um banco de dados no gráfico. Um gráfico pode ter várias Consultas ao mesmo tempo, mas apenas uma Consulta pode ser utilizado por pena. Durante a criação de uma Consulta, é possível selecionar quais tabelas serão acessadas ou escritas pelos dados da pena criada. Uma vez associada a Consulta à pena criada, as tabelas podem ser utilizadas como eixos do gráfico. O dado associado à pena será então exibido no gráfico e registrado no SCADA.

Para exemplificar esse processo, serão utilizados a seguir os detalhes da criação do gráfico de corrente. Primeiro, foi adicionada uma nova Consulta ao BD da MR. Durante a configuração da nova Consulta (chamada de Consulta 1), foram escolhidas as cinco tabelas a serem utilizadas no gráfico: o E3TimeStamp (tabela de tempo do EP), I_a , I_b , I_c e I_n (correntes das fases A, B, C e neutro, respectivamente), conforme mostra a Figura 79.

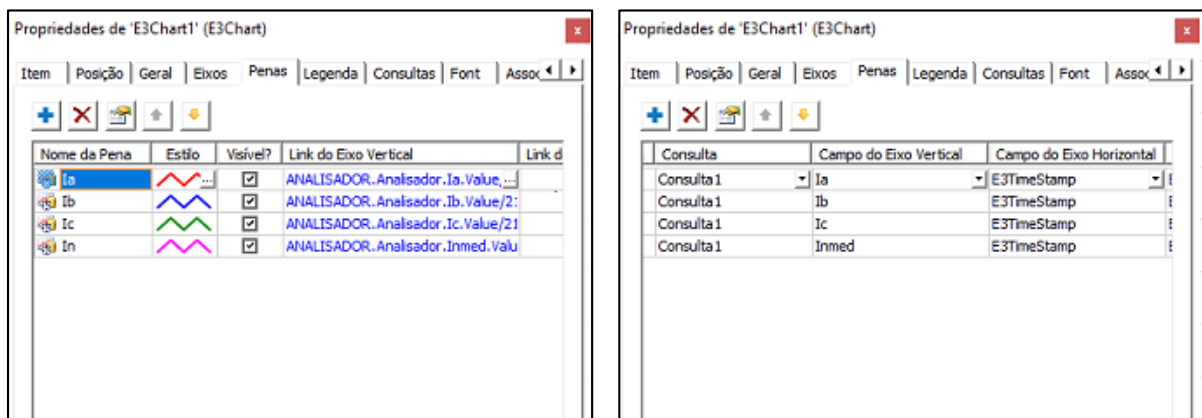
Figura 79 - Criação de uma nova Consulta no gráfico



Fonte: Própria do autor.

Após inserida uma nova Consulta, foi criada uma pena para cada corrente a ser coletada e exibida no gráfico, totalizando 4 penas. Cada uma foi conectada à variável de corrente correspondente na pasta do bloco de *tags* do analisador de energia, através da coluna “Link do Eixo Vertical” das propriedades do gráfico. Após isso, na coluna “Consulta”, insere-se a Consulta de corrente criada, e só então as colunas “Campo do Eixo Vertical” e “Campo do Eixo Horizontal” podem ser associadas, respectivamente, à tabela de corrente e à tabela de tempo do BD, conforme mostra a Figura 80. Dessa forma, os dados lidos pelo gráfico serão registrados no BD enquanto o supervisório estiver executando.

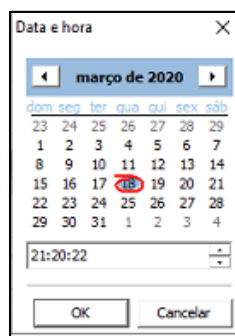
Figura 80 - Configuração das penas de corrente



Fonte: Própria do autor.

Para cada gráfico criado, foi desenvolvido, através de *scripts* no EP, uma seção de pesquisa de histórico. Por padrão, os gráficos foram configurados para mostrar os registros do BD nas últimas 24 horas. Caso haja necessidade de se consultar horários anteriores, a pesquisa de histórico permite fazer essa consulta. Para isso, deve ser definido o período a ser consultado, clicando diretamente nos campos Data Inicial e Data Final, que irá abrir uma tela de calendário (Figura 81) no qual será definida a data, e logo após clicar em Confirmar Período. Após carregar os dados do BD (com duração de alguns segundos), o gráfico passa a exibir os dados obtidos dentro do intervalo definido.

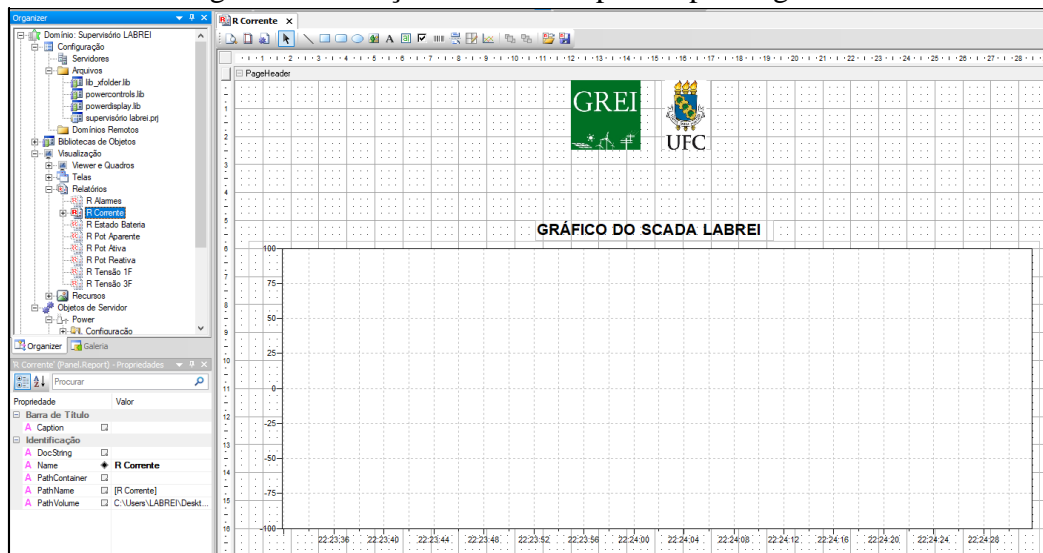
Figura 81 - Seleção da data inicial e final para consulta do histórico pelas telas de gráficos



Fonte: Própria do autor.

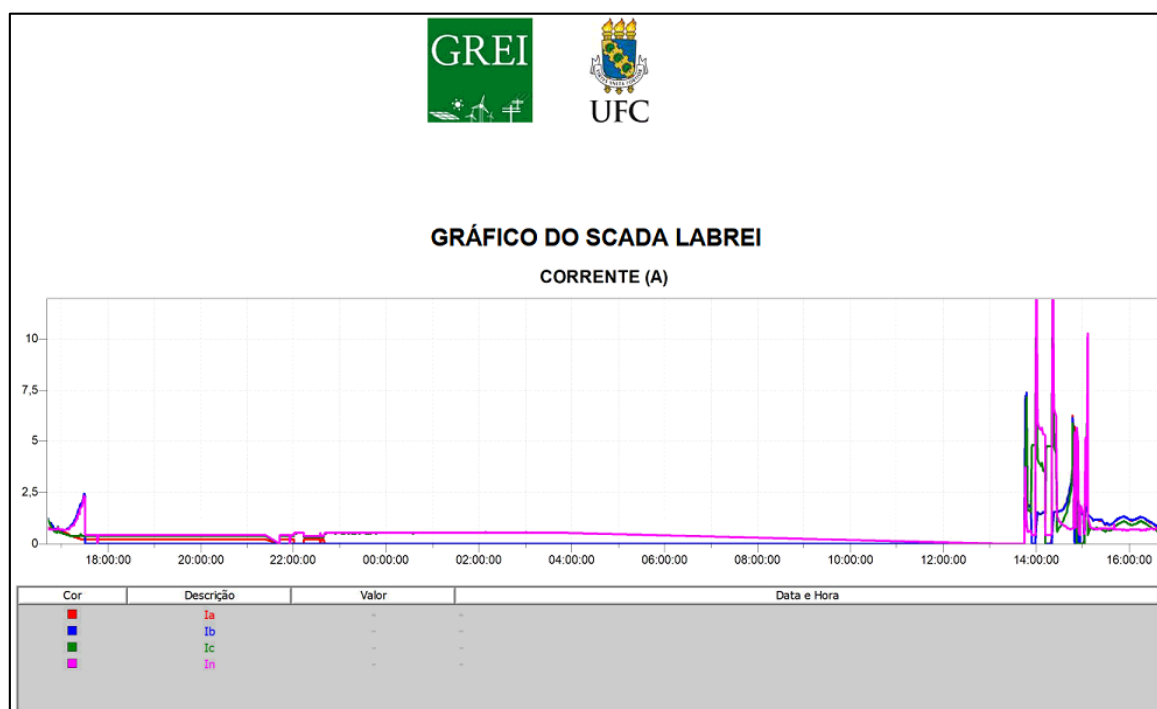
Além da pesquisa de histórico, foi criado, com auxílio de *scripts*, um botão adicional que permite exportar o gráfico atual para um arquivo em PDF, que será guardado em uma pasta específica na área de trabalho do computador do SCADA. Para criação deste arquivo em PDF, foi criado um arquivo de relatório, formatado para receber o gráfico e, através de *scripts*, associado à respectiva tela de gráfico, como mostra a Figura 82. O arquivo em PDF exibirá o conteúdo atual do gráfico, da forma como exibido na Figura 83.

Figura 82 - Criação de relatório para exportar gráficos



Fonte: Própria do autor.

Figura 83 - Arquivo em PDF do gráfico de corrente



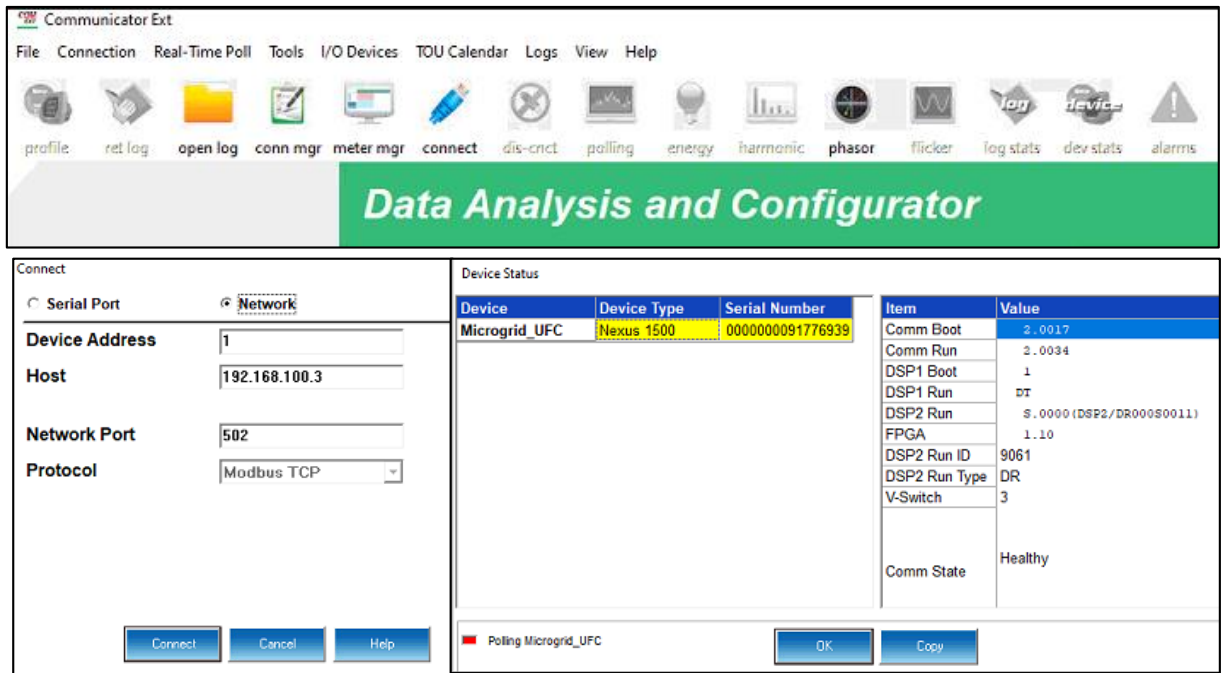
Fonte: Própria do autor.

5.6.6 Integração com o analisador de energia

Todos os dados visualizados através dos gráficos do SCADA são obtidos do analisador de energia. O equipamento possui um software próprio, utilizado para visualizar e registrar todos os dados possíveis do analisador, se tornando também uma importante ferramenta de análise da MR. Assim, ainda no submenu dos gráficos, foi adicionado um botão que, ao ser clicado, abre a tela do software do analisador de energia, o Communicator EXT, da fabricante EIG.

Quando o software é aberto, será necessário conectar o software ao analisador. Isso é realizado através da ferramenta Connect. Ao ser pressionado, será aberta uma janela, que já está configurada com os parâmetros necessários à conexão TCP com o analisador de energia, bastando apenas o usuário pressionar o botão Connect, conforme apresentado na Figura 84. Uma nova janela aparece mostrando a identificação e os dados de configuração do analisador de energia. Basta pressionar o botão OK para iniciar o acesso aos dados do analisador.

Figura 84 - Tela inicial do Communicator Ext, tela de conexão e de configurações



Fonte: Própria do autor.

Todas as ferramentas do software aparecem habilitadas após a conexão, mas neste trabalho serão apresentadas as mais importantes:

- *Polling*: exibe uma tela com os valores das principais grandezas aferidas (atualizadas em tempo real ou a cada segundo). A tela mostra ainda a forma de onda das tensões e das correntes nas fases monitoradas, como apresenta a Figura 85.

Figura 85 - Ferramenta Polling, destacando a escolha da grandeza cuja forma de onda atual será apresentada na tela



Fonte: Própria do autor.

- *Harmonic*: Exibe uma tela com os valores das harmônicas das tensões e das correntes das fases. Esses valores podem ser exibidos de forma numérica ou através de diagrama de espectro ou senoidal, como apresenta a Figura 86.

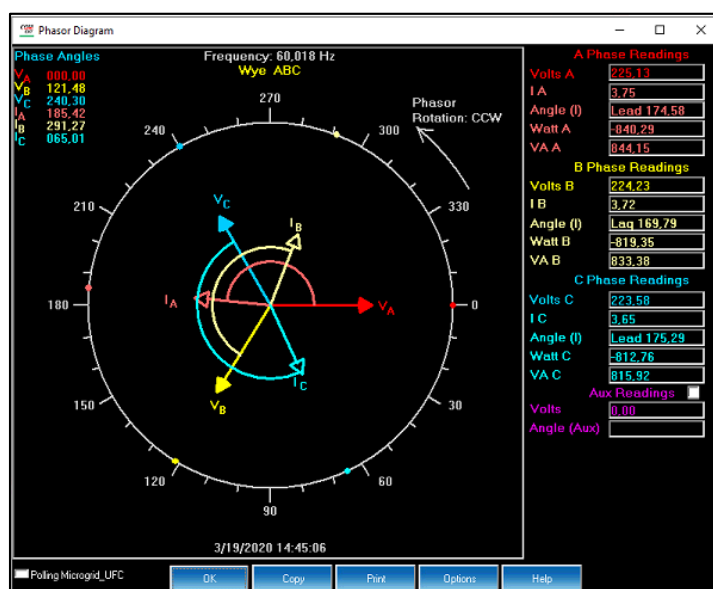
Figura 86 - Ferramenta *Harmonic*, destacando a escolha da grandeza onde serão analisados os valores de harmônicos



Fonte: Própria do autor.

- *Phasor*: mostra o diagrama fasorial das tensões e correntes monitoradas, como apresenta a Figura 87. No caso desta figura, a corrente e a tensão de uma mesma fase estão em um defasamento angular de quase 180° , indicativo do fluxo invertido de potência.

Figura 87 - Ferramenta *Phasor*, mostrando o diagrama fasorial da rede



Fonte: Própria do autor.

- *Ret Log*: o Communicator EXT permite realizar o download dos dados coletados pelo analisador de energia para o computador. A ferramenta permite escolher quais registradores do analisador terão seus dados baixados, como mostrado na Figura 88. Após a seleção dos registradores, clicar no botão *Start* inicia o processo de download, que pode demorar alguns minutos.

Figura 88 - Ferramenta *Ret Log*

Log	Records	Memory Used	Newest Record Time	Oldest Record Time	Record Size	Max Records	Memory(k)	Select
Historical 1	31128	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	03/08/2020 07:09:30.00	128	31128	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 2	31128	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	03/08/2020 07:09:30.00	32	31128	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 3	71151	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	02/22/2020 09:38:00.00	112	71151	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 4	221365	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	01/01/2020 03:09:30.00	36	221365	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 5	68696	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	02/23/2020 11:43:30.00	116	68696	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 6	284612	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	12/10/2019 03:33:30.00	28	284612	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 7	173242	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	01/17/2020 20:49:00.00	46	173242	8192	<input type="checkbox"/>
Historical 8	209714	100,0000%	03/19/2020 15:14:00.00	01/05/2020 04:15:00.00	38	209714	8192	<input type="checkbox"/>
Event Triggered	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	24	41505	1024	<input type="checkbox"/>
Sequence of Events (Limits)	683	4,3883%	03/18/2020 13:13:30.75	04/05/2018 13:29:44.19	64	15564	1024	<input type="checkbox"/>
Digital Inputs	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	144	6916	1024	<input type="checkbox"/>
Digital Outputs	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	96	10375	1024	<input type="checkbox"/>
Flicker	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	40	24903	1024	<input type="checkbox"/>
Waveform	22	23,1579%	04/20/2018 13:49:34.37	04/04/2018 09:38:41.32	593632	95	102400	<input type="checkbox"/>
Power Quality	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	256	116736	30720	<input type="checkbox"/>
System Events	860	2,7627%	03/13/2020 09:47:38.61	01/26/2113 28:36:04.14	16	31128	1024	<input checked="" type="checkbox"/>
Transients	0	0,0000%	00/00/0000 00:00:00.00	00/00/0000 00:00:00.00	22816	42	1024	<input type="checkbox"/>
EN50160 / IEC 61000-4-30	Yes	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	<input type="checkbox"/>

Polling Waveform Header
 To retrieve a log, click on the checkbox in the 'Selected' column of log(s) that you want to retrieve. Next click the 'Start' Button to begin the retrieval.

Retrieve Selected Log(s)

Retrieve logs using

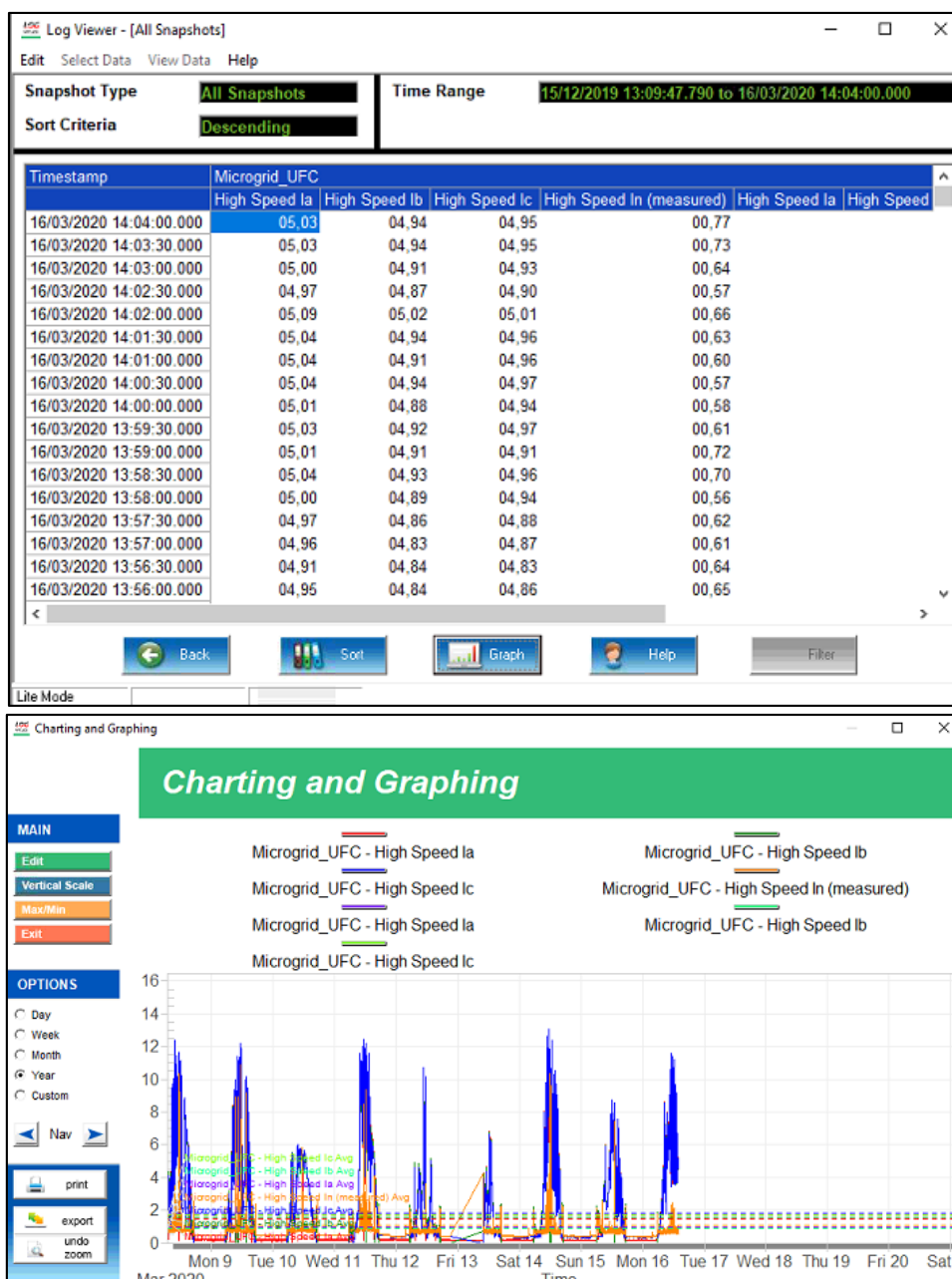
Fonte: Própria do autor.

Uma vez terminada a operação, a janela *Log Viewer* é aberta. Por meio dela, é possível visualizar as curvas históricas dos dados baixados do analisador. Para isso, primeiro deve-se escolher as grandezas a serem analisadas no botão *Data points*. Após isso, selecionar o botão *Historical trends* abrirá uma tela onde serão exibidos os valores numéricos dos dados históricos baixados das grandezas escolhidas. Esses valores podem ser exibidos graficamente selecionando o botão *Graph*, como mostra a Figura 89.

5.6.7 Criação dos alarmes e eventos do SCADA

A área inferior do quadro principal do supervisório foi reservada para os eventos e alarmes da MR. O EP possui objetos que permitem especificar e gerenciar alarmes e eventos de variáveis do processo. O sistema de alarmes é formado por um objeto centralizador (chamado Servidor de alarmes) e um ou mais objetos de configuração (chamado Configuração de alarmes).

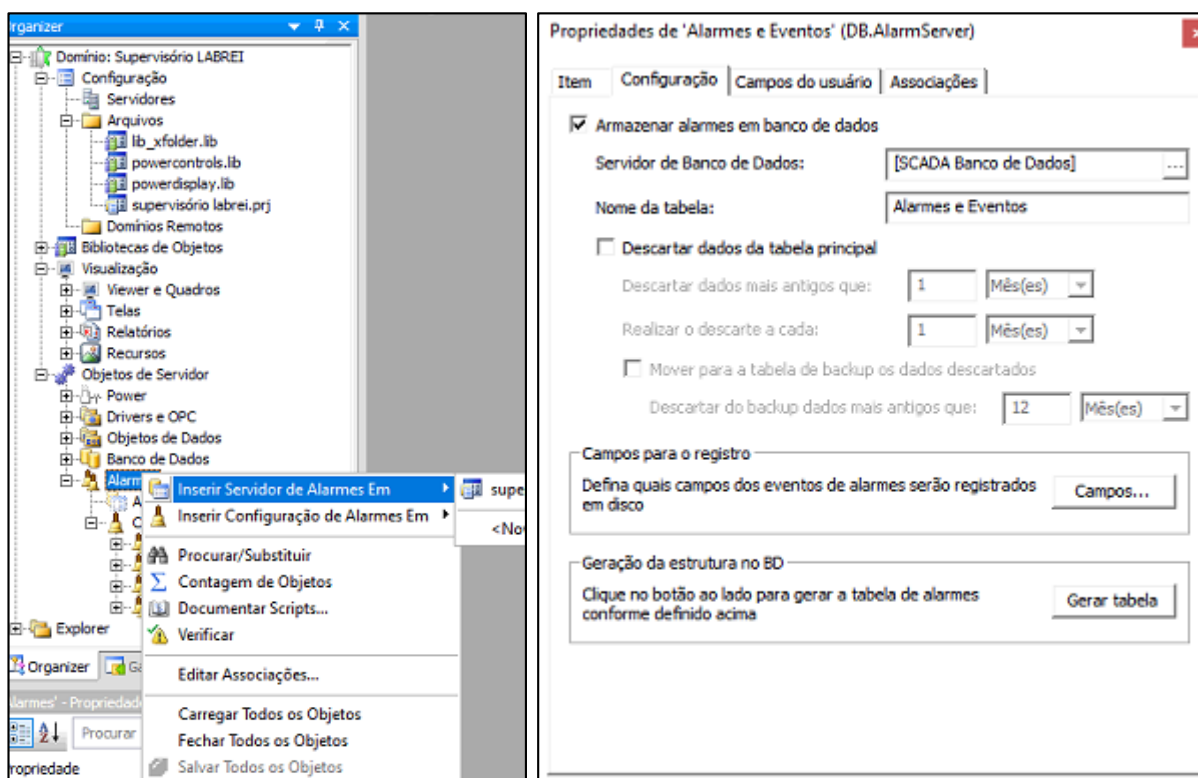
Figura 89 - Utilização do Log Viewer (acima, tela do Historical trends; abaixo, tela Graph)



Fonte: Própria do autor.

Antes da configuração dos alarmes, é necessário criar o objeto Servidor de alarmes. Este último é responsável por reunir todos os alarmes e eventos ativos da aplicação, reportar os eventos para os *viewers* dos usuários e enviar esses eventos para um BD, se houver. Cada aplicação só pode ter um Servidor de alarmes, sendo obrigatório para que a verificação de alarmes e eventos ocorra. Após inserir um Servidor de alarmes (em objetos de servidor, conforme Figura 90), o mesmo pode ser configurado, permitindo inserir o banco de dados onde os eventos serão salvos, que campos de alarmes devem ser salvos e quando descartar os dados mais antigos.

Figura 90 - Criação (à esquerda) e configuração (à direita) do Servidor de Alarmes



Fonte: Própria do autor.

Após a criação do Servidor de alarmes na aplicação, pode ser criada a Configuração de alarmes. Essa central reunirá todas as configurações que definirão quando e como os eventos serão acionados e exibidos no SCADA. Dentro desse objeto de configuração, podem ser criadas as Áreas, nas quais podem ser agrupados os alarmes, facilitando o gerenciamento, a operação e o monitoramento de fontes de alarme.

Os eventos e alarmes que podem ser criados no EP estão divididos entre 5 tipos:

- Alarme analógico: monitora uma variável analógica especificando até 4 níveis de alarme, que são muito baixo (LoLo), baixo (Lo), alto (Hi) e muito alto (HiHi).
- Alarme de banda morta: monitora uma variável analógica especificando um limite máximo de diferença (banda morta) em relação a um valor de referência. É utilizado quando o valor de referência é variável, quando se deseja evitar uma quantidade desnecessária de alarmes para pequenas oscilações dessa variável.
- Alarme de taxa de variação: monitora variações muito rápidas em uma variável do processo.

- Alarme digital: monitora uma variável digital, especificando o alarme na borda de descida (falso) ou de subida (verdadeiro).
- Alarme discreto: monitora uma variável pela especificação de múltiplas subcondições.

Neste trabalho, foram considerados eventos as ações informativas a respeito da MR e do funcionamento dos subsistemas, e são sinalizados no supervisório em azul. Já os alarmes indicam situação que exige observação na MR, como um disjuntor desarmado ou carga das baterias baixa. Foram criadas 4 áreas de eventos, conforme mostrado na Figura 91, contendo os seguintes eventos e alarmes:

Figura 91 - Configuração dos alarmes do SCADA LabREI

Nome	Fonte
ConfigAlarmes	
Geral Microrrede	
Chave CH0	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM1_CH0.Val
Chave CH1	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM2_CH1.Val
Disjuntor D1	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].D01.Value
Disjuntor D3	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM2_D3.Value
Alimentação Geral Desligada	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM1_C1.Value
Sistema FV 01	
Chave CH4	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM7_CH4.Val
Chave CH5	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM8_CH5.Val
Chave CH6	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM9_CH6.Val
Disjuntor D15	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM7_D15.Val
Disjuntor D17	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM8_D17.Val
Disjuntor D19	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM9_D19.Val
Sistema em Modo Backup	(1-CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM7_C14.V
Microrrede em Operação	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral
Fornecimento de Energia	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral
Baterias com Baixa Carga	SUNNY_ISLAND.SUNNY_ISLAND.SOCbat.Value
Sistema FV 02	
Chave CH3	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_CH3.Val
Disjuntor D10	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_D10.Val
Disjuntor D12	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].D012.Value
Disjuntor D13	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].D013.Value
Operando em Série	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_CH3.Val
Operando com a StringA	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_CH3.Val
Operando com a StringB	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_CH3.Val
Operando com Duas Strings em Paralelo	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM4_CH3.Val
Microrrede em Operação	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral
Fornecimento de Energia	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral
Sistema FV 03	
Chave CH2	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CH_2.Value
Disjuntor D5	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].D05.Value
Disjuntor D6	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].D06.Value
Fase Atual A	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM3_C3.Value
Fase Atual B	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM3_C4.Value
Fase Atual C	CLP.[ENTRADAS MICRORREDE].CMM3_C5.Value
Microrrede em Operação	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral
Fornecimento de Energia	ConfigAlarmes.[Geral Microrrede].[Alimentação Geral

Fonte: Própria do autor.

- Alimentação Geral Microrrede:
 - ✓ 4 alarmes indicando a abertura dos disjuntores que protegem a CMM1 (Geral SFV 01) e a CMM2 (carga monofásica);

- ✓ Um alarme indicando que a alimentação geral da MR está desligada (quando a CMM1 está desenergizada).
- SFV-1:
 - ✓ 6 alarmes digitais indicando a abertura dos disjuntores que protegem a CMM (que aciona o SFV-1), a CMM8 (aciona o inversor) e CMM9 (carga monofásica);
 - ✓ Um evento indicando se este subsistema está operando em modo *on-grid*;
 - ✓ Um alarme indicando se este subsistema está operando em modo *backup*;
 - ✓ Um evento analógico que indica se o SFV-2 está desligado (alarme), injetando energia à rede ou se a rede de distribuição está contribuindo para alimentar uma carga.
 - ✓ Um alarme analógico que indica quando a carga do banco de baterias está abaixo de 30%.
- SFV-2:
 - ✓ 4 alarmes digitais indicando a abertura dos disjuntores que protegem a CMM4 (que aciona o SFV-2) e as *strings*;
 - ✓ 4 eventos digitais indicando qual o modo de operação atual do subsistema: *strings* em série, uma *string* ativa (A ou B) e ambas em paralelo (apenas um é exibido por vez);
 - ✓ Um evento digital que indica se o SFV-2 está em operação;
 - ✓ Um evento analógico que indica se o SFV-2 está desligado (alarme), injetando energia à rede ou se a rede de distribuição está contribuindo para alimentar uma carga.
- SFV-3:
 - ✓ 3 alarmes digitais indicando a abertura dos disjuntores que protegem a CMM3 CA e a CMM3 CC (que acionam o SFV-3);
 - ✓ 3 eventos digitais indicando qual fase este subsistema está atualmente conectado (apenas um é exibido por vez);
 - ✓ Um evento digital que indica se o SFV-3 está em operação;
 - ✓ Um evento analógico que indica se o SFV-3 está desligado (alarme), injetando energia à rede ou se a rede de distribuição está contribuindo para alimentar uma carga.

Foi criada uma tela para visualização dos alarmes ocorridos na MR, que pode ser acessado através do submenu Alarmes, na tela de menus. Nesta tela, foi criado um objeto de tabela de dados, através da ferramenta *E3Browser*. Esse objeto é uma tabela de registros,

mostrada na Figura 92, e o mesmo foi configurado para acessar o BD da MR e exibir nas colunas principais parâmetros do alarmes do SCADA, que são:

- Horário de evento;
- Área (Alimentação Geral Microrrede, SFV-1, SFV-2 ou SFV-3);
- Severidade do alarme: Baixa (2), Média (1) ou Alta (0);
- Condição ativa: Ativo (1) ou Inativo (0);
- Tipo de evento: Evento (*Event*) ou Alarme (*Condition*);
- Mensagem do evento ou alarme;
- Horário de Início e de Término do Evento;
- Categoria do Evento: Digital ou Analógica (Nível).

Figura 92 - Tela de Alarmes da MR

Fonte: Própria do autor.

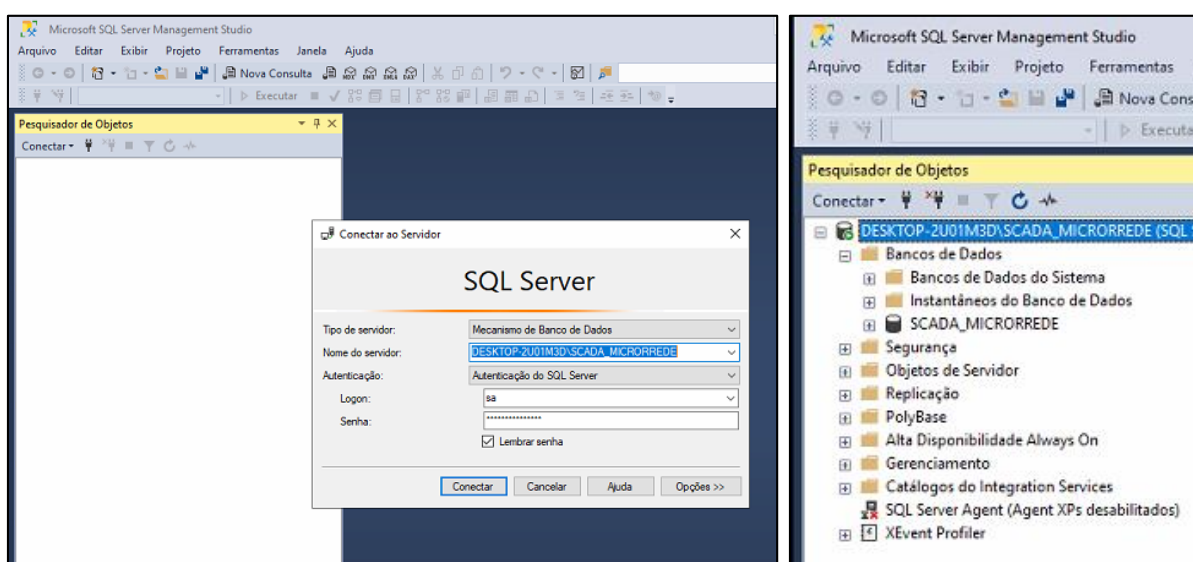
Uma consulta filtrada por data foi implementada através do uso de *scripts* na tela de alarmes. Nesta consulta, o usuário deve escolher a data inicial, a data final e selecionar o botão confirmar período, da mesma forma que nas telas dos gráficos. Todos os alarmes registrados em BD dentro desse intervalo serão exibidos em tela, como apresentado na Figura 93.

O usuário pode ainda exportar os alarmes do intervalo selecionado para um arquivo PDF. Para isso, foi realizada uma formatação que difere um pouco dos relatórios dos gráficos. Primeiro, foi realizada a associação do relatório ao BD dos alarmes da MR. Após isso, foram criados objetos de dados dentro do relatório, um para cada coluna da tela de alarmes, e associada à cada coluna do BD dos alarmes da MR, como mostra a Figura 94. Assim, ao se exportar os alarmes do intervalo selecionado em tela, será gerado um arquivo em PDF que será salvo na mesma pasta dos arquivos exportados dos gráficos.

5.7 Criação e configuração do banco de dados

Para criar os BD da MR e associá-los ao SCADA LabREI, foi necessário criar um servidor para a MR através do SSMS, conforme mostrado na Figura 95. O servidor criado foi nomeado SCADA MICRORREDE, e foi criado um usuário e senha para acessar o servidor. Uma vez criado o servidor e conectado a ele, foi criado um BD nomeado SCADA_MICRORREDE. Neste BD serão armazenados todos os dados registrados pelos gráficos e pelos alarmes sempre que o supervisor estiver em execução.

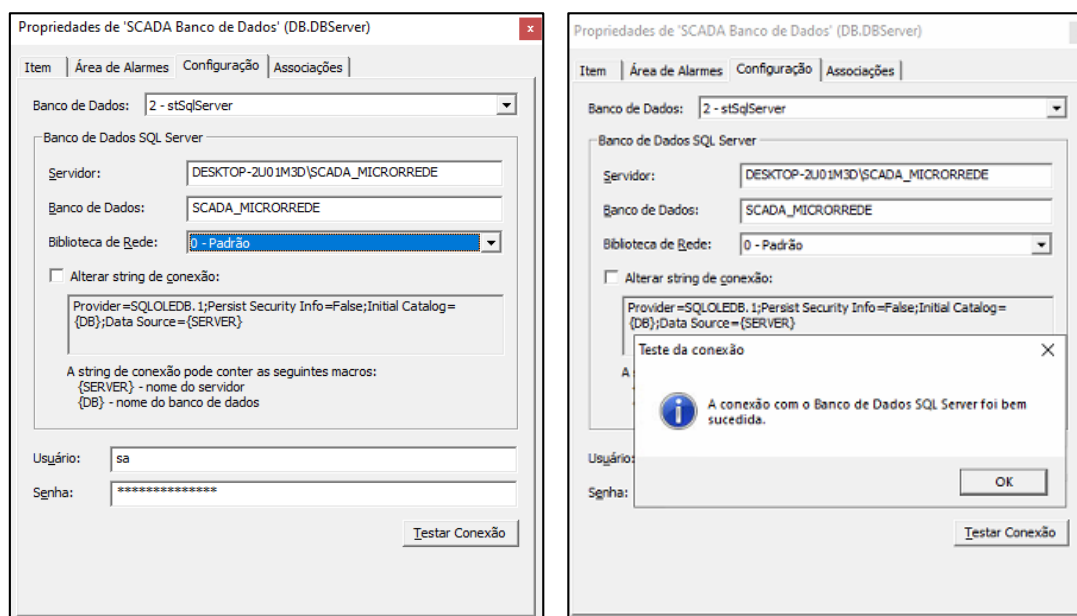
Figura 95 - Criação do servidor do BD da MR no SSMS



Fonte: Própria do autor.

Com o BD criado, deve-se realizar a integração entre o mesmo e o EP. Para isso, deve-se adicioná-lo na seção Banco de dados da janela *organizer*. Uma vez adicionado, as propriedades da janela devem ser configuradas. Para o SCADA LabREI, foi definido o tipo de BD (SQL Server), o nome do servidor criado no SSMS (DESKTOP-2U01M3D\SCADA_MICRORREDE) e o nome do BD criado no SSMS (SCADA_MICRORREDE). A biblioteca de rede foi mantida em padrão e foram inseridos o usuário e senha do servidor do BD. As propriedades do novo banco permitem ainda testar se a conexão com o BD foi bem sucedida, conforme mostra a Figura 96.

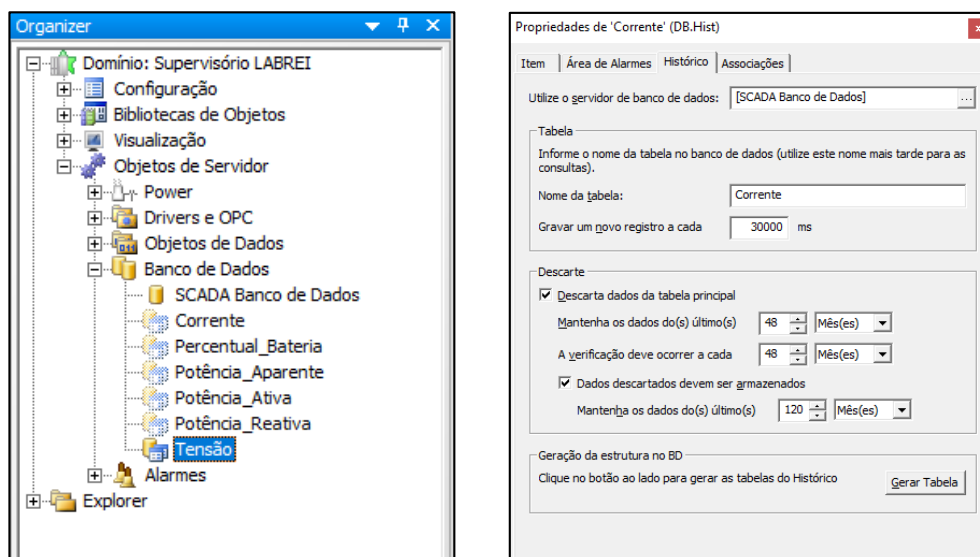
Figura 96 - Conexão do BD criado no EP com o criado no SQL Server 2017 Express (à esquerda) e teste de conexão (à direita)



Fonte: Própria do autor.

Na seção Banco de Dados, foram criadas seis tabelas: uma para os dados de corrente, outra para armazenar os dados de tensão (tanto trifásica quanto monofásica), uma para a potência ativa, uma para potência reativa, uma para potência aparente e a última para o percentual de baterias, como mostra a Figura 97. Na configuração de cada tabela, deve-se incluir o nome da tabela no BD, o intervalo de registros no BD (adotado o período de 30 segundos entre os registros) e do tempo de descarte dos dados mais antigos do BD (adotado 48 meses, ou quatro anos). O botão Gerar Tabela cria automaticamente a tabela configurada no EP direto no BD, eliminando a necessidade de construção de tabelas pelo SSMS.

Figura 97 - Criação (à esquerda) e configuração (à direita) das tabelas do BD



Fonte: Própria do autor.

Com as tabelas criadas tanto no EP quanto no BD, as mesmas podem ser associadas aos gráficos durante a criação das penas, descrito na seção 5.6.5. A associação dos alarmes ao BD é realizada pelo Servidor de alarmes, conforme apresentado na seção 5.6.7, explicando porque não foi necessário criar uma tabela própria como as dos gráficos.

5.8 Considerações finais

Neste capítulo foi detalhado todo o desenvolvimento do SCADA LabREI. No software SoMachine, foram desenvolvidos circuitos, em linguagem CFC, para acionamento das saídas e monitoramento das entradas a partir do CLP, e da comunicação do mesmo com o software Eclipse Power. Com o mesmo software, foi programada a IHM do QD Geral – Microrrede, que permite uma visualização rápida dos estados atuais de operação dos subsistemas da MR. No EP, foi apresentado todo o desenvolvimento do SCADA, desde a modelagem do esquema elétrico da MR no EP até a criação das telas de monitoramento e dos gráficos de visualização de grandezas. Já no software SQL Server, foi apresentado o processo de criação do BD da MR, além da integração do mesmo com o supervisor para registro e consulta de dados.

6 RESULTADOS DO DESENVOLVIMENTO DO SCADA LabREI

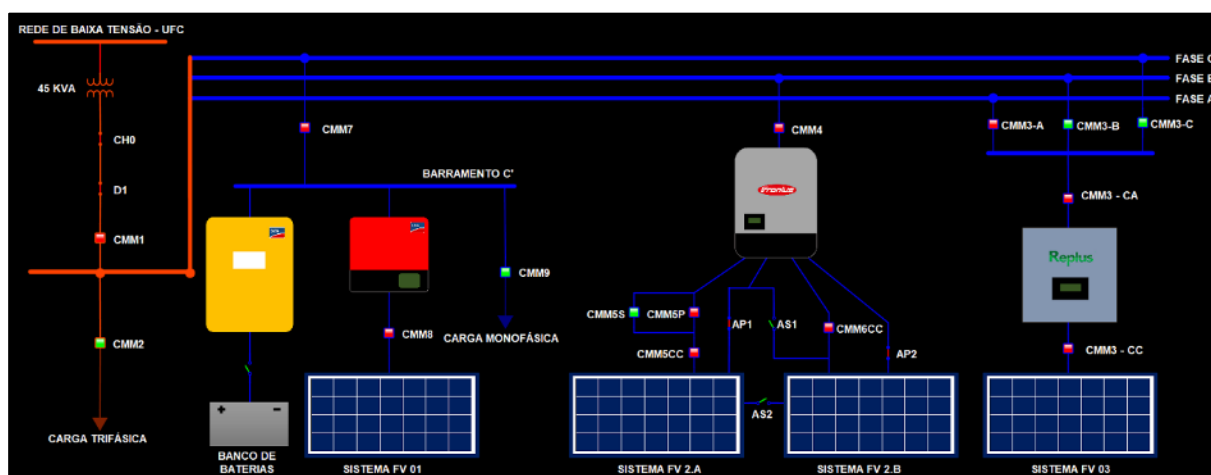
Após a criação de todas as telas necessárias para o SCADA LabREI, a aplicação foi colocada em execução. Nesta seção do trabalho, serão realizados testes do acionamento dos subsistemas da MR e dos vários modos de operação através do SCADA.

6.1 Acionamento dos subsistemas

O modo padrão de funcionamento da MR consiste na operação, em modo *on-grid*, dos três subsistemas da MR conectados à rede de distribuição, com o SFV-1 na fase C, o SFV-2 na fase B e o SFV-3 na fase A. Em caso de falta de energia da rede, o *nobreak* irá alimentar os equipamentos de comunicação e comando do supervisor (analisador, CLP, switch e computador). Em faltas de energia muito prolongadas, os equipamentos também irão desligar até o retorno da rede. Uma vez que a alimentação retorna, todos os equipamentos também serão religados, exceto o computador, que necessita ser ligado manualmente. No entanto, mesmo sem o supervisor sendo executado, o CLP foi programado para inicializar os relés da MR nos valores pré-definidos, que irão automaticamente acionar o modo padrão de funcionamento da MR.

A Figura 98 apresenta o estado padrão de funcionamento da MR. Disjuntores e chaves em vermelho estão acionados; em verde, estão abertos ou desativados.

Figura 98 - Modo de funcionamento padrão da MR



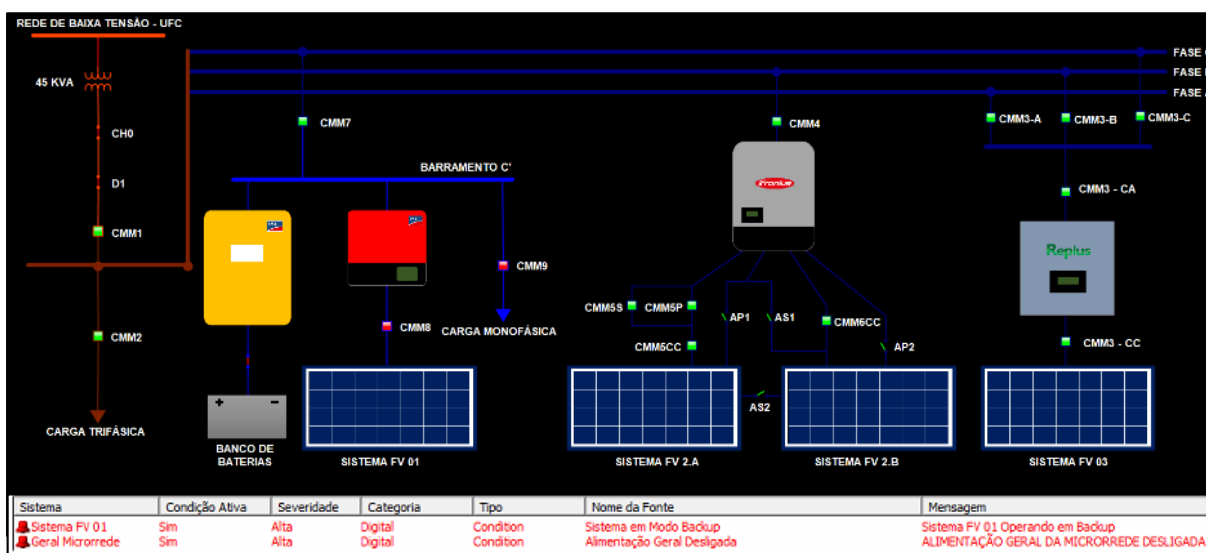
Fonte: Própria do autor.

É importante destacar que, quando o SCADA LabREI está em operação, o acionamento dos subsistemas da MR é realizado através da operação das CMMs pelo CLP. Por esse motivo, enquanto o CLP estiver ativo (modo *run*), a operação manual dos subsistemas através das botoeiras do QD – Geral Microrrede, permanece desabilitada; somente a operação pelas telas do sistema supervisorio estará ativa.

6.1.1 Alimentação Geral

A CMM1 é responsável pelo acionamento geral dos subsistemas da MR. Ao abrir a CMM no supervisorio, os relés associados a esse conjunto o abrem, desenergizando toda a MR, conforme mostra a Figura 99. É possível observar que, com a abertura da CMM1, o alarme é imediatamente acionado, e mostrado na parte inferior do SCADA. A desenergização da MR aciona automaticamente o processo de formação de rede do inversor SI, ao fim do qual inicia o modo de *backup* do SFV-1, acionando a carga monofásica. Dessa forma, se essa carga estiver sendo alimentada pela rede durante a falta da energia, a carga será alimentada pelas baterias ou pelos módulos, de acordo com o horário do dia e a solicitação da carga. A Figura 99 mostra também o alarme ativo da MR na parte de alarmes.

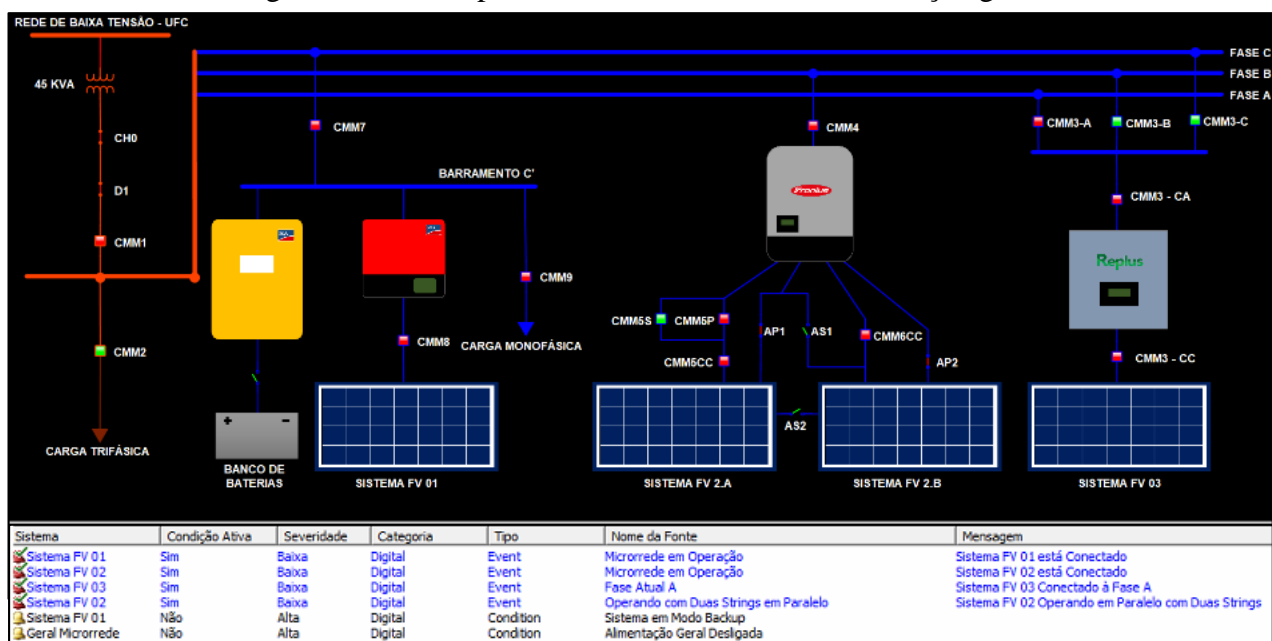
Figura 99 - MR após a abertura da CMM1



Fonte: Própria do autor.

Após o retorno da rede de alimentação, os subsistemas voltam automaticamente ao seu estado anterior à falta, com o SFV-1 retornando ao modo *on-grid* e os alarmes saindo da condição ativa, como mostra a Figura 100.

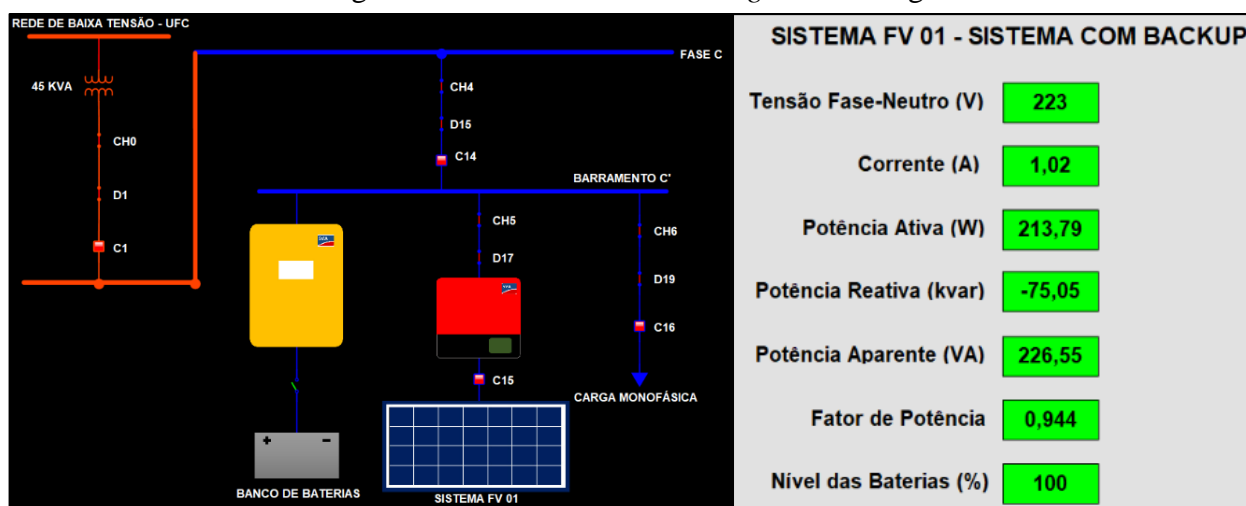
Figura 100 - MR após o restabelecimento da alimentação geral



Fonte: Própria do autor.

6.1.2 Subsistema FV 1

O SFV-1 opera em dois modos: *on-grid* ou *off-grid*. No modo *on-grid*, a CMM7 (contator C14) e CMM8 (contator C15) ficam energizadas, fornecendo energia à rede de distribuição. Caso haja uma carga, ou seja, a CMM9 (contator C16) ativa, a carga será alimentada pela geração ou pelo conjunto geração e rede. A Figura 101 e a Figura 102 demonstram o funcionamento do modo *on-grid*. O valor da potência ativa do momento está negativo, indicando que a rede está recebendo energia do SFV-1, como mostra a tela e o alarme.

Figura 101 - SFV-1 no modo *on-grid* sem carga

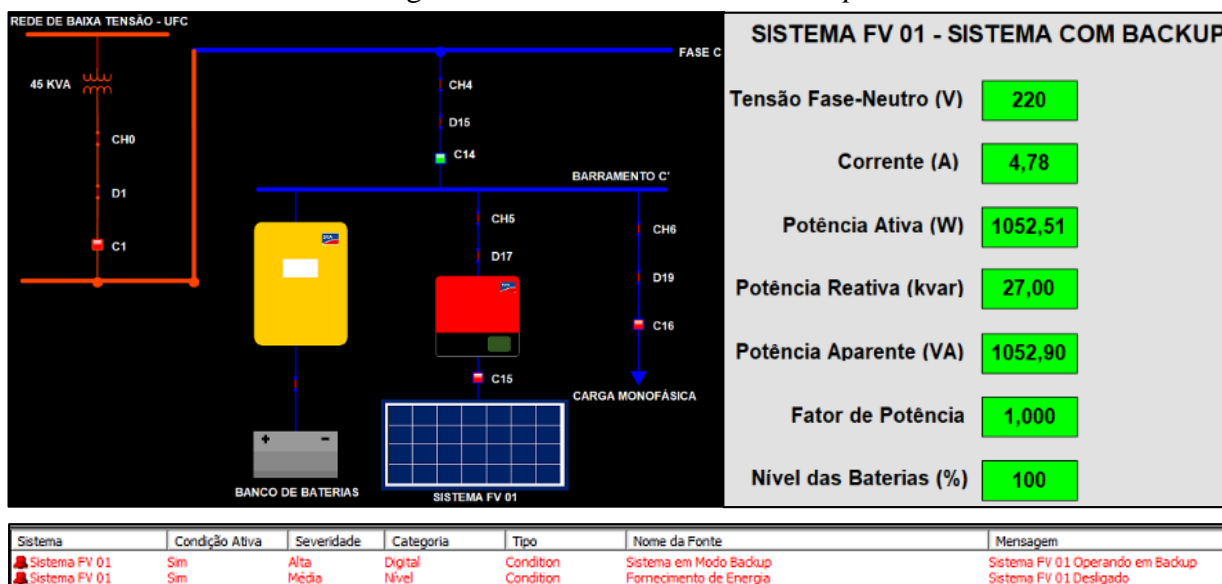
Fonte: Própria do autor.

Figura 102 - Alarme para o SFV-1 funcionando em modo *on-grid*

Sistema	Condição Ativa	Severidade	Categoria	Tipo	Nome da Fonte	Mensagem
Sistema FV 01	Sim	Média	Nível	Event	Fornecimento de Energia	SFV 01 Fornecendo Energia à Rede
Sistema FV 01	Sim	Baixa	Digital	Event	Microrede em Operação	Sistema FV 01 está Conectado

Fonte: Própria do autor.

No modo *off-grid*, como já explicado, ocorre quando há falta da alimentação pela rede de distribuição. Para exemplificar o funcionamento desse modo de operação, o contator C14 foi aberto. Assim após alguns segundos, o inversor SI aciona o modo *backup*, acionando o inversor SB e, após 20 segundos, a carga (se esta estiver presente). O banco de baterias também é acionado, conforme mostra a Figura 103. Esta figura mostra também os valores de corrente e, principalmente, a potência ativa, indicando que o analisador está monitorando a carga. Os alarmes indicando o desligamento do SFV-1 (pois a CMM geral do SFV-1 foi desligada) e o funcionamento do modo *backup* também são mostrados em tela.

Figura 103 - SFV-1 em modo *backup*

Fonte: Própria do autor.

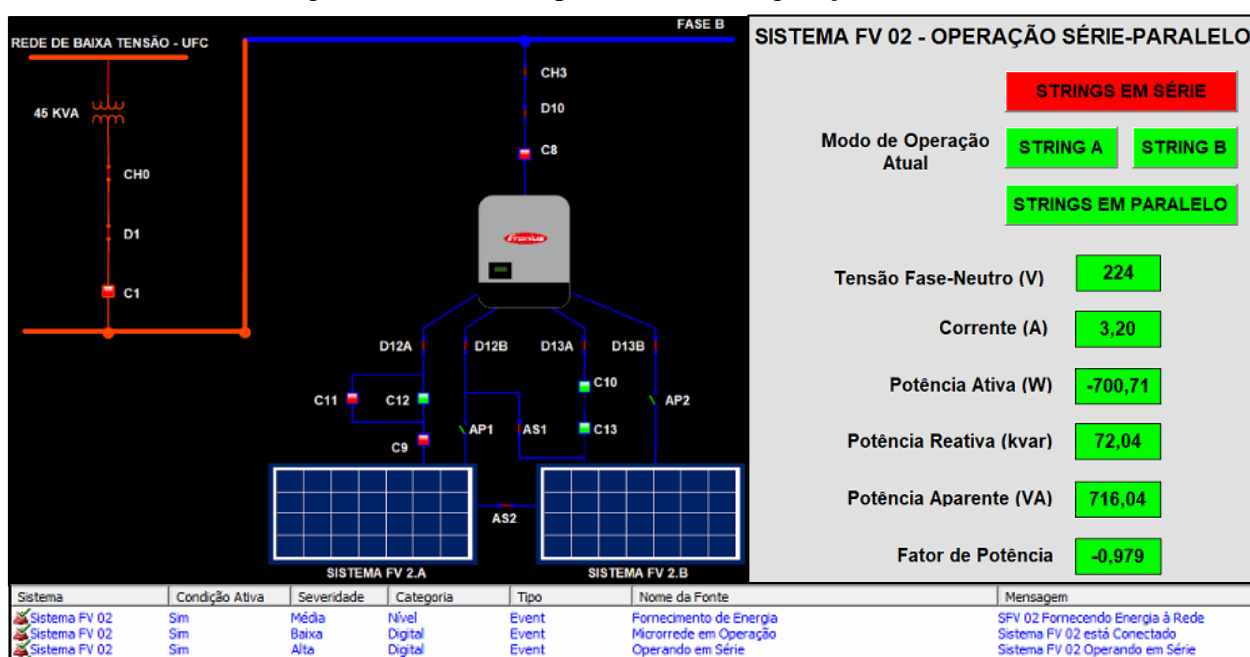
6.1.3 Subsistema FV 2

Este subsistema opera apenas em modo *on-grid*, mas a conexão dos conjuntos de *strings* módulos pode assumir três configurações distintas: em série, com uma *string* ou as duas *strings* em paralelo. Cinco CMMs estão envolvidas no acionamento das *strings*: a CMM4 (contator

C8), a CMM5S (contator C11), CMM5P (contatores C12 e C13), CMM5CC (contator C9) e CMM6CC (contator C10).

Na configuração em série, as CMMs correspondentes a esse modo e as chaves auxiliares AS1 e AS2 permanecem fechadas, formando um laço entre os sistemas FV 2.A e 2.B, conforme mostrado na Figura 104. A potência ativa negativa ainda indica fornecimento de energia para a rede no momento do teste. A central de alarmes do SCADA mostra os modos de operação atuais do subsistema nessa configuração.

Figura 104 - SFV-2 operando na configuração em série



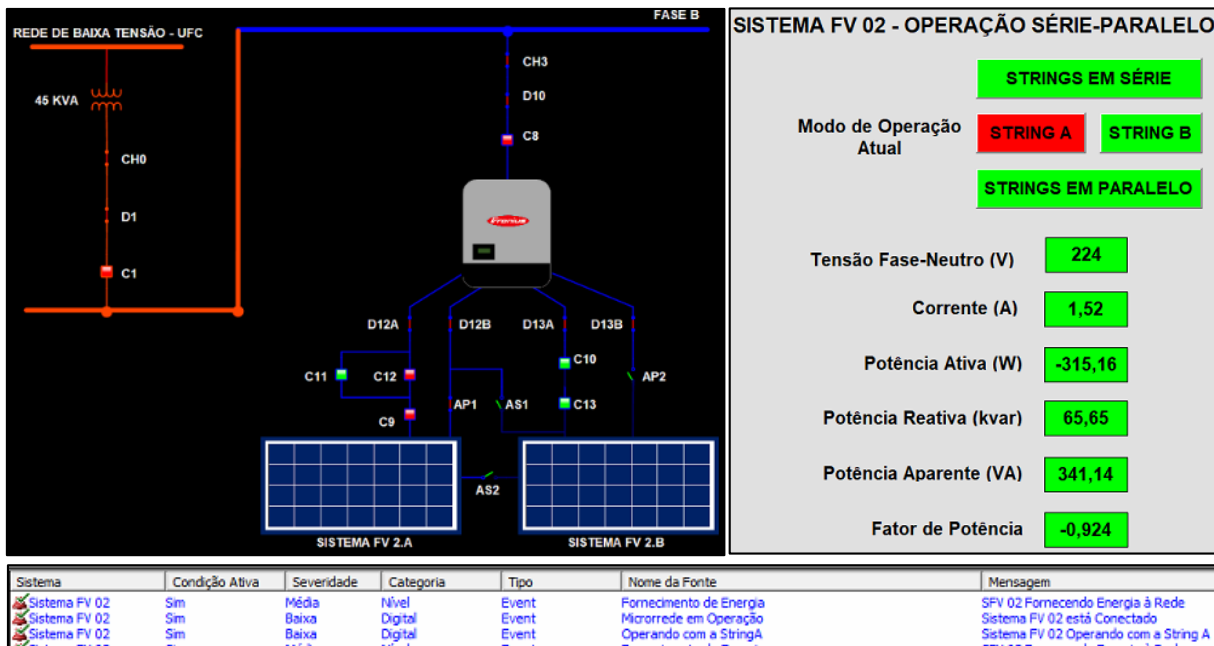
Fonte: Própria do autor.

Na configuração paralelo com uma *string*, as CMMs correspondentes a esse modo e a chave auxiliar AP1 permanecem fechadas. Nesse caso, apenas uma das strings estará operando. A Figura 105 apresenta o SFV-2 com a *string* A conectada. A mesma está fornecendo energia à rede, como mostram as informações de operação. A potência ativa negativa ainda indica fornecimento de energia para a rede no momento do teste, e percebe-se que vale aproximadamente a metade da geração dos módulos em série. A central de alarmes do SCADA mostra os modos de operação atuais do subsistema nessa configuração.

Na configuração paralelo com duas *strings*, as CMMs correspondentes a esse modo e as chaves auxiliares AP1 e AP2 permanecem fechadas, como mostra a Figura 106. A potência ativa negativa ainda indica fornecimento de energia para a rede, e percebe-se que vale praticamente o dobro da energia produzida pelo subsistema na configuração paralelo com uma

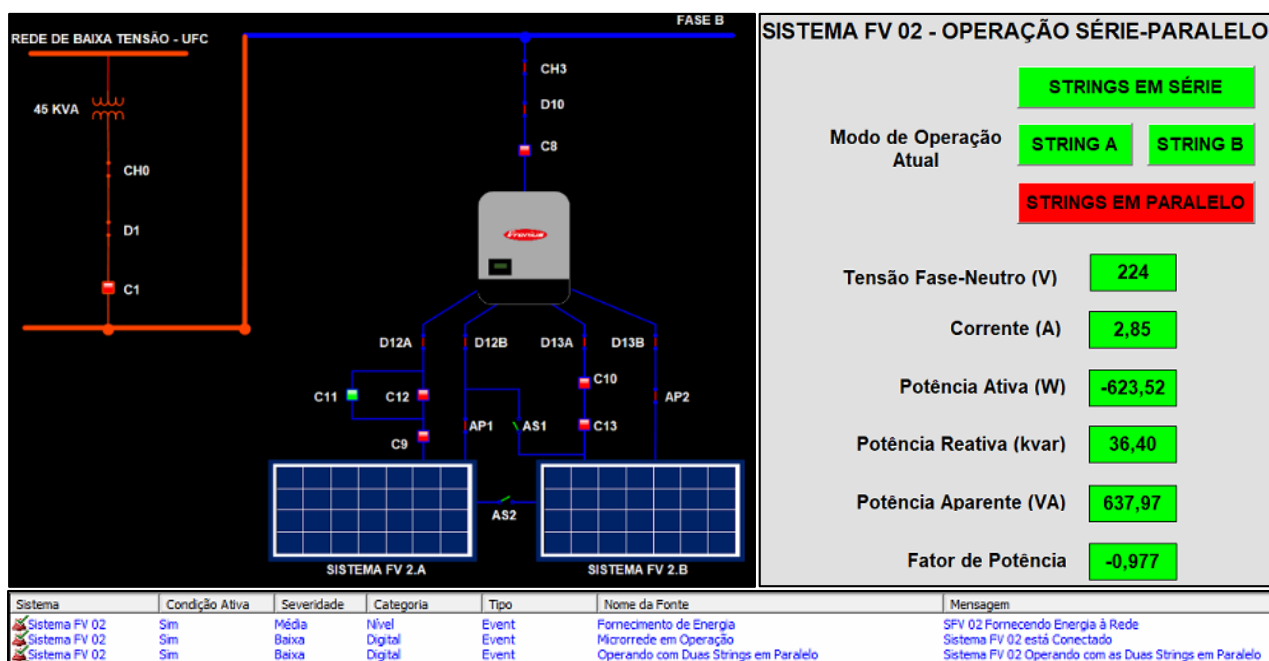
string e semelhante à da geração em série. A central de alarmes do SCADA mostra os modos de operação atuais do subsistema nessa configuração.

Figura 105 - SFV-2 operando na configuração em o Paralelo com uma string



Fonte: Própria do autor.

Figura 106 - SFV-2 operando na configuração Paralelo com duas strings



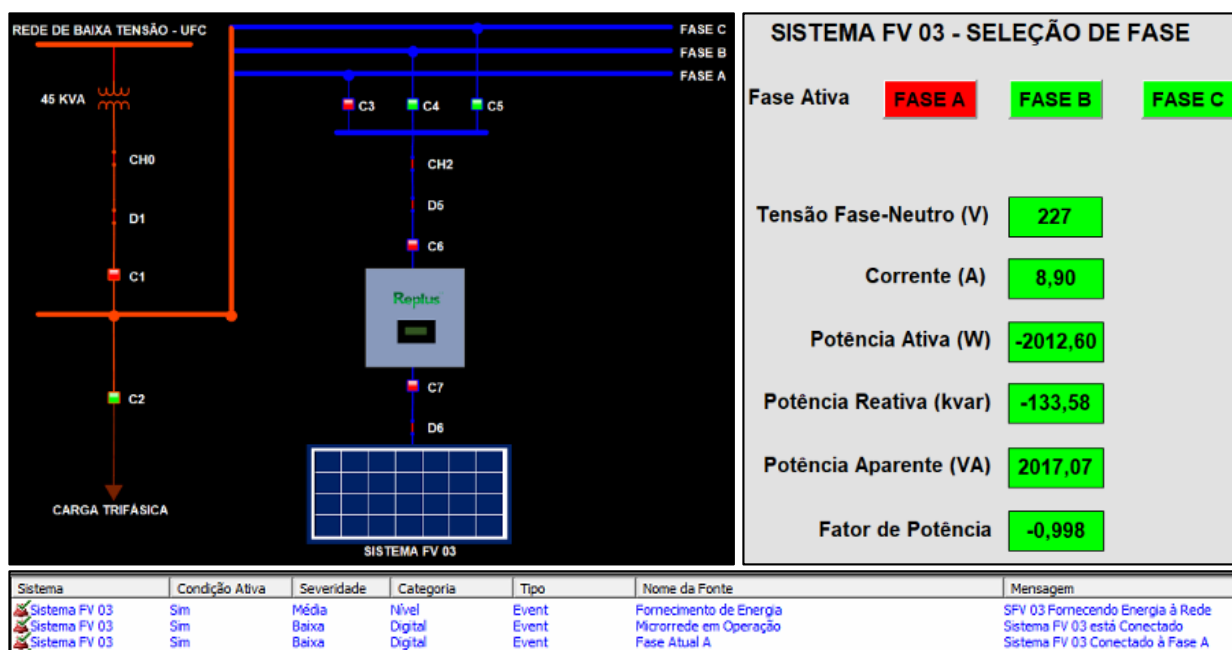
Fonte: Própria do autor.

6.1.4 Subsistema FV 3

Este subsistema opera apenas em modo on-grid, mas permite selecionar a fase da rede de distribuição a se conectar. Cinco CMMs estão envolvidas no acionamento das *strings*: CMM3A (contator C3), CMM3B (contator C4), CMM3C (contator C5), CMM3-CA (contator C6) e CMM3-CC (contator C7).

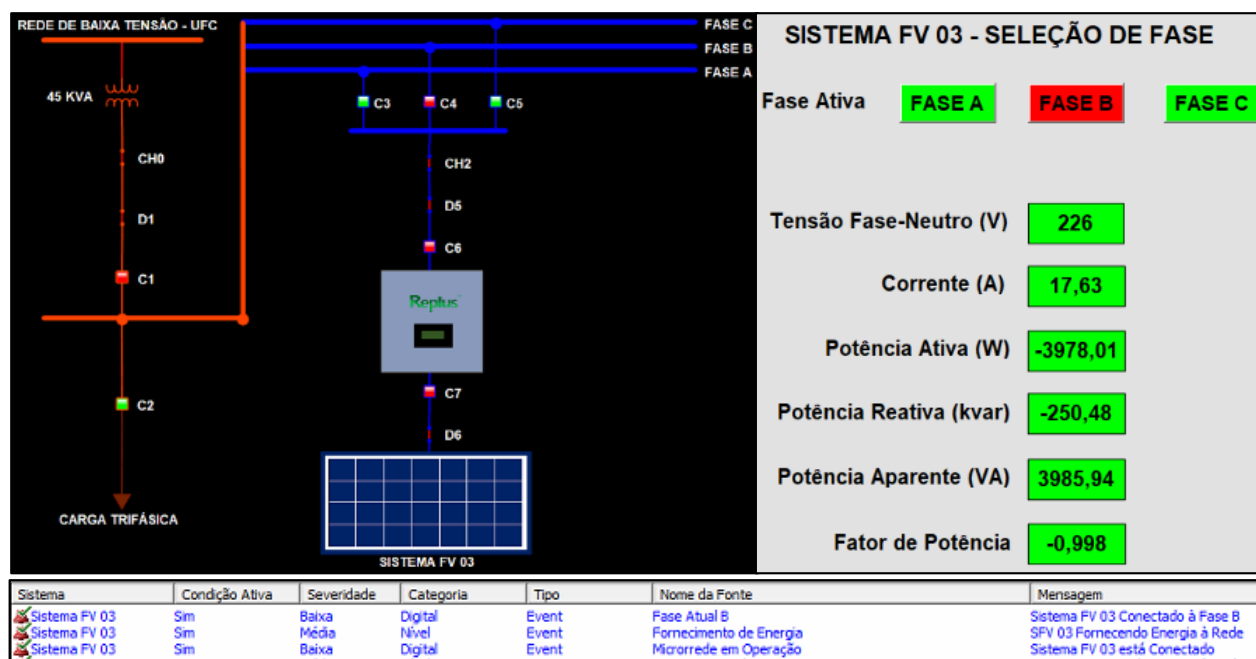
A Figura 107, a Figura 108 e a Figura 109 demonstram o funcionamento do SFV-3 em cada fase. Toda a geração do SFV-3 no momento é transferida totalmente para a fase selecionada. Durante os testes, observou-se que, ao se alternar os modos pela tela deste subsistema, o inversor Replus não reinicia ao mudar sua operação, ao contrário dos inversores *on-grid* dos outros subsistemas. Nessas mesmas figuras também pode-se observar que a central dos alarmes mostra as configurações atuais do SFV-3, neste caso a indicação de operação (ligado), fase atual e se está fornecendo energia à rede.

Figura 107 - SFV-3 conectado à fase A



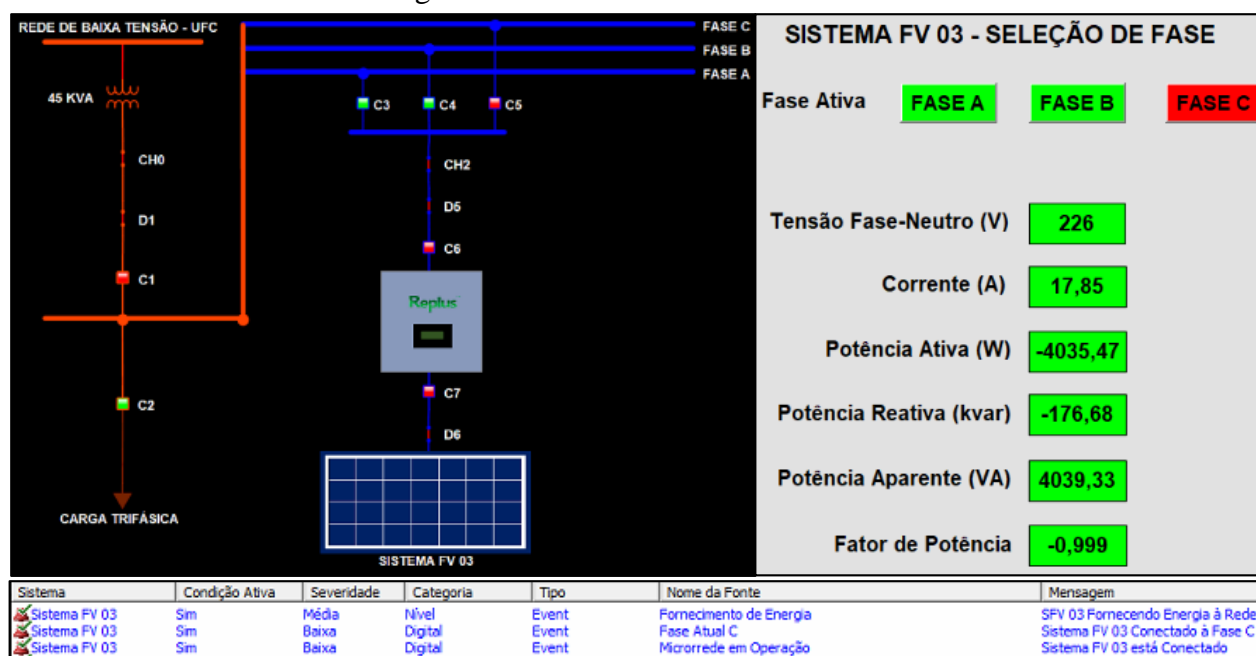
Fonte: Própria do autor.

Figura 108 - SFV-3 conectado à fase B



Fonte: Própria do autor.

Figura 109 - SFV-3 conectado à fase C



Fonte: Própria do autor.

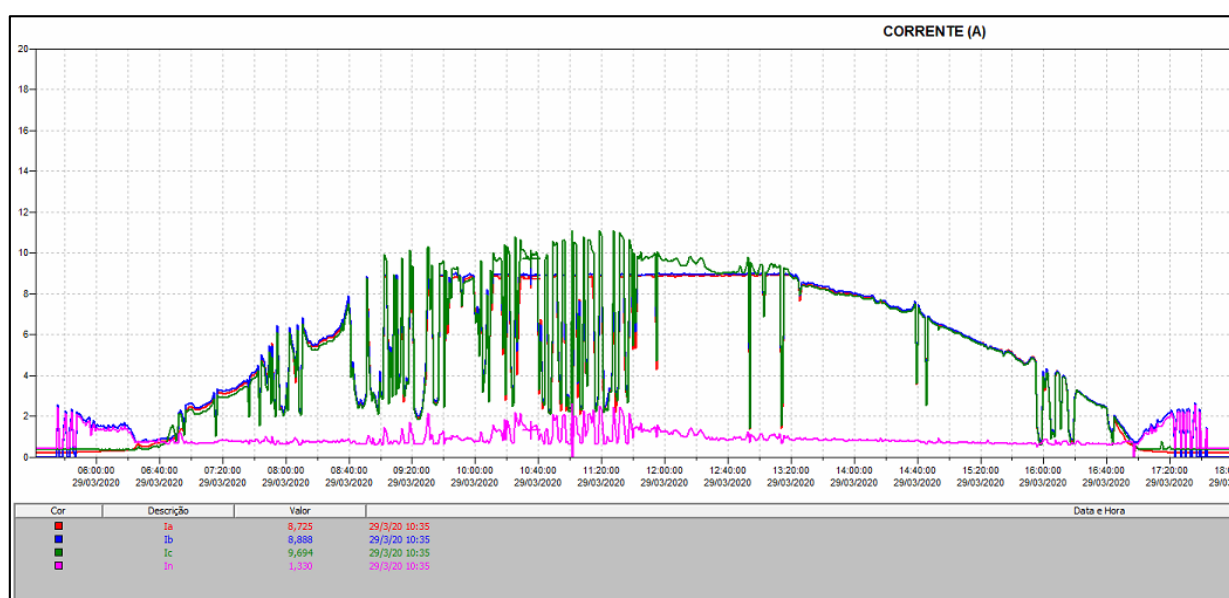
6.2 Gráficos

Para comprovar o funcionamento da coleta de dados do SCADA pelo analisador e do registro das informações pelo BD, os testes aplicados nos subsistemas nas seções anteriores

foram visualizadas através dos gráficos, mais precisamente pelos gráficos de corrente (que mostra os subsistemas em funcionamento) e potência ativa (que mostra se o subsistema está fornecendo ou não energia à rede de distribuição).

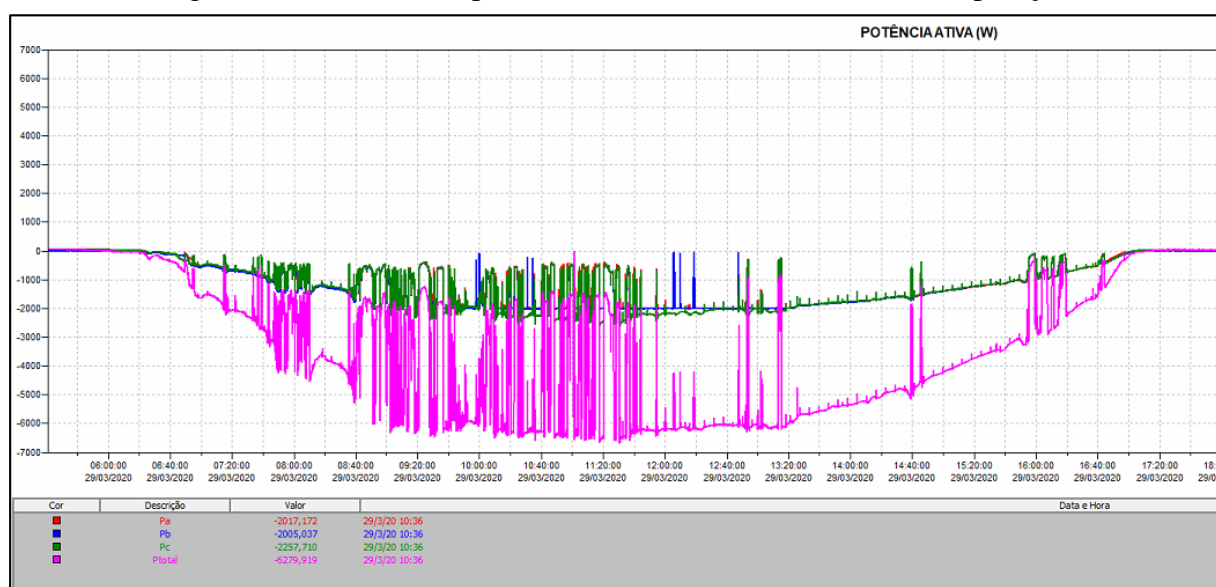
A Figura 110 e a Figura 111 mostra a corrente e a potência, respectivamente, dos subsistemas da MR em um dia de geração, no modo padrão de funcionamento. Verifica-se, por meio dele, as variações do clima, principalmente pela manhã, indicando um céu um pouco nublado. À tarde, percebe-se que o clima já era totalmente ensolarado, pois a curva é bem mais regular.

Figura 110 - Gráfico de corrente da MR em 12 horas de operação



Fonte: Própria do autor.

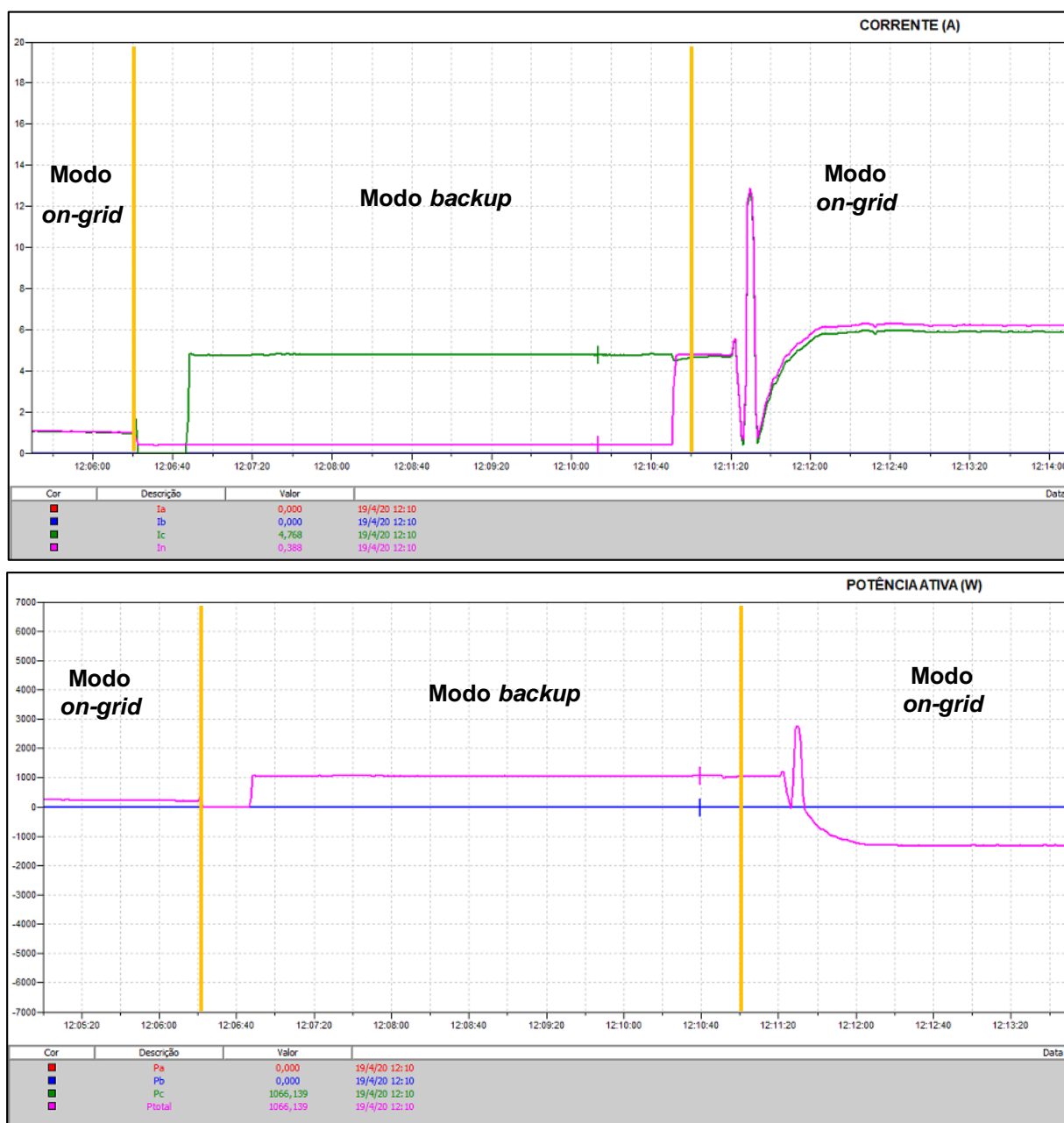
Figura 111 - Gráfico de potência ativa da MR em 12 horas de operação

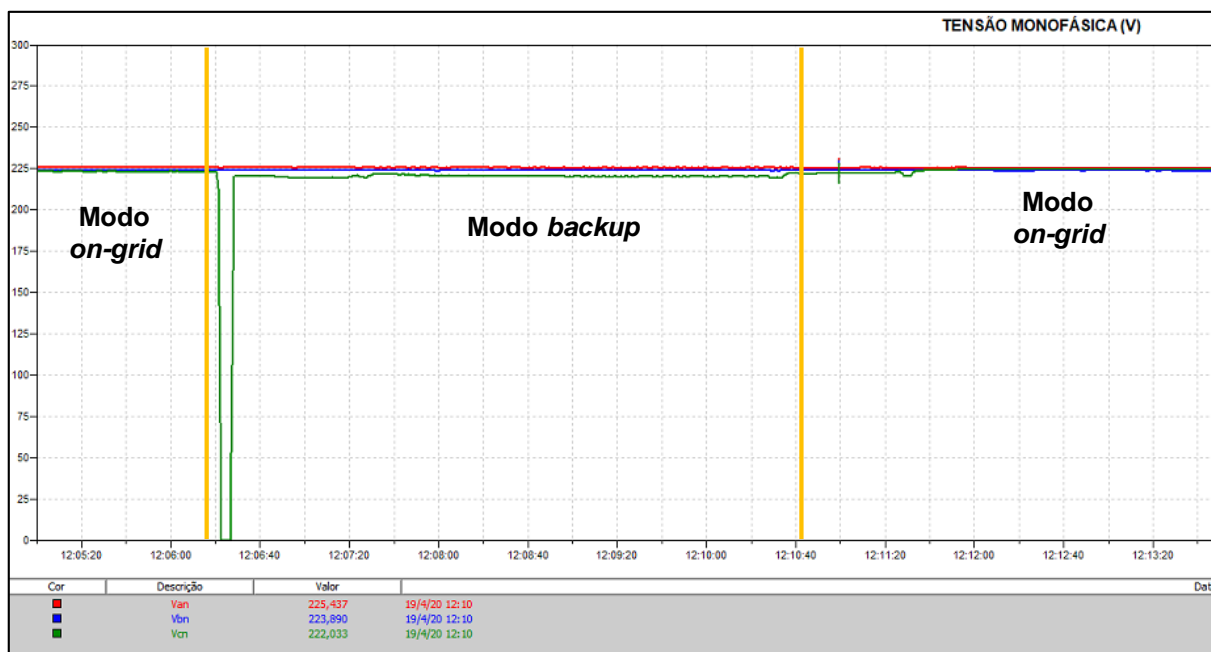


Fonte: Própria do autor.

A Figura 112 mostra os gráficos dos dois modos de operação do SFV-1. Nela, é possível verificar o momento em que o subsistema passa do modo *on-grid* para o de *off-grid*, quando há o desligamento momentâneo da carga por 20 segundos, tempo que o inversor SI leva para formar a rede de *backup*. Percebe-se também que os parâmetros da carga continuam sendo monitorados durante este modo. Após o restabelecimento da rede, ocorre um pequeno intervalo de transitório, no qual o inversor SI transfere a alimentação do SFV-1 de volta para a rede de distribuição (momento no qual pode ocorrer picos de corrente devido à transferência de TCs de monitoramento de corrente da fase C, como mostra a forma de onda da Figura 112). Após esse período, a geração volta a atingir os valores do modo *on-grid*.

Figura 112 - Formas de onda de corrente, potência ativa e tensão do SFV-1

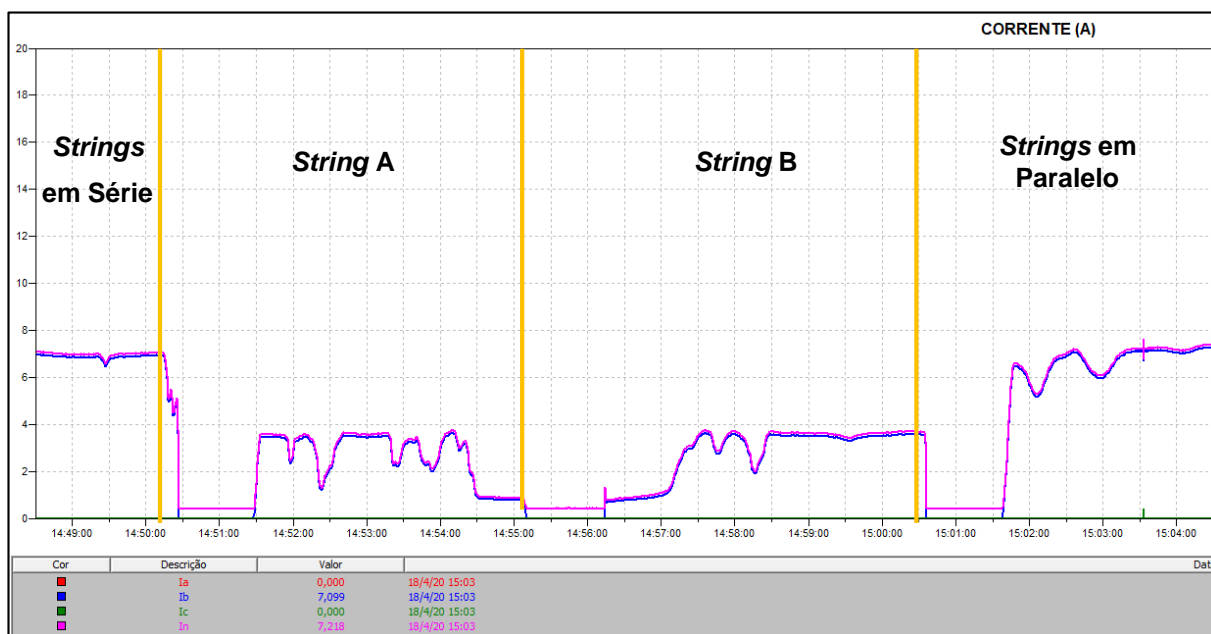


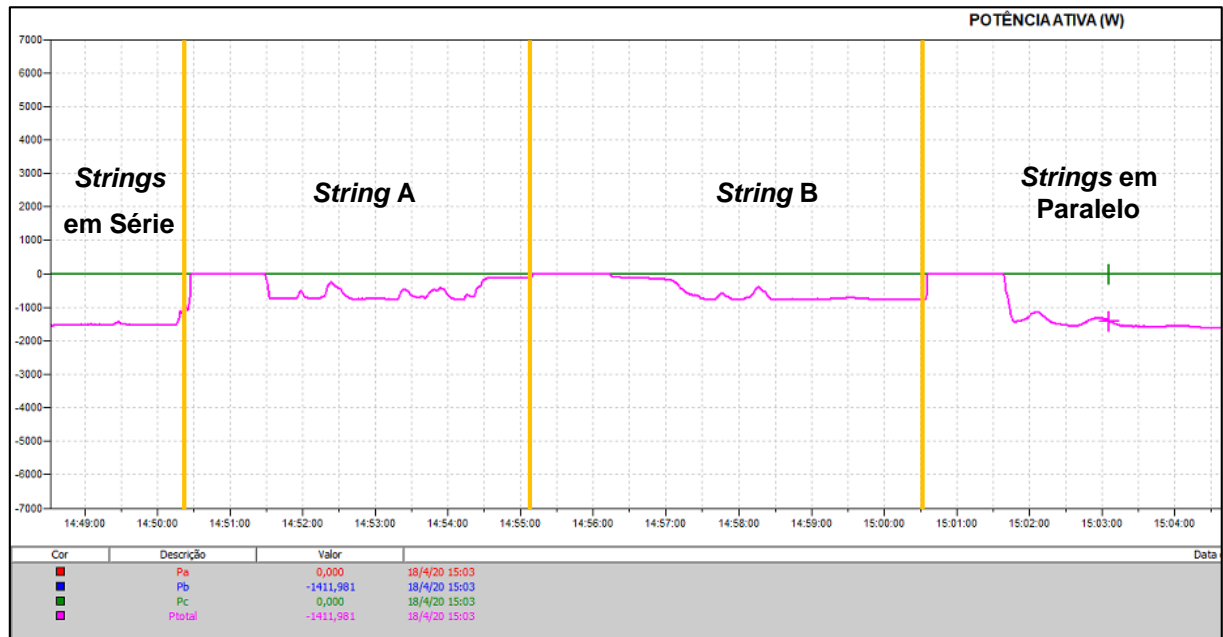


Fonte: Própria do autor.

A Figura 113 mostra os gráficos da operação do SFV-2 nas três configurações possíveis. Neles, é possível perceber que a geração (corrente e potência) do subsistema na configuração com apenas uma das *string* (A ou B) é aproximadamente a metade da gerada nas outras duas configurações. A transição entre os modos reinicia o inversor deste subsistema (Fronius) para evitar conflitos de intertravamento.

Figura 113 - Gráficos de corrente e potência ativa do SFV-2

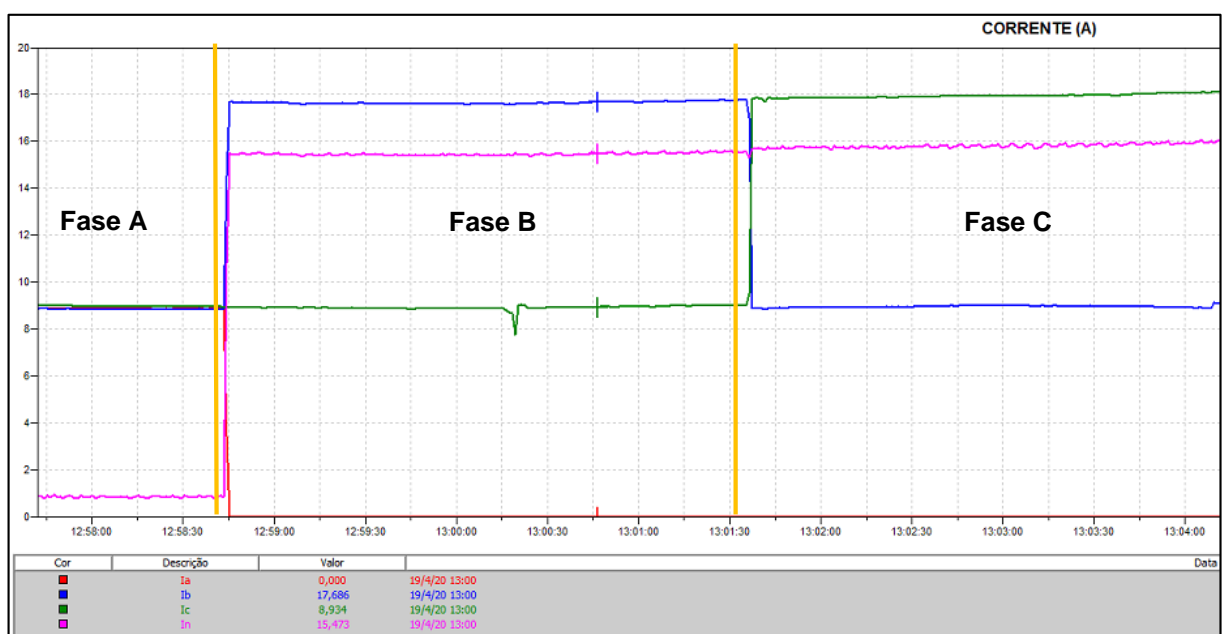


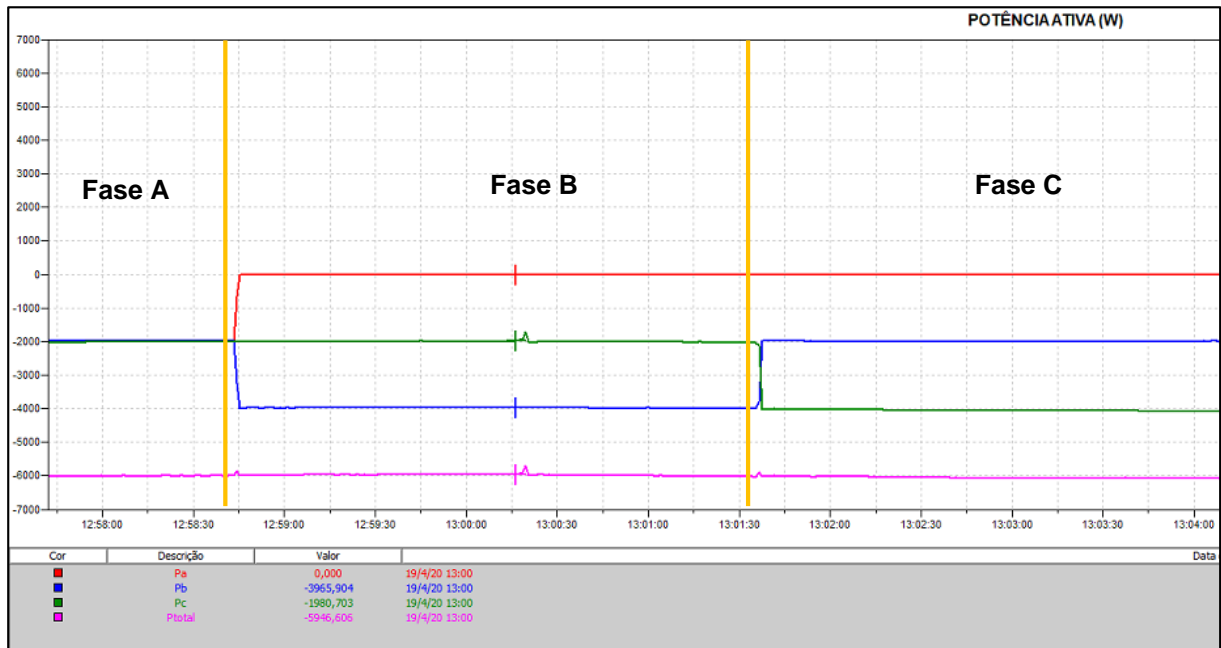


Fonte: Própria do autor.

A Figura 114 mostra os gráficos da operação do SFV-3 em cada uma das fases. Neles, é possível verificar que a geração atual do subsistema (corrente e potência) é totalmente transferida à fase selecionada, e a comutação de fase é quase imperceptível à rede.

Figura 114 - Gráficos de corrente e potência ativa do SFV-3, com destaque para a fase atualmente conectada





Fonte: Própria do autor.

6.3 Alarmes

Como já verificado nos subitens anteriores desta seção, a tela de alarmes fixa na parte inferior do SCADA LabREI apresenta o estado atual de cada subsistema, e exibe os alarmes quando estes ocorrem. A Figura 115 mostra uma pesquisa de alarmes realizada ao BD da MR, comprovando a eficácia da pesquisa e que o BD está registrando os eventos da MR.

Figura 115 - Pesquisa de alarmes no BD da MR

Horário do Evento	Área	Severidade	Condição Ativa	Tipo do Evento	Mensagem	Horário da Imagem
19/04/2020 13:09:58	Sistema FV 03	1	1	Event	SFV 03 Fomecendo Energia à Rede	19/04/2020 13:09:58
19/04/2020 13:09:57	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 13:09:57
19/04/2020 13:09:57	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 13:09:57
19/04/2020 13:09:57	Sistema FV 03	1	1	Condition	SFV 03 Desligado	19/04/2020 13:09:57
19/04/2020 13:09:57	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 Conectado à Fase A	19/04/2020 13:09:57
19/04/2020 13:09:57	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 está Conectado	19/04/2020 13:09:57
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	1	1	Condition	SFV 03 Desligado	19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 Conectado à Fase C	19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 está Conectado	19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	1	1	Event	SFV 03 Fomecendo Energia à Rede	19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 13:01:36	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 13:01:36
19/04/2020 12:58:43	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 Conectado à Fase B	19/04/2020 12:58:43
19/04/2020 12:58:43	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 12:58:43
19/04/2020 12:56:44	Sistema FV 03	1	1	Event	SFV 03 Fomecendo Energia à Rede	19/04/2020 12:56:44
19/04/2020 12:56:43	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 12:56:43
19/04/2020 12:56:43	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 12:56:43
19/04/2020 12:56:43	Sistema FV 03	1	1	Condition	SFV 03 Desligado	19/04/2020 12:56:43
19/04/2020 12:56:43	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 Conectado à Fase A	19/04/2020 12:56:43
19/04/2020 12:56:43	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 está Conectado	19/04/2020 12:56:43
19/04/2020 12:54:57	Sistema FV 03	2	1	Event	Sistema FV 03 Conectado à Fase B	19/04/2020 12:54:57
19/04/2020 12:54:57	Sistema FV 03	2	0	Event		19/04/2020 12:54:57
19/04/2020 12:51:54	Sistema FV 02	1	1	Event	SFV 02 Fomecendo Energia à Rede	19/04/2020 12:51:54
19/04/2020 12:50:50	Sistema FV 02	2	1	Event	Sistema FV 02 Operando com a String A	19/04/2020 12:50:50
19/04/2020 12:50:50	Sistema FV 02	2	1	Event	Sistema FV 02 está Conectado	19/04/2020 12:50:50
19/04/2020 12:50:50	Sistema FV 02	2	0	Event		19/04/2020 12:50:50
19/04/2020 12:50:50	Sistema FV 02	2	1	Event	Sistema FV 02 Operando com as Duas Strings ...	19/04/2020 12:50:50
19/04/2020 12:50:49	Sistema FV 02	2	1	Event	Sistema FV 02 Operando com a String B	19/04/2020 12:50:49
19/04/2020 12:50:49	Sistema FV 02	2	0	Event		19/04/2020 12:50:49
19/04/2020 12:50:49	Sistema FV 02	2	0	Event		19/04/2020 12:50:49
19/04/2020 12:50:49	Sistema FV 02	2	0	Event		19/04/2020 12:50:49
19/04/2020 12:50:49	Sistema FV 02	1	1	Condition	SFV 02 Desligado	19/04/2020 12:50:49
19/04/2020 12:49:06	Sistema FV 03	1	1	Event	SFV 03 Fomecendo Energia à Rede	19/04/2020 12:49:06

CONSULTA DE ALARMES

DATA INICIAL:

DATA FINAL:

CONFIRMAR PERÍODO

Exportar Histórico de Alarmes

LEGENDA

CONDIÇÃO ATIVA: 0 - ALARME OU EVENTO INATIVO 1 - ALARME OU EVENTO ATIVO	SEVERIDADE DO ALARME: 2 - BAIXA 1 - MÉDIA 0 - ALTA
--	--

Fonte: Própria do autor.

6.4 Considerações Finais

Neste capítulo, o supervisor desenvolvido para o LabREI foi submetido a testes de operação. Através dos resultados dos testes, verificou-se a correta atuação das CMMs para operação de cada subsistema FV de acordo com a seleção do usuário. Também foi constatada a eficiência da central de alarmes do SCADA, que fornece informações dos eventos atuais na MR. As telas gráficas do SCADA LabREI comprovaram o devido registro das grandezas coletadas no BD criado para a MR, e funcionaram de forma eficiente durante os testes com cada modo de operação dos subsistemas FV. Por fim, a tela de pesquisa de alarmes mostrou a eficiência na busca dos eventos e alarmes ocorridos na MR dentro do intervalo selecionado.

7 CONCLUSÕES

Um sistema de supervisão, controle e aquisição de dados foi desenvolvido para a microrrede (MR) universitária instalada no Laboratório de Redes Elétricas Inteligentes da Universidade Federal do Ceará. A MR é formada por três sistemas monofásicos solar fotovoltaicos, um banco de baterias monofásico, um analisador de qualidade da energia e cargas trifásicas e monofásicas, além de quatro inversores, um controlador lógico programável, chaves de comando, relés, contadores e interfaces entre relés e contadores.

Este trabalho demonstrou que o desenvolvimento de um sistema de supervisão, controle e aquisição de dados depende do arranjo topológico, dos componentes envolvidos, da forma como uma rede elétrica foi projetada para operar e, principalmente, dos dispositivos de aquisição de dados, que fornecem todas as informações necessárias para a operação e o gerenciamento dos recursos energéticos do sistema elétrico.

O sistema SCADA desenvolvido permitiu o monitoramento e o comando remoto dos subsistemas da MR, e a visualização de informações de grandezas como corrente, tensão, potência ativa, reativa e aparente, estado das chaves e alarmes.

Para a criação do supervisório foram utilizados os softwares SoMachine para programação do CLP da MR, o software Elipse Power para criação do supervisório e o SQL Server Express 2017 para criação do banco de dados.

Para comunicação dos equipamentos do sistema supervisório, que são o CLP, IHM, analisador de qualidade de energia, inversor, computador onde está instalado o supervisório e o roteador de acesso à internet do LabREI foi utilizado o protocolo TCP/IP, por ser um protocolo muito utilizado e todos os equipamentos citados são compatíveis com este protocolo. Para a comunicação do supervisório com os elementos da MR (analisador de energia, CLP e inversor SI), foi utilizado o driver Modbus TCP para configurar a comunicação com o software Elipse Power.

Telas foram criadas, que permitem a visualização geral da MR com imagens dos inversores, dos módulos fotovoltaicos e das baterias, a visualização de cada subsistema da MR (SFV-1, SFV-2 e SFV-3) e a tela de alarmes, que mostra os principais eventos ocorridos na MR.

Vários testes foram realizados para comprovação da operação adequada do sistema supervisório. Os testes realizados e a obtenção de gráficos demonstraram o funcionamento adequado dos registros armazenados no BD da MR. Os gráficos mostram a forma como cada

subsistema se comporta, bem como quando os subsistemas estão fornecendo energia à rede principal.

Por fim, a função de geração de alarmes se mostrou satisfatória. A central de alarmes na parte inferior do supervisório informa os modos atuais de operação de cada subsistema, e apresenta alarmes quando algum disjuntor monitorado abre ou algum subsistema está desligado. A tela de alarmes permite a pesquisa dos principais eventos ocorridos na MR, demonstrando bom funcionamento da pesquisa e do registro dos alarmes ao BD.

Além das facilidades oferecidas pelo desenvolvimento de um sistema supervisório para a microrrede do LabREI, o sistema SCADA oferece segurança adicional na detecção de ilhamento dos subsistemas mediante perturbações elétricas na rede hospedeira.

7.1 Trabalhos futuros

Apesar do trabalho concluído, ainda há margem para novas pesquisas e melhorias, tornando a aplicação cada vez mais eficiente. Algumas sugestões de melhorias para trabalhos futuros incluem:

1. Instalar estação de monitoramento de clima (velocidade do vento, temperatura etc.) e integrar os dados do equipamento ao monitoramento pelo SCADA LabREI, com dados registrados no BD da MR;
2. Integrar à MR um sistema de geração eólico, com instalação de equipamento que permita monitorar sua geração e que possa se comunicar com o SCADA LabREI.
3. Instalar novos pontos de monitoramento dentro do QD Geral – Microrrede para monitoramento e operação pelo SCADA LabREI (como, por exemplo, monitorar o estado do DR do quadro);
4. Integrar o SCADA LabREI ao SCADA da subestação do campus Pici da UFC;
5. Implementar a comutação automática dos subsistemas da MR de acordo com a potência solicitada pelas cargas;
6. Melhorar o monitoramento das grandezas referentes à fase C (eliminando a necessidade de comutação entre TCs);
7. Integrar outros tipos de sistema de armazenamento à MR e ao SCADA LabREI;
8. Flexibilizar a operação do SFV-3 de modo a variar a quantidade de módulos FV utilizada, favorecendo uma maior precisão na aplicação para correção de desequilíbrios;

9. Favorecer a formação de uma rede de *backup* de atendimento emergencial trifásica utilizando 3 inversores de bateria (inversores SI);
10. Flexibilizar a entrada de inversores dos subsistemas SFV-2 e SFV-3 ao SFV-1 quando esta estiver em *backup*, para incremento da potência durante este modo;
11. Realizar estudos com a finalidade de evitar a desenergização das cargas durante o cenário falta da rede de distribuição – estabelecimento da rede de *backup*;
12. Integrar o monitoramento, através do SCADA LabREI, da tensão nos bornes de conexão do inversor SI ao banco de baterias;
13. Instalar recursos para permitir acionamento remoto dos estágios das cargas trifásica e monofásica da MR;
14. Implementar a comunicação do SCADA LabREI com os três inversores *on-grid* da MR;
15. Integrar à MR e, posteriormente, ao SCADA LabREI um sistema *off-grid* permanente com grupo gerador;
16. Implementar um sistema de *backup* para armazenamento dos dados coletados pelo BD do SCADA LabREI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, J. B. *Modelagem, controle e gerenciamento da operação de microrredes com fontes renováveis*. Dissertação — UFC, 2013.

ANEEL. *Brasil ultrapassa marca de 1 GW em geração distribuída*. ANEEL, 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Última atualização em 15/03/2020.

ASMUS, P. *Moving from customized to plug-and-play microgrids*. Navigant Research, 2019. Disponível em: <<https://www.navigantresearch.com/news-and-views/moving-from-customized-to-plug-and-play-microgrids>>. Última atualização em 25/03/2020.

ASMUS, P. *Plug-and-Play Modular Microgrids Gain Market Momentum*. Microgrid Knowledge. Disponível em: <<https://microgridknowledge.com/modular-microgrids/>>. Última atualização em 25/03/2020.

BELLIDO, M.M.H. *Microrredes elétricas: uma proposta de implementação no brasil*. Tese – UFRJ, 2018.

CARNEIRO, A.V. *Projeto, desenvolvimento e implementação de microrrede em campus universitário com tecnologia solar fotovoltaica e de armazenamento*. Dissertação – UFC, 2017.

CHEN, Y., PEI, W. *Design and implementation of SCADA system for micro-grid*. *Information Technology Journal*, 12 (24): 8049-8057, 2013. DOI: 10.3923/itj.2013.8049.8057. 2013.

COELHO, M. *Apostila de sistemas supervisórios*. IFSP – Campus Cubatão, 2017.

COSTA, D. S. *Flexibilização da microrrede Pici – UFC para operação como sistema híbrido isolado*. Trabalho de conclusão de curso — UFC, 2018.

DATE, C. J. *Introdução a sistemas de banco de dados*. 8ª ed., Rio de Janeiro, RJ: Editora Elsevier, 2003.

DRIEMEIER, L.H. *Projeto de diplomação – Geração distribuída*. Trabalho de conclusão de curso – UFRGS, 2009.

ELIPSE KNOWLEDGEBASE. Elipse Software. Disponível em: < <https://kb.elipse.com.br/> >. Última atualização em 15/03/2020.

ELIPSE SOFTWARE. *Elipse Power*. Elipse Software, 2020. Disponível em: < <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-power/> >. Última atualização em 15/03/2020.

ELIPSE SOFTWARE. *Manual do Usuário do Elipse Power*. Elipse Software, 2015. Disponível em: < <https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=80&key=&language=ptbr> >. Última atualização em 15/03/2020.

OLIVEIRA, G.A. *Microrredes em mercados de energia elétrica*. Dissertação – UFSC, 2017.

HIROSE, K. *et al. The Sendai microgrid operational experience in the aftermath of the tohoku earthquake: a case study*. New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), 2013.

JEON, J.-H. *et al. Development of hardware in-the-loop simulation system for testing operation and control functions of microgrid*. Power Electronics, IEEE Transactions on, v. 25, n. 12, p. 2919 - 2929, Dezembro 2010.

KHATTABI, M. *et al. Advanced architectures and control concepts for more microgrids*. More Microgrids, Dezembro, 2009.

KHANH, L. N. *et al. Power-management strategies for a grid-connected pv-fc hybrid system*. Power Delivery, IEEE Transactions on, v. 25, n. 3, p. 1874-1882, Julho 2010.

LEE, J., HAN, B., CHOI, N. *DC micro-grid operational analysis with detailed simulation model for distributed generation*. *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2010 IEEE. Atlanta: IEEE. 2010. p. 3153 - 3160.

LIBERATO, J.P.D. *Estudo e aplicação de um supervisor integrado a um banco de dados para a rede de distribuição do Campus Pici*. Trabalho de conclusão de curso – UFC, 2014.

MENG, L. *et al. Microgrid supervisory controllers and energy management systems: A literature review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 60, p.1263-1273. Março, 2016.

MICROSOFT. **Entendendo o básico de endereçamento e subcompensação de TCP/IP**. Microsoft, 2019. Disponível em: < <https://support.microsoft.com/pt-br/help/164015/understanding-tcp-ip-addressing-and-subnetting-basics> >. Última atualização em 15/03/2020.

MICROSOFT. *Microsoft SQL Server 2017 Express*. Microsoft, 2020. Disponível em: < <https://www.microsoft.com/pt-br/download/details.aspx?id=55994> >. Última atualização em 15/03/2020.

MOTT, A. *O que são sistemas supervisórios?* Automação Industrial, 2012. Disponível em: < <https://www.automacaoindustrial.info/o-que-sao-sistemas-supervisorios/> >. Última atualização em 15/03/2020.

ROMANKIEWICZ, J. *et al. Lessons from international experience for China's microgrid demonstration program*. *Energy Policy* v. 67, pp. 198-208, Junho, 2014.

SCHNEIDER ELECTRIC. *General introduction to SoMachine*. Schneider Electric, 2017.

SCHNEIDER ELECTRIC. *Getting started with SoMachine self study manual*. Schneider Electric, 2014.

SCHNEIDER ELECTRIC. *SoMachine Central user guide*. Schneider Electric, 2017.

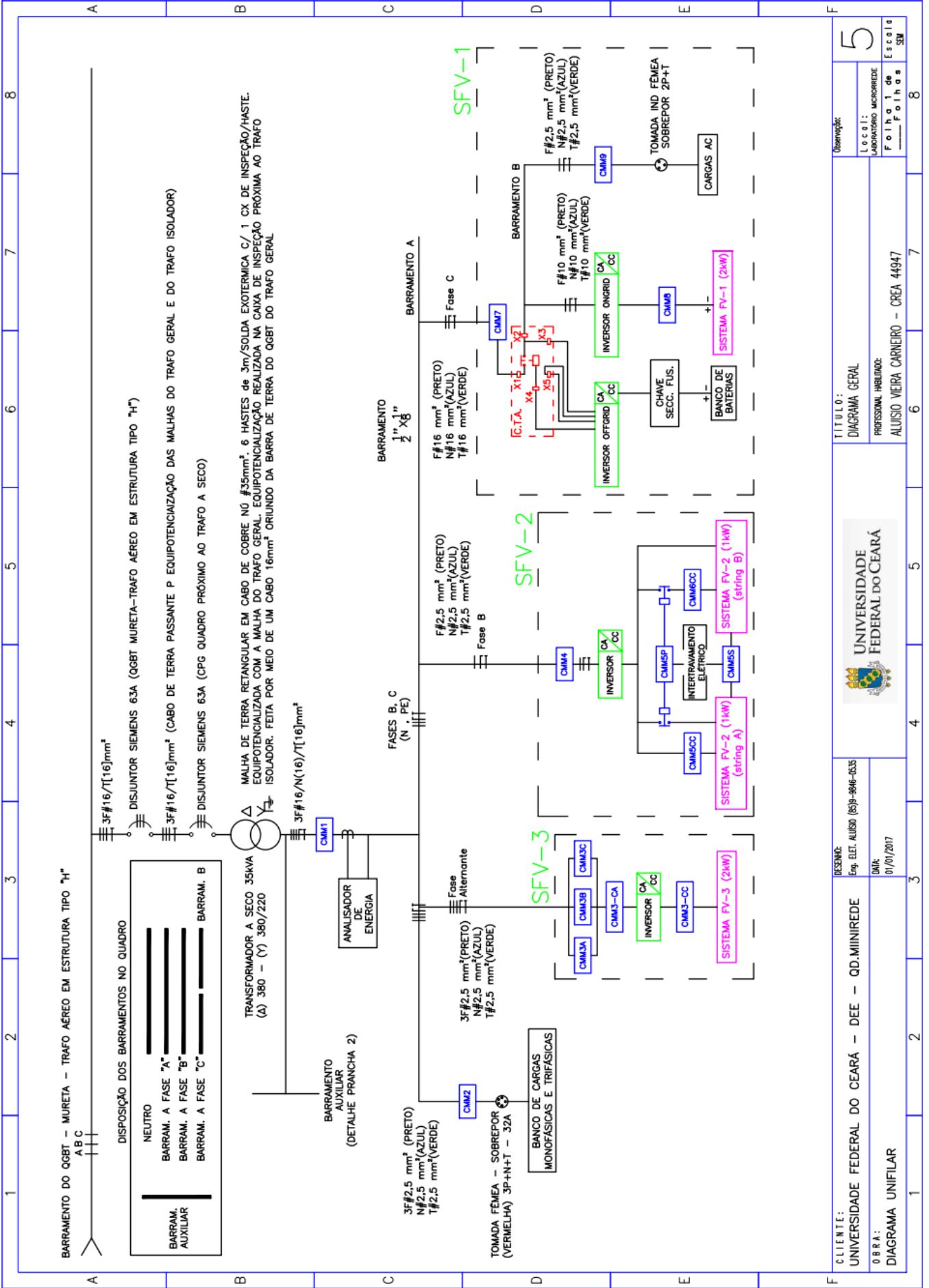
SCOTT, n. *Microgrids - a guide to their issues and value*. Xero Energy Limited, 2016.

SERBAN, E., SERBAN, H. *A control strategy for a distributed power generation microgrid application with voltage-and current-controlled source converter*. *Power Electronics, IEEE Transactions on*, v. 25, n. 12, p. 2981 - 2992, Dezembro 2010.

ZHANG, L. *et al.* *Power control of DC microgrid using DC bus signaling*. *Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2011 Twenty-Sixth Annual IEEE. Fort Worth: IEEE*. 2011. p. 1926 - 1932.

ZHANG, Y., JIA, H. J., GUO, L. *Energy management strategy of islanded microgrid based on power flow control*. *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). IEEE PES*. 2012. p. 1-8.

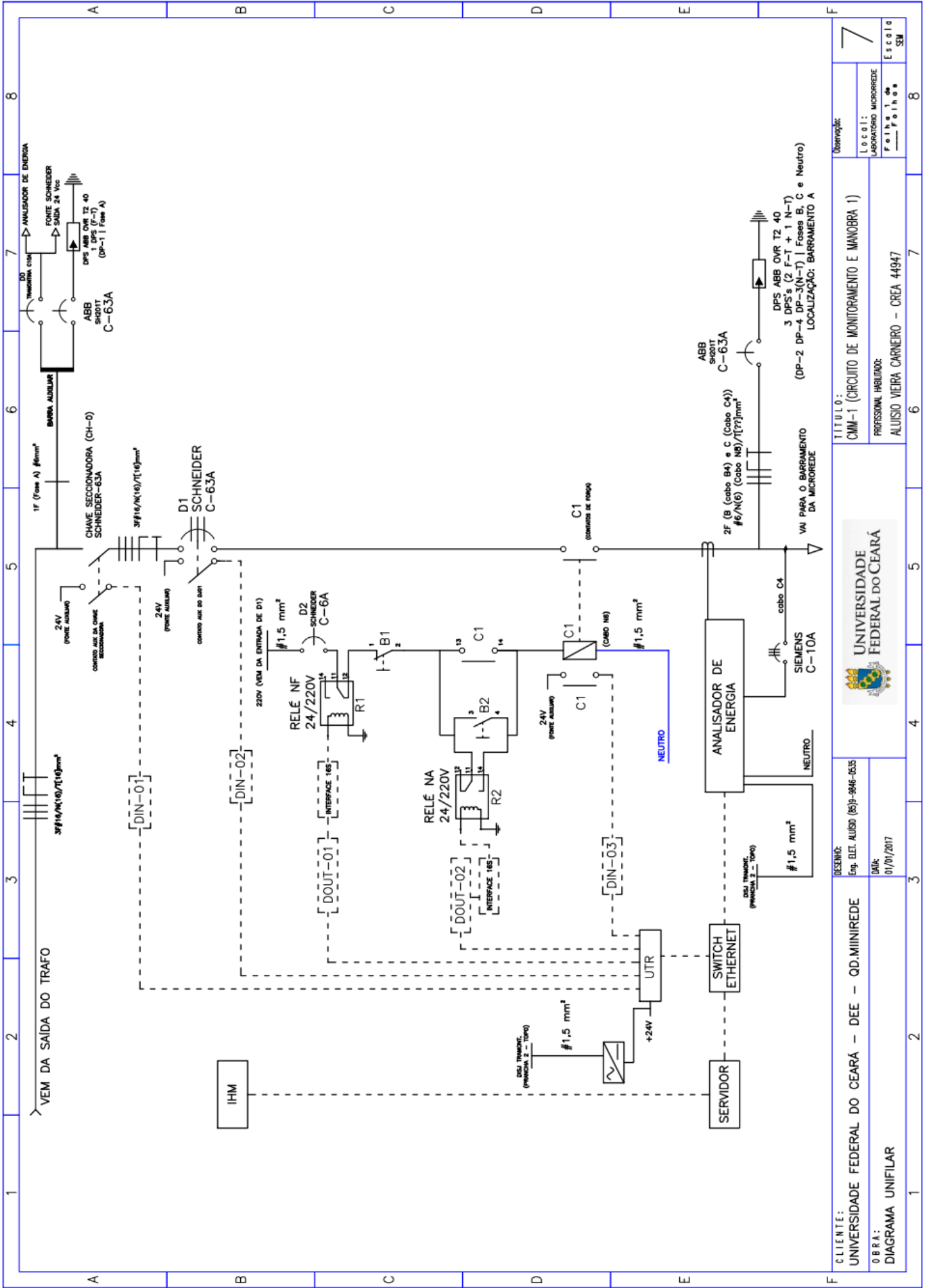
ANEXO A: VISÃO GERAL DA MICRORREDE LabREI



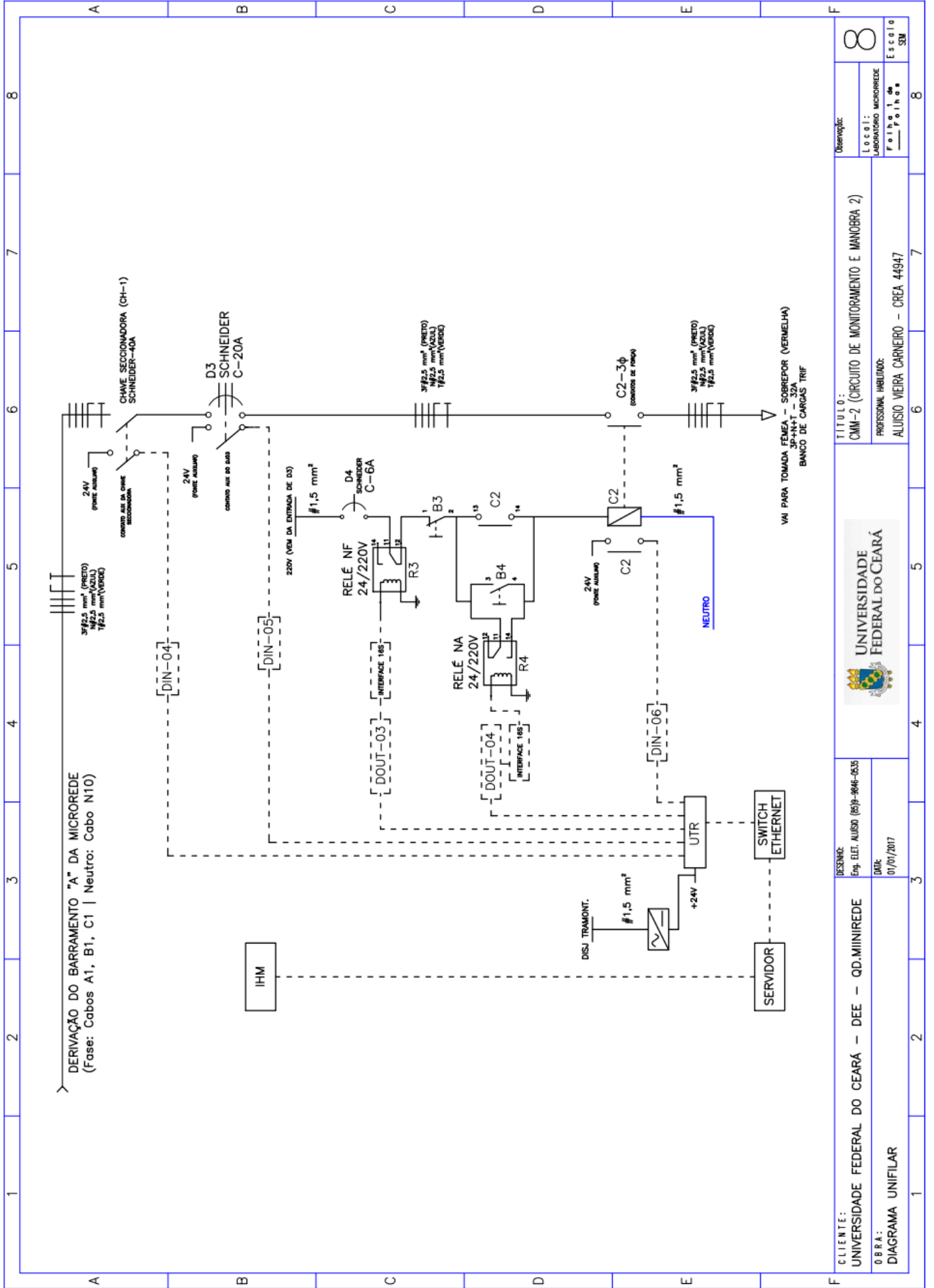
CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MIINIREDE	RESENHA: Eng. ELET. ALUISIO (85)9-6946-0535	TÍTULO: DIAGRAMA GERAL	Observação:
	DATA: 01/01/2017		Local: LABORATÓRIO MICROREDE
OBRA: DIAGRAMA UNIFILAR		PROFISSIONAL HABILITADO: ALUISIO VIEIRA CARNEIRO - CRECA 44947	Escola Folha 1 de 8
			SEM

**ANEXO B: CHAVE DE TRANSFERÊNCIA
AUTOMÁTICA DO SFV-1**

ANEXO C: CMM1



ANEXO D: CMM2



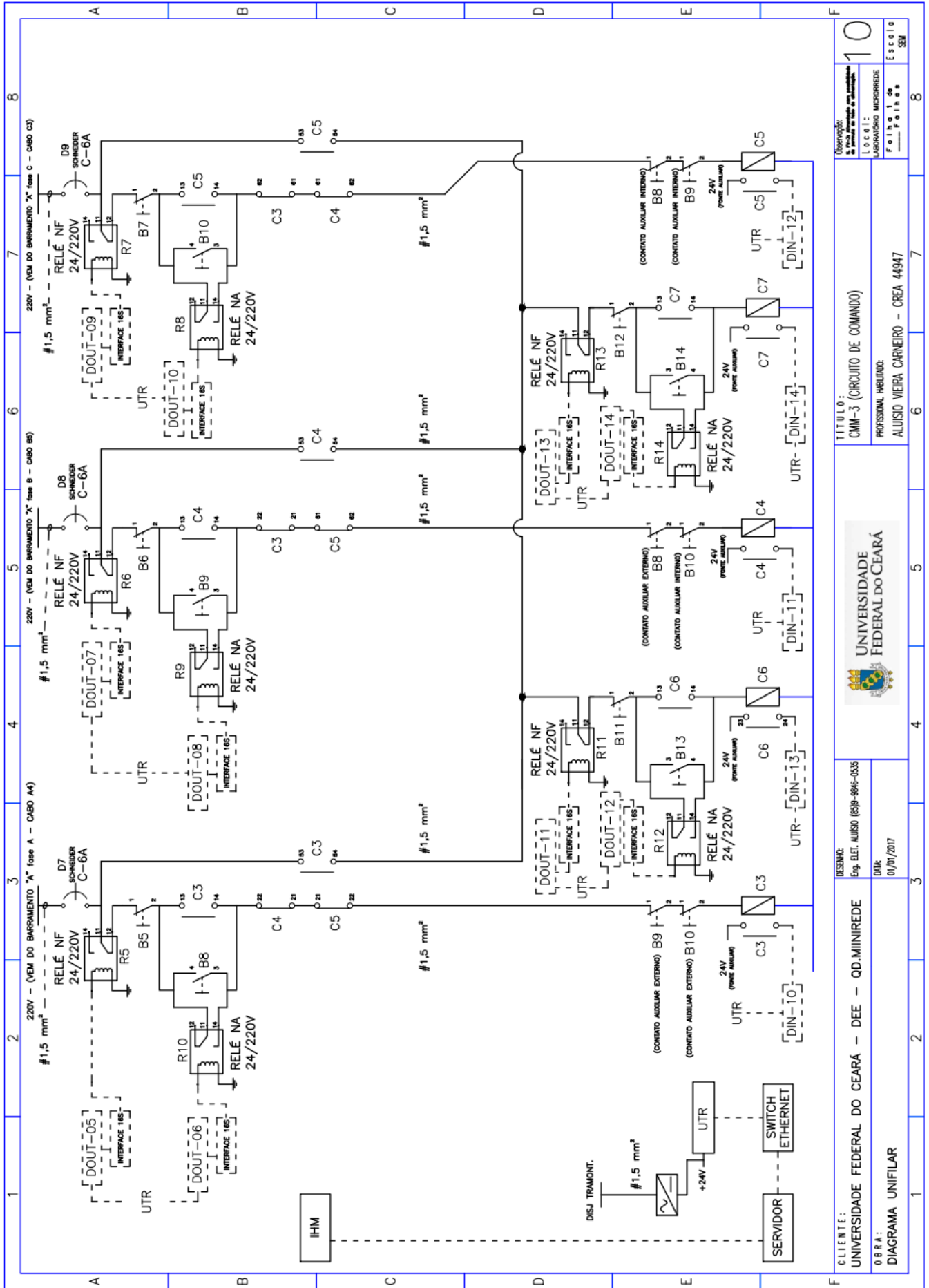
CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MIINIREDE	RESUMO: Eng. ELET. ALUISIO (0519-9646-0535)	TITULO: CMM-2 (CIRCUITO DE MONITORAMENTO E MANGRA 2)	Observação: 8
	DATA: 01/01/2017		Local: LABORATORIO MICROREDE
OBRA: DIAGRAMA UNIFILAR		PROFESSOR HABILITADO: ALUISIO VIEIRA CARNEIRO - CREA 44947	8
			8



8
Escola
SM

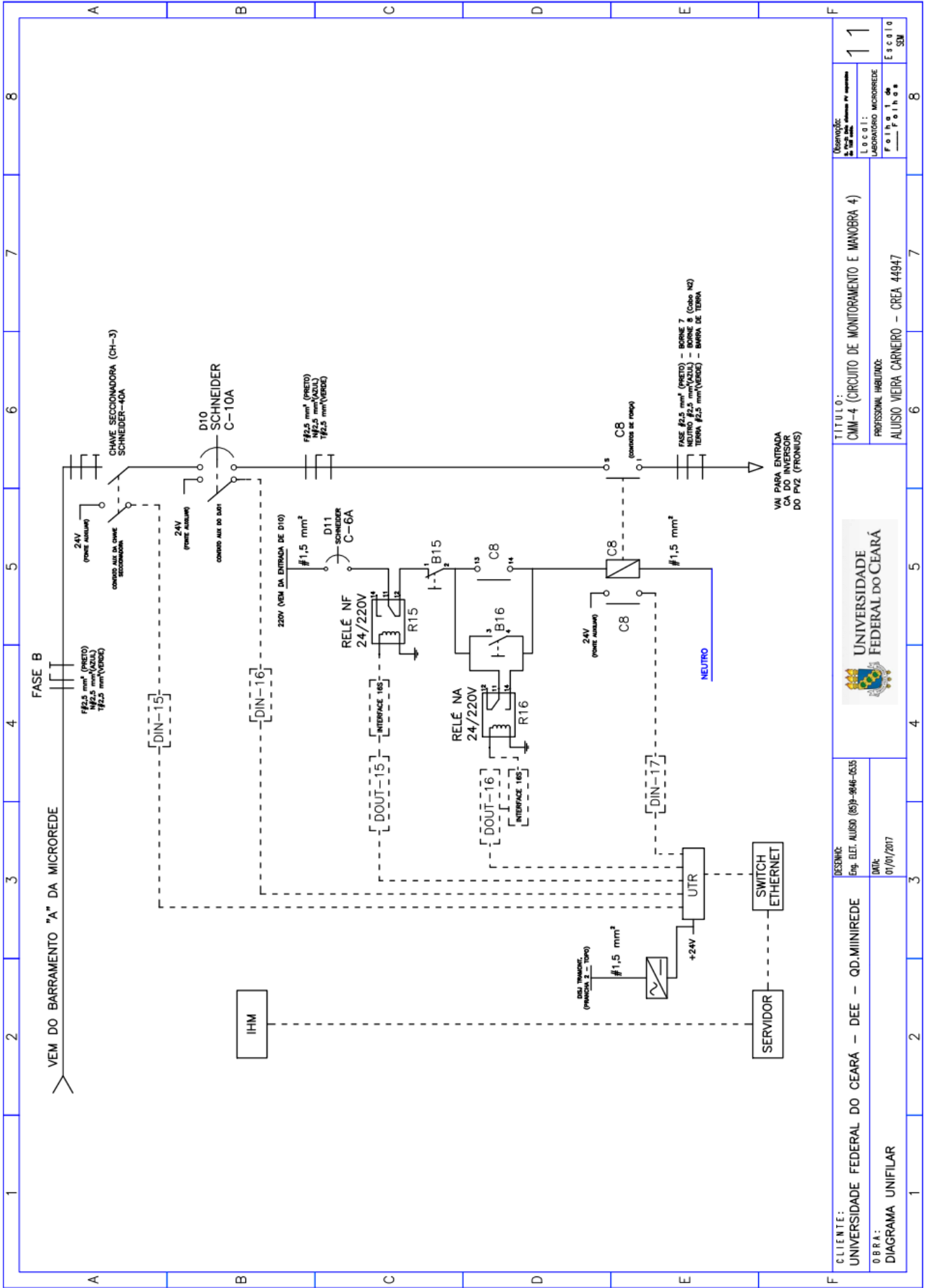
ANEXO E: CMM3 – CIRCUITO DE FORÇA

ANEXO F: CMM3 – CIRCUITO DE COMANDO



CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MIÑIREDE		TÍTULO: CMM-3 (CIRCUITO DE COMANDO)		Observação: 10	
OBRA: DIAGRAMA UNIFILAR		PROFESSOR HEBLINDO: ALUISIO VIEIRA CARNIERO - CREA 44947		L.O.E.O.I.: LABORATORIO MICROPREDE	
DISCERN: Eng. ELE. ALUISIO (85)9-8646-0335		UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ		Folha 1 de 8	
DATA: 01/01/2017				Escola SEM	

ANEXO G: CMM4



Observação: De acordo com o projeto em anexo	1
Local: LABORATÓRIO MICROREDE	1
Folha nº de Folhas	8
Escala	SEM

TÍTULO: CMM-4 (CIRCUITO DE MONITORAMENTO E MANOBRA 4)	7
PROFSSIONAL RESPONSÁVEL: ALUISIO VIEIRA CARNEIRO - CREA 44947	6



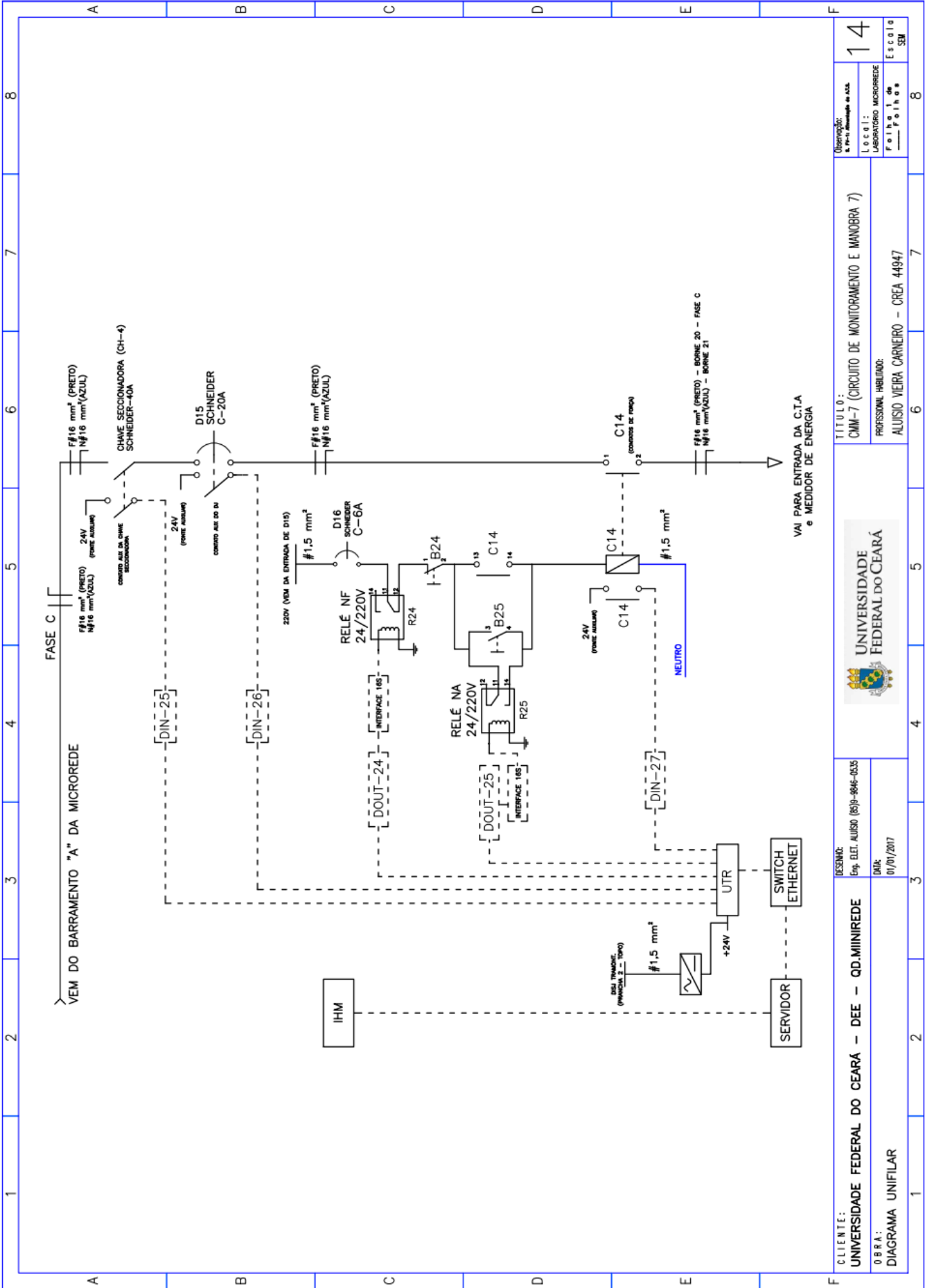
CLIENTE: UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MIINIREDE	3
DESIGNO: Eng. ELET. ALUISIO (85)9-8646-0335	3
DATA: 07/01/2017	3

OBRA: DIAGRAMA UNIFILAR	2
1	1

ANEXO H: CMM5 E CMM6 – CIRCUITO DE FORÇA

**ANEXO I: CMM5 E CMM6 – CIRCUITO DE
COMANDO**

ANEXO J: CMM7



Observação: A ser instalado de A-Z	14
Local: LABORATÓRIO MICROREDE	
Folha 1 de Folhas	8
Escola SEM	

TÍTULO:
CMM-7 (CIRCUITO DE MONITORAMENTO E MANOBRA 7)

PROFESSOR HABILITADO:
ALUSIO VIEIRA CARNEIRO - CREA 44947



DESENHO:
Eng. ELET. ALUSIO (85)9-8646-0035

DATA:
01/01/2017

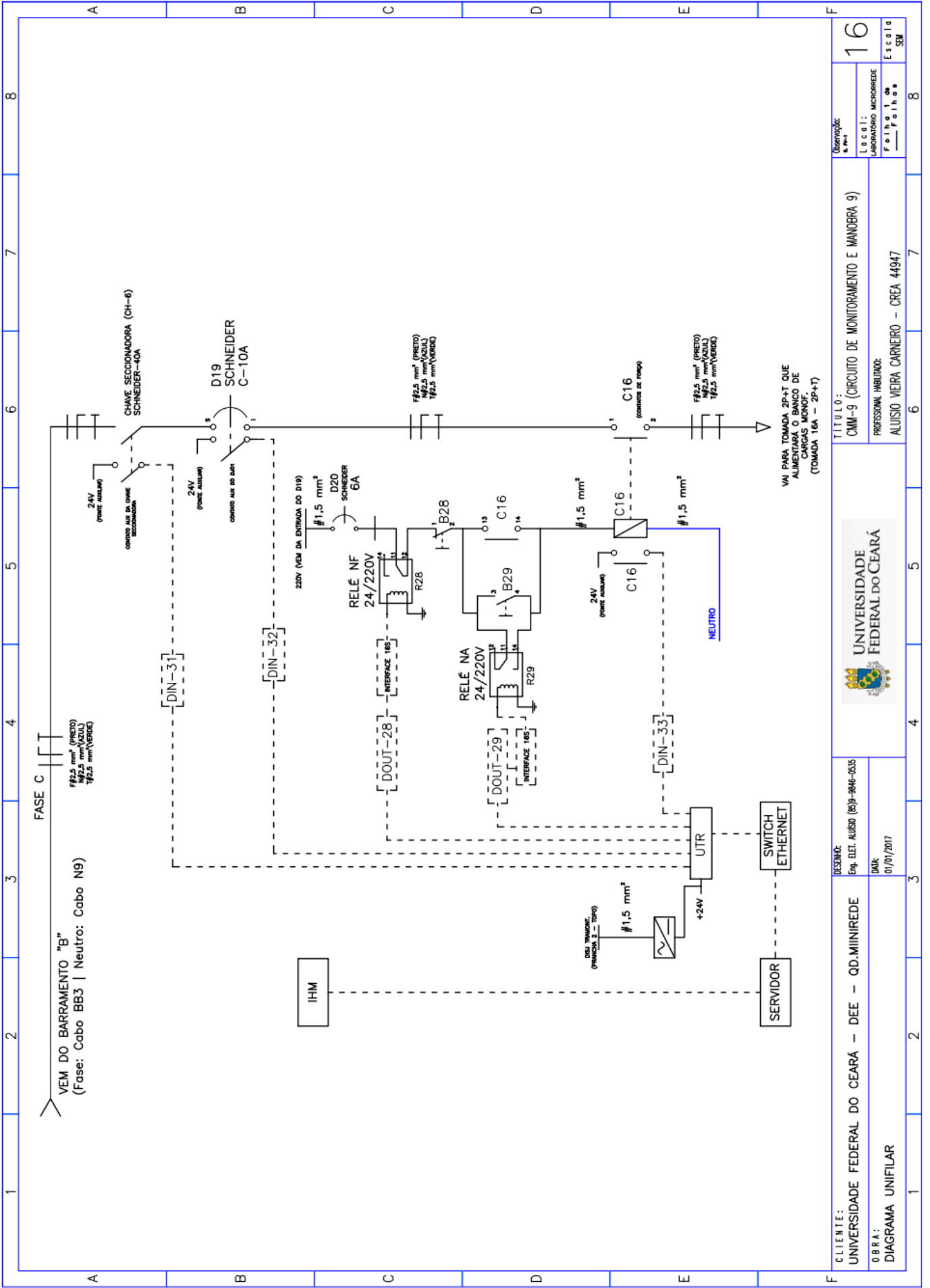
CLIENTE:
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MINIREDE

OBRA:
DIAGRAMA UNIFILAR

VAI PARA ENTRADA DA C.T.A
e MEDIDOR DE ENERGIA

ANEXO K: CMM8

ANEXO L: CMM9



Observação:	16
Local:	LABORATORIO MICROREDE
Folha de	Escala
_____	SM

TÍTULO:
CM-9 (CIRCUITO DE MONITORAMENTO E MANOBRAS 9)

PROFSSIONAL RESPONSÁVEL:
ALUISIO VIEIRA CARNEIRO - CREA 44947



DESENHO:
 Eng. EET. AULISO (619-3646-6535)

DATA:
 01/01/2017

CLIENTE:
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ - DEE - QD.MIINIREDE

OBRA:
DIAGRAMA UNIFILAR

VAI PARA TOMADA 2P+T QUE ALIMENTARÁ O BANCO DE CARGAS MONOF. (TOMADA 16A - 2P+T)