

Automação Industrial e a Integração dos Sistemas Digitalizados
de Proteção, Controle e Supervisão de Subestações de Energia Elétrica

Thiago Messias Barata Salim

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

Prof. Ivan Herszterg, M.Sc.

(Orientador)

Prof. Sergio Sami Hazan

Eng. Antonio Augusto Brites Magalhães

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2007

Agradecimentos

Aos meus familiares pela ajuda e incentivo. À minha noiva, pela dedicação e paciência.

À TELVENT que me mostrou a Engenharia como profissão, concretizando a minha escolha de ser engenheiro.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio de Janeiro pela dedicação e empenho na transmissão de seus conhecimentos.

Resumo

O presente trabalho tem o objetivo de elaborar um estudo sobre automação industrial e seus processos, visando apresentar as características de um sistema digital integrado de proteção, supervisão, controle e automação para uma subestação.

Inicialmente, serão apresentados os subsistemas que compõem um sistema integrado, detalhando aspectos técnicos e teóricos.

Em seguida, será apresentado o processo de automação de uma subestação, os equipamentos utilizados, a engenharia envolvida e as etapas do projeto.

Este trabalho permitirá que o leitor analise e entenda o processo de automação, assim como a arquitetura do sistema de uma subestação de energia elétrica digitalizada.

Lista de siglas

CLP	Controlador Lógico Programável
ED	Entrada Digital
GPS	Global Positioning System
IEC	International Electric Commission
IED	Intelligent Electronic Device (Dispositivo Eletrônico Inteligente)
IEM	Interferência eletromagnética
IHM	Interface Homem Máquina
LAN	Rede Local
ONS	Operador Nacional do Sistema
RDP	Registrador Digital de Perturbações
SAGE	Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia
SCADA	Supervisory Control and Data Aquisition
SD	Saída Digital
SE	Subestação
TC	Transformador de Corrente

TI	Tecnologia da Informação
TP	Transformador de Potencial
UAC	Unidade de Aquisição e Controle

Índice

<u>1.</u>	<u>Introdução</u>	1
<u>2.</u>	<u>Sistema Digital Integrado</u>	2
<u>2.1.</u>	<u>Subsistema de Proteção</u>	4
<u>2.2.</u>	<u>Subsistema de Supervisão e Controle</u>	4
<u>2.3.</u>	<u>Coordenação x Integração dos Sistemas de Proteção, Supervisão e Controle</u>	6
<u>3.</u>	<u>Sistema de Comunicação</u>	7

<u>3.1.</u>	<u>Redes de Comunicação</u>	7
<u>3.2.</u>	<u>Padrão RS-232C, RS-422, RS-485</u>	9
<u>3.3.</u>	<u>Sentido da Transmissão dos Dados</u>	9
<u>3.4.</u>	<u>Protocolos de Comunicação</u>	10
<u>3.4.1.</u>	<u>IEC 60870-5</u>	10
<u>3.4.2.</u>	<u>DNP</u>	11
<u>3.4.3.</u>	<u>MODBUS</u>	12
<u>3.4.4.</u>	<u>TCP/IP</u>	12
<u>3.5.</u>	<u>Características do Meio de Transmissão</u>	12
<u>3.5.1.</u>	<u>Cabos Elétricos</u>	13
<u>3.5.2.</u>	<u>Cabos Ópticos</u>	15
<u>3.6.</u>	<u>Equipamentos</u>	16
<u>3.6.1.</u>	<u>Hub</u>	16
<u>3.6.2.</u>	<u>Switch</u>	17
<u>3.6.3.</u>	<u>Roteador</u>	18
<u>4.</u>	<u>Engenharia e Arquitetura do Sistema</u>	19
<u>4.1.</u>	<u>Controladores Lógicos-Programáveis (CLP)</u>	19
<u>4.1.1.</u>	<u>Entradas Digitais</u>	21
<u>4.1.2.</u>	<u>Saídas Digitais</u>	22
<u>4.1.3.</u>	<u>Entradas Analógicas</u>	22
<u>4.2.</u>	<u>SCADA</u>	23

4.3.	<u>Relés Digitais de Proteção</u>	25
4.3.1.	<u>Algumas funções de proteção dos relés</u>	25
4.4.	<u>Oscilografia e RDP</u>	27
4.5.	<u>GPS</u>	30
4.6.	<u>Transformadores de Instrumentos (TI's)</u>	31
4.7.	<u>Relés de Interface</u>	32
4.8.	<u>Transdutor</u>	33
5.	<u>Automação Industrial</u>	34
5.1.	<u>Diagramas Unifilares</u>	35
5.2.	<u>Arquitetura Geral do Sistema</u>	41
5.2.1.	<u>Arquitetura Centralizada</u>	41
5.2.2.	<u>Arquitetura Descentralizada</u>	41
5.2.3.	<u>Arquitetura da SE MOP</u>	42
5.3.	<u>Diagramas Funcionais</u>	48
5.4.	<u>Construtivos e Dimensionais</u>	52
5.5.	<u>Base de Dados</u>	53
5.6.	<u>Lógicas</u>	54
6.	<u>Conclusão</u>	56
7.	<u>Referências Bibliográficas</u>	57

Lista de Figuras

<u>Figura 1:</u>	<u>Exemplo de um sistema de controle e proteção integrado.....</u>	<u>5</u>
<u>Figura 2:</u>	<u>Cabo Par Trançado.....</u>	<u>16</u>
<u>Figura 3:</u>	<u>Cabo Coaxial.....</u>	<u>17</u>
<u>Figura 4:</u>	<u>Fibra Óptica.....</u>	<u>18</u>
<u>Figura 5:</u>	<u>Hub de 4 portas.....</u>	<u>19</u>
<u>Figura 6:</u>	<u>Switch.....</u>	<u>20</u>
<u>Figura 7:</u>	<u>Roteador</u>	<u>20</u>
<u>Figura 8:</u>	<u>Estrutura básica de um CLP</u>	<u>21</u>
<u>Figura 9:</u>	<u>CLP Saitel 2000DP da TELVENT</u>	<u>22</u>
<u>Figura 10:</u>	<u>Arquitetura da Saitel 2000DP</u>	<u>23</u>
<u>Figura 11:</u>	<u>Unifilar da SE Onça Puma no SCADA</u>	<u>26</u>
<u>Figura 12:</u>	<u>Relé Digital de Proteção.....</u>	<u>27</u>
<u>Figura 13:</u>	<u>Instalação do RDP</u>	<u>29</u>
<u>Figura 14:</u>	<u>Registrador Digital de Perturbação</u>	<u>30</u>
<u>Figura 15:</u>	<u>Exemplo de registro</u>	<u>31</u>
<u>Figura 16:</u>	<u>GPS – vista frontal e traseira</u>	<u>32</u>
<u>Figura 17:</u>	<u>Transformador de Corrente (TC).....</u>	<u>33</u>
<u>Figura 18:</u>	<u>Relés Auxiliares</u>	<u>34</u>

<u>Figura 19:</u>	<u>Transdutor</u>	35
<u>Figura 20:</u>	<u>Visão Geral das SE's – PROJETO MOP</u>	37
<u>Figura 21:</u>	<u>Detalhe da LT Integradora C1</u>	38
<u>Figura 22:</u>	<u>Diagrama Unifilar SE MOP – parte I</u>	39
<u>Figura 23:</u>	<u>Diagrama Unifilar SE MOP – parte II</u>	40
<u>Figura 24:</u>	<u>Arquitetura Geral do Sistema da SE MOP – parte I</u>	43
<u>Figura 25:</u>	<u>Arquitetura Geral do Sistema da SE MOP – parte II</u>	44
<u>Figura 26:</u>	<u>Arquitetura Geral do Sistema da SE MOP – parte III</u>	45
<u>Figura 27:</u>	<u>Comando Seccionadora</u>	49
<u>Figura 28:</u>	<u>Entrada Digital - Seccionadora</u>	50
<u>Figura 29:</u>	<u>Saída Digital - Seccionadora</u>	51
<u>Figura 30:</u>	<u>Frontal do Painel QPC1</u>	52
<u>Figura 31:</u>	<u>Status – Entrada Digital</u>	53
<u>Figura 32:</u>	<u>Comandos – Saída Digital</u>	53
<u>Figura 33:</u>	<u>Lógica de Abertura e Fechamento do Disjuntor</u>	55

1. Introdução

A vida moderna seria impensável sem energia elétrica. Nossa sociedade não tem mais como renunciar ao uso da eletricidade. O desenvolvimento tecnológico, associado ao crescimento econômico, fez com que a energia elétrica ocupasse um lugar de destaque na sociedade moderna, que se tornou cada vez mais dependente devido a significativas mudanças no padrão de consumo.

Para atender à crescente demanda com uma energia elétrica de qualidade, aliada a uma indispensável gestão empresarial com práticas de redução de custos, buscando sempre a eficiência do sistema elétrico e a melhoria das condições de atendimento ao consumidor, as concessionárias de energia têm direcionado os seus investimentos à automação industrial.

Os sistemas integrados de proteção, controle e automação surgem com a finalidade de oferecer maiores recursos de operação, manutenção e qualidade de atendimento, contribuindo para a melhoria do sistema elétrico em geral.

O avanço da automação está ligado, em grande parte, a evolução tecnológica que tornou esses sistemas cada vez mais confiáveis e seguros, através do uso de tecnologia de ponta nos processos operacionais.

Dentro dessa realidade, as concessionárias de energia elétrica têm investido na modernização da automação das subestações de forma a garantir uma melhor e mais confiável utilização dos equipamentos sem comprometer a qualidade do fornecimento.

2. Sistema Digital Integrado

Os sistemas de proteção, controle e automação de subestações experimentaram importantes mudanças devido a necessidade de investimento contínuo no setor, objetivando a garantia da quantidade, qualidade e preços adequados do produto Energia Elétrica.

Para que se atenda as aspirações de um mercado consumidor cada vez mais exigente e progressista, faz-se necessário um Sistema Integrado de Supervisão, Controle e Proteção cada vez mais complexo.

Assim, a utilização de sistemas digitais de supervisão e controle, juntamente com a implementação de sistemas de automação, tem contribuído significativamente para a melhoria da qualidade de atendimento, proporcionando recursos não só de manobra remota de equipamentos, mas também para a manipulação de grandes quantidades de informações, de maneira prática, racional e segura.

Um Sistema Digital Integrado consiste em um conjunto de equipamentos de proteção, supervisão e controle, interligados de forma a poder trocar informações com confiabilidade e dentro de tempos aceitáveis. São conectados a uma unidade central de processamento, capaz de compartilhar tais informações aos níveis hierárquicos superiores através de uma rede local (LAN). Tal sistema deve oferecer as funções de proteção, as características da automação e controle, e a disponibilidade de todas as informações em um único sistema de supervisão. O objetivo principal dessa integração é utilizar, de forma mais eficiente, os recursos de supervisão, controle, automação e proteção, com melhor desempenho e menores custos e, ao mesmo tempo, disponibilizar o maior número de informações à operação e manutenção dos sistemas elétricos, buscando sempre a eficiência do sistema e ainda possibilitando a otimização de todo o processo.

A formação básica de um sistema integrado se constitui na composição dos subsistemas. Suas principais partes constituintes são:

- UAC's – Unidades de aquisição e controle;

- UCP – Unidade central de processamento;
- Relés de Proteção;
- IHM – Interface homem-máquina (Monitor, telas, projetor e impressoras);
- LAN, rede local de transferência e compartilhamento de dados – protocolos e demais especificações.

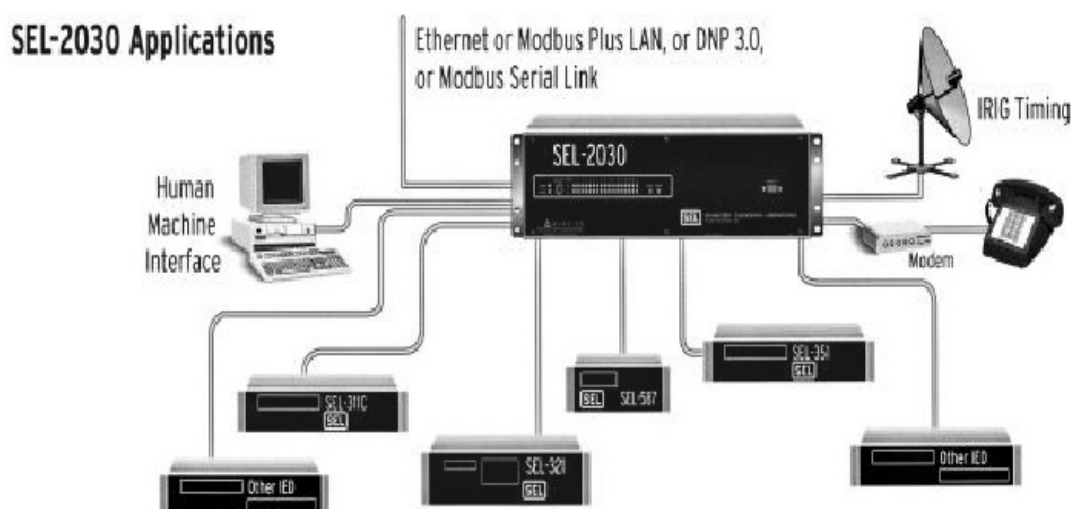


Figura 1: Exemplo de um sistema de controle e proteção integrado [10]

Em sistemas convencionais que não possuem integração, os subsistemas de Proteção, Supervisão e Controle formam dois sistemas completamente separados. As funções de proteção são restritas aos relés, que não disponibilizam suas informações e ações e muitas vezes não informam suas ações ao sistema de supervisão e controle. O sistema de supervisão e controle, por sua vez, possui apenas as informações referentes ao controle.

Já para o caso dos sistemas integrados, as informações relevantes ao processo, como correntes, tensões, estados dos equipamentos, alarmes, são adquiridas pelos relés de proteção e UAC's e compartilhadas com o sistema de supervisão e controle. Além de compartilhar estas informações, é possível também disponibilizar no sistema de supervisão as atuações e alarmes provenientes dos relés de proteção.

É importante comentar que a integração entre os diversos dispositivos digitais pode ocorrer em diferentes níveis, podendo ser parcial ou plenamente integrado, dependendo do grau de compartilhamento das informações entre os subsistemas. A redução do custo de implementação de um novo sistema, baseando-se entre outros fatores na diminuição da quantidade de cabos, no número de ED's e SD's, será tanto mais significativa quanto mais completo for o nível de integração do sistema.

2.1. Subsistema de Proteção

Este subsistema é responsável por executar toda a proteção do sistema, enviando as informações ao subsistema de supervisão.

Para garantir economicamente os serviços de energia elétrica, é necessário proteger as instalações da rede de possíveis anomalias de funcionamento, utilizando um conjunto coerente e específico de proteção. Deve-se ter sempre em mente que a filosofia principal de proteção baseia-se em quatro requisitos básicos:

- Sensibilidade
- Seletividade
- Velocidade
- Confiabilidade

Todo equipamento de proteção deve ser suficientemente sensível, isto é, capaz de responder às anormalidades nas condições de operação, e aos curtos-circuitos mínimos para os quais foi projetado. Deve possuir seletividade, reconhecendo e selecionando entre as condições que requerem funcionamento rápido, retardo na atuação, ou nenhuma operação. Além disso, sempre deve funcionar com a velocidade requerida, apresentando a confiabilidade para atuar conforme previsto.

O objetivo principal da proteção é desconectar o elemento defeituoso de um sistema o mais rápido possível. A sensibilidade, seletividade e a confiabilidade são essenciais para assegurar a atuação dos disjuntores apropriados, enquanto que a velocidade é importante para manter o sincronismo entre as máquinas e permitir religamentos bem sucedidos.

2.2. Subsistema de Supervisão e Controle

Este subsistema é responsável pelo controle e supervisão dos diversos equipamentos pertencentes a uma subestação.

Ao conjunto dos equipamentos (hardware e software) que realizam as funções de supervisão e controle é atribuída a designação de SCADA (*Supervisory, Control and Data Acquisition*). Este sistema deve possuir algumas características determinantes como as funções de monitoração, comando remoto, alarme, registro de dados, seqüência de eventos, gráficos, lógicas de intertravamento, religamento automático, interface homem-máquina, entre outras.

- **Monitoração:** Apresentação ao operador do estado dos equipamentos presentes em uma subestação (disjuntores, chaves seccionadoras, etc.), além das indicações das medidas relevantes como: potência ativa e reativa, tensão, corrente, freqüência, fator de potência, posição de taps e temperatura de transformadores.
- **Comando Remoto:** Manobra dos equipamentos da SE a partir da sala de controle, por meio de interface gráfica de comando.
- **Alarme:** Informação ao operador da alteração de um status importante para determinação do perfeito funcionamento da SE. Caracteriza uma irregularidade funcional de algum equipamento, dos limites operativos de medições ou do sistema digital.
- **Registro de dados:** Todas as informações referentes às medições, indicações de estados, alarmes e ações de operação devem ser armazenadas, permitindo uma análise geral pós operativa.
- **Seqüência de eventos:** Registro das informações provenientes do subsistema de proteção, especificamente dos relés e dos comandos de abertura e fechamento dos disjuntores e chaves seccionadoras. Ficam armazenados os alarmes de proteção, registros das atuações, trip's e demais informações relevantes.

- Gráficos de tendência: Informações de grandezas analógicas com suas respectivas variações no tempo.
- Lógicas de Intertravamento: Efetuam o bloqueio ou a permissão de ações de comandos nos equipamentos em função da topologia das SE's. Estas lógicas visam preservar a segurança operativa e a vida útil dos equipamentos.
- Religamento automático: Algoritmo de controle que tenta restabelecer automaticamente a topologia em caso de abertura de disjuntor.
- Interface homem-máquina: Recursos gráficos de operação que permitem o reconhecimento dos estados dos equipamentos, medições realizadas e a sinalização de alarmes.

2.3. Coordenação x Integração dos Sistemas de Proteção, Supervisão e Controle

Os sistemas de Proteção, Supervisão e Controle devem interagir entre si. A forma que se realiza esta integração pode variar, dependendo da necessidade e tecnologia empregada.

Em sistemas digitais com coordenação entre relés de proteção e o sistema de supervisão e controle, existe uma troca parcial de informações entre esses dois subsistemas. No caso dos sistemas digitais com integração entre as funções de proteção e o sistema de supervisão e controle, existe uma troca de informações extensa e interdependente. As funções de aquisição do estado dos equipamentos, alarmes, atuações, valores de correntes, tensões, temperaturas, etc..., são feitas uma única vez para os dois subsistemas.

O consenso maior, porém, é que qualquer que seja o grau de integração, deve-se manter o sistema de proteção independente do sistema de supervisão e controle, nas funções de aquisição dos valores, por exemplo, de corrente e tensão, estado dos disjuntores, disparos e religamentos.

3.3. Sistema de Comunicação

Os sistemas de automação industrial requerem o uso de um sistema eficiente de comunicação para transmissão de sinais de dados e controle, entre os centros de controle e um grande número de CLP's e medidores.

Existem muitas tecnologias de comunicação capazes de atender essa necessidade e a seleção do sistema de comunicação apropriado requer um completo entendimento de cada tecnologia de comunicação.

As exigências de comunicação depende da dimensão, complexidade e grau de automação desejável para o sistema. Em geral são importantes as seguintes características:

- confiabilidade da comunicação
- custo benefício
- atender necessidades presentes e futuras de taxa de dados
- comunicação em duplo sentido (não necessária para algumas funções)
- operar em áreas interrompidas / falhas
- fácil operação e manutenção
- conformidade com a arquitetura do fluxo de dados

3.1. Redes de Comunicação

De acordo com a configuração do sistema de comunicação, isto é, a finalidade, características técnicas e comprimento da rede, assim como a distância entre os equipamentos, as redes de comunicação podem ser:

- LAN's (Local Area Network, "rede de área local"): são redes utilizadas na interconexão de equipamentos e processadores com a finalidade de troca de dados. Tais redes são denominadas locais por cobrirem apenas

uma área limitada (10 Km no máximo), visto que, fisicamente, quanto maior a distância de um nó da rede ao outro, maior a taxa de erros que ocorrerão devido à degradação do sinal. As LAN's são utilizadas para conectar estações, servidores, periféricos e outros dispositivos que possuam capacidade de processamento em uma casa, escritório, escola e edifícios próximos [11].

- WAN (Wide Area Network, “Rede de área alargada ou Rede de longa distância”): também conhecida como Rede geograficamente distribuída, é uma rede de computadores que abrange uma grande área geográfica, com frequência um país ou continente. Difere, assim, das LAN's e das MAN's. A maior WAN que existe é a Internet. Em geral, as redes geograficamente distribuídas contêm conjuntos de servidores, que formam sub-redes. Essas sub-redes têm a função de transportar os dados entre os computadores ou dispositivos de rede. As WAN's tornaram-se necessárias devido ao crescimento das empresas, onde as LAN's não eram mais suficientes para atender a demanda de informações, pois era necessária uma forma de passar informação de uma empresa para outra de forma rápida e eficiente. Surgiram então as WAN's, que conectam redes dentro de uma vasta área geográfica, permitindo comunicação a grande distância [11].
- MAN (Metropolitan Area Network, “Rede de Área Metropolitana”): é uma rede de comunicação que abrange uma cidade. O exemplo mais conhecido de uma MAN é a rede de televisão a cabo disponível em muitas cidades. A partir do momento que a internet atraiu uma audiência de massa, as operadoras de redes de TV a cabo começaram a perceber que, com algumas mudanças no sistema, elas poderiam oferecer serviços da Internet de mão dupla em partes não utilizadas do espectro. A televisão a cabo não é a única MAN. Os desenvolvimentos mais recentes para acesso à internet de alta velocidade sem fio resultaram em outra MAN [11].

3.2. Padrão RS-232C, RS-422, RS-485

O padrão RS-232C foi o primeiro padrão de comunicação serial para interligação de equipamentos, tendo sido introduzido em 1962. Suas características, que são basicamente para sinalização do meio físico, compreendem:

- transmissão unidirecional;
- uso de lógica positiva: +5V a +15V equivale ao “1” lógico; e -5V a -15V equivale ao “0” lógico;
- faixa garantida para operação entre 0 e 20 kbps (quilo bits por segundo);
- distância máxima recomendada: 50 pés (15m);

O padrão RS-422 é um padrão de comunicação diferencial para linhas balanceadas, unidirecional, de forma a permitir a conexão de 1 transmissor a até 10 receptores, com as seguintes características principais:

- sinal de saída nas faixas +2V a +6V e -2V a -6V;
- 0,4V mínimo de sinal diferencial;
- limites de 10Mbits para distâncias de até 40 pés (13m) ou então, distância máxima de 4000 pés (1300m) para velocidades de até 100 kbps.

O padrão RS-485 é uma extensão do padrão RS-422 com o objetivo de permitir a implementação de redes onde é possível interligar até 32 transmissores e até 32 receptores no mesmo par de fios de comunicação, sendo que são mantidas todas as especificações físicas do padrão RS-422.

3.3. Sentido da Transmissão dos Dados

As direções de transmissão dos dados permitem classificar um canal de comunicação nas seguintes alternativas :

- Simplex: é quando o sentido do fluxo de sinais é único (caso das redes em anel);
- Half-duplex: é quando o fluxo de sinais ocorre em ambos os sentidos, em instante diferentes no tempo (caso de redes tipo barramento);
- Full-duplex: é quando ocorre fluxo de sinais em ambos os sentidos no mesmo instante de tempo, havendo portanto a obrigatoriedade de existir dois canais de comunicação distintos.

3.4. Protocolos de Comunicação

Redes locais, interligando vários processadores, funcionando de forma integrada, devem possuir um conjunto de regras bem definidas para comunicação de dados entre os processadores, denominadas de Protocolos. Ao conjunto de protocolos de uma rede denomina-se Arquitetura de Protocolos.

Na comunicação de dados e na interligação em rede, protocolo é um padrão que especifica o formato de dados e as regras a serem seguidas. Sem protocolos, uma rede não funciona. Um protocolo especifica como um programa deve preparar os dados para serem enviados para o estado seguinte do processo de comunicação.

Um protocolo de comunicação nada mais é do que um conjunto de convenções que rege o tratamento e, especialmente, a formatação dos dados num sistema de comunicação. Seria a "gramática" de uma "linguagem" de comunicação padronizada.

Os mais diversos meios podem ser utilizados para criar códigos de comunicação: o meio mais utilizado até hoje é o elétrico. Porém, para fazer uso de qualquer código para transmitir uma mensagem, existe a necessidade de um protocolo.

- Protocolo de Comunicação: convenção na formatação dos dados
- Código de Comunicação: convenção dos símbolos usados

- Mensagem: conteúdo do que se transmite e recebe

3.4.1. IEC 60870-5

É interessante, mencionar o protocolo IEC 870-5 que define as regras para comunicação de equipamentos usadas na automação de sistemas elétricos.

IEC 60870-5-101

Fornece uma padronização razoável para comunicação entre UAC's e os Centros de Controle, sendo hoje amplamente empregado. Como uma evolução deste protocolo surgiu um novo padrão, o IEC 60870-5-104, o qual permitiu a comunicação entre redes LAN e WAN (Wide Area Network). Este padrão é baseado no uso do protocolo ETHERNET, com sistema de acesso ao meio TCP/IP, hoje o mais difundido internacionalmente no setor de redes de transmissão de dados.

Podem ser ajuntadas várias estações que usam este protocolo em uma instalação interconectada para controlar e monitorar os equipamentos de um sistema de energia elétrica distribuído, de um ponto central. Este padrão define a funcionalidade para a interoperabilidade dos equipamentos de telecontrole de diferentes fabricantes para a comunicação entre subestações e centros de controle. Então aplica-se a equipamento de telecontrole e sistemas de transmissão para monitorar processos. O protocolo utiliza padrões da série IEC 60870-5.

IEC 60870-5-103

O protocolo IEC 60850-5-103 é destinado para o uso em transmissão de dados entre IED's como equipamentos da proteção e os sistemas de controle. O protocolo define as unidades de dados que especificam a disposição e os índices da mensagem, assim como a descrição da ordem e das situações em que estas mensagens são emitidas. Uma meta importante da IEC 60870-5-103 para a interface de informação dos equipamentos de proteção é a habilidade de unir dispositivos de proteção de fabricantes diferentes e gerações diferentes para um sistema de controle de estação sem aplicar qualquer esforço adaptável adicional.

3.4.2. DNP

Protocolo de Rede Distribuído, é um protocolo aberto, público, baseado em padrões abertos existindo para trabalhar dentro de uma variedade de redes. Foi desenvolvido para alcançar interoperabilidade entre sistemas elétricos, óleo & gás e indústrias de segurança. Recomenda o uso de DNP 3 ou IEC 870-5-101 para comunicação entre unidades terminais remotas e dispositivos eletrônicos inteligentes. DNP também pode ser implementado em qualquer sistema SCADA para comunicações entre computadores de subestação, CLP's, IED's e estações mestre. É usado para trocar dados entre CLP e pontos de controle remoto. Assim pode ser usada para a comunicação do centro de controle bem como para uma comunicação com os relés de proteção ou outros dispositivos eletrônicos inteligentes.

3.4.3. MODBUS

Modbus é um protocolo de comunicação de dados utilizado em sistemas de automação industrial. É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de controladores lógicos programáveis para aquisição de sinais de instrumentos. Por serem altamente difundidos são utilizados em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial.

3.4.4. TCP/IP

TCP/IP é o protocolo de rede mais usado atualmente. Seu nome faz referência a dois protocolos diferentes, o TCP (Transmission Control Protocol, Protocolo de Controle de Transmissão) e o IP (Internet Protocol, Protocolo de Internet). Os protocolos para internet formam o grupo de protocolos de comunicação que implementam a pilha de protocolos sobre a qual a internet e a maioria das redes comerciais funcionam.

Como muitos outros modelos de protocolos, podem ser vistos como um grupo de camadas, em que cada uma resolve um grupo de problemas da transmissão de dados, fornecendo um serviço bem definido para os protocolos da camada superior. Estas camadas mais altas estão logicamente mais perto do usuário (camada de aplicação), lidam com dados mais abstratos e confiam nos protocolos das camadas mais baixas para traduzir dados em um formato que pode eventualmente ser transmitido fisicamente.

3.5. Características do Meio de Transmissão

Meio de transmissão é a conexão física entre as estações da rede. Geralmente eles diferem com relação à faixa passante, ao potencial para conexão, à limitação geográfica devido à atenuação característica do meio, à imunidade a ruído, ao custo, à disponibilidade de componentes e à confiabilidade.

A escolha do meio de transmissão adequado às aplicações é extremamente importante, não só pelos motivos mencionados acima, mas também pelo fato de que ele influencia diretamente os custos de interface com a rede.

Qualquer meio físico capaz de transportar informações eletromagnéticas é passível de ser usado em redes locais, porém os mais utilizados são o par trançado, o cabo coaxial e a fibra ótica.

Podemos subdividir os cabos utilizados em redes em dois grupos principais:

- cabos elétricos são cabos de cobre (ou de um outro material condutor) que transmitem os dados através de sinais elétricos.
- cabos ópticos são cabos de fibra óptica que transmitem a informação através de sinais ópticos ou luminosos.

3.5.1. Cabos Elétricos

Cabo Par Trançado

No par trançado, dois fios são enrolados em espiral de forma a reduzir o ruído e manter constante as propriedades elétricas do meio através de todo o seu comprimento. A transmissão do par trançado pode ser tanto analógica como digital. Radiação pode ocorrer quando a relação entre a separação dos condutores e a frequência de operação chega a um certo ponto. Como consequência, existe um limite na frequência de transmissão. A faixa passante do par trançado é notavelmente alta, podendo chegar a uns poucos megabites por segundo, dependendo da distância, técnica de transmissão e qualidade do cabo. A perda de energia é um parâmetro importante quando se discute não só a taxa mínima de transmissão, mas também a distância máxima permitida, em qualquer que seja o meio de transmissão. A perda de energia aumenta com o aumento da distância, até chegar a um ponto em que o receptor não consegue mais reconhecer o sinal. Energia pode ser perdida por radiação (o meio físico pode funcionar como uma antena se o condutor é uma fração considerável do comprimento de onda transmitida) ou por calor (será proporcional à corrente e à impedância do meio, aumentando com a frequência, uma vez que o sinal é transportado cada vez mais na parte externa do condutor - efeito pelicular). Em geral, um par trançado pode chegar até várias dezenas de metros, com taxas de transmissão de alguns megabites por segundo. A principal desvantagem do par trançado é a sua susceptibilidade a IEM. Este problema pode ser minimizado com o uso de blindagem. Em sistemas de baixa frequência, a imunidade a ruído é tão boa quanto a do cabo coaxial. Em frequências um pouco mais elevadas (acima de 100 kHz, aproximadamente) o cabo coaxial é bem superior. A conexão dos nós ao cabo é extremamente simples. Devido à sua relativa simplicidade e baixo custo, conjugadamente com boas características de transmissão, estes cabos têm sido largamente utilizados quer em redes locais quer em redes alargadas.



Figura 2: Cabo Par Trançado

Cabo Coaxial:

É constituído por um condutor interno circundado por um condutor externo, separados por um dielétrico. O condutor externo é circundado por uma camada isolante. A conexão dos nós ao cabo exige técnicas especiais devido a impedância dos conectores. A maioria dos sistemas em banda básica utilizam cabos com impedância característica de 50 ohm, ao invés de cabos de 75 ohm comumente utilizados nas transmissões de sinais de TV ou redes de banda larga. Os cabos coaxiais propiciam melhor imunidade a ruídos do que o par trançado.



Figura 3: Cabo Coaxial

3.5.2. Cabos Ópticos

A transmissão em fibra ótica é realizada pelo envio de um sinal de luz codificado, dentro de um domínio de frequência do infravermelho, 10^{14} a 10^{15} Hz, através de um cabo ótico. As fontes emissoras de luz podem ser diodos emissores de luz ou lasers semicondutores. Estes últimos são preferidos por serem mais eficientes em termos de potência e devido a sua menor largura espectral, que reduz os efeitos de dispersão cromática na fibra. Diodos emissores de luz (LED's) são, por outro lado, mais baratos, além de se acomodarem melhor à temperatura ambiente e terem um ciclo de vida maior do que o laser. A fibra ótica possui algumas características físicas que tornam o seu emprego em ambientes como os de subestações e usinas extremamente vantajoso, tais como: é imune a interferências eletromagnéticas;

propicia o isolamento elétrico entre o transmissor e o receptor, eliminando os riscos de curto e transmissão de potenciais elevados à casa de controle; apresenta atenuação independente da frequência, propiciando, assim, uma velocidade de transmissão bastante alta.

Sob condições de laboratório podem ser obtidas velocidades de transmissão na ordem de gigabites por segundo. A composição da fibra é determinante na sua atenuação, que pode ser causada pela dispersão ou absorção da luz, provocada por impurezas no núcleo.

Uma desvantagem do uso da fibra ótica é o comprometimento da confiabilidade em relação ao par trançado e cabo coaxial em função das necessidades do uso de transceptores eletro-ótico e ótico-elétrico nas interfaces com os nós.

Contudo, a tecnologia das fibras ópticas ainda tem custo relativamente elevado (quando comparada com a dos outros cabos), o que tem sido um fator impeditivo da sua difusão em larga escala. Por exemplo, ao nível de pequenas redes locais não é justificada a utilização dessa tecnologia, uma vez que os cabos elétricos conseguem bom desempenho com preço muito mais reduzido.



Figura 4: Fibra Óptica [5]

3.6. Equipamentos

Basicamente, os equipamentos que interligam as redes de comunicação são:

3.6.1. Hub

É o aparelho que interliga diversas máquinas (computadores) que pode ligar externamente redes LAN, MAN e WAN.

O Hub é indicado para redes com poucos terminais de rede, pois o mesmo não comporta um grande volume de informações passando por ele ao mesmo tempo devido a sua metodologia de trabalho por broadcast, que envia a mesma informação dentro de uma rede para todas as máquinas interligadas. Devido a isto, sua aplicação para uma rede maior é desaconselhada, pois geraria lentidão na troca de informações [11].



Figura 5: Hub de 4 portas

3.6.2. Switch

Um switch, que pode ser traduzido como comutador, é um dispositivo utilizado em redes de computadores para reencaminhar quadros (ou tramas, frames) entre os diversos nós. Possuem diversas portas, assim como os concentradores (hubs) e a principal diferença entre o comutador e o concentrador é que o comutador segmenta a rede internamente, sendo que a cada porta corresponde um segmento diferente, o que significa que não haverá colisões entre pacotes de segmentos diferentes — ao

contrário dos concentradores, cujas portas partilham o mesmo domínio de colisão [11].



Figura 6: Switch

3.6.3. Roteador

Roteador (também chamado router ou encaminhador) é um equipamento usado para fazer a comutação de protocolos, a comunicação entre diferentes redes de computadores provendo a comunicação entre computadores distantes entre si.

A principal característica desses equipamentos é seleccionar a rota mais apropriada para repassar os pacotes recebidos. Ou seja, encaminhar os pacotes para o melhor caminho disponível para um determinado destino [11].



Figura 7: Roteador

4. Engenharia e Arquitetura do Sistema

Uma solução de automação tem por objetivos básicos o desempenho, funcionalidade e a eficiência do sistema. Para que estes fatores sejam alcançados é necessário conhecer os equipamentos utilizados, a teoria envolvida, a comunicação desejada, assim como toda engenharia envolvida nesse processo.

4.1. Controladores Lógicos-Programáveis (CLP)

Os controladores programáveis (CP) ou controladores lógicos-programáveis (CLP ou PLC, em inglês) são computadores especializados, baseados num microprocessador que desempenham funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade. A função desses controladores é coletar os estados e as medidas da subestação, para transferí-las para um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA) no centro de controle para aplicações de controle de tempo real e automação de redes de energia. A grande vantagem dos controladores programáveis é a possibilidade de reprogramação. Já os painéis de controle a relés necessitavam de modificações na fiação, o que muitas vezes era inviável, tornando-se mais barato simplesmente substituir todo painel por um novo. Portanto, os CLP's permitiram transferir as modificações de hardware em modificações no software.



Figura 8: Estrutura básica de um CLP

Um CLP é o controlador indicado para lidar com sistemas caracterizados por eventos discretos, ou seja, com processos em que as variáveis assumem valores zero ou um (ou variáveis ditas digitais, ou seja, que só assumem valores dentro de

um conjunto finito). Podem ainda lidar com variáveis analógicas definidas por intervalos de valores de corrente ou tensão elétrica. As entradas e/ou saídas digitais são os elementos discretos, as entradas e/ou saídas analógicas são os elementos variáveis entre valores conhecidos de tensão ou corrente.

Os CLP's tem capacidade de comunicação de dados via canais seriais. Com isto podem ser supervisionados por computadores formando sistemas de controle integrados. Os canais de comunicação nos CLP's permitem conectar à interface de operação (IHM), computadores, outros CLP's e até mesmo com unidades de entradas e saídas remotas.

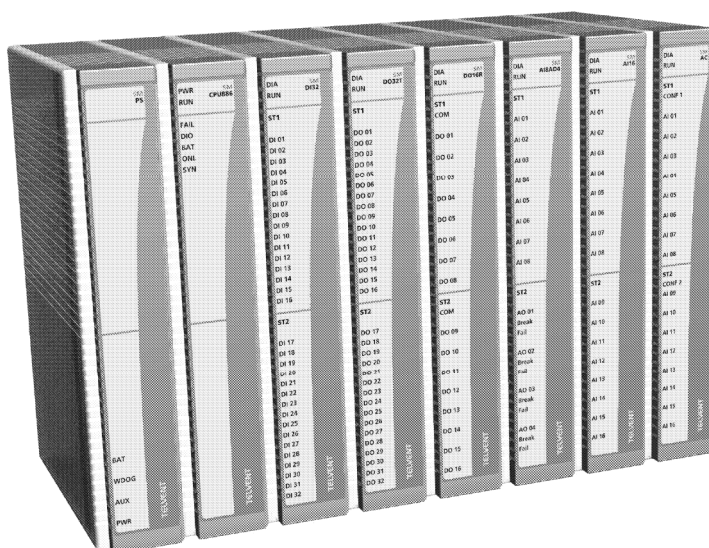


Figura 9: CLP Saitel 2000DP da TELVENT

Os CLP's são formados por módulos que podem ser substituídos facilmente em caso de algum apresentar qualquer defeito. Esses módulos são:

- Unidade de Controle: oferece uma grande capacidade de memória, processamento e conexões fast-ethernet.
- Módulos de Comunicação Série: existem duas versões para suporte de protocolos, síncronos e assíncronos.
- Fontes de Alimentação: existem duas possibilidades, usar o módulo de fonte ou fonte externa.

- Módulos de E/S: existe uma gama de módulos de entradas/saídas, tanto digitais quanto analógicas.

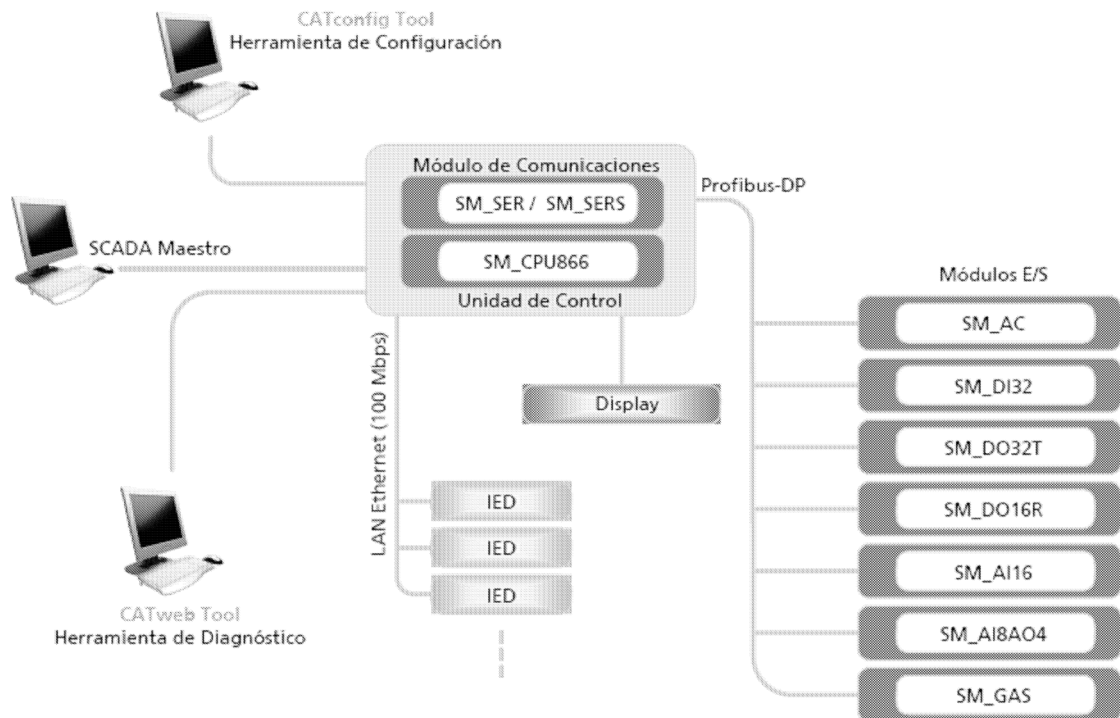


Figura 10: Arquitetura da Saitel 2000DP

Os sinais de entrada e saída dos CLP's podem ser digitais ou analógicos. Os módulos de entrada e saída são compostos de grupos de bits, associados em conjunto de 8 bits (1 byte) ou conjunto de 16 bits, de acordo com o tipo da CPU.

As entradas analógicas são módulos conversores A/D, que convertem um sinal de entrada em um valor digital, normalmente de 12 bits (4096 combinações). As saídas analógicas são módulos conversores D/A, ou seja, um valor binário é transformado em um sinal analógico.

4.1.1. Entradas Digitais

As entradas digitais ocupam o papel de interface do sistema digital de proteção e controle como os equipamentos em campo.

É através das entradas digitais que se efetuam as aquisições das informações digitais a partir dos contatos externos da instalação, como por exemplo, estados dos disjuntores e seccionadoras.

Os estados que deverão ser supervisionados para cada subestação devem ser definidos na fase de projeto e devem estar representadas nos diagramas lógicos, bem como em quais intertravamentos estes irão intervir.

4.1.2. Saídas Digitais

As saídas digitais também ocupam o papel de interface do sistema digital de proteção e controle com os equipamentos em campo.

É através das saídas digitais que se efetuam os comandos nos equipamentos da instalação, como por exemplo nos disjuntores, religadores e comutadores de TAP.

As condições sob as quais os contatos das saídas digitais mudarão de estado devem ser definidas na fase de projeto e devem estar representadas nos diagramas lógicos.

4.1.3. Entradas Analógicas

As entradas analógicas servem para a aquisição de informações analógicas a partir de transdutores de corrente ou tensão, podendo controlar variáveis como temperatura, pressão e detetores de nível de modo a fornecer ao sistema digital a capacidade de realização de automatismo como controle de bancos de capacitores.

Através das entradas analógicas e conversores analógico/digital internos ao equipamento, grandezas analógicas podem ser transmitidas a níveis superiores e gerar alarmes digitais em função de seus valores.

4.2. SCADA

Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, ou abreviadamente SCADA (proveniente do seu nome em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition*) são sistemas que utilizam software para monitorar e supervisionar as variáveis e os dispositivos de sistemas de controle.

O software SCADA fornece ao operador todas as informações da SE através da tela do seu microcomputador, permitindo que todas essas informações sejam monitoradas e rastreadas.

Neste software ainda é configurada a base de dados do sistema, com informações de números operacionais dos equipamentos e textos descritivos que deverão aparecer nas listas de eventos e alarmes.

Atualmente, os sistemas de automação industrial utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar a monitoração e controle das subestações, sendo portanto através deste software que o operador da subestação terá acesso aos comandos dos equipamentos podendo executar esses comandos de forma mais segura, já que assim ele terá uma visão global da SE.

As sinalizações em uma SE digitalizada aparecem na tela do SCADA, alertando o operador sobre qualquer evento que ocorra no sistema, ao contrário das SE's convencionais que os eventos apareciam nos anunciadores.

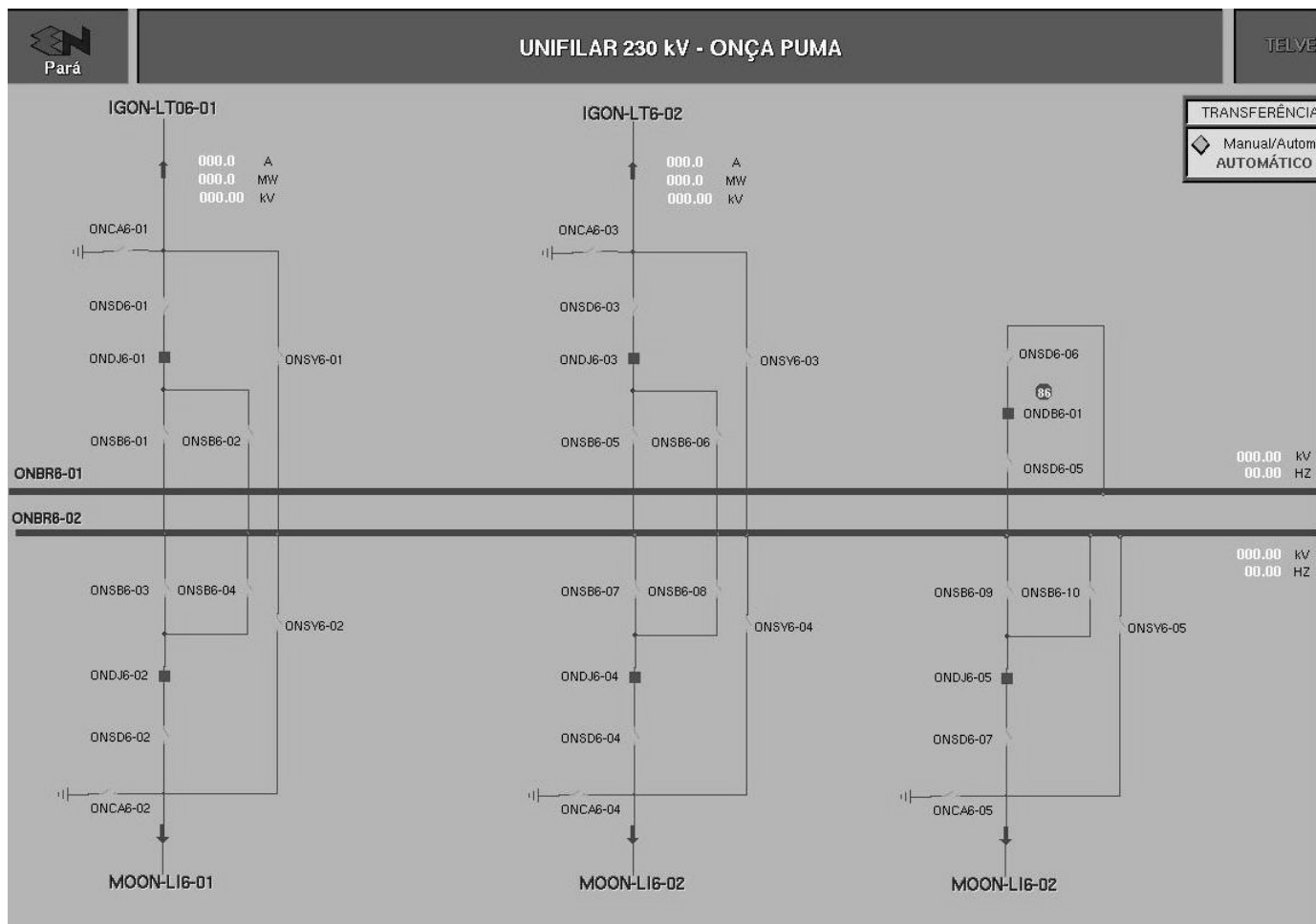


Figura 11: Unifilar da SE Onça Puma no SCADA

4.3. Relés Digitais de Proteção

As Linhas de Transmissão, por se tratarem do elemento do sistema elétrico de maior extensão e exposição aos fatores atmosféricos, possuem uma maior incidência de defeitos. Levando-se em consideração a sua importância para o perfeito funcionamento do sistema elétrico, pode-se imaginar o porquê da constante preocupação com a proteção deste elemento. A proteção de linha deve garantir que o defeito seja extinto rapidamente, sempre desligando o menor trecho de circuito possível. Neste tipo de proteção, são usados diferentes tipos de relés, com níveis de complexidade distintos, como por exemplo: relés de distância, de sobrecorrente instantâneo, de sobrecorrente direcionais.

Os relés digitais, para executar suas funções, usam as entradas analógicas para determinar os valores de corrente e tensão, processam as informações, e como resultado atuam numa saída digital que entra no circuito de comando do disjuntor.



Figura 12: Relé Digital de Proteção [10]

4.3.1. Algumas funções de proteção dos relés

- 21 - Relé de Distância: é um dispositivo que funciona quando a impedância ou reatância da linha, desde o relé até o ponto de defeito, é menor que o valor de ajuste.
- 25 - Relé de Sincronismo: é um dispositivo que verifica a amplitude de tensão, o ângulo de fase e a frequência de pontos elétricos distintos.
- 27 - Relé de Subtensão: é um dispositivo que funciona em um dado valor de subtensão.

- 50 - Relé de Sobrecorrente – Instantâneo: é um dispositivo que funciona instantaneamente quando a corrente, fornecida diretamente ou através de um TC, ultrapassa um valor pré-determinado.
- 51 - Relé de Sobrecorrente – Temporizado: é um dispositivo com característica de tempo definido ou inverso, que funciona quando a corrente, fornecida diretamente ou através de um TC, excede um valor determinado.
- 59 - Relé de Sobretensão: é um dispositivo que funciona em um dado valor de sobretensão.
- 62 - Relé de Interrupção ou abertura retardada: é um relé temporizado que serve em conjunto com o dispositivo que inicia a operação de desenergização, parada ou abertura em uma seqüência automática.
- 67 - Relé Direcional de Sobrecorrente: é um dispositivo que funciona em um desejável valor do fluxo de C.A, em uma dada direção.
- 79 - Relé de Religamento: é um relé que controla o refechamento automático e o bloqueio de um disjuntor.
- 81 - Relé de Freqüência: é um relé que funciona em um predeterminado valor da freqüência, abaixo ou acima da freqüência nominal.
- 87 - Relé de proteção diferencial: é um relé que funciona com a diferença percentual ou de ângulo de fase entre duas ou mais correntes ou outras quantidades elétricas.
- 94 - Relé de abertura ou disparo livre: é um relé que funciona para dar o disparo em um disjuntor, contator ou equipamentos, ou para permitir a abertura imediata por outros dispositivos, ou para prevenir o refechamento imediato de um disjuntor, mesmo que seus circuitos de fechamento sejam mantidos energizados.

4.4. Oscilografia e RDP

Registradores digitais de perturbação (RDP) também conhecidos como oscilógrafos digitais são medidores que utilizam tecnologia digital para registrar e transmitir sinais de falta e eventos no sistema elétrico. Ou seja, é um equipamento destinado à aquisição, monitoração e registro de grandezas elétricas normalmente associadas a instalações de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica.

Os módulos de aquisição podem ser instalados distante do módulo registrador, junto com os relés de proteção, local onde os sinais já estão disponíveis facilitando a instalação.

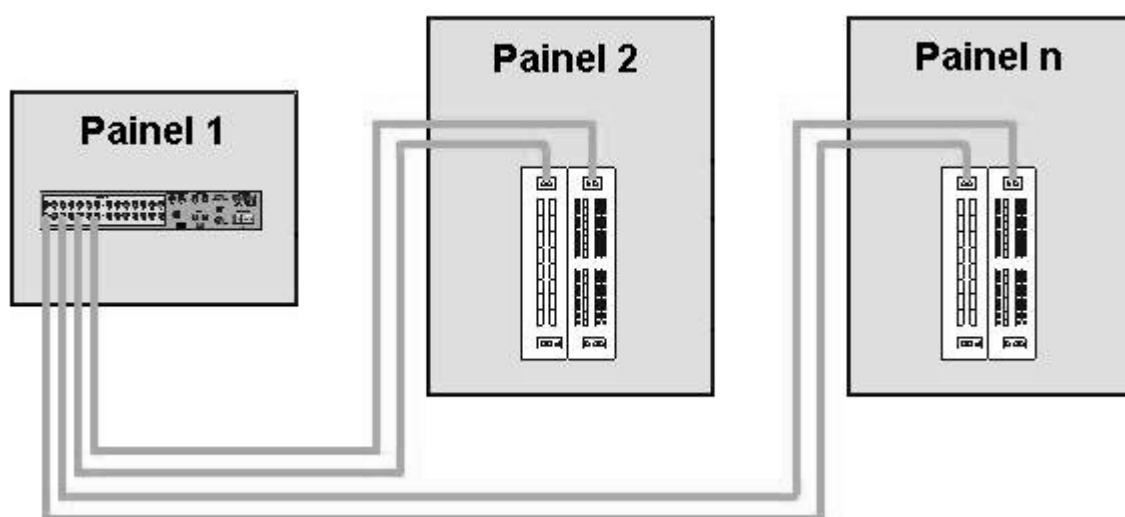


Figura 13: Instalação do RDP [3]

O módulo do registrador fornece informações, como tempo de atuação dos relés de proteção, abertura e fechamento das chaves seccionadoras, disjuntores, com precisão de até um milissegundo. Uma referência externa de tempo (geralmente baseada em um receptor GPS) pode ser conectada através de entrada óptica ou elétrica, provendo aquisição sincronizada e referência temporal para os registros.

A identificação rápida de um problema e a avaliação correta do comportamento da rede permitem medidas corretivas rápidas antes que o problema se torne uma falha principal da rede.



Figura 14: Registrador Digital de Perturbação [3]

Basicamente quatro tipos de registros são manipulados pelo registrador:

- **Registros de Forma de Onda:** Registros com dados adquiridos a uma frequência relativamente alta (tipicamente 5760 Hz), mas para pequenas durações (normalmente menores que 10 segundos). Os dados permitem a visualização das formas de ondas de corrente e tensão e também dos sinais digitais armazenados pelo equipamento. Este tipo de registro está basicamente ligado à análise de faltas no sistema elétrico e do desempenho dos sistemas de proteção.
- **Registros de Fasores:** Registros compostos por valores fasoriais (módulo e ângulo dos sinais senoidais) calculados a cada meio ciclo (com base em janelas de um ciclo deslizante) compondo registros de maior duração (tipicamente de até 60 minutos). Além disso, podem ser incluídos dados sobre a frequência instantânea de algumas tensões de referência. Estes conjuntos de dados permitem a análise de fenômenos ligados a estabilidade dos sistemas, e as oscilações de potência de baixa frequência, bem como energização de linhas e bancos de capacitores.
- **Registros Históricos:** Registros compostos por valores RMS médios de tensão e corrente observados a intervalos relativamente longos (entre 1 e 10 minutos) que por gerarem pequeno volume de dados são medidos continuamente. Além dos valores médios podem ser registrados valores de frequência e potência média. Estes registros geram dados complementares sobre a operação do sistema e permitem a avaliação

dos sistemas de regulação de tensão bem como o levantamento de curvas de carga dos circuitos.

- Registros Seqüenciais de Eventos (SOE) – Os sinais digitais somente são armazenados em conjunto com os analógicos no caso dos registros de curto intervalo de tempo (registros oscilográficos e fasoriais). Para intervalos de tempo maiores (registros históricos) um registro seqüencial de eventos é gerado. Este registro contém uma lista de sinais digitais que variaram durante o dia, bem como o horário de cada variação.

É importante observar que um mesmo evento pode aparecer em vários registros simultâneos nas diversas formas descritas acima.

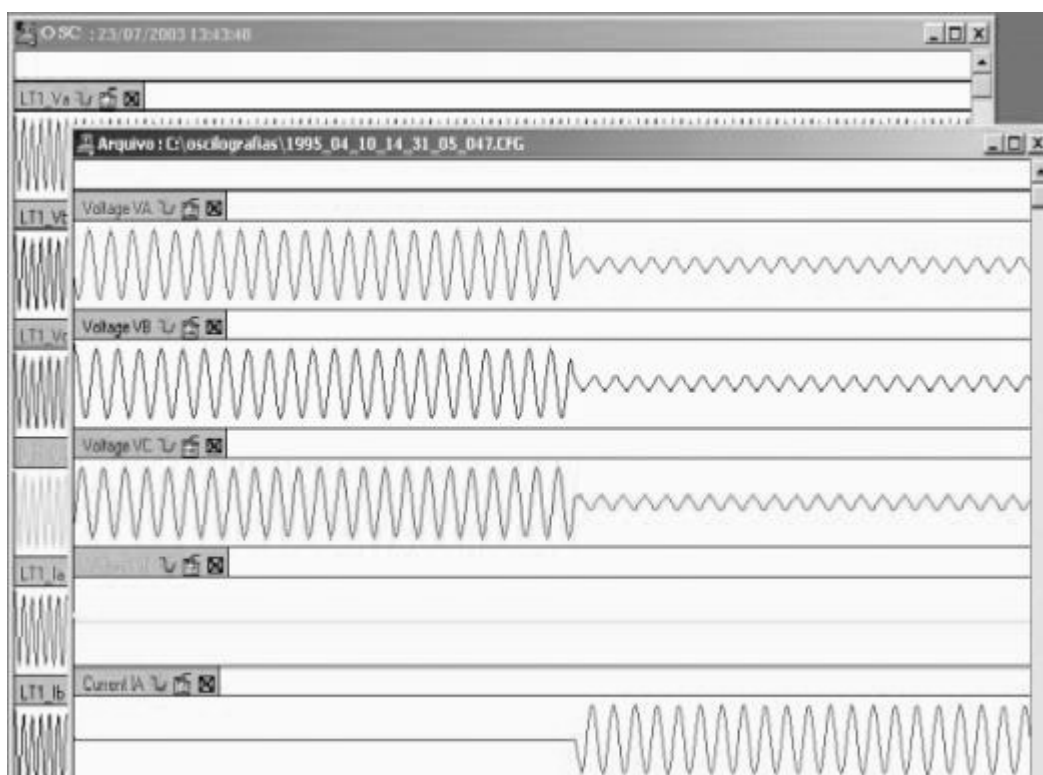


Figura 15: Exemplo de registro

4.5. GPS

O Sistema de Posicionamento Global, vulgarmente conhecido por GPS (do acrónimo do inglês *Global Positioning System*), é um sistema de posicionamento por satélite, utilizado para determinação da posição de um receptor na superfície da Terra ou em órbita.

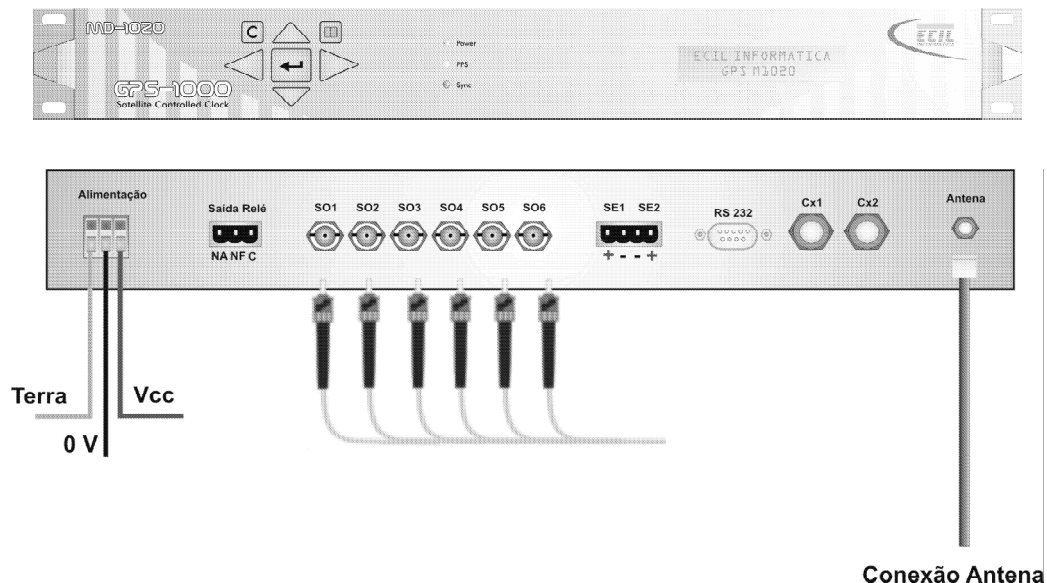


Figura 16: GPS – vista frontal e traseira [3]

Para que um sistema possa ser considerado integrado, deve haver uma inter-relação entre as partes constituintes, de forma que o desempenho do sistema seja correto e adequado. Para que isso ocorra é necessário que os equipamentos operem em conjunto e de forma integrada, isto é, a supervisão e o controle das diversas instalações sejam feitos dentro de uma mesma base de tempo. Esse sincronismo é garantido através do GPS, que envia mensagens de sincronismo de tempos em tempos aos diversos equipamentos da subestação sincronizando os relógios internos dos CLP's, relés e outros equipamentos.

Caso algum desses equipamentos não receba mensagem de sincronismo no intervalo de tempo pré-estabelecido, imediatamente ocorrerá perda de sincronismo e os tempos dos registros de eventos poderão conter informações incorretas ou não confiáveis.

4.6. Transformadores de Instrumentos (TI's)

A necessidade de manusearmos grandezas elétricas juntamente com a inexistência de instrumentos que meçam elevados valores de tensões e correntes tornou-se indispensável o uso de transformadores de instrumentos.

Um transformador de corrente ou simplesmente TC é um dispositivo que reproduz no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário com sua posição vetorial substancialmente mantida, em uma proporção definida, conhecida e adequada. Os transformadores de corrente utilizados em aplicações de alta tensão (situações essas onde circulam, frequentemente, altas correntes), fornecem correntes suficientemente reduzidas e isoladas do circuito primário de forma a possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.

Já o transformador de potencial tem a mesma função, reproduzindo a tensão no seu circuito secundário de forma a possibilitar seu uso pelos mesmos equipamentos.



Figura 17: Transformador de Corrente (TC)

4.7. Relés de Interface

Para acionamento dos disjuntores em geral utiliza-se tensão CC de 125 ou 250 Volts e corrente considerável. Assim, para que uma saída digital de um CLP entre nestes circuitos é preciso que ela tenha esta capacidade de corrente e tensão podendo resultar num projeto grande e ao mesmo tempo antieconômico. A alternativa é fazer com que ela venha a agir através de relés auxiliares com esta capacidade.

Estes relés, também denominados relés de interposição, permitem que se utilize tensões baixas nas entradas e saídas digitais e ao mesmo tempo provêm uma isolação, entre os circuitos de campo e da CLP.

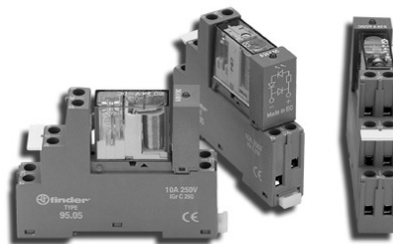


Figura 18: Relés Auxiliares [4]

4.8. Transdutor

Um transdutor é um dispositivo que transforma um tipo de energia em outro tipo de energia, utilizando para isso um elemento sensor que recebe os dados e os transforma, modificando a natureza do sinal.

Muitas vezes esses transdutores podem funcionar como multimedidores de variáveis elétricas. Na automação elétrica encontram-se vários tipos de transdutores para medição de: tensão, corrente, potência, temperatura, etc.

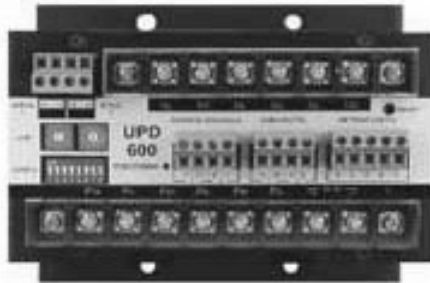


Figura 19: Transdutor

5. Automação Industrial

O termo Automação Industrial tem sido usado para designar os sistemas digitais que são utilizados para supervisão, comando, controle e proteção dos vários componentes de uma subestação.

Os sistemas digitais de automação são compostos por vários níveis hierárquicos de ação, e visam prover os meios para operação e manutenção do sistema elétrico. Os níveis de automação podem ser identificados por:

- Nível 0: constituídos pelos equipamentos de campo a controlar;
- Nível 1: sistema de aquisição de dados e controle. É composto pelas UAC's, constituindo a interface com o processo;
- Nível 2: lá encontramos os computadores que fazem a supervisão das máquinas e equipamentos, constituindo o sistema de controle central da instalação, SCADA;
- Nível 3: é onde ocorre a operação e o atendimento das subestações e usinas à distância, geralmente denominados de Centro de Operação do Sistema.

O projeto de automação digital de uma SE é feito em várias etapas, o projeto propriamente dito, ou seja, estudo e projeto dos diagramas unifilares, funcionais e lógicos, arquiteturas do sistema, dimensionais e construtivos dos painéis, fabricação desses painéis, teste em fábrica e finalmente comissionamento da SE.

O presente trabalho apresentará, neste capítulo, um detalhamento dessas etapas, através do entendimento de um exemplo real de automação. O projeto que será apresentado faz parte do Sistema de Transmissão Norte-Nordeste, no Pará. Nele teremos a expansão da SE Carajás, já existente, e a implantação de mais 5 subestações novas e integradas: SE MOP, SE MOP Industrial, SE Integradora, SE Níquel do Vermelho e SE Níquel do Vermelho Industrial. Para fins ilustrativos apresentarei apenas a SE MOP – Mineração Onça Puma.

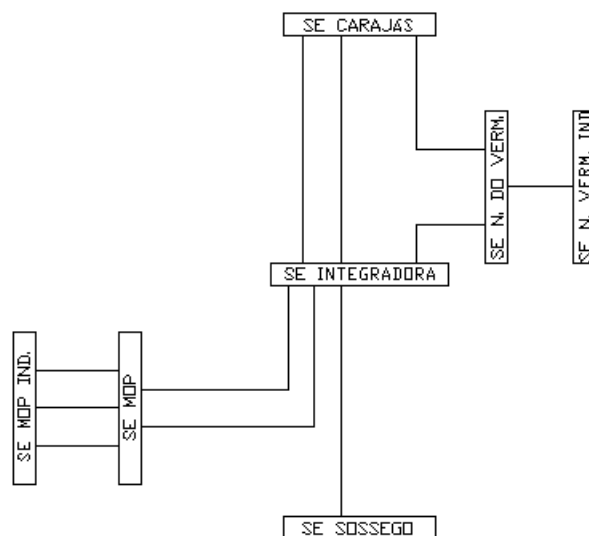


Figura 20: Visão Geral das SE's – PROJETO MOP

5.1. Diagramas Unifilares

Diagramas Unifilares são desenhos que mostram o arranjo físico da subestação. De acordo com a capacidade de tensão da SE, existe um arranjo típico utilizado. No caso da SE MOP, 230kV, será usado o arranjo barra dupla.

Analisando-se as figuras 22 e 23 que mostram o unifilar da SE MOP, podemos tirar informações dessa subestação, como: número de chaves seccionadoras, disjuntores, linhas de transmissão e alguns equipamentos de controle e proteção.

Vão A, Seção X: LT Integradora C1

Vão A, Seção Y: LT MOP Industrial C1

Vão B, Seção X: LT Integradora C2

Vão B, Seção Y: LT MOP Industrial C2

Vão C, Seção X: Proteção de Barras

Vão C, Seção Y: LT MOP Industrial C3

Temos então 2 linhas de transmissão para SE Integradora e 3 linhas para SE MOP Industrial, chegando a um total de 5 linhas de transmissão na SE MOP. Levando-se em conta que são 2 painéis por linha de transmissão, 1 para proteção principal e outro para proteção de retaguarda, podemos iniciar o estudo da arquitetura geral do sistema.

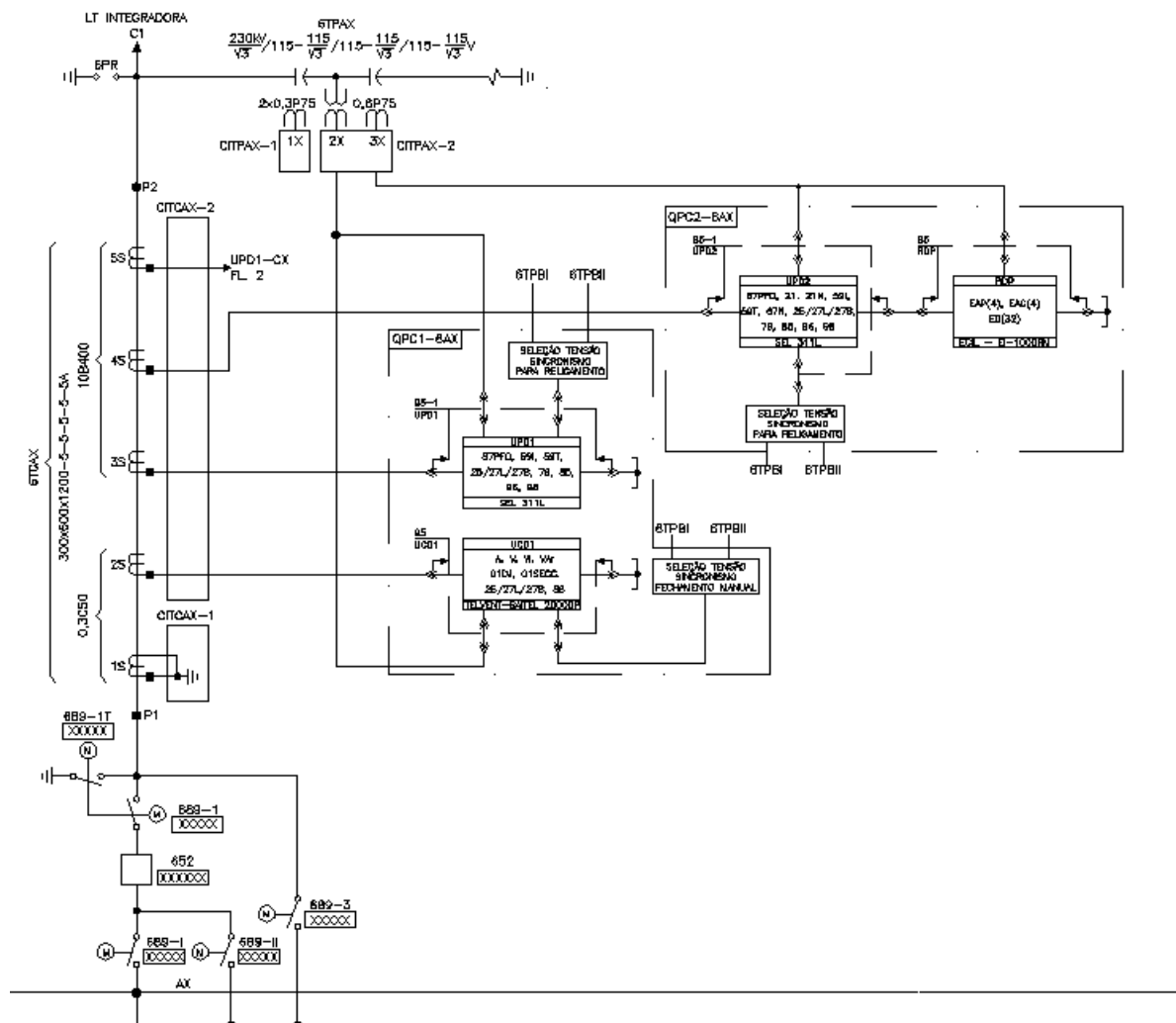


Figura 21: Detalhe da LT Integradora C1

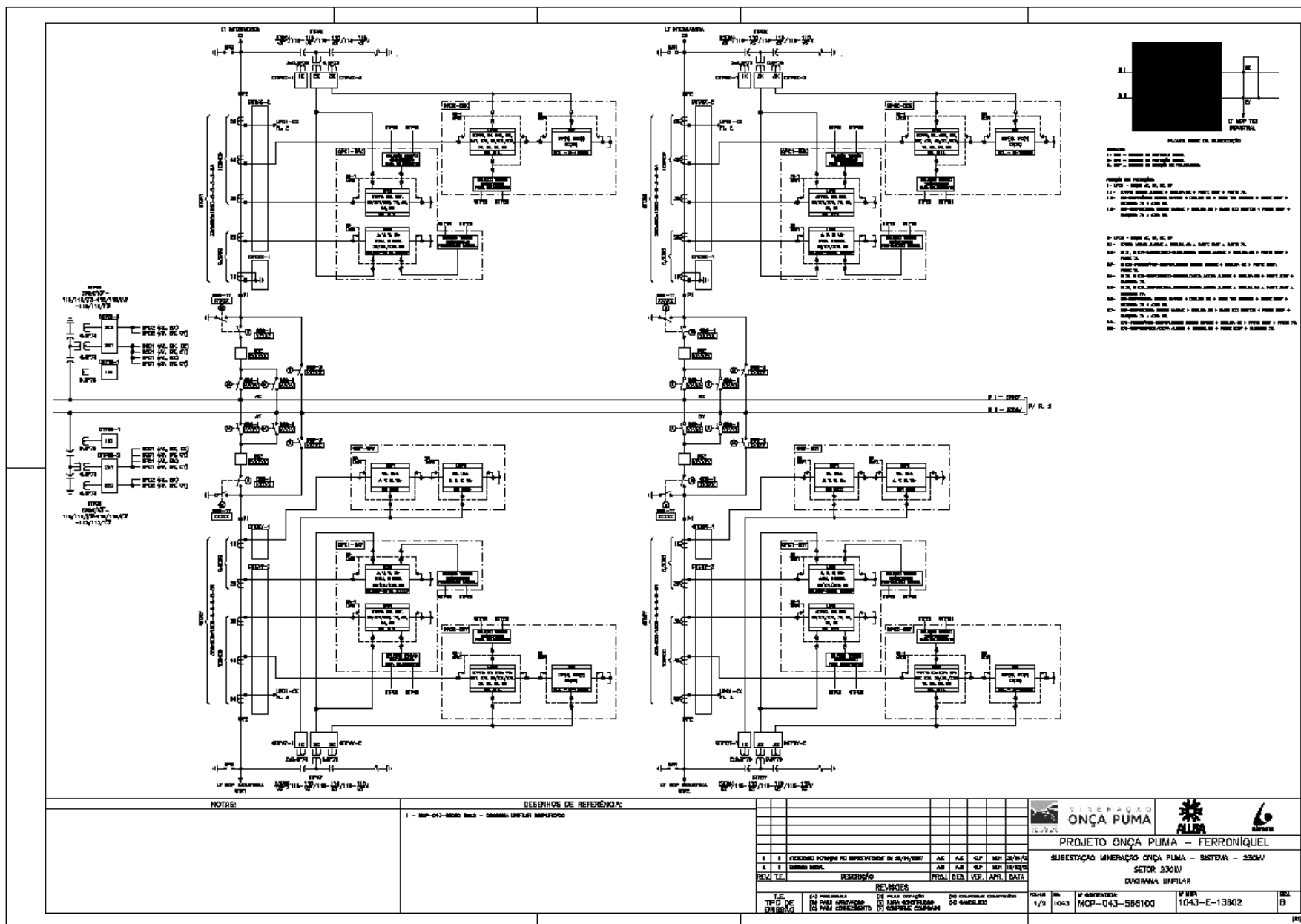


Figura 22: Diagrama Unifilar SE MOP – parte I

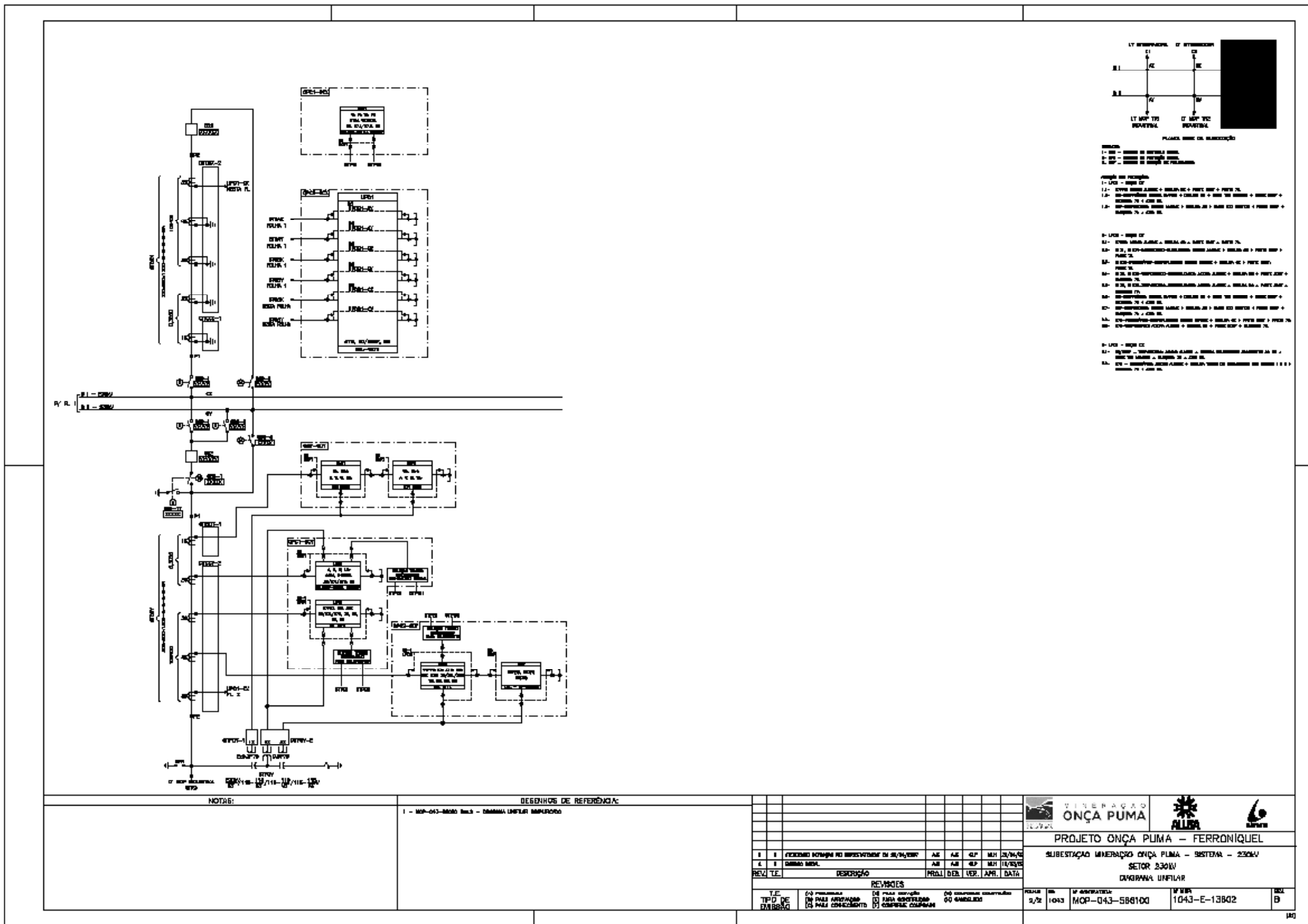


Figura 23: Diagrama Unifilar SE MOP – parte II

5.2. Arquitetura Geral do Sistema

A localização das funções de processamento e aquisição de dados em uma única unidade central ou em várias unidades na sala de controle, ou ainda, em unidades colocadas junto ao processo, determina o grau de centralização ou descentralização física e/ou funcional do sistema digital. Dessa forma, podemos ter diferentes possibilidades de arquitetura para os sistemas digitais de proteção e controle, desde a fisicamente centralizada (sala de controle) até aquelas com maior grau de descentralização. Caracterizaremos apenas a centralizada e a descentralizada.

5.2.1. Arquitetura Centralizada

O processamento do sistema de supervisão e controle é física e funcionalmente centralizado, isto é, realizado numa única unidade computacional. A aquisição de dados para a supervisão e controle é feita por UAC's localizadas na sala de controle. A proteção é feita por relés digitais e também são localizados na sala de controle. Os relés digitais poderão fornecer ao sistema central, através de sua interface serial, informações de eventos, alarmes e atuações. Os cabos dos transformadores de corrente e tensão e para informação do estado dos equipamentos precisam ser levados desde estes equipamentos até a sala de controle, representando uma das principais desvantagens desse esquema. Dependendo do porte da subestação ou usina, as funções de proteção, supervisão, controle e automação poderão utilizar equipamentos redundantes, assim, em caso de falha de algum equipamento, outro assumiria suas funções.

5.2.2. Arquitetura Descentralizada

Nesta configuração, tanto as UAC's quanto o processamento das funções de proteção, supervisão, controle e automação, estão localizados no pátio, próximo aos equipamentos. Em consequência, o comprimento dos cabos que interligam os equipamentos é reduzindo, não havendo mais a necessidade de levar os cabos até a sala de controle. A comunicação entre os relés de proteção e o sistema central ainda pode ser feita via interface serial. A grande desvantagem desta configuração é

o fato das unidades de processamento ficarem expostas a um ambiente muito mais agressivo que o encontrado na sala de controle.

5.2.3. Arquitetura da SE MOP

Neste item será mostrado como exemplo a Arquitetura Geral do Sistema da SE MOP.

Através dessa arquitetura podemos notar que esta subestação possuirá 15 painéis divididos da seguinte maneira:

EE - Painei Estação de Engenharia

QFE1 - Painei Front-End

QPC1-6AX – Painei Principal da LT Integradora C1

QPC2-6AX – Painei Secundário da LT Integradora C1

QPC1-6BX – Painei Principal da LT Integradora C2

QPC2-6BX – Painei Secundário da LT Integradora C2

QPC1-6CX – Painei Principal Interligação de Barras

QPC2-6CX – Painei Secundário Interligação de Barras

QPC1-6AY – Painei Principal da LT MOP Industrial C1

QPC2-6AY – Painei Secundário da LT MOP Industrial C1

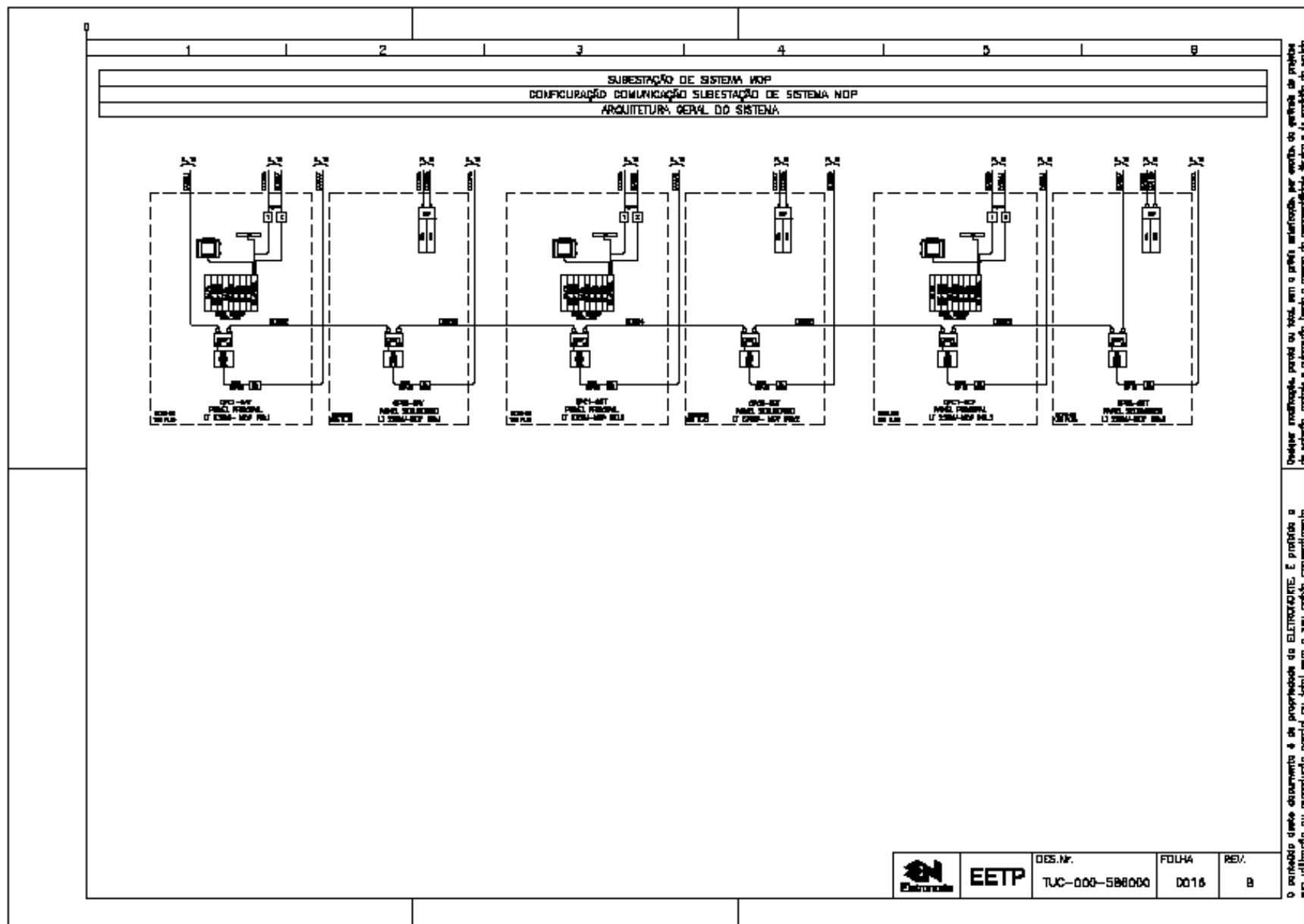


Figura 26: Arquitetura Geral do Sistema da SE MOP – parte III

QPC1-6BY – Painel Principal da LT MOP Industrial C2

QPC2-6BY – Painel Secundário da LT MOP Industrial C2

QPC1-6CY – Painel Principal da LT MOP Industrial C3

QPC2-6CY – Painel Secundário da LT MOP Industrial C3

QMF – Painel de Medição de Faturamento

Além desses painéis é mostrado na arquitetura o sistema supervisório redundante, SCADA, que já foi falado no item 6.2.

Painel EE - Estação de Engenharia

A Estação de Engenharia contém um microcomputador ligado às 3 redes da SE. Uma rede redundante de comunicação, para o caso de uma apresentar qualquer defeito, e uma rede de oscilografia. Através desse computador é possível configurar os CLP's, carregando e atualizando base de dados e lógicas, além de poder capturar os registros de eventos pela rede de oscilografia.

Painel QFE1 - Front-End

Possui 2 unidades de aquisição de dados, só com cartões de comunicação e CPU, uma reserva da outra que comutam caso alguma entre em estado de anomalia. Essas UAC's são ligadas às 2 redes de comunicação (switch 1 e 2) para aquisitar as informações dos relés de proteção e disponibilizá-las ao sistema supervisório, SCADA. Possui um concentrador de comunicação que reúne as informações vindas dos relés e através da terceira rede (switch 3) chega ao SCADA. Contém também um GPS, responsável pelo sincronismo de toda a SE. Sincronizando o Front-End (UAC), estará sincronizando os CLP's, porque as mensagens vindas do GPS são repassadas para os CLP's. Além dos CLP's, o GPS

sincroniza o concentrador de comunicação e o registrador digital de perturbação para que a lista de eventos e alarmes (oscilografia) estejam sempre na mesma base de dados com informações de tempo confiáveis.

Paineis QPC1 – Proteção Principal da Linha de Transmissão

Está localizado uma UAC para o controle e um relé de proteção digital para a proteção linha, sendo sincronizados pelo Front-End e pelo concentrador de comunicação respectivamente. Ligados ao CLP, temos a IHM – Interface homem-máquina, que nos dá a opção de comando dos equipamentos localmente.

Paineis QPC2 – Proteção Secundária da Linha de Transmissão

Possui apenas um relé de proteção digital de retaguarda, por isso o nome de Proteção Secundária, e os cartões de entradas analógicas e digitais do RDP para adquirir os registros de oscilografia.

Os relés se comunicam com o Front-End através de um anel, interligados com fibra óptica e conversores eletro-ópticos.

Painel QPC1 – Proteção de Interligação de Barras

Possui uma UAC para o controle e RDP para registro dos eventos e perturbações da mesma forma que os painéis para controle das linhas.

Painel QPC2 – Proteção de Interligação de Barras

Possui 3 relés ligados em anel para proteção de Barras.

Painel QMF – Medição de Faturamento

Possui medidores de faturamento ligados a um switch interligado à rede 3.

A arquitetura das subestações além de centralizadas ou descentralizadas, também pode ser concentrada ou distribuída. Para o projeto em questão, teremos uma arquitetura distribuída, já que cada SE teria seu próprio Front-End. Ou seja, para que a arquitetura seja concentrada, basta que uma das SE's do projeto tenha um Front-End, agora chamado de Master, aquisitando todas as informações das outras SE's. Agora nas SE's as UAC's aquisitariam as informações dos relés e mandariam para a Master e esta por sua vez, disponibilizaria essas informações para o nível superior, SCADA.

5.3. Diagramas Funcionais

Nos diagramas funcionais encontramos todas as ligações entre os equipamentos, desde alimentação até a interligação entre seus contatos. Os equipamentos possuem contatos auxiliares, normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF), que ligados aos CLP's e através das lógicas verificam os estados dos equipamentos da subestação. A partir desses diagramas podemos entender o funcionamento da SE, os comandos de abertura e fechamento dos disjuntores e chaves seccionadoras assim como as entradas e saídas digitais do CLP

A figura 27 mostra o circuito de comando de uma chave seccionadora 689-II. Para entender o funcionamento, vamos imaginar que essa chave esteja aberta, ou seja ED09 (Figura 28) está indicando chave aberta com o contato energizado. O fechamento remoto dessa chave se dá com a energização da SD14 (Figura 29) que fará o contato A1/A2 do relé auxiliar RL14 bater acionando o fechamento. Após ocorrer o fechamento, a ED10 (Figura 28) mostrará que a chave está fechada.

SUBESTAÇÃO MINERAÇÃO ONÇA PUMA SISTEMA 230kV - SETOR 230kV - VÃO A - SEÇÃO AX - LT INTEGRADORA C1					
CIRCUITO DE COMANDO DA SECCIONADORA 889-II					
COMANDO DA SECCIONADORA					
ALIMENTAÇÃO 125Vcc	PERMISSÃO DE MANOBRA	FECHAMENTO REMOTO	ABERTURA REMOTA	ABERT. POR BAIXA PRESSÃO SF6, 2.ª ESTÁGIO	

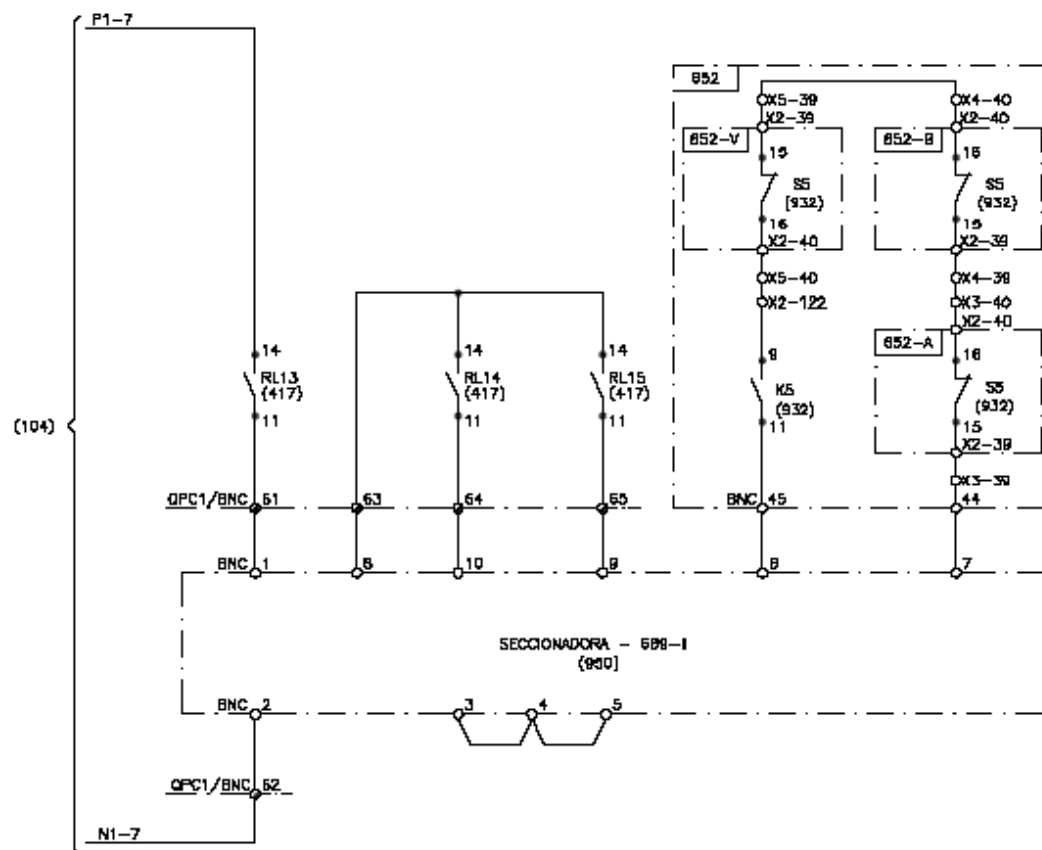


Figura 27: Comando Seccionadora

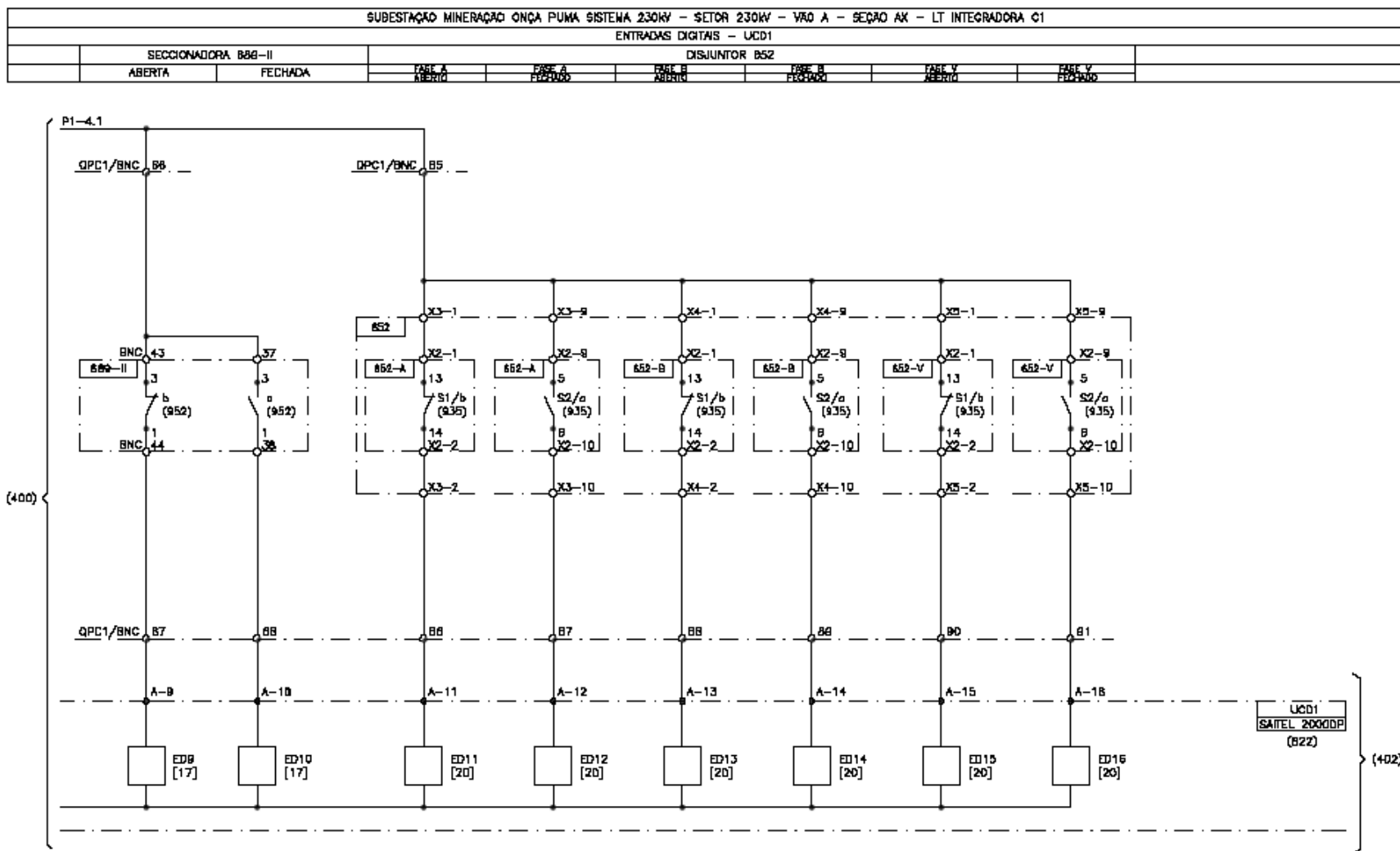


Figura 28: Entrada Digital - Seccionadora

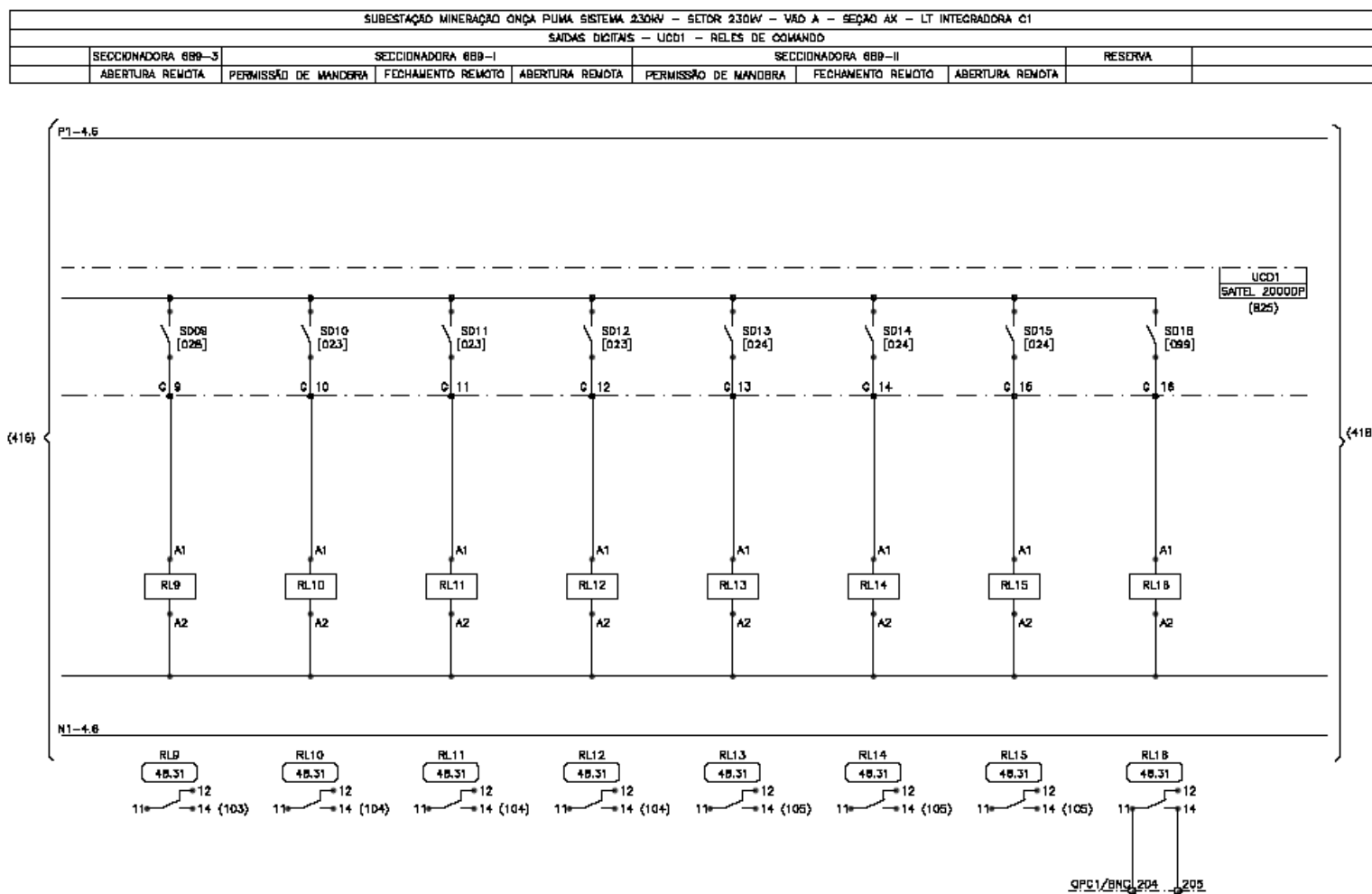


Figura 29: Saída Digital - Seccionadora

5.4. Construtivos e Dimensionais

A partir da arquitetura podemos projetar os frontais dos painéis. Nos contrutivos conseguimos ter idéia de como ficarão os painéis. Encontramos a vista frontal, traseira e lateral dos painéis com detalhes e posições dos equipamentos. Encontramos também os diagramas de fiação, que servem para facilitar na hora da montagem dos painéis, mostrando a interligação dos equipamentos.

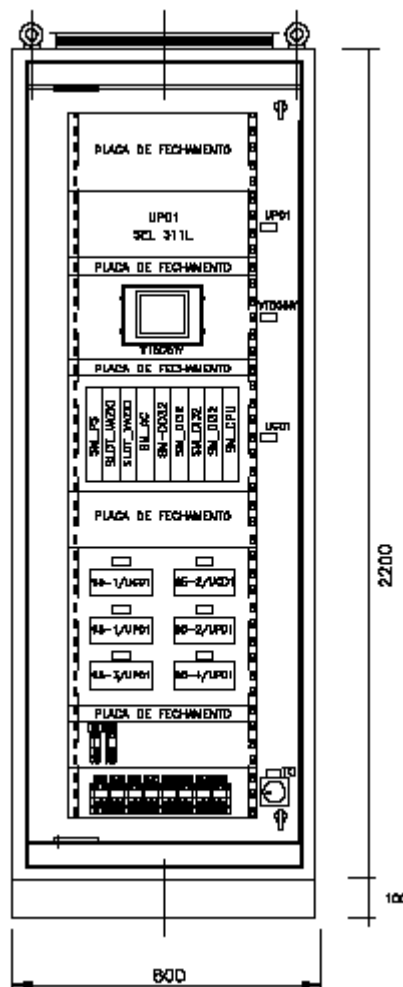


Figura 30: Frontal do Painel QPC1

5.5. Base de Dados

Na base de dados de uma SE estão todas as informações que são adquiridas pelas UAC's e enviadas ao sistema supervisorio. A estrutura simplificada da base de dados é:

TAG – sequência de caracteres que identificam o ponto

DESCRIÇÃO – descrição do ponto

TEXTO 0 e TEXTO 1 – posição do ponto (aberto, fechado, normal, alarme, etc)

Na base de dados também podemos saber qual a origem do ponto e o seu ou seus destinos. Vale lembrar da importância de se manter um padrão nos TAG's, para que se possa reconhecer o ponto facilmente e o equipamento a que ele se refere.

TAG	DESCRIÇÃO SAGE (NOME no PDS)	Estado 01	Estado 10
ONCA601POSI	ONCA6-01 Posição Seccionadora	Aberto	Fechado
ONSD601POSI	ONSD6-01 Posição Seccionadora	Aberto	Fechado
ONSY601POSI	ONSY6-01 Posição Seccionadora	Aberto	Fechado
ONSB601POSI	ONSB6-01 Posição Seccionadora	Aberto	Fechado
ONSB602POSI	ONSB6-02 Posição Seccionadora	Aberto	Fechado
ONDJ601POSI	ONDJ6-01 Posição Disjuntor	Aberto	Fechado

Figura 31: Status – Entrada Digital

TAG	DESCRIÇÃO SAGE (NOME no PDS)	Estado 01	Estado 10
ONSD601C3AF	ONSD6-01 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONSD601C3VM	ONSD6-01 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar
ONCA601C3AF	ONCA6-01 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONCA601C3VM	ONCA6-01 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar
ONSY601C3AF	ONSY6-01 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONSY601C3VM	ONSY6-01 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar
ONSB601C3AF	ONSB6-01 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONSB601C3VM	ONSB6-01 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar
ONSB602C3AF	ONSB6-02 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONSB602C3VM	ONSB6-02 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar
ONDJ601C3AF	ONDJ6-01 Cmd IHM Abrir/Fechar	Abrir	Fechar
ONDJ601C3VM	ONDJ6-01 Cmd IHM Cartão Não Opere	Retirar	Colocar

Figura 32: Comandos – Saída Digital

5.6. Lógicas

Nos diagramas lógicos encontramos todas as lógicas que serão implementadas no CLP. Através dessas lógicas podemos comandar chaves e disjuntores, inserir e retirar cartões de alerta ou até mesmo ativar os intertravamentos. A figura 33 mostra a lógica de abertura e fechamento do disjuntor. Analisando a lógica, podemos verificar as condições necessárias para o fechamento ou abertura do disjuntor, as permissões de manobra, a existência de cartões de sinalização e os intertravamentos.

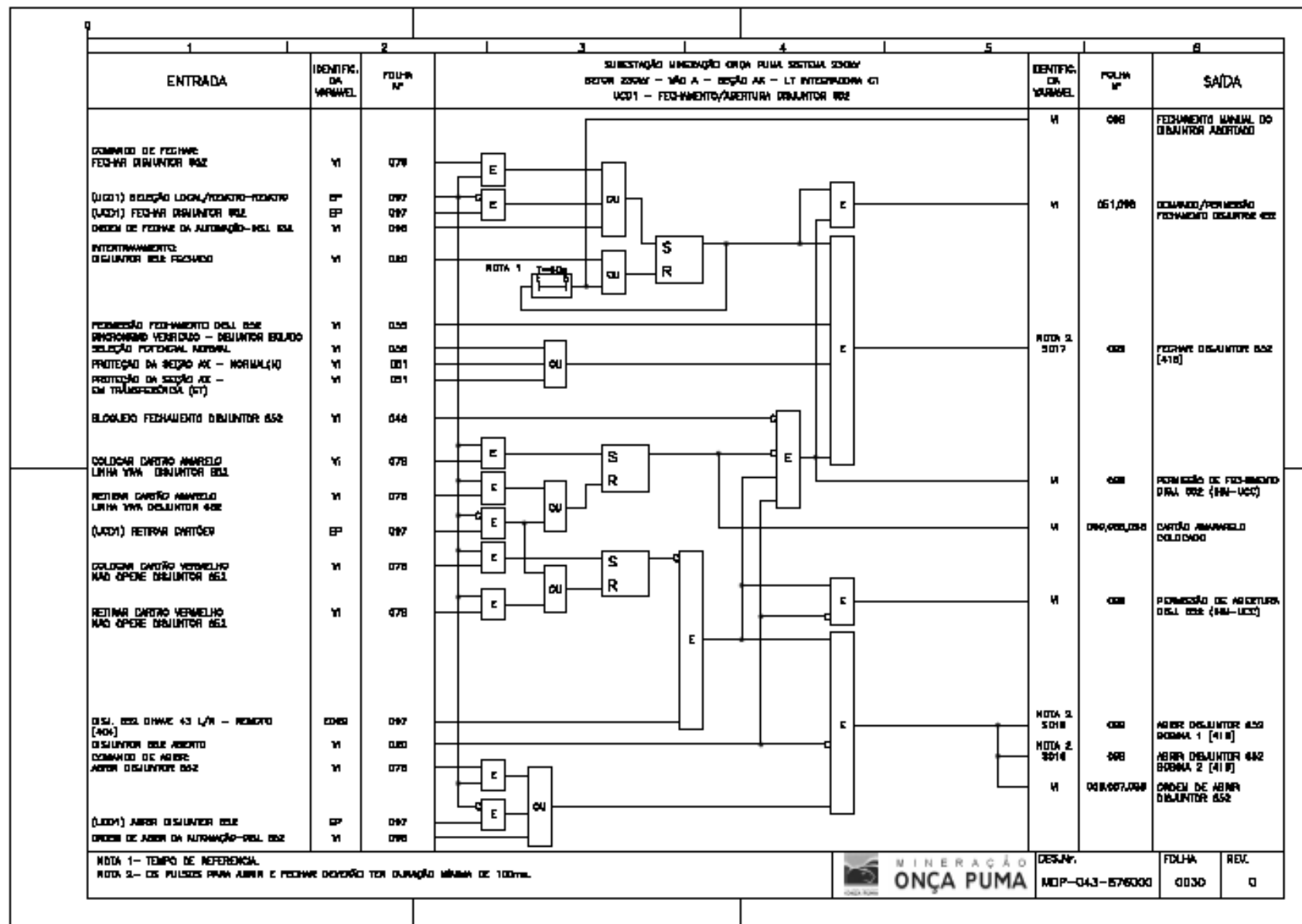


Figura 33: Lógica de Abertura e Fechamento do Disjuntor

6. Conclusão

A finalidade básica de um sistema elétrico é o atendimento aos consumidores dentro dos padrões de qualidade, continuidade e segurança, com o menor custo global possível. Para atender a essa finalidade, as concessionárias do setor elétrico foram obrigadas a buscar novas soluções que proporcionem confiabilidade e economia. Além disso, houve um aumento gradativo na competição entre as empresas do setor, o que acabou por incentivar uma disputa por tecnologia e desenvolvimento.

Os sistemas de proteção, supervisão e controle, constituem uma parte importante desta atual disputa tecnológica. Progressivamente, melhores desempenhos e menores custos de instalação, operação e manutenção vêm sendo exigidos, sempre visando o aumento da confiabilidade do sistema.

A conveniência do uso da tecnologia digital, através de um sistema integrado, para as funções de proteção, supervisão e controle, é hoje, inquestionável. É importante adquirir conhecimento sobre tecnologias, esquemas e equipamentos específicos, para que se possa comparar técnica e financeiramente as diferentes soluções dos diversos fabricantes.

7. Referências Bibliográficas

- [1] AREVA, www.aveva-td.com ,2007
- [2] ARTECHE, www.teamartech.com ,2007
- [3] ECIL, www.ecilinformatica.com.br,2007
- [4] FINDER, www.findernet.com ,2007
- [5] FIBRACEM, www.fibracem.com.br, 2007
- [6] INFOWESTER, <http://www.infowester.com/hubswitchrouter.php>
- [7] ONS, <http://www.ons.org.br/>
- [8] REASON Tecnologia, <http://www.reason.com.br/> ,2007
- [9] SCHNEIDER, www.schneider-electric.com.br/ ,2007
- [10] SEL, <http://www.selinc.com/> ,2007
- [11] WIKIPEDIA, <http://pt.wikipedia.org/>
- [12] PEREIRA A.C, SAAD J.J, GARCIA D.R. et al. “Integração dos Sistemas Digitalizados de Proteção com os Sistemas de Supervisão, Controle e Automação de Subestações e Usinas – Uma Tendência Moderna”. IX Symposium of Specialists Eléctic Operational and Expansion Planning, Rio de Janeiro RJ Brasil, maio 2004 (a ser apresentado)
- [13] PEREIRA A.C, SEVERO B, “Digitalização de Subestações Industriais existentes ou novas, incluindo Proteção Digital” – V ENIE Encontro Nacional de Instalações Elétricas – Centro de convenções Rebouças São Paulo SP - Setembro 1996.

[14] MARQUES D.C, KRAUS C.C, FRISCH A.C., et al. “A Experiência da COPEL na Integração de Proteções Digitais ao Sistema de Automação de Subestações”. V SIMPASE, Recife, PE, Brasil, abril 2003 e XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GPC-22, Uberlândia, MG, Brasil, out. 2003.

[15] FERNANDES, R.C.R., “Experiência de ESCELSA na Implantação de Sistema Aberto e Integrado de Supervisão, Proteção e Controle para Subestação”. XVI Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, GPC-02, Campinas, São Paulo, SP, Brasil, out. 2001 e IV Comissão de Integração Energética Regional, BR-52, São Paulo, setembro 2002.

[16] PONTES, J.R.M., XAVIER, A.P., et al., “O Processo de Automação dos Sistemas de Transmissão e Distribuição da COSERN – Desafios, Custos e Benefícios”. V Simpósio e Automação de Sistemas Elétricos, Recife, PE, Brasil, abril 2003.