

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica
Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Dissertação de Mestrado

**Modelagem da Interface Homem-Máquina de uma Subestação
Elétrica**

José Alves do Nascimento Neto

Orientadores: Maria de Fátima Queiroz Vieira Turnell, Ph.D.

Angelo Perkusich, D.Sc.

Campina Grande, agosto de 2004.

Modelagem da Interface Homem-Máquina de uma Subestação Elétrica

José Alves do Nascimento Neto

Dissertação de mestrado submetida à Coordenação dos
Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da
Universidade Federal da Paraíba – Campus II como parte
dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre
em Ciências no domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração
Automação e Processamento Digital de Sinais

Orientadores
Maria de Fátima Queiroz Vieira Turnell, PhD
Angelo Perkusich



N244m Nascimento Neto, Jose Alves do
Modelagem da interface homem-maquina de uma subestacao
eletrica / Jose Alves do Nascimento Neto. - Campina Grande,
2004.
90 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias
e Tecnologia.

1. Interface Homem-Maquina 2. Automacao Industrial 3.
Modelagem em Redes de Petri 4. Dissertacao I. Turnell,
Maria de Fatima Queiroz Vieira, Dra. II. Perkusich, Angelo,
Dr. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina
Grande (PB) IV. Título

CDU 004.5(043)

**MODELAGEM DA INTERFACE HOMEM-MÁQUINA DE UMA
SUBESTAÇÃO ELÉTRICA**

JOSÉ ALVES DO NASCIMENTO NETO

Dissertação Aprovada em 04.10.2004

Maria de Fátima Q. Vieira Turnell
MARIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA TURNELL, Ph.D., UFCG
Orientador

ANGELO PERKUSICH, D.Sc., UFCG
Orientador

Benemar Alencar
BENEMAR ALENCAR DE SOUZA, D.Sc., UFCG
Componente da Banca

Jorge Cesar Abrantes de Figueiredo
JORGE CESAR ABRANTES DE FIGUEIREDO, D.Sc., UFCG
Componente da Banca

Madson Roberto Batista Pereira
MADSON ROBERTO BATISTA PEREIRA, Engº da CHESF
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
Outubro - 2004

Resumo

Neste trabalho é apresentado o processo de modelagem da interface homem-máquina (IHM) de uma subestação elétrica, utilizando o formalismo de Redes de Petri Coloridas Hierárquicas e a ferramenta computacional Design/CPN. Propõe-se com este trabalho disponibilizar ao projetista de interfaces uma biblioteca de modelos de forma a apoiar e validar a concepção da interface homem-máquina de um sistema de supervisão de subestações, e assim minimizar o esforço de modelagem. Esta abordagem consiste na re-utilização de modelos de componentes básicos da IHM previamente elaborados e oferecidos em uma biblioteca de modelos, os quais podem ser utilizados na construção do modelo da IHM de supervisão de uma subestação. Os componentes da biblioteca representam o comportamento dos dispositivos de interação típicos dos sistemas de supervisão, utilizados na operação de subestações elétricas. Este trabalho apresenta, a biblioteca de modelos e os resultados da aplicação desta abordagem em um contexto de aplicação que consistiu na modelagem da IHM de supervisão de uma subestação do sistema elétrico da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF), que atua na região Nordeste do Brasil.

Palavras chave: Interfaces Homem-Máquina, Automação Industrial, Modelagem em Redes de Petri.

Abstract

This work concerns the process of modelling the Human Interface component of an electric power station, with the formalism Hierarchical Coloured Petri Nets and using the modelling support tool, Design CPN. This work proposes to support the interface designer with an approach for the conception and validation of the interface component of electric power systems. The objective is to minimize modelling efforts, through the reuse of models taken from a library, which represent the behaviour of the typical elements found in the Human Interface of an electric power station's supervisory system. In this work it is presented the library built for this purpose and the results of this approach's application in a validation study, which consisted in modelling the Human Interface of an electric power station of the Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) which operates in the Northeast of Brazil.

Key Words: Man-Machine Interface, Industrial Automation, Petri Nets Modelling

Agradecimentos

Agradeço aos professores Maria de Fátima Q. V. Turnell e Angelo Perkusich por todo o apoio e amizade no desenvolver do trabalho.

Aos meus pais Mário Alves Aires e Maria da Penha Maracajá e aos meus irmãos por todo amor e carinho.

Agradeço a minha namorada, Lucileide Caiana Leite, por todo o amor, ajuda, compreensão e alegria transmitidos de forma tão espontânea.

Aos amigos e colegas do mestrado, em especial Orlei de Oliveira Barbosa, Sérgio Murilo Cardoso Ferreira, Marta Geruza da Costa, Alfranke Amaral Neto e Arlindo Garcia Neto que estavam sempre presentes transmitindo alegria e calorosos diálogos.

Aos meus amigos do LIHM, Daniel, Claudia e Scaico por toda a presteza e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao engenheiro Madson Roberto Batista Pereira e aos operadores da subestação de CGD com os quais sempre pude contar com a total atenção.

Aos professores, que estiveram sempre presentes para me ajudar a transpor as dificuldades que surgiram no decorrer deste trabalho.

Em fim, aos meus amigos Claudistony, Hallan, Ronaldo, Ildenberg e Jorcemar que sempre me apoiaram me incentivaram a concluir mais essa etapa em minha vida.

Sumário

1	Introdução.....	8
1.2	Objetivos.....	10
1.3	Metodologia.....	10
1.4	Estrutura da Dissertação.....	11
2	IHMs Industriais e Concepção de Interfaces.....	13
2.1	Interfaces Industriais.....	13
2.2	Sistemas de Automação e Controle.....	13
2.2.1	Software SCADA.....	16
2.3	Falhas Operacionais.....	17
2.3.1	Erros na Operação do Sistema.....	18
2.3.2	Falhas de Execução.....	19
2.3.3	Falhas de Mão de Obra.....	19
2.4	Concepção e Avaliação de Interfaces.....	20
2.4.1	MCI.....	21
2.4.2	Métodos de Avaliação de Interfaces.....	22
3	IHMs do Setor Elétrico.....	24
3.1	Automação no Setor Elétrico.....	24
3.2	IHM de uma subestação.....	26
3.2.1	Painéis de Interação.....	26
3.3	Modelo conceitual do comportamento dos objetos de interação.....	31
4	Redes de Petri e a Modelagem dos Objetos de Interação.....	33
4.1	Métodos Formais.....	33
4.2	Redes de Petri Lugar/Transição.....	33
4.2.1	Dinâmica de uma Rede de Petri.....	34
4.3	Redes de Petri Coloridas Hierárquicas.....	35
4.4	Propriedades das Redes de Petri e Métodos de Análise.....	37
4.4.1	Métodos de análise.....	38
4.5	Biblioteca de Modelos.....	39
4.5.1	Dispositivos de Interação Modelados.....	39
4.5.2	Chave Tipo Punho.....	40
4.5.3	Botoeira de Reset de Proteção.....	41
4.5.4	Chave do tipo Giro-Pressão-Giro.....	43
4.5.5	Chave do tipo Giro-Giro.....	46
4.5.6	Chave de Seleção de Tensão de três posições.....	49
4.5.7	Chave de Seleção de Tensão de quatro posições.....	50
4.5.8	Quadro de Eventos.....	52
4.5.9	Chave local / telecomando.....	54
4.5.10	Chave Seletora de Temperatura de quatro posições.....	55
4.5.11	Chave de Religamento Automático.....	56

4.5.12	Chave de ajuste de tensão com Referência Central	57
4.5.13	Chave Seletora de miliamperímetro de quatro posições	58
4.5.14	Chave seletora de miliamperímetro de duas posições.....	60
4.5.15	Botoeiras de comando.....	61
4.5.16	Chave de Transferência de duas posições.....	62
4.5.17	Chave de Transferência de três posições	64
5	<i>Contexto de Aplicação: Modelagem da subestação CGD.....</i>	66
5.1	Energia Elétrica em Campina Grande e a subestação de CGD	66
5.2	Descrição da subestação de CGD	67
5.3	Apresentação do Modelo	69
5.3.1	Descrição do Modelo	71
5.4	Aplicação do Modelo na Representação da Subestação de CGD	72
5.5	Resultados Obtidos	79
6	<i>Conclusões e sugestões de trabalhos futuros.....</i>	85
6.1	Conclusões	85
6.2	Trabalhos futuros	86
<i>Anexo A - Lista de Componentes Presentes em cada armário de CGD.....</i>		
A.1	<i>Painel do Banco de Capacitores BC 02H2s</i>	<i>1</i>
A.2	<i>Painel do Banco de Capacitores BC02H1.....</i>	<i>2</i>
A.3	<i>Quadro de Sinóticos do CE</i>	<i>2</i>
A.4	<i>Painel de Comando CE lado de 230kV.....</i>	<i>3</i>
A.5	<i>Painel de Controle do CE Lado (Y)</i>	<i>4</i>
A.6	<i>Painel de LT 04C1.....</i>	<i>4</i>
A.7	<i>Painel da LT 04C2.....</i>	<i>5</i>
A.8	<i>Painel da LT 04V3.....</i>	<i>7</i>
A.9	<i>Painel da LT 04H1</i>	<i>8</i>
A.10	<i>Painel da LT 04V4.....</i>	<i>9</i>
A.11	<i>Painel do disjuntor 14T5</i>	<i>10</i>
A.12	<i>Painéis de Transformadores</i>	<i>11</i>
A.12.1	<i>Para o trafo 04T5 temos:.....</i>	<i>11</i>
A.13	<i>Painel do disjuntor DJ 12D1.....</i>	<i>13</i>
A.14	<i>Painel do transformador 04T4.....</i>	<i>14</i>
A.15	<i>Painel do disjuntor 12T7.....</i>	<i>14</i>
A.16	<i>Painel do disjuntor 11T7.....</i>	<i>14</i>
A.17	<i>Painel da LT 04V1.....</i>	<i>15</i>
A.18	<i>Painel da LT 04V2.....</i>	<i>16</i>

<i>A.19 Painel da LT 04L3</i>	<i>17</i>
<i>A.20 Painel da LT 04C4.....</i>	<i>18</i>
<i>A.21 Painel da LT 04C3.....</i>	<i>19</i>
<i>A.22 Painel do Disjuntor DJ 14D1.....</i>	<i>20</i>
<i>A.23 Painel do Disjuntor DJ 14E1.....</i>	<i>20</i>
<i>A.24 Painel do Disjuntor DJ 14T1.....</i>	<i>21</i>
<i>A.25 Painel do Disjuntor DJ 14T2.....</i>	<i>21</i>
<i>A.26 Painel do Disjuntor DJ 14T3.....</i>	<i>22</i>
<i>A.27 Painel do Disjuntor DJ 14T4.....</i>	<i>22</i>
<i>A.28 Painel da LT 03L1.....</i>	<i>22</i>
<i>A.29 Painel da LT 03L2.....</i>	<i>23</i>
<i>A.30 Painel do Disjuntor DJ 13D1.....</i>	<i>24</i>
<i>A.31 Painel do Disjuntor DJ 13T1.....</i>	<i>24</i>
<i>A.32 Painel do Disjuntor DJ 13T2.....</i>	<i>25</i>
<i>A.33 Painel de 13.8kV.....</i>	<i>25</i>
<i>A.34 Painel da Linha de Transmissão 01Y1.....</i>	<i>26</i>
<i>A.35 Painel da Linha de Transmissão 01Y2.....</i>	<i>26</i>
<i>A.36 Painel da Linha de Transmissão 01Y3.....</i>	<i>26</i>
<i>A.37 Painel da Linha de Transmissão 01Y4.....</i>	<i>27</i>
<i>A.38 Painel da Linha de Transmissão 01Y5.....</i>	<i>27</i>
<i>A.39 Painel da Linha de Transmissão 01Y6.....</i>	<i>27</i>
<i>Anexo B - Instrução Normativa IN-OC-01004.....</i>	<i>1</i>

Lista de Figuras

Figura 2.1 Partes constituintes de um sistema de controle	14
Figura 2.2: Partes de um sistema de supervisão sem o SCADA	15
Figura 2.3: Esquema de Automação.....	17
Figura 2.4: Etapas do MCI (Scherer, 2004)	22
Figura 3.1: Painéis de operação e supervisão	24
Figura 3.2: Software supervisorio aplicado a uma instalação elétrica	25
Figura 3.3: Painéis presentes na subestação de CGD	26
Figura 3.4:Nomenclatura e Quadro de Sinótico	28
Figura 4.1: Exemplo de Rede de Petri.....	34
Figura 4.2: Rede Lugar / Transição.....	35
Figura 4.3: Exemplo de uma CPN.....	36
Figura 4.4: Modelo CPN - Transição NORMAL habilitada	37
Figura 4.5: Modelo CPN da Chave tipo punho	40
Figura 4.6: Modelo CPN da botoeira de reset de proteção.....	42
Figura 4.7: Modelo CPN da Chave GPG	43
Figura 4.8: Transição de Substituição GPG – Abertura	45
Figura 4.9: Transição de Substituição GPG – Fechamento.....	45
Figura 4.10: Modelo CPN da Chave do tipo Giro-Giro	46
Figura 4.11: Transição de substituição GG - Fechamento	47
Figura 4.12: Transição de substituição GG – Abertura	48
Figura 4.13: Modelo CPN da chave de seleção de tensão de 3 posições	49
Figura 4.14: Modelo CPN da chave de Seleção de tensão de quatro posições	51
Figura 4.15: Modelo CPN do Quadro de Eventos.....	52
Figura 4.16: Modelo CPN da chave Local/Telecomando	54
Figura 4.17: Modelo CPN da chave Seletora de Temperatura de quatro posições	55
Figura 4.18: Modelo CPN da chave de religamento automático.....	56
Figura 4.19: Modelo CPN da chave de ajuste de tensão com referência central	58
Figura 4.20: Modelo CPN da chave de ajuste de miliamperímetro.....	59
Figura 4.21: Modelo CPN da chave seletora de miliamperímetro de duas posições	60
Figura 4.22: Modelo CPN da botoeira de comando	61
Figura 4.23: Modelo CPN da chave de Transferência de proteção de duas posições	63
Figura 4.24: Modelo CPN da chave de Transferência de proteção de três posições.....	64
Figura 5.1: Diagrama unifilar de CGD.....	68
Figura 5.2: Diagrama simplificado do modelo.....	71
Figura 5.3: Página de Hierarquia.....	72
Figura 5.4: Página IHM_Industrial.....	78
Figura 5.5 Página representando os Painéis de Interação.....	79
Figura 5.6: Página Dispositivos de Interação	79
Figura 5.7: Gráfico de Seqüência de Mensagens	84

Capítulo 1

Introdução

No processo de automação industrial, o papel do ser humano se modificou. Plantas industriais cujas equipes para supervisão e controle eram compostas de 5 a 7 operadores por turno passaram a ser operadas por dois indivíduos (Scaico &Turnell, 2002). Todo esse processo teve início por volta dos anos 70 quando a utilização de computadores se voltou também para a monitoração e controle de sistemas. Assim, o trabalho do operador, que até então era feito *in loco*, poderia agora ser feito de forma remota, sem a observação ou intervenção direta no sistema.

Observou-se desde então um grande esforço por parte da indústria e da academia no sentido de automatizar o processo industrial como um todo. São evidentes as vantagens da implantação de sistemas de automação, tais como: rapidez na execução de manobras, possibilidade de intertravamento de ações, segurança no controle de ambientes de alta periculosidade e de difícil acesso, minimização de custos de manutenção do sistema. No entanto, torna-se necessária mão de obra cada vez mais especializada devido à integração de novas tecnologias.

Mesmo diante desse cenário, o papel do ser humano na operação destes sistemas ainda é essencial para o seu funcionamento. Pelo mesmo motivo, a operação do sistema é suscetível a erros humanos, os quais podem causar, desde um evento isolado, como o desligamento de um equipamento, até a interrupção completa do processo de produção, podendo inclusive causar acidentes com perdas de vidas humanas.

Neste sentido a construção de interfaces ergonômicas é cada vez mais importante para o desenvolvimento do trabalho de operação e supervisão das plantas industriais, uma vez que é através delas que o operador irá monitorar e intervir no sistema. Atualmente, a construção das interfaces para os sistemas industriais é feita a partir do bom senso do projetista, sem seguir qualquer regra ou princípio ergonômico.

Com este trabalho se oferece ao projetista de interfaces uma alternativa para a elaboração de um projeto de interfaces para ambientes industriais, a qual consiste na reutilização de modelos que representem os sistemas a serem projetados.

É importante notar também que devido ao fato da maioria dos projetistas de interfaces industriais não utilizarem estratégias de modelagem em seus projetos, a construção de modelos poder demandar um tempo considerável no projeto de uma interface. Neste sentido foi utilizada a noção de reuso de modelos elaborada por Silva (2002) onde, através da disponibilização de uma biblioteca de componentes, pode-se facilmente integrar novos componentes ou compor novos modelos afim de representar diferentes instalações.

A utilização de modelos para validar projetos de IHM (Interfaces Homem-Máquina) vem sendo amplamente investigada pelo GIHM (Grupo de Interfaces Homem-Máquina) como podemos verificar em Scaico et al (2001) em que a IHM de um sistema de automação industrial é representada do ponto de vista da navegação e em Scaico &Turnell (2002) em que foi incluído o conceito do tempo com o propósito de otimizar o tempo de execução das interações com o sistema. Em Nascimento et al (2003) o modelo foi estendido de modo a representar o comportamento dos objetos de interação no modelo, tais como chaves, opções de menus e entrada de dados alfanuméricos.

Apesar da utilização da estratégia de modelagem de interfaces pelo GIHM, o contexto de aplicação se restringiu a estudos do tipo “*Toy example*”. Neste trabalho, foi adotado um contexto real relativo ao ambiente de supervisão e controle de uma subestação elétrica (SE).

Neste trabalho propõe-se a resgatar os conceitos de modelagem da navegação em uma IHM utilizado em Scaico et al (2001) e em sua extensão Nascimento et al (2003) para representar o comportamento dos objetos de interação ao contexto de uma IHM de supervisão de uma subestação do sistema elétrico. Este trabalho tem como foco a construção de uma biblioteca de modelos, a partir da qual a modelagem das interfaces de uma subestação é facilitada. Neste sentido, o contexto de aplicação aqui apresentado, não tem como propósito a verificação de forma completa de suas propriedades ergonômicas e sim, investigar a facilidade de uso em um caso real.

No contexto de subestações elétricas, o trabalho de em Sampaio (2002) apresenta a construção de um sistema modelado em redes de Petri, que visa a partir da atuação de dispositivos de proteção, fornecer um diagnóstico para auxiliar o operador em suas decisões, mas que se restringe à atuação das proteções.

Este trabalho se insere em um projeto em andamento no GIHM que consiste na construção de um simulador para treinamento de operadores. Neste caso, a biblioteca de modelos construída servirá como base para representar as instalações que serão simuladas.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal apoiar o projetista na etapa de construção de modelos de IHM para ambientes industriais, em particular de sistemas elétricos, de modo a assegurar propriedades da IHM relativas à ergonomia da interação. A estratégia adotada para facilitar a tarefa de modelagem se baseia na estratégia proposta por Silva (2002), a qual consiste no reuso de modelos de redes de Petri, através de um conjunto de regras de adaptação, possibilitando assim que redes e sub-redes sejam incorporadas a um modelo.

Para atingir este objetivo propõe-se a construção de uma biblioteca de modelos de objetos de interação encontrados na IHM de uma subestação de sistema elétrico, de modo que possam ser reutilizados na construção de modelos da IHM destas instalações. Os modelos representam o comportamento dos dispositivos de interação presentes em uma subestação. A partir desta abordagem de construção do modelo de uma IHM deverá ser mais simples o estudo e a validação de projetos de interfaces voltadas para a operação de subestações. A validação destes modelos se dará a partir da investigação das propriedades do modelo construído a partir da biblioteca. Estas propriedades estão, por sua vez, relacionadas a qualidades ergonômicas da interface modelada.

1.3 Metodologia

Para atingir o objetivo, de **modelar o comportamento dos objetos** da IHM de uma subestação, foram realizadas as etapas descritas a seguir, as quais foram apoiadas por

um estudo de campo, que consistiu em visitas técnicas às instalações da CHESF, em particular a subestação Campina Grande II (CGD) da empresa CHESF.

- Observação e registro da rotina de trabalho dos operadores com ênfase na compreensão do processo e dos procedimentos realizados com o apoio do sistema de supervisão e controle.
- Entrevistas com os operadores e com o pessoal responsável pela operação do sistema.
- Levantamento do perfil do operador (a partir de questionários)
- Identificação dos objetos de interação presentes na IHM do sistema instalado na subestação.
- Modelagem conceitual do comportamento dos objetos de interação apoiada pela consulta aos operadores, aos manuais de operação e a outros documentos relevantes.
- Modelagem do comportamento dos objetos no formalismo Coloured Petri Nets (CPN).
- Construção da biblioteca de objetos.
- Realização do contexto de aplicação que compreende: Representação da IHM da subestação CGD, escolhida como contexto de aplicação; a partir da biblioteca de objetos construída e do modelo de navegação proposta por Nascimento et al (2003); Análise do modelo da IHM da subestação e verificação de propriedades.

A subestação Campina Grande II (CGD) foi selecionada para este estudo devido ao seu porte e a sua importância para o sistema elétrico da região Leste da CHESF, além de sua localização geográfica, que facilitou o acesso às instalações.

O modelo foi construído em Redes de Petri Coloridas, de modo a dar continuidade aos trabalhos de modelagem de interfaces em CPN e para que fosse possível reutilizar o modelo de navegação existente em Nascimento et al (2003).

1.4 Estrutura da Dissertação

Este documento é composto, além do presente capítulo, de cinco outros:

O capítulo 2 apresenta as IHMs Industriais, suas características e a problemática relacionada à operação destes sistemas (erro humano, etc...), bem como a concepção de Interfaces, juntamente com a apresentação do método MCI.

O capítulo 3 discute a automação no setor Elétrico apresentando o estudo da IHM de uma subestação, bem como o modelo conceitual do comportamento dos objetos de interação.

No capítulo 4 são abordados, de uma maneira informal, Redes de Petri e a modelagem dos objetos de interação, bem como o formalismo utilizado na construção dos modelos (CPN). São apresentados a biblioteca de modelos e o modelo de navegação ao qual foram incorporados os mesmos podem ser conectados, para assim, representar uma IHM.

O Capítulo 5 exhibe uma verificação de uso da biblioteca gerada a partir da modelagem da SE CGD, para tanto é apresentada a subestação de CGD, o modelo gerado, as análises e a discussão dos resultados.

Por último o capítulo 6 com as conclusões, considerações finais e propostas de continuação.

Capítulo 2

IHMs Industriais e a Concepção de Interfaces

Neste capítulo serão tratados aspectos relacionados às IHMs industriais, em especial no que se refere ao setor elétrico. Será abordada a utilização de sistemas do tipo SCADA com suas características e aplicações, como também as falhas operacionais, com sua classificação e finalmente a concepção e avaliação de IHM.

No que se refere à concepção de interfaces será abordado o método MCI (Scherer, 2004) adotado neste trabalho.

2.1 Interfaces Industriais

Nos últimos anos, o constante crescimento dos setores elétrico e industrial vem sendo amparado e viabilizado por um grande desenvolvimento tecnológico, em conjunto com a modernização dos sistemas de comunicações, formando assim um ambiente ideal para a implementação de sistemas de automação cada vez mais sofisticados.

Neste escopo estão os sistemas de comunicações, o desenvolvimento de protocolos, equipamentos de medição e controle e a utilização de suportes computacionais. Neste sentido, as Interfaces Homem-Máquina – IHM exercem um papel fundamental. Uma interface mal projetada pode causar fadiga durante a operação ou até mesmo induzir a erros, e assim, comprometer o trabalho de operação do sistema em questão.

A exemplo dos demais contextos de aplicação de sistemas computacionais, a concepção de projetos de automação prioriza as exigências da informática antes de responder àquelas relacionadas aos usuários deixando de considerar as necessidades, habilidades físicas, cognitivas e os objetivos do usuário (Guerrero, 2002).

2.2 Sistemas de Automação e Controle

Em muitas situações, o sistema de automação auxilia o operador em situação de operação normal, no entanto é pouco eficiente em situações críticas, nestas situações,

além da complexidade inerente à busca de soluções, as tarefas são mais complexas e os procedimentos ditados pelas normas são mais estritos do ponto de vista do erro humano.

Em particular, na interação com sistemas de supervisão industrial, o volume de informações apresentado ao operador da planta é tipicamente elevado. Nos sistemas supervisórios, a representação do sinótico de uma planta industrial permite que o usuário (operador) obtenha informações oriundas de diferentes tipos de equipamento e sistemas, na forma de diagramas, controles para ajuste de set-points, listas de alarmes, entre outras de complexidade semelhante. Algumas destas informações demandam uma resposta do usuário em um prazo estrito, além de impor restrições na navegação entre opções do sistema.

Um sistema de supervisão e controle é composto basicamente dos elementos ilustrados na Figura 2.1 composto do processo, instrumentação, controle de entrada e saída e o *software* SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*) (Zeilmann, 2002). Por ser uma estratégia de supervisão e controle mais recente, a parte relacionada ao *software* SCADA não está presente em todos os sistemas de automação. Estas são compostas pelas seguintes partes:

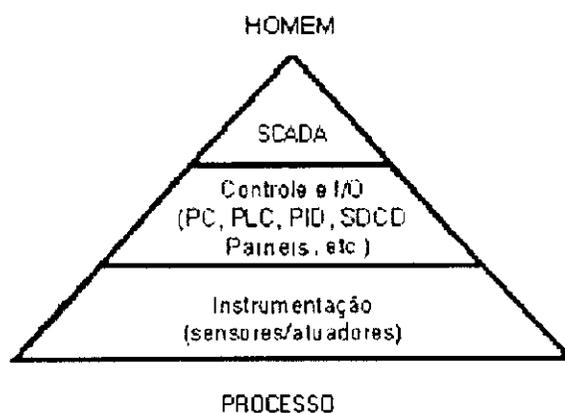


Figura 2.1 Partes constituintes de um sistema de controle

Processo: Representa o sistema controlado. Exemplos destes sistemas são: uma subestação, um sistema de geração, equipamentos de uma indústria, sistema de segurança e automação predial, sistema de distribuição de água, controle de tráfego, etc.

Instrumentação: inclui os sensores e atuadores dos sistemas, os quais captam as características físicas e atuam na planta, respectivamente. Possui um sistema de cabeamento, que conecta cada dispositivo (sensor/atuador) encontrado no campo ao controlador de I/O.

Controle e I/O: Formado por dispositivos, que concentram e tratam os dados relativos aos estados das variáveis coletadas, coletados no campo. Estes dispositivos podem ser um Controlador Lógico Programável (CLP), Unidade de terminal remota (RTU), etc. Tais dispositivos podem tratar os dados, por exemplo, utilizando um conversor A/D, ou apenas entregar a informação ao *software* de supervisão e controle (*software* SCADA).

Software SCADA(Supervisory Control and Data Acquisition): Programa usado para supervisão e controle de processos, com uma interface para o operador representando o sistema controlado, da qual partem os comandos da operação, e na qual são observados por exemplo: eventos, alarmes e dados históricos. Cada *software* possui suas características e ferramentas específicas ao contexto da aplicação para o qual foram desenvolvidos: automação predial, automação de subestações, etc.

Em sistemas mais antigos a supervisão pode se dá de forma manual através da operação de painéis de controle. A figura que ilustra este caso é a Figura 2.2 em que não encontramos módulo referente ao *software* SCADA.

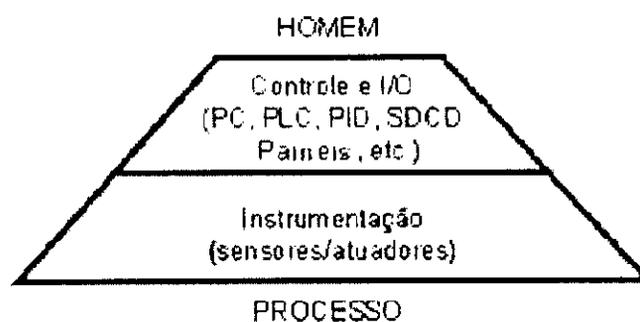


Figura 2.2: Partes de um sistema de supervisão sem o SCADA

2.2.1 *Software* SCADA

Software do tipo SCADA é um programa para supervisão, controle e aquisição de dados, usado em soluções de automação e controle de processos, são também conhecidos como supervisórios. São programas através dos quais pode-se configurar todo um processo a ser controlado permitindo o cadastramento de pontos de controle em um banco de dados. Permitem criar telas que representam o processo, constituindo uma interface (IHM) a partir da qual ações de comando através de um mouse substituem os controles tradicionais, tais como botoeiras e os painéis de controle. Atualmente vários processos nos quais foram implantados um sistema de automação com base em um programa supervisório, não eliminaram os controles manuais, que são utilizados no caso de falhas do sistema supervisório apesar do caráter confiável destes sistemas, provido de estratégias, tais como: duplicidade de rede, duplicidades de servidores (implementação *hot-standby*) e duplicidade de estações de trabalho.

Tipicamente os *softwares* supervisórios vêm acompanhados de um compilador usado na execução de rotinas que podem ser criadas pelos próprios usuários. Muitas vezes as linguagens utilizadas são próprias dos fabricantes do *software*, enquanto que em alguns casos seja possível a implementação em linguagens de programação mais comuns como C e C++.

É importante salientar que dentre as principais características dos *softwares* SCADA está o fato de serem configuráveis pelo usuário e a grande diversidade de dispositivos aos quais podem ser conectados e com os quais podem trocar informações. Isso é possível devido ao fato de incorporarem diversos protocolos de comunicação. São disponíveis também ferramentas para a implementação de novos protocolos, possibilitando a inserção de novos dispositivos com protocolos de comunicação diferentes dos já implementados.

Atualmente os sistemas são implementados em plataformas Unix, Windows NT, Windows2000 e OS/2, sendo configurados em *intranets* com protocolos TCP/IP, o que torna possível a visualização e controle do processo de qualquer local conectado a WEB. Para isso o sistema deve ter um módulo agregado que possibilite tal tipo de conexão.

Os componentes de um sistema de automação e controle são ilustrados na Figura 2.3.

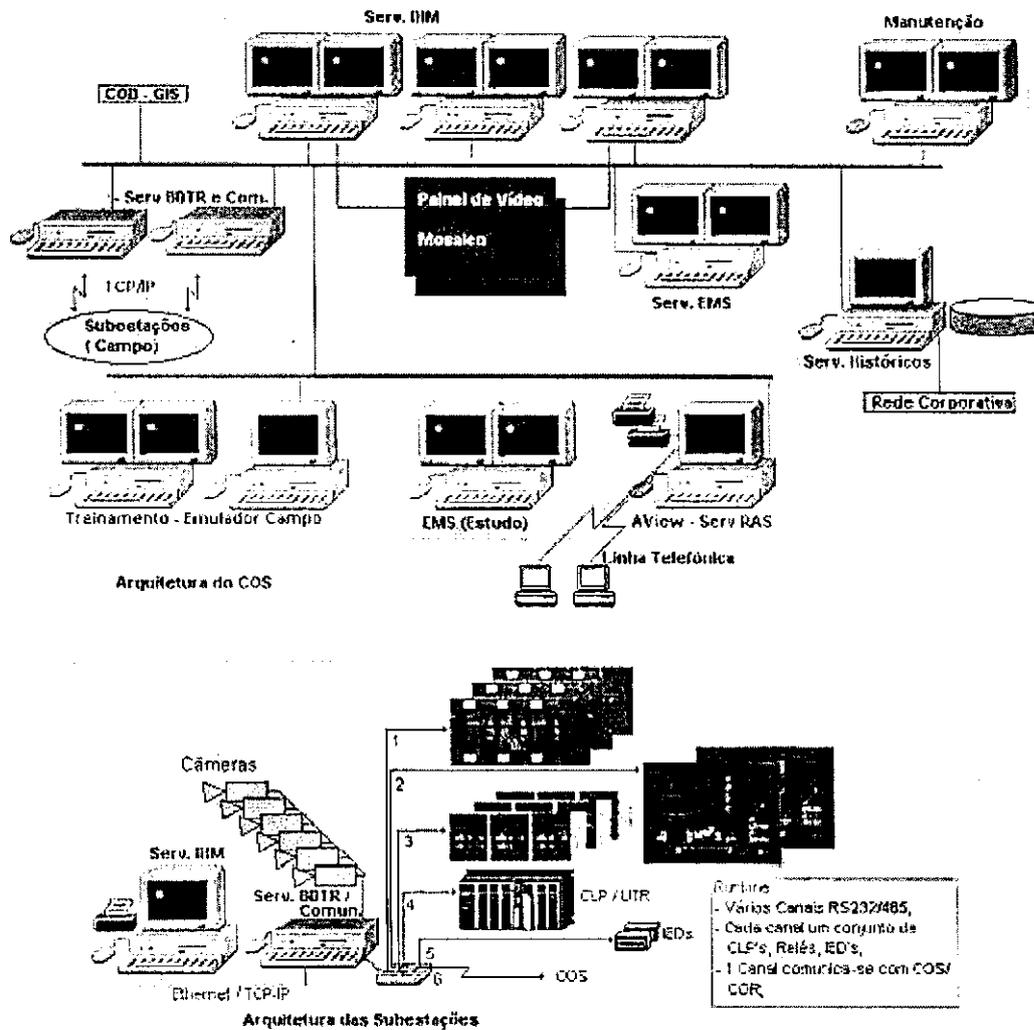


Figura 2.3: Esquema de Automação

2.3 Falhas Operacionais

A evolução da tecnologia mudou a natureza e as causas dos mal-funcionamentos. No início da revolução industrial, os níveis de confiabilidade e de disponibilidade das máquinas eram baixos, e a principal causa de mal-funcionamento na relação homem-máquina. Atualmente, com o alto nível de certeza de funcionamento das máquinas, o ponto fraco passa a ser o homem. Um exemplo da evolução da certeza de funcionamento das máquinas, são os avanços alcançados no domínio dos computadores (Amalberti, 1996).

A redução das margens de segurança, visando aumentar a produtividade, faz com que o sistema se torne hipersensível e reaja de forma exarcebada às menores mudanças. A redução das margens de recuperação faz com que os acidentes se produzam em uma conjuntura de erros menores que poderiam ser qualificados de um comportamento quase normal.

Portanto, o ponto fraco dos sistemas modernos é agora o homem, tornando o comportamento humano durante o comando de sistemas com segurança crítica, o objeto central de inúmeras pesquisas. Para conceber interfaces ergonômicas é imprescindível que o método de concepção considere esta característica ao longo de todo o processo.

Em particular, na interação com sistemas de supervisão industrial, o volume de informações apresentado ao operador da planta é tipicamente elevado, oriundo de diferentes tipos de equipamento e sistemas. Esta informação é apresentada na forma de diagramas e listas de alarmes, entre outras. Em especial, os alarmes podem demandar ações do operador com um prazo estrito para a atuação.

2.3.1 Erros na Operação do Sistema

Durante a operação do sistema o operador está propenso a cometer erros, os quais podem ocorrer em várias situações de trabalho e ainda podem ter várias causas. Na empresa CHESF as falhas no sistema de acordo com suas causas, como segue:

- Programação – Falhas de programação estão relacionadas diretamente ao planejamento deficiente da interação com o sistema.
- Material – As falhas podem estar relacionadas à deficiências em normativos, projetos inadequados, etc.
- Equipamento – Está relacionada à fadiga ou a deterioração de componentes, ou a deficiência instrumental, como qualidade, calibração, etc.
- Execução – É um tipo de falha relacionada à forma de executar a intervenção.
- Mão de Obra – Está relacionada à capacidade técnica das pessoas.

• Meio Ambiente – Problemas relacionados ao meio ambiente também são causadores de erros, os quais podem estar relacionados desde a iluminação do ambiente, até ao espaço físico disponível para operador durante a intervenção.

2.3.2 Falhas de Execução

As falhas de execução estão relacionadas ao homem no que diz respeito à forma de executar a intervenção no sistema. A CHESF atribui estas falhas aos seguintes fatores:

1. Desconhecimento da configuração
2. Descumprimento do normativo
3. Improvisação
4. Falta de padronização
5. Sinalização inadequada
6. Falta de entrosamento
7. Tempo inadequado
8. Ferramental inadequado

2.3.3 Falhas de Mão de Obra

As Falhas de Mão de Obra do operador estão relacionadas à sua carga emocional inerente ao ambiente de trabalho. A empresa CHESF aponta como possíveis causas:

1. Desatenção
2. Imperícia
3. Falta de Capacidade Técnica
4. Desmotivação
5. Stress
6. Relacionamento Deficiente

Observa-se que a maioria dos erros ocorre em procedimentos rotineiros do operador, como por exemplo:

- Erros na manipulação de dispositivos, quando ocorre a realização de todos os procedimentos operacionais relativos a um dispositivo em um outro dispositivo.
- O não seguimento da normatização. Em geral, todos os passos a serem seguidos para a efetivação de terminada tarefa estão listados e ao operador cabe apenas a execução das tarefas. Observa-se que mudanças improvisadas em geral não são bem sucedidas e podem levar a situações inesperadas as quais são mais suscetíveis a erros.

2.4 Concepção e Avaliação de Interfaces

A concepção de Interfaces por muito tempo foi considerada como uma atividade de menor prioridade que as questões relacionadas às funcionalidades (Scherer, 2004). A partir dos anos 70, com a introdução e popularidade dos terminais de visualização em ambientes de trabalho, cada vez mais pesquisadores são motivados a estudarem a concepção de interfaces. Essa atenção se traduziu em 1983 na criação do comitê de ergonomia da ISO, ISO/TEC 159 ao qual foi destinada a tarefa de elaboração de um padrão relativo à ergonomia.

É inegável que nas últimas décadas as tecnologias de hardware e software evoluíram a passos largos, estimulando o uso de sistemas baseados em computadores nas mais diferentes atividades do cotidiano e instituindo uma nova ordem em nível mundial (Queiroz, 2001).

É importante frisar que a interface de um sistema envolve considerações sobre o sistema propriamente dito, o usuário do sistema e a maneira na qual o usuário interage com o sistema (Scaico, 2001). Atualmente estão disponíveis várias metodologias para concepção de interfaces ergonômicas centradas no usuário, tais como, MEDITE (Guerreiro, 2002), MCI e TRIDENT (Scherer, 2004).

A interface de um sistema é o ponto no qual o usuário interage com o sistema. Desta forma dois produtos que implementam as mesmas funcionalidades podem ser diferenciados de acordo com a facilidade de uso, com a clareza das informações que auxiliam o usuário durante a execução das tarefas e com a eficácia de suas operações.

2.4.1 MCI

O MCI (Método de Concepção de Interfaces) é um método de concepção de interfaces centrado no usuário desenvolvida pelo Grupo de Interfaces Homem-Máquina (GIHM) da Universidade Federal de Campina Grande. Destaca-se por ser um método interativo e baseado em princípios de usabilidade e critérios ergonômicos (Scherer, 2004).

O MCI pode ser caracterizado por utilizar a noção de artefato, de forma que ao final de cada etapa é gerado um produto. Ele utiliza uma abordagem incremental, assim o produto gerado em uma etapa serve de entrada para a etapa seguinte. O ciclo de concepção é baseado na avaliação, no qual os resultados de cada etapa são avaliados antes de servirem de entrada para a etapa seguinte (Turnell, 2000).

O método é constituído das seguintes etapas:

- Análise de Requisitos
 - 1 - Análise e modelagem do perfil do usuário
 - 2 - Análise e modelagem do contexto
 - 3 - Análise e modelagem da tarefa
 - 4 - Avaliação do modelo da tarefa
- Concepção do Modelo da Interação
 - 1 - Análise e modelagem da Interação
 - 2 - Representação de cenário
 - 3 - Construção do Modelo de Navegação
 - 4 - Avaliação do modelo da interação
- Concepção e Avaliação do Protótipo
 - 1 - Geração do protótipo
 - 2 - Avaliação do protótipo

As etapas descritas anteriormente são ilustradas na Figura 2.4, a mesma também apresenta o fluxo que orienta cada etapa de concepção.

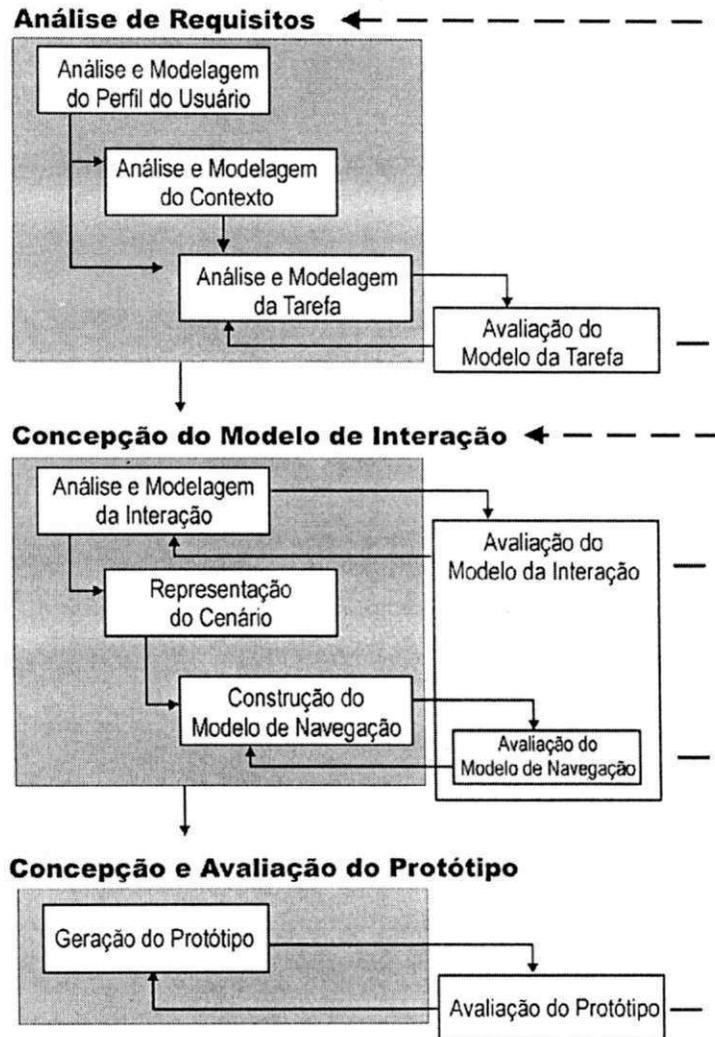


Figura 2.4: Etapas do MCI (Scherer, 2004)

2.4.2 Métodos de Avaliação de Interfaces

Dentre vários métodos de avaliação de interfaces podemos citar:

Avaliação por inspeção de conformidade com padrões consiste em verificar o grau de conformidade frente a um conjunto de regras, os quais podem ser feitos baseados em guias de estilos como utilizados por empresas como a Sun e Microsoft ou a utilização de padrões como a ISO 9241.

Avaliação heurística no qual um especialista em interfaces faz uma avaliação segundo sua experiência em projetos de interfaces.

Mensuração de desempenho do usuário. Neste caso o usuário é posto para a utilização do produto que se deseja avaliar a interface. O ensaio pode ser feito no local onde normalmente se utiliza o produto ou em um ambiente especialmente concebido para esta função.

Sondagem de satisfação do usuário. Consiste na observação de reações psicofisiológicas, ou a aplicação de questionários para este fim.

Em sistemas críticos as falhas operacionais podem ter conseqüências sérias para as pessoas próximas e/ou ao meio ambiente. Embora tenhamos sistemas de automação atuando nas plantas de uma forma programada, se faz necessária a intervenção do homem, o que muitas vezes vem a ser o ponto frágil do sistema.

Neste sentido, a utilização de métodos de concepção de interfaces é muito importante devido ao fato de obedecer a um conjunto sistemático de regras, minimizando a possibilidade de falhas na interface projetada e ainda possibilitando a obtenção de interfaces mais ergonômicas.

Dentro do método MCI, o trabalho desenvolvido nesta dissertação concentra-se na etapa de concepção do modelo de interação.

O próximo capítulo aborda aspectos da operação de sistemas elétricos, em destaque a subestação de CGD com suas características e sua IHM.

Capítulo 3

IHMs do Setor Elétrico

Enquanto a tecnologia dominante foi a mecânica, as tarefas do homem no trabalho consistiam numa gama de esforços físicos. A ergonomia desta época se ocupava essencialmente em racionalizar o melhor possível os gestos dos homens a fim de minimizar seus movimentos. Hoje, a Informática é a tecnologia dominante e as restrições passaram a ser cognitivas; a fadiga física deu lugar a uma fadiga psíquica e o objetivo da ergonomia moderna passou a estabelecer uma economia do esforço intelectual (Amalberti, 1996). Este capítulo aborda de forma mais específica a tecnologia utilizada na monitoração e controle de subestações, sua interface e apresenta de forma conceitual o comportamento dos objetos de interação disponíveis ao operador.

3.1 Automação no Setor Elétrico

Antes da informatização o processo de supervisão e o controle das subestações era feito através de painéis com sinalizadores luminosos, botoeiras, etc, os quais sinalizavam desde sub-tensão até a atuação de proteções, como podemos ver na Figura 3.1

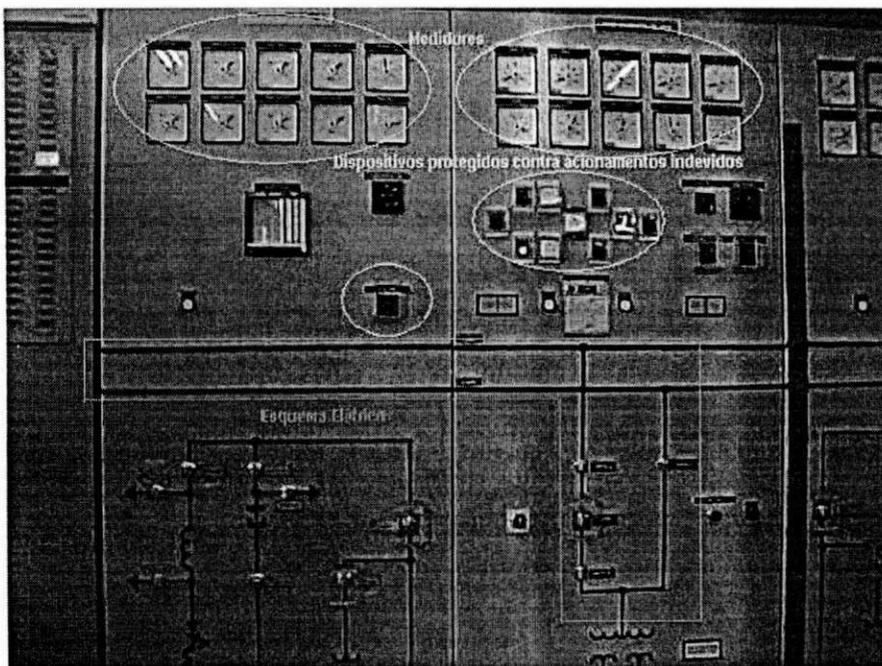


Figura 3.1: Painéis de operação e supervisão

No contexto da operação do setor elétrico estão presentes duas realidades: de um lado temos instalações moderníssimas com tecnologia de última geração e de outro temos instalações com equipamentos de mais de 30 anos ainda em operação. Há também, em operação sistemas em transição tecnológica que incluem equipamentos antigos e equipamentos modernos funcionando em paralelo. Nestes casos, o operador deve se adequar às novas tecnologias e a nova rotina no trabalho.

Os sistemas informatizados proporcionam um ambiente de trabalho diferente daquele até então conhecido pelos operadores: se antes havia um painel de controle, hoje há uma tela de um computador Figura 3.1. As mudanças não se restringem apenas à forma de visualização, elas atingem também o âmbito dos procedimentos. Ou seja, a forma de fazer o trabalho, com grande parte da interação com o sistema sendo feita agora através de mouse e teclado. A Figura 3.2 ilustra uma tela de um *software* supervisor aplicado ao contexto de uma subestação elétrica. Neste tipo de sistema as ações do operador se limitam a interações com o *software* através de suas funcionalidades.

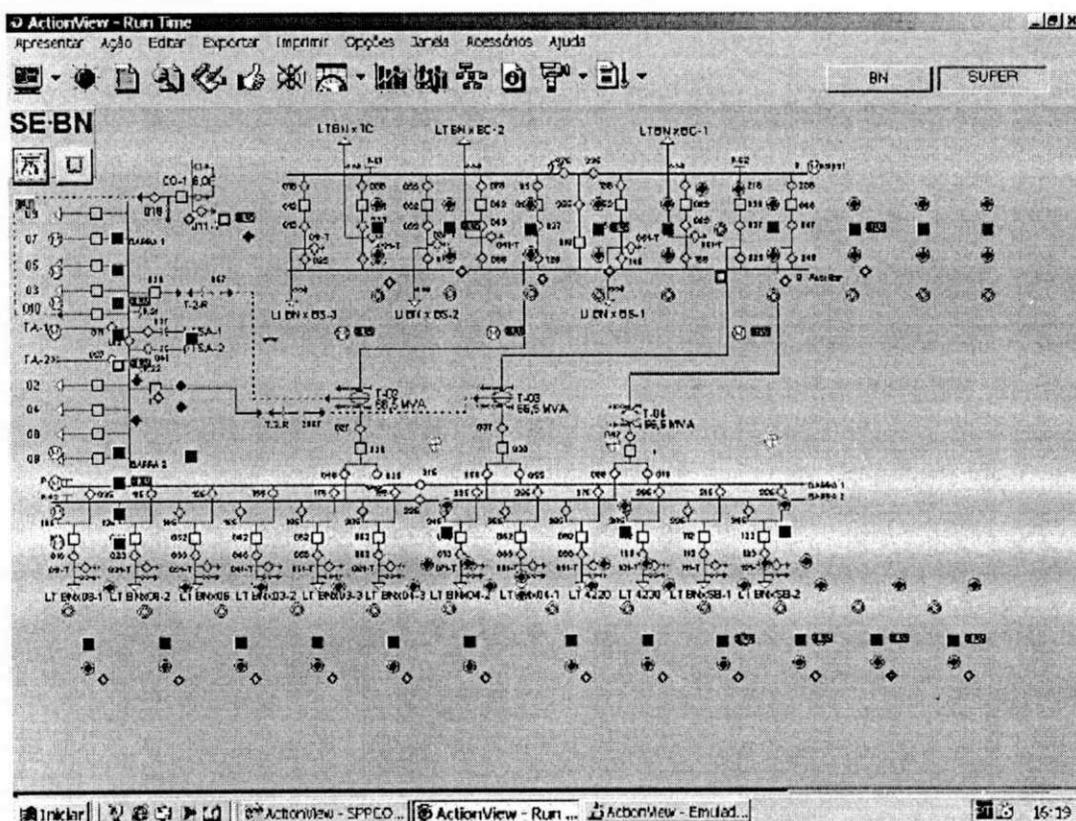


Figura 3.2: Software supervisor aplicado a uma instalação elétrica

A codificação utilizada para identificação de instalações, equipamentos e linhas de transmissão é descrita em um normativo interno da CHESF. A Instrução normativa IN-OC.01.004 que estabelece esta convenção. Ver Anexo II.

De forma sucinta a identificação dos dispositivos é feita a partir de uma codificação alfanumérica de 4 a 6 caracteres, onde:

- O primeiro caractere indica o tipo do equipamento (disjuntor, linha de transmissão, etc).
- O segundo caractere indica o nível de tensão no qual o equipamento trabalha opera.
- O terceiro caractere indica o agrupamento de equipamentos. A cada novo agrupamento é lançado um novo caractere.
- O quarto caractere indica a posição do equipamento no agrupamento. Este caractere distingue equipamentos similares, que trabalham na mesma tensão de operação e que estão no mesmo agrupamento.
- O quinto caractere define a posição do equipamento quando utilizado será separado do quarto caractere por um traço(-).
- O sexto caractere distingue equipamentos na mesma posição.

Há também na empresa CHESF uma codificação de cores que diferencia tensões de operação de linhas e equipamentos segundo ilustra o Quadro 1:

Cor	Tensão
Azul	230kV
Preta	138kV
Verde	69kV
Amarela	13.8kV

Quadro 1: Relação entre cores e tensão de operação do sistema

Para ilustrar pode-se observar na Figura 3.4 onde temos uma inscrição no painel onde podemos observar que:

- Primeiro dígito é 0: é uma linha de transmissão
- Segundo dígito é 2: A tensão de operação é de 69kV
- Terceiro dígito é J: Representando o circuito J
- Quarto dígito é 6: Destinge a linha de transmissão no circuito

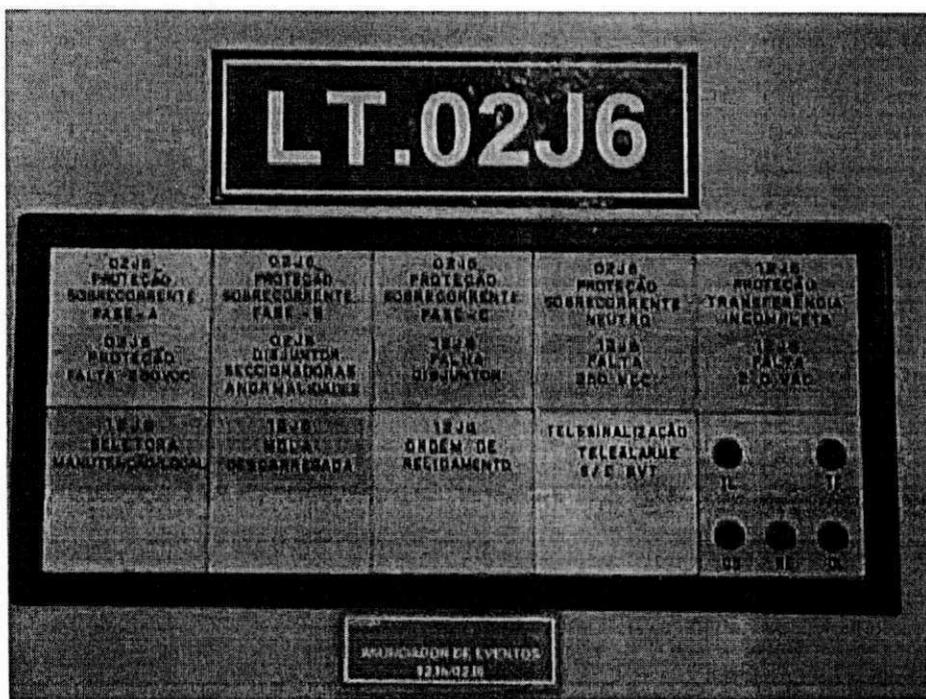


Figura 3.4:Nomenclatura e Quadro de Sinótico

A seguir são listados os elementos de interação existentes nos painéis associados aos dispositivos de 69kV da SE CGD.

Painel da LT 02J1

Esse painel apresenta os dispositivos de interação da linha de transmissão 02J1 a qual interliga a subestação de Campina Grande I (CGU) à subestação de Campina Grande II (CGD). A linha operando na tensão de 69kV. Os dispositivos de interação correspondentes são descritos a seguir:

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave seletora de corrente: chave de 4 posições com a qual podemos selecionar a linha cuja corrente medida será mostrada no amperímetro.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições, que submete o painel de controle suscetível a comandos local ou remoto (telecomandados).
- Chave 12J1: Chave tipo punho para comando de disjuntor. É uma chave de três posições: comando de fechamento, repouso e abertura do mesmo.

Painel da LT 02J2

Esse painel apresenta os dispositivos de interação na linha de transmissão 02J2, a mesma liga a subestação de Campina Grande II à cidade de São João do Cariri.

- Mostradores.
- Chave seletora de corrente
- Chave Loc/Tel
- Chave 12J2

Painel da LT 02J3

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 02J3 a qual é utilizada para o fornecimento de energia da cidade de Boqueirão, operando na tensão de 69kV. Os dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores
- Chave seletora de corrente
- Chave Loc/Tel
- Chave 12J3

Painel da LT 02J4

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 02J4 a qual interliga a subestação de CGD à subestação de Bela Vista. Os dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores
- Chave seletora de corrente
- Chave Loc/Tel
- Chave 12J2: Chave 101 do tipo Giro-Pressão-Giro para comando do disjuntor, é uma chave de duas posições.
- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temos o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois

disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.

Painel LT02J5

É o painel utilizado para supervisão e manobras envolvendo a linha de transmissão LT02J5, é uma LT de 69kV utilizada no fornecimento de energia para a empresa Embratex instalada na cidade de Campina Grande.

Os elementos de interação são listados como segue:

- Qualímetro: Dispositivo utilizado para mostrar vários parâmetros relacionados à linha de transmissão LT02J5, tais como corrente, tensão, potência e ainda possibilita observações de correntes máximas e mínimas.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui também os elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo de lâmpadas, associada ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para *reset* de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para *reset* do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o *reset* geral do quadro
- Chave 43
- Botoeira falta CC: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.
- Chave Loc/Tel
- Chave 02J5: Chave 101 do tipo GPG e comanda disjuntor.
- Chave 32J5-4, 32J5-5, 32J5-6, 32J5-7: Chave de visualização e manipulação para mudança de estado do dispositivo de campo, no caso seccionadora. A chave associada a tais dispositivos são todas do tipo GPG.
- Religamento Automático: Chave utilizada para ativar e desativar o religamento automático da LT. Para esta chave temos duas posições "0" para

religamento automático desativado e "1" para o estado no qual religamento automático encontra-se ativado.

Painel LT02J6

É o painel utilizado para supervisão e manobras envolvendo a linha de transmissão LT02J6. Essa linha de transmissão é utilizada para alimentar a cidade de Esperança no estado da Paraíba.

Os elementos de interação são listados como segue:

- Mostradores
- Quadro anunciador de eventos
- Chave 43
- Botoeira falta CC
- Chave 02J6
- Chave Loc/Tel
- Chave 32J6-4, 32J6-5, 32J6-6 e 32J6-7: Dispositivos de visualização de estado de seccionadoras.
- Religamento Automático

A descrição de outros painéis presentes na subestação de CGD pode ser encontrada no Anexo I

3.3 *Modelo conceitual do comportamento dos objetos de interação*

Nesta seção são apresentadas as formas típicas de interação do operador com o ambiente de supervisão e controle:

- **Acionamento de chaves:** Abertura ou fechamento de disjuntores e seccionadoras. O operador seleciona a chave na qual deseja atuar e opera para abri-la ou fecha-la.
- **Configuração de Equipamentos:** A partir da interação com os painéis o operador pode elevar ou diminuir o tap de transformadores do sistema.

- **Visualização de tabelas de eventos e alarmes:** O operador pode extrair um relatório contendo uma lista de todas os eventos e alarmes ocorridos em um determinado período de tempo.
- **Visualização de Histórico de Tendências:** O operador pode analisar o comportamento de variáveis do sistema de forma gráfica no transcorrer de um determinado período.
- **Monitoração do sistema** (variáveis analógicas e digitais): O operador pode visualizar o estado atual da planta, podendo inclusive ver a tensão e a corrente nas linhas de transmissão, etc.

Assim, no setor elétrico brasileiro encontra-se com uma diversidade de tecnologias. Há equipamentos antigos em operação, ao mesmo tempo em que o mercado oferece uma variedade de equipamentos com tecnologias mais avançadas, a migração de tecnologia é lenta devido ao custo do investimento e à necessidade de garantia de robustez e confiabilidade dos novos equipamentos.

Para elaborar o modelo de uma SE, como aquela que foi apresentada, é necessário traçar um perfil e caracterizar os dispositivos de interação.

O próximo capítulo introduz de uma maneira informal o formalismo de redes de Petri Coloridas, e descreve sua utilização neste contexto de avaliação e concepção de interfaces. Nele são também apresentados a biblioteca de modelos e o modelo de navegação na interface ao qual podem ser incorporados.

Capítulo 4

Redes de Petri e a Modelagem dos Objetos de Interação

O formalismo de Redes de Petri é cada vez mais difundido, foi proposto em 1962 por Carl Adam Petri. Hoje é aplicado a variadas áreas de conhecimento, tais como: Sistemas a eventos discretos, engenharia de software, sistemas operacionais, etc. (Murata, 1989). Será apresentada neste capítulo, de forma sucinta, uma introdução informal dos conceitos de Redes de Petri, em especial as redes de Petri coloridas Hierárquicas juntamente com seus métodos de análise. Em seguida, será apresentada a biblioteca de modelos construída para representar os dispositivos de interação de interação com o operador de uma SE e o modelo ao qual estes elementos podem ser agregados.

4.1 Métodos Formais

Um modelo é uma representação das principais características de um objeto ou sistema (Scaico, 2001) e pode consistir em uma descrição matemática ou uma representação física. A utilização de métodos formais na modelagem de sistemas se baseia no uso de notações com semântica definida, favorecendo o estabelecimento de métricas de desempenho e possibilitando a discussão de propriedades do sistema modelado (Scaico, 2001).

Neste trabalho, a utilização de modelos é motivada pela necessidade de investigar de propriedades do sistema estudado sem necessariamente lidar com o sistema ou o objeto de uma maneira direta. Muitas vezes lidar com o sistema real é inviável, podendo mesmo ser impraticável ou oferecer riscos à segurança de pessoas, etc. A partir da utilização de modelos podemos constatar a existência de propriedades desejáveis e implementar soluções para eliminar propriedades indesejáveis de um sistema a ser construído.

4.2 Redes de Petri Lugar/Transição

Redes de Petri (RP) são uma ferramenta gráfica e matemática de modelagem aplicável a vários tipos de sistemas (Murata, 1989). Através de redes de Petri podemos descrever sistemas concorrentes, assíncronos, distribuídos, paralelos, não determinísticos e/ou

estocásticos (Murata, 1989). A grande aceitação deste formalismo resulta de uma semântica bem definida que permite análise formal dos modelos (Jensen, 1992). A representação gráfica que pode ser associada a RP facilita a compreensão dos modelos gerados.

A seguir apresenta-se a definição de Rede de Petri segundo Jensen (1992): Rede de Petri é uma 5-upla $N=(P,T,F,W, M_0)$, onde:

1. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ é um conjunto finito de lugares
 2. $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é um conjunto finito de transições
 3. $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ é um conjunto de arcos
 4. $W: F \rightarrow \mathbb{N}^*$ é uma função peso
 5. $M_0: P \rightarrow \mathbb{N}$ é a marcação inicial
- $P \cap T = \emptyset$ e $P \cup T \neq \emptyset$

Graficamente os símbolos utilizados para representar os lugares e transições são círculos e retângulos, respectivamente. Os arcos são rotulados com um peso (inteiros positivos) k que pode ser interpretado como um conjunto de k arcos paralelos (Murata, 1989), as fichas são os pontos ilustrados na figura, e sua distribuição no instante inicial é chamada de marcação inicial, os arcos podem ligar lugares a transições ou transições a lugares, como ilustra a figura 4.1.

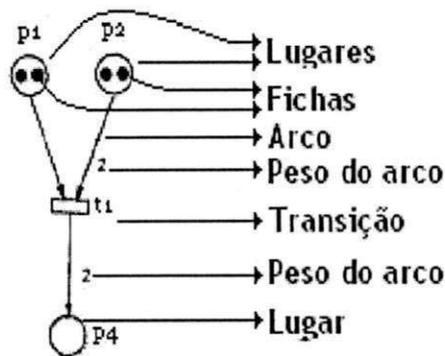


Figura 4.1: Exemplo de Rede de Petri

4.2.1 Dinâmica de uma Rede de Petri

A marcação de uma rede de Petri, que denota o estado da rede em um determinado instante, pode modificar-se ou evoluir, isto acontece a partir do disparo de transições. O disparo de uma transição consiste no consumo de fichas dos lugares de entradas da transição que disparou (quando existirem) e na inserção de fichas nos lugares de saída da mesma transição (quando existirem). Este disparo acontece mediante as regras (Murata, 1989):

1. (Pré-condição) Uma transição t está habilitada (passiva de disparo) se cada lugar de entrada p da t contiver pelo menos $w(p,t)$ fichas, onde $w(p,t)$ é o peso do arco de p para t .
2. Uma transição habilitada pode ou não disparar (ocorrer).
3. (Pós-Condição) Ocorrendo o disparo de t , $w(p,t)$ fichas são retiradas de cada lugar de entrada p de t , e são adicionadas $w(t,p)$ fichas a cada lugar de saída p de t , onde $w(t,p)$ é o peso do arco de t para p

Exemplo 4.1: A figura 4.2 ilustra a dinâmica de uma rede Lugar / Transição.

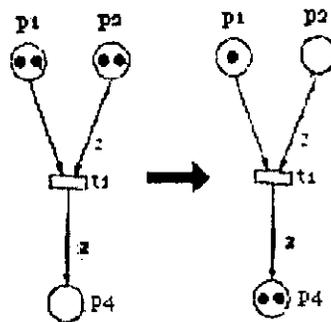


Figura 4.2: Rede Lugar / Transição

Na rede de Petri exibida na figura 4.2 a transição t_1 está habilitada uma vez que a pré-condição está atendida. Com o disparo da transição t_1 são depositadas duas fichas no lugar p_4 .

4.3 Redes de Petri Coloridas Hierárquicas

Uma restrição na utilização de redes de Petri para modelagem de sistemas é o tamanho e a complexidade dos sistemas, e conseqüentemente das redes que os modelam. Assim, a utilização de uma ferramenta computacional se faz necessária para aplicações práticas de redes de Petri (Murata, 1989). Uma forma de minimizar a complexidade das redes é

a utilização de redes de Petri de alto nível. Abordaremos neste trabalho as Redes de Petri Coloridas Hierárquicas.

De mesma forma que a RP Lugar/Transição, nas Redes de Petri Coloridas (CPN) e CPN Hierárquicas (HCPN) os arcos ligam lugares a transições ou transições a lugares, porém aqui, é admitida a associação a funções que podem definir, por exemplo, o tipo de ficha que será consumida ou inserida em um lugar. As transições podem ter funções associadas, chamadas funções de guarda, que implementam condições para que a mesma seja habilitada. Os lugares devem ter um tipo associado, denominado cor, o qual determina o tipo da ficha que pode ser inserido no mesmo. Da mesma forma que nas RP lugar/transição, a distribuição de fichas em um dado instante é denominada marcação, a mesma se modifica com os disparos das transições. O disparo de uma transição está condicionado às regras da seção 4.2.1 bem como de sua função de guarda associada.

Para ilustrar as definições, apresentamos a seguir a rede CPN na figura 4.3 que modela uma chave de transferência de proteção de duas posições:

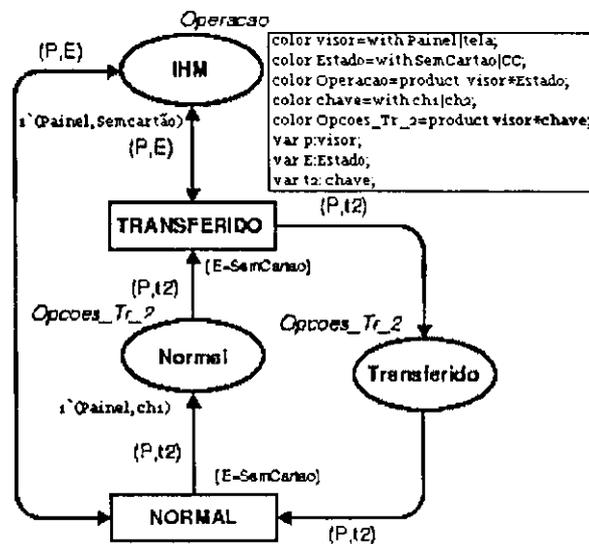


Figura 4.3: Exemplo de uma CPN

Para a rede ilustrada na figura 4.3 podemos observar um conjunto de três lugares, nomeados como segue: **IHM**, **Normal**, **Transferido**. A cor associada ao lugar **IHM** é *Operacao*, enquanto que para os lugares **Normal** e **Transferido** é *Opcoes_Tr_2*. Essas cores definem o tipo de ficha que pode ser alocada nos seus respectivos lugares.

Para as duas transições, nomeadas **NORMAL** e **TRANSFERIDO**, há uma guarda definida pela relação $E=SemCartao$.

O retângulo no canto superior esquerdo da figura exibe o nó de declaração associado à rede. A mesma contém todo o conjunto de declarações de funções, cores e variáveis utilizadas.

Para a rede acima apenas a transição **TRANSFERIDO** encontra-se habilitada, já que todas as condições são atendidas bem como a função de guarda. Após o disparo desta transição, a ficha (Painel, ch1) será consumida do lugar **Normal** e será inserida no lugar **Transferido**, o novo estado da rede pode ser visto na Figura 4.4. A partir de então a transição **TRANSFERIDO** está desabilitada e a transição **NORMAL** habilitada. Fisicamente o disparo desta transição representa a manipulação da chave de transferência no intuito de modifica-la do estado Normal para o estado Transferido.

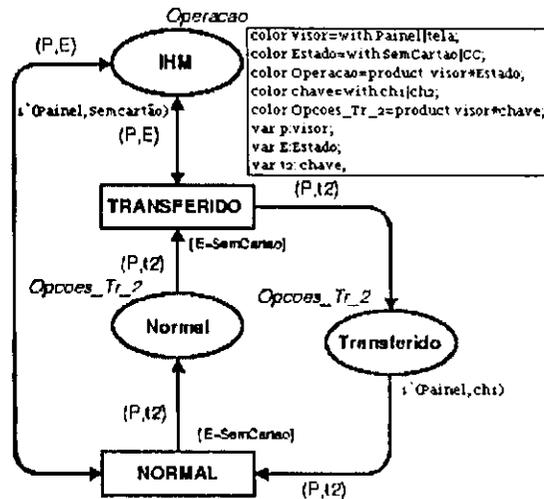


Figura 4.4: Modelo CPN - Transição **NORMAL** habilitada

4.4 Propriedades das Redes de Petri e Métodos de Análise

A partir do modelo podemos então utilizá-lo para obter informações sobre o sistema modelado. Estas informações podem ser obtidas através da inspeção de propriedades ou através de métodos de análise. Em RP as propriedades podem ser classificadas como

estáticas, também chamadas de estruturais, ou dinâmicas, também chamadas de comportamentais.

4.4.1 Métodos de análise

Após a concepção e validação¹ de uma rede que modela um sistema qualquer, podemos então analisá-la e conhecer de forma sistemática e detalhada o comportamento do sistema modelado.

O método mais simples de análise é simulação. Esse método é extremamente útil no projeto e na validação na modelagem de grandes sistemas, porém sua utilização é inviável para a prova completa de propriedades das CPN (Jensen, 1992), assim se faz necessária a existência de métodos de análise formal.

Segundo Murata (1989) e Jensen (1992) temos que os métodos de análise podem ser classificados em três grupos: (1) Árvore de cobertura e grafo de ocorrência; (2) Matriz de incidência e equação de estado; (3) Técnicas de redução ou decomposição.

Abordaremos aqui a primeira técnica por ter sido utilizada na análise do contexto de aplicação realizado.

Dada uma rede de Petri com uma marcação M_0 , é possível obter a nova marcação a partir do disparo de alguma transição habilitada. Para cada nova marcação é possível novamente alcançar outras marcações, e assim sucessivamente. Esse processo pode ser representado a partir de uma árvore de marcações. A árvore gerada pode ser representada a partir de um grafo denominado Grafo de Ocorrência, que contém um nó para cada marcação alcançável e um arco para cada elemento de ligação² (Jensen, 1992).

Para as CPN e HCPN a ferramenta computacional *Design/CPN* pode ser utilizada na modelagem e análise de modelos. Nesta ferramenta encontram-se integrados um editor gráfico, que pode ser utilizado na edição das redes; um simulador, no qual podem ser

¹ A validação é feita afim de verificar a fidelidade do modelo em representar os aspectos desejados do sistema.

² O elemento de ligação exibe a transição que disparou e as fichas que foram geradas de uma marcação para outra.

feitas simulações automáticas ou interativas, havendo assim uma realimentação visual; e uma ferramenta para geração de grafos de ocorrência. E ainda possibilitando o desenvolvimento de rotinas na linguagem de programação CPN-ML para observação de desempenho e análise dos modelos.

Maiores detalhes sobre a ferramenta podem ser encontrados em (Christensen, 1996).

4.5 Biblioteca de Modelos

Atualmente vêm sendo desenvolvidos vários trabalhos relativos à utilização de redes de Petri na modelagem de IHMs, Scaico et al (2002) representa a IHM de um sistema de automação industrial do ponto de vista da navegação e em Scaico & Turnell (2002) analisa a interação do usuário com a inserção do tempo de interação, Nascimento et al (2003) propõe a extensão do trabalho anterior de modo a representar também o comportamento dos objetos de interação, tais como chaves, opções de menus e a entrada de dados alfanuméricos.

Uma descrição do comportamento dos dispositivos de interação encontrados na literatura e na SE Campina Grande II é apresentada na próxima seção.

4.5.1 Dispositivos de Interação Modelados

Na subestação de CGD a IHM é composta dos seguintes dispositivos de interação³:

- Chave *Giro-Pressão-Giro*;
- Chave *Giro-Giro*;
- Chave tipo *Punho*;
- *Botoeira* utilizada para reset de equipamento;
- Pontos *Sinalizadores*;
- Chave de *duas posições*;
- Chave de *três posições*;
- Chave de *quatro posições*;
- Dispositivo *qualímetro*;

³ Neste documento entende-se por dispositivos de interação todos os componentes que formam a interface de operação entre os sistemas que se encontram na subestação e os operadores.

A descrição dos componentes presentes na biblioteca de modelos será feita da seguinte forma: para cada dispositivo modelado seu nome será seguido da descrição do seu comportamento e da forma de interação, em seguida é apresentado o modelo em CPN seguido da descrição, do significado dos tipos utilizados, dos lugares, das transições e finalmente da descrição do comportamento da rede.

4.5.2 Chave Tipo Punho

Esse tipo de chave é caracterizado pelo seu formato, observa-se que a mesma possui uma posição de repouso central e duas possibilidades de interação onde se pode fazer um giro no cabo utilizado para manipulação no sentido da direita ou da esquerda, com a chave voltando automaticamente para a sua posição de repouso. Sua utilização está geralmente associada ao comando de equipamentos de disjunção, tais como, no comando de disjuntores e seccionadoras.

O modelo em CPN é mostrado a seguir:

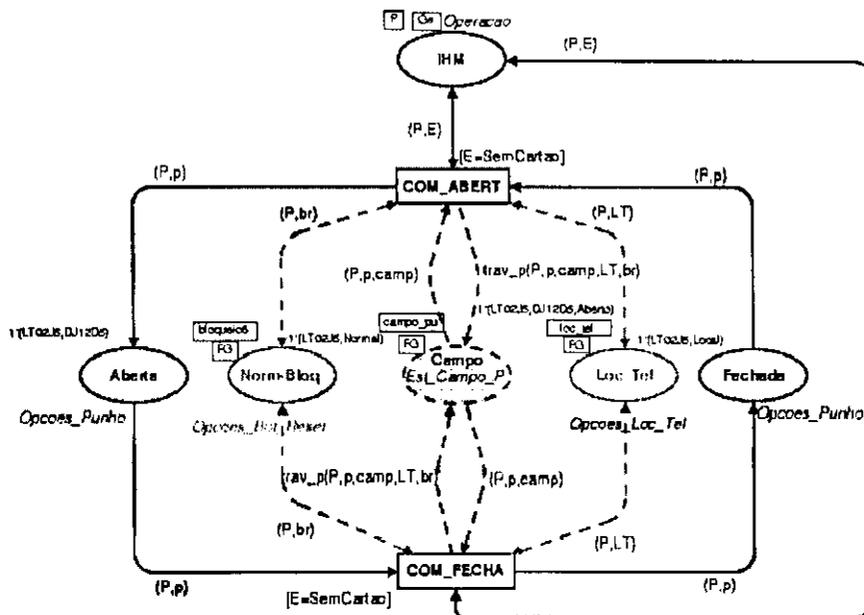


Figura 4.5: Modelo CPN da Chave tipo punho

- Lugares e Transições

Os lugares *Aberta* e *Fechada* representam a posição da chave de controle. Os lugares *Norm-Bloq* e *Loc-Tel* são lugares de fusão que modelam o estado dos armários, tais

lugares são descritos de forma completa nas seções **Botoneira de Reset de Proteção e Chave Local / Telecomando**, respectivamente.

As transições *COM_ABERT* e *COM_FECHA* representam a ação do operador ao manipular a chave no sentido de comandar sua abertura e seu fechamento, respectivamente.

A função *trav_p()* implementa as condições de intertravamento de forma que o comando originado na manipulação da chave possa refletir de forma fiel o estado da proteção associada ao painel e a posição da chave Loc/Tel, quando existirem.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares *COM_ABERT* e *COM_FECHA* são do tipo *Opcoes_Punho* e assim, são compostas por uma dupla (Armário, Chave) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica a chave propriamente dita, isso garante uma representação unívoca no painel e na sala de comando.

Dessa forma o disparo da transição *COM_ABERT* ou da transição *COM_FECHA* está condicionada a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. Tal disparo promove a mudança de estado da chave com o movimento da ficha correspondente.

4.5.3 Botoneira de Reset de Proteção

Neste dispositivo para a atuação se dá através de uma pressão sobre um embolo móvel, o qual volta à posição inicial quando terminada a interação. Pode ser utilizada para vários fins no contexto de instalações elétricas. Por exemplo, atuando no reset de proteções do sistema.

O modelo em CPN da botoneira de *reset* é apresentado a seguir:

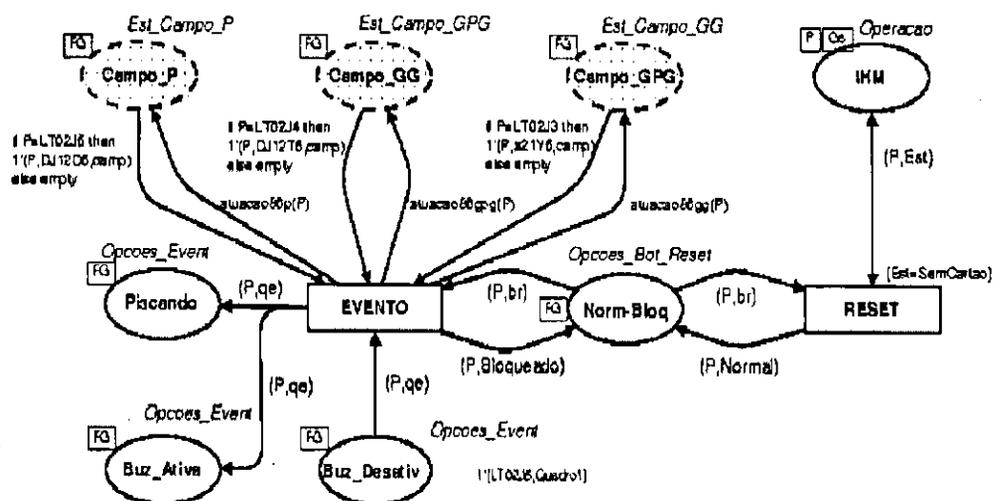


Figura 4.6: Modelo CPN da botoeira de reset de proteção

- Lugares e transições

O lugar *Norm-Bloq* contém a ficha que determina o estado da proteção associado à botoeira. Os lugares *Campo_P*, *Campo_GG*, *Campo_GPG* são lugares de fusão e contêm as fichas que determinam o estado dos dispositivos no campo associados a chaves do tipo punho, tipo Giro-Giro e tipo Giro-Pressão-Giro, respectivamente. Há ainda nesta sub-rede os lugares de fusão: *Piscando*, *Buzina_Ativa* e *Buzina_Desativ*, os quais modelam o estado de buzinas e indicadores luminosos presentes no quadro de eventos descrito mais adiante.

As transições *EVENTO* e *RESET* indicam respectivamente o acontecimento de um evento que faz a proteção atuar e o ato do operador de normaliza-la através da atuação na botoeira de *reset*.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares *Norm_Bloq* são do tipo *Opcoes_Bot_Reset*, são compostas por uma dupla (Armário, Bot_reset) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo. Dessa forma o *disparo* da transição *RESET* está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele

painel, essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla, ilustrado na rede como a variável P.

É importante notar que a presença de uma ficha no lugar *BLOQUEADO* é um indicador de bloqueio dos dispositivos aos quais a botoeira está relacionada. Desta forma, no caso da atuação de proteções, em ocasiões de sobrecorrente ou sub-tensão, por exemplo, o *reset* só pode ser feito com sucesso depois de sanado o problema que levou a sua atuação.

4.5.4 Chave do tipo Giro-Pressão-Giro

A chave do tipo Giro-Pressão-Giro (GPG) está geralmente associada a equipamentos de disjunção onde sua manipulação implica na abertura ou fechamento dos contatos de equipamentos. Temos assim a utilização desta chave na manobra de disjuntores e seccionadoras. A interação com esse dispositivo pode ser feita da seguinte forma: para comandar a abertura de equipamentos deve-se girar o embolo móvel do dispositivo, seguido de uma pressão e seguido de mais um giro no mesmo sentido; para executar o fechamento do dispositivo de campo através da chave GPG os movimentos são semelhantes só que em sentido contrário ao explicitado anteriormente.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

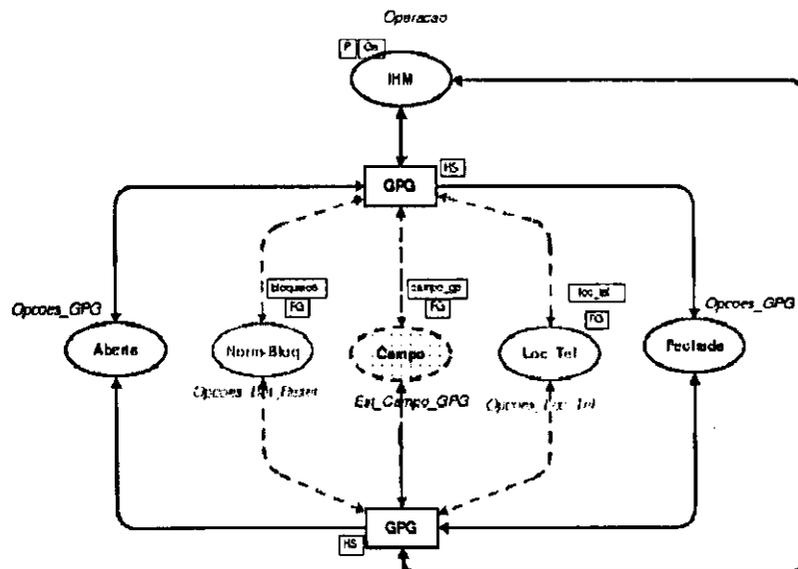


Figura 4.7: Modelo CPN da Chave GPG

- Lugares e Transições

Os lugares **Aberta** e **Fechada** representam o estado da chave no painel se a mesma está em posição de abertura ou fechamento, respectivamente. Os lugares **Norm-Bloq** e **Loc_Tel** são lugares de fusão que modelam o estado dos armários de acordo com as fichas presentes nos mesmos. O lugar **Campo** contém as fichas que exibem o estado dos dispositivos de campo manobrados na sala de comando através de chaves do tipo GPG.

Nesta rede há duas transições de substituição a primeira (situada na parte superior do modelo) modela o processo de abertura da chave e a segunda (na parte inferior) modela o processo de fechamento. As duas sub-redes são descritas mais adiante.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **Aberta** e **Fechada** são do tipo *Opcoes_GPG* e assim, são compostas por uma dupla Armário x chave na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o próprio dispositivo dentro do painel.

Efetuando-se as manobras de abertura ou fechamento de chaves, através das etapas previstas nas transições de substituição do modelo, uma ficha do tipo *Opcoes_GPG* deixa o lugar **Aberta** passando para o lugar **Fechada** e vice-versa. Para o lugar **Campo** as modificações estão condicionadas aos valores apresentados pelas fichas presentes no lugar **Loc_Tel** e no lugar **Norm-Bloq** através da função *Trav_gpg()*.

- As sub-redes apresentadas na Figura 8 e Figura 9 modelam o processo de abertura e fechamento de chaves do tipo GPG, respectivamente.

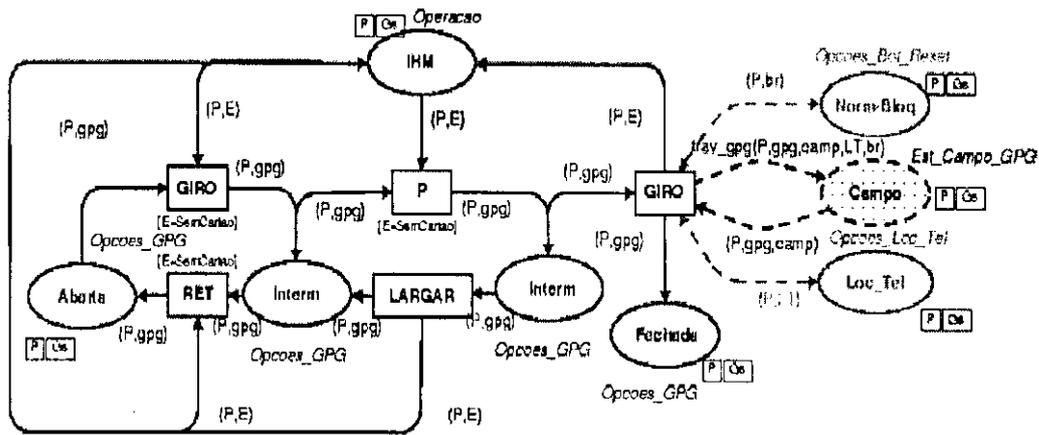


Figura 4.8: Transição de Substituição GPG – Abertura

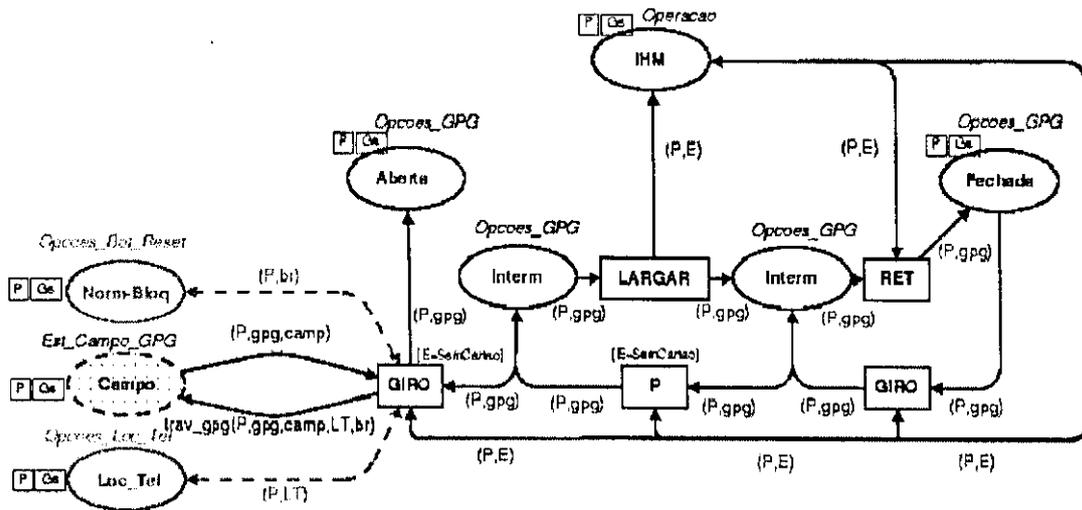


Figura 4.9: Transição de Substituição GPG – Fechamento

- Lugares e transições

Para estes modelos os lugares: **IHM**, **Aberta**, **Fechada**, **Campo**, **Loc-Tel** e **Norm-Bloq** são portas associadas aos lugares com mesmo nome na superpágina que modela a chave tipo Giro-Pressão-Giro. Temos ainda o lugar **Interm**, o qual modela posições intermediárias da referida chave.

As transições **GIRO** e **P** modelam o ato do operador manipular a chave (girando ou pressionando) a fim de atingir uma configuração pretendida. A transição **RET** modela o ato do operador, após o primeiro giro, ele retorna à posição original. A transição **LARGAR** modela o ato de abandonar a manipulação após a pressão na chave.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo temos que as fichas dos lugares Aberto, Iterm e Fechado são do tipo Opcoes_GPG e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo. Dessa forma o disparo das transições GIRO e P está condicionada a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel, essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

Neste caso, a mudança de estado do equipamento ao qual a chave está associada só se dá após a execução de todas as etapas de manipulação da chave e ainda quando não houver restrições bloqueando a atuação da chave no equipamento, a exemplo a atuação da uma proteção. Nesta situação a chave indicará uma discordância da indicação sua posição com a situação do dispositivo de campo através de uma sinalização luminosa.

4.5.5 Chave do tipo Giro-Giro

De forma similar à chave GPG a chave Giro-Giro (GG) é utilizada no comando de equipamentos de disjunção tais como disjuntores e seccionadoras, mediante a execução de um comando de dois giros seguidos, no sentido horário ou no sentido anti-horário.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

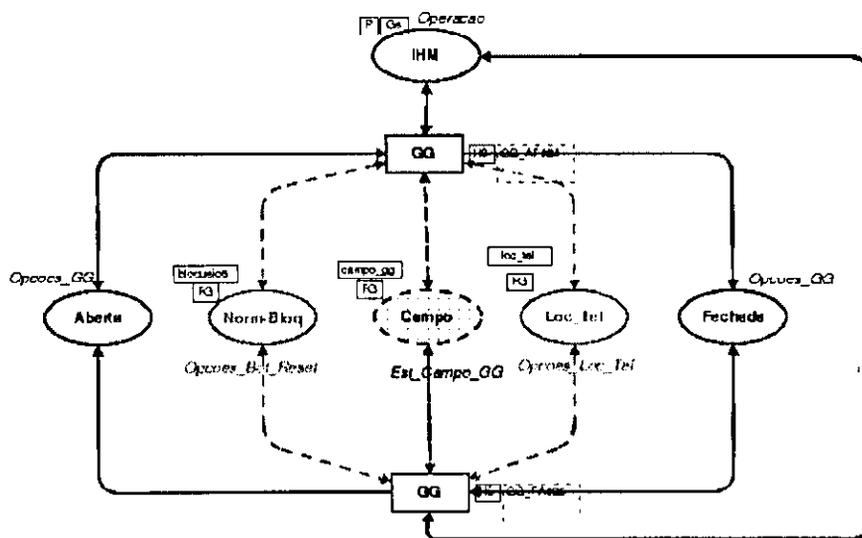


Figura 4.10: Modelo CPN da Chave do tipo Giro-Giro

- Lugares e Transições

Os lugares *Aberta* e *Fechada* representam o estado da chave no painel indicando posição de abertura ou fechamento, respectivamente. Os lugares *Norm-Bloq* e *Loc_Tel* são lugares de fusão que modelam o estado dos armários de acordo com as fichas presentes. O lugar *Campo* contém as fichas que exibem o estado dos dispositivos de campo manobrados na sala de comando através de chaves do tipo GG.

Nesta rede há duas transições de substituição, a primeira (situada na parte superior do modelo) modela o processo de abertura da chave e a segunda (na parte inferior) modela o processo de fechamento da mesma. As duas sub-redes são descritas mais adiante.

Ao efetuar as manobras de abertura ou fechamento de chaves, através das etapas previstas nas transições de substituição do modelo, uma ficha do tipo *Opcoes_GPG* deixa o lugar *Aberta* passando para o lugar *Fechada* e vice-versa. Para o lugar *Campo* as modificações estão condicionadas aos valores apresentados pelas fichas presentes no lugar *Loc_Tel* e no lugar *Norm-Bloq* através da função *Trav_gpg()*.

As sub-redes apresentadas na Figura 12 e Figura 11 modelam o processo de abertura e de fechamento de chaves do tipo GG, respectivamente.

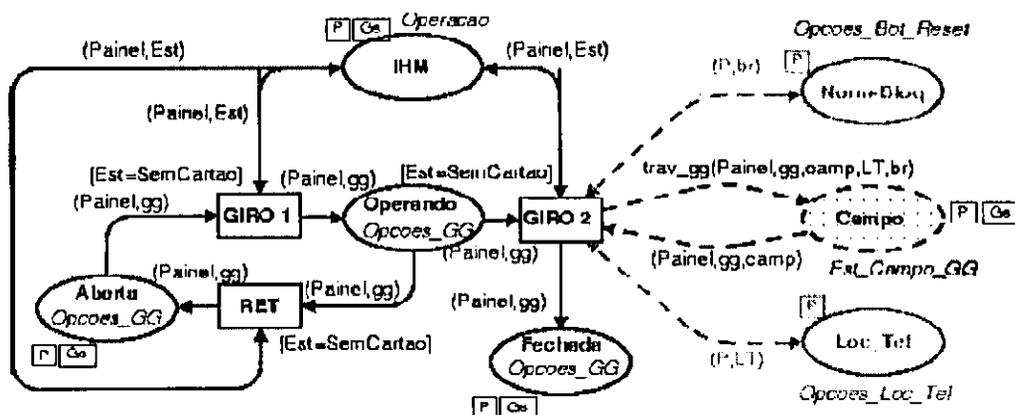


Figura 4.11: Transição de substituição GG - Fechamento

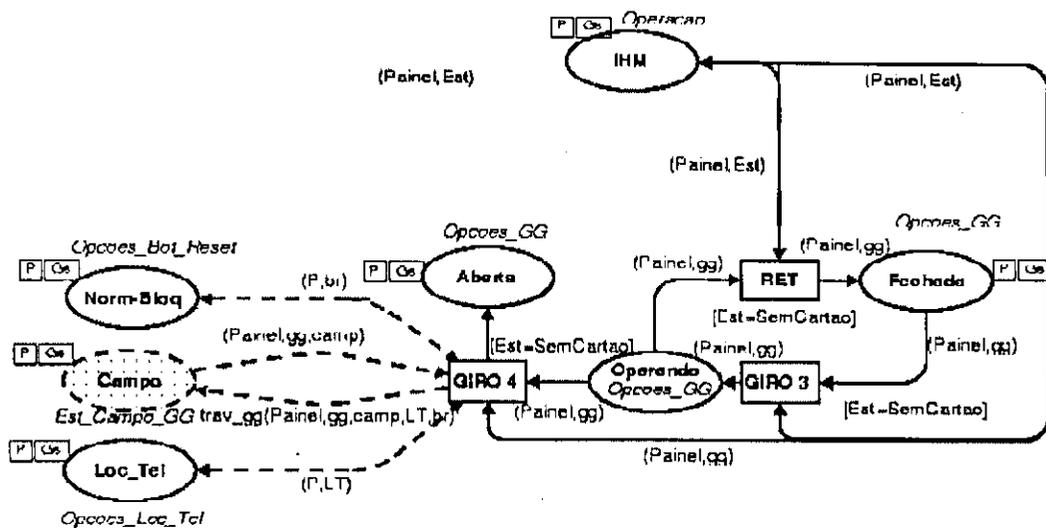


Figura 4.12: Transição de substituição GG – Abertura

- Lugares e transições

Os lugares **Aberta** e **Fechada** representam o estado da chave no painel indicando se a mesma está em posição de abertura ou fechamento, respectivamente. O lugar **Operando** indica uma posição intermediária da chave onde o comando não foi completado com o segundo giro.

As transições **GIRO1**, **GIRO2**, **GIRO3** e **GIRO4** modelam o ato do operador manipular a chave girando-a a fim de atingir a configuração desejada. Enquanto que a transição de **RET** modela o ato do operador retornar a chave a sua posição inicial apenas após o primeiro giro.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **Aberta**, **Operando** e **Fechada** são do tipo **Opcoes_GG** e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo, isso garante uma representação unívoca. Dessa forma o disparo das transições **GIRO**, **P** e **RET** está condicionada a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel, essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

Similarmente à chave do tipo GPG, a mudança de estado do equipamento no campo ao qual a chave está associada só será possível após a execução de todas as etapas de manipulação da chave modelada pela transição de substituição GG e quando não houver restrições bloqueando a sua atuação. Isso é implementado através da função *trav_gg()*, onde são observados os estados da chave Loc/Tel e a situação da botoeira de *reset* de proteção. Na situação de travamento, a chave indicará uma discordância de sua posição com o estado do dispositivo no campo através de uma sinalização luminosa.

4.5.6 Chave de Seleção de Tensão de três posições

São dispositivos cuja manipulação se dá através de movimentos giratórios excursionado um indicador entre três posições, onde cada posição indica qual tensão, *Vab*, *Vbc* ou *Vca*, está associada ao mostrador.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

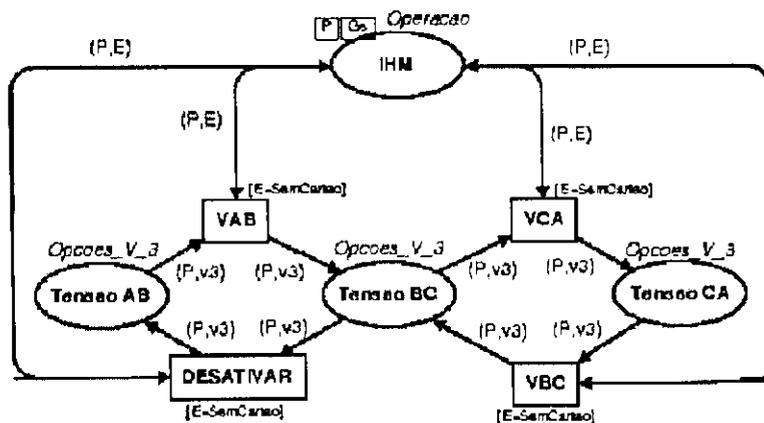


Figura 4.13: Modelo CPN da chave de seleção de tensão de 3 posições

- Lugares e transições

Os lugares **Tensão AB**, **Tensão BC** e **Tensão CA** representam os estados aos quais os mostradores de tensão podem estar associados. O lugar **Tensão ab** indica que o mostrador está associado à tensão entre as fases 'a' e 'b' do painel associado, o lugar **Tensão BC** indica a associação do mostrador de tensão com a tensão entre as fases 'b' e

'c', e o lugar **Tensão CA** indica a associação do mostrador de tensão com a tensão entre as fases 'c' e 'a'.

As transições VAB, VBC, VCA, e DESATIVAR modelam respectivamente o ato do operador manipular a chave (girando-a) a fim de associar o mostrador às tensões entre as fases ab, bc ou ca.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **TensãoAB**, **Tensão BC** e **Tensão CA** são do tipo *Opcoes_V_3* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

Dessa forma o disparo das transições VAB, VBC, VCA, e DESATIVAR está condicionado a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel, essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

Nesta rede, o disparo da transição VAB leva a ficha presente no lugar **TensãoAB** para o lugar **Tensão BC** indicando que após a manipulação do dispositivo a tensão entre as fases 'b' e 'c' serão associadas ao mostrador de tensão. Desta mesma forma ocorrem as transições VBC, VCA, e DESATIVAR que associam o mostrador as tensões bc, ca e ab, respectivamente.'

4.5.7 Chave de Seleção de Tensão de quatro posições

Similar a Chave de Seleção de Tensão de três posições esse tipo de chave é utilizado também para a seleção de tensão. A diferença prática entre as duas consiste no fato de que na chave de quatro posições existe uma posição que onde o mostrador não está ligado a nenhum sensor de tensão estando o mostrador desativado.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

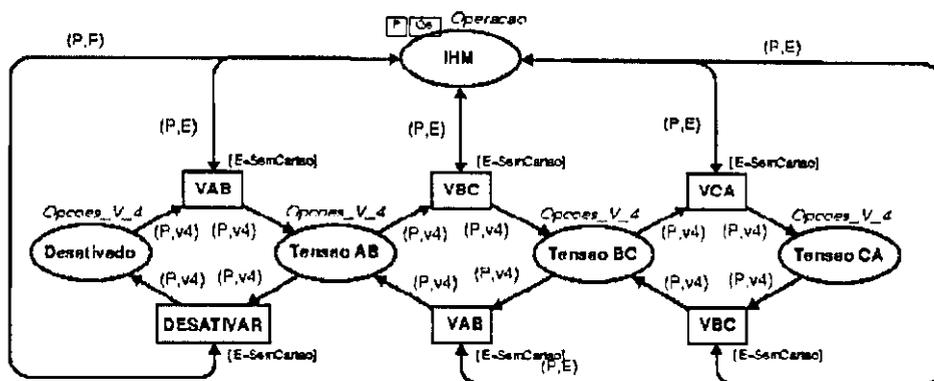


Figura 4.14: Modelo CPN da chave de Seleção de tensão de quatro posições

- Lugares e transições

Os lugares **Desativado**, **Tensão AB**, **Tensão BC** e **Tensão CA** representam os estados aos quais os mostradores de tensão podem estar associados. O lugar **Tensão AB** indica que o mostrador está associado à tensão entre as fases 'a' e 'b' referentes ao painel, o lugar **Tensão BC** indica a associação do mostrador de tensão com a tensão entre as fases 'b' e 'c', e o lugar **Tensão CA** indica a associação do mostrador de tensão com a tensão entre as fases 'c' e 'a'. Finalmente o lugar **Desativado** indica a desconexão do painel das tensões do sistema.

As transições VAB, VBC, VCA, e DESATIVAR modelam respectivamente o ato do operador manipular a chave girando-a a fim de associar o mostrador às tensões entre as fases ab, bc, ca ou desconectar o mostrador de qualquer tensão do sistema.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo temos que as fichas presentes nos lugares **Tensão AB**, **Tensão BC**, **Tensão CA** e **Desativado** são do tipo **Opcoes_V_4**, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo. Dessa forma o disparo das transições VAB, VBC, VCA, e DESATIVAR está condicionado a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

Nesta rede, o disparo da transição VAB leva a ficha presente no lugar **Tensão AB** para o lugar **Tensão BC** indicando que, após a manipulação do dispositivo, a tensão entre as linhas bc será associada ao mostrador de tensão. Desta mesma forma para as transições VBC, VCA, e DESATIVAR associam o mostrador às tensões bc, ca, ab e a desconexão, respectivamente.

4.5.8 Quadro de Eventos

Utilizado para a observação de eventos que ocorrem no sistema, é composto por um conjunto de chaves de operação e de um quadro luminoso com vários sinalizadores luminosos, relacionados aos estados dos equipamentos aos quais estão associados.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

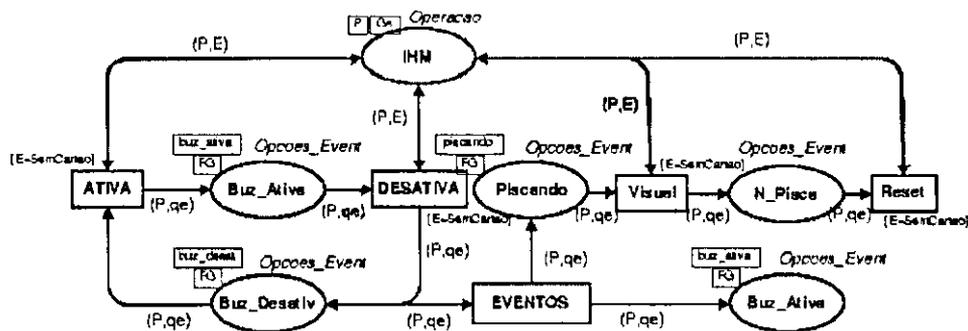


Figura 4.15: Modelo CPN do Quadro de Eventos

- Lugares e transições

Os lugares **Buz_Desativa** e **Buz_Ativa** modelam os estados da buzina associada ao quadro de eventos. Os lugares **Piscando** e **N_Pisca** modelam os estados das lâmpadas do mostrador para os casos de eventos onde a lâmpada fica piscando e eventos onde a lâmpada é mantida constantemente acesa até que as ações cabíveis sejam executadas.

As transições **ATIVA** e **DESATIVA**, estão associadas à ativação e desativação da buzina, que se dá através da manipulação de chaves destinadas para esse fim. Da mesma forma as transições **Visual** e **Reset**, estão associadas à ação do operador cessar o piscar de lâmpadas do quadro e desligar todas as lâmpadas acesas, respectivamente. Finalmente, a transição **EVENTOS** modela a geração de eventos, que ativam a buzina

4.5.9 Chave local / telecomando

A chave **local/telecomando** é encontrada na grande maioria dos armários da subestação de CGD. Sua posição indica o tipo de comando a que os equipamentos são submetidos. Quando a chave encontra-se na posição *Local* o equipamento pode ser manobrado através da manipulação dos dispositivos presentes no próprio painel. Na posição *telecomando* as manobras podem ser feitas de forma remota.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

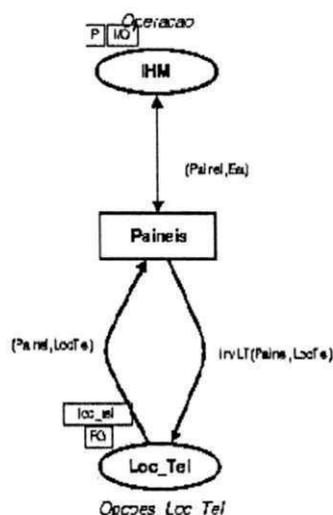


Figura 4.16: Modelo CPN da chave Local/Telecomando

- Lugares e transições

O lugar **LOC_TEL** armazena a ficha que modela a chave Local/Telecomando.

A transição **Paineis**, modela o ato do operado mudar o estado da chave Local/Telecomando.

- As fichas e o funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas do lugar **LOC_TEL** são do tipo *Opcoes_Loc_Tel* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

Dessa forma o disparo da transição presente nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. O disparo da transição Paineis inverte o estado do segundo elemento da dupla, mudando o seu valor de Local para Telecomando ou vice-versa. Para o caso no qual a chave Local/Telecomando não existe, o valor assumido pelo segundo elemento da dupla é o valor Nulo.

4.5.10 Chave Seletora de Temperatura de quatro posições

Esta chave é utilizada para associar o mostrador de temperatura a determinadas partes do sistema de controle.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

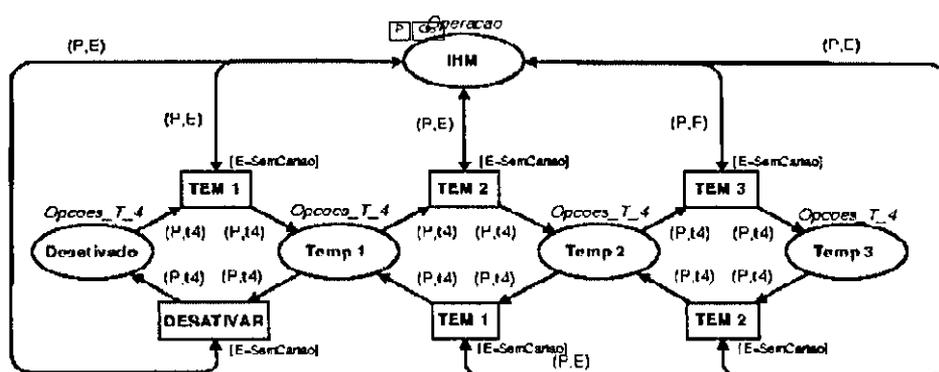


Figura 4.17: Modelo CPN da chave Seletora de Temperatura de quatro posições

- Lugares e transições

Os lugares **Desativado**, **Temp1**, **Temp2** e **Temp3** modelam os estados da chave de seleção de temperatura, associada a cada armário.

A transição **DESATIVAR** modela a ação de dissociar o mostrador dos medidores de temperatura. As transições **TEM1**, **TEM2**, e **TEM3** modelam a manipulação da chave no sentido de alternar a origem da leitura do valor da temperatura.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **Desativado**, **Temp1**, **Temp2** e **Temp3** são do tipo *Opcoes_T_4* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

Dessa forma o disparo das transições presentes nesta sub-rede está condicionado a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. O disparo da transição TEM1 retira uma ficha do lugar **Desativado** e a insere no lugar **Temp1**. Em contraposição, a transição DESATIVAR retira uma ficha do lugar **Temp1** e a insere no lugar **Desativado**. De forma similar, as transições TEM2 coloca uma ficha no lugar **Temp2**, e a transição TEM3 coloca uma ficha no lugar **Temp3**.

A presença da ficha em qualquer dos lugares desta sub-rede informa o local de onde estão sendo feitas as medições, com exceção do lugar **Desativado** que dissocia o medidor desativando-o.

4.5.11 Chave de Religamento Automático

Este dispositivo é utilizado para ativar ou desativar o religamento automático da linha ao sistema. A partir da existência de condições tipo de falta e da localização da linha de transmissão.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

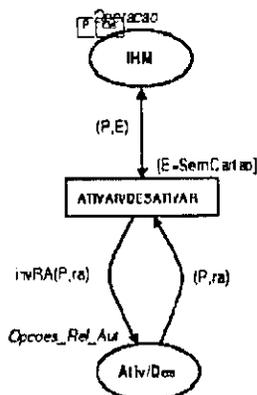


Figura 4.18: Modelo CPN da chave de religamento automático

- Lugares e transições

O lugar **Ativ/Des** guarda a ficha que modela os estados da chave de religamento automático associada a cada armário. Estas chaves possuem dois estados: no primeiro o religamento está ativo e no outro o religamento está inativo.

No modelo há também a transição **ATIVAR/DESATIVAR** que modela a ação de desligar ou de ativar o religamento automático.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas do lugar **Ativ/Des** são do tipo *Opcoes_Rel_Auto* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

O disparo da transição presente nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. O disparo da transição **ATIVAR/DESATIVAR** retira e a insere uma ficha no lugar **Ativ/Des**, modelando a ação do operador de ligar ou desligar o religamento automático. A mudança no de estado da ficha é representada pela a função *invRA()* presente na sub-rede, seu funcionamento está descrito na inscrição do nó de declarações.

4.5.12 Chave de ajuste de tensão com Referência Central

Similar a chave do tipo punho, a chave de ajuste de tensão com referência central possui uma posição de repouso e duas outras posições, as quais podem ser alcançadas através de uma manipulação na chave. No sentido horário ou no sentido anti-horário. Esta chave é utilizada para aumento e diminuição do tap de transformadores.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

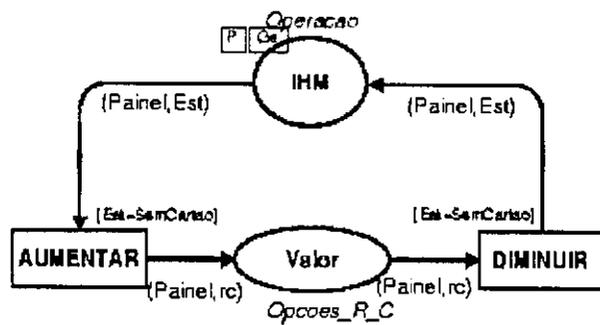


Figura 4.19: Modelo CPN da chave de ajuste de tensão com referência central

- Lugares e transições

O lugar **Valor** modela o valor atingido pela tensão.

As transições **AUMENTAR** e **DIMINUIR** modelam o ato de operar a chave a fim de aumentar ou diminuir o valor tap dos transformadores.

- As fichas e o funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas do lugar **Valor** são do tipo *Opcoes_R_C* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel no qual a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo. Isso garante uma representação unívoca.

O disparo das transições presentes nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave no painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. O disparo da transição **AUMENTAR** insere uma ficha no lugar **Valor**, em contraposição, a transição **DIMINUIR** retira uma ficha do lugar **Valor**, modelando assim o aumento e a diminuição do valor do tap de transformadores.

4.5.13 Chave Seletora de miliamperímetro de quatro posições

A chave seletora de miliamperímetro de quatro posições é utilizada para associar o mostrador a determinadas fases do sistema. Há também uma posição destinada à dissociação do miliamperímetro do sistema.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

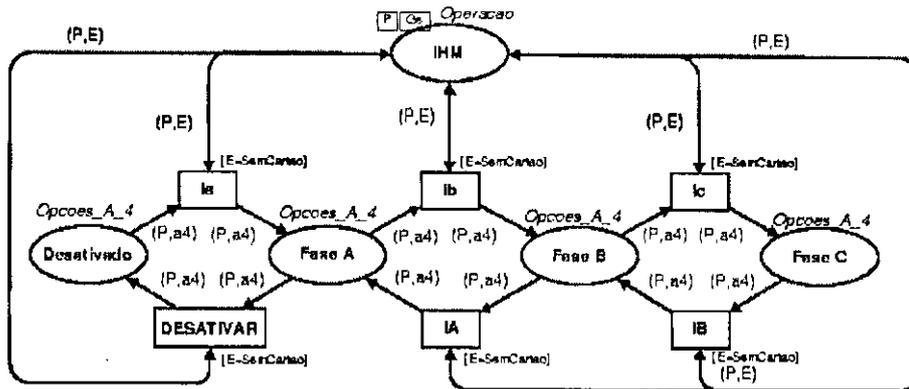


Figura 4.20: Modelo CPN da chave de ajuste de miliamperímetro

- Lugares e transições

Os lugares **Desativado**, **Fase A**, **Fase B** e **Fase C** representam os estados aos quais os mostradores de miliamperímetro podem estar associados. O lugar **Fase A** indica que o mostrador está associado a fase 'a' do circuito associado, o lugar **Fase B** indica a associação do mostrador de miliamperímetro com a fase 'b', o lugar **Fase C** indica a associação do mostrador com a fases 'c' e o lugar **Desativado** indica a desconexão do mostrador de qualquer fase do sistema.

As transições Ia, Ib, Ic, e DESATIVAR modelam respectivamente a ação de manipular a chave girando-a a fim de associar o mostrador as fases a, b, c ou a ação de desconectar o mostrador de qualquer fase do sistema, respectivamente.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo temos que as fichas dos lugares são do tipo *Opcoes_A_4* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo. Dessa forma o disparo das transições Ia, Ib, Ic, e DESATIVAR está condicionado a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

Nesta rede, o disparo da transição Ia consome a ficha presente no lugar **Desativado** e insere uma ficha no lugar **Fase A** indicando que após a manipulação do dispositivo a corrente da fase a será associada ao miliamperímetro. O mesmo ocorre para as transições Ib, Ic, e DESATIVAR que associam o mostrador as fases 'b', 'c' e a desconexão do miliamperímetro, respectivamente.

4.5.14 Chave seletora de miliamperímetro de duas posições

A chave seletora de miliamperímetro é uma chave de duas posições é utilizada para ativação e desativação do dispositivo, quando ele está associado a uma fase ou equipamento do sistema.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

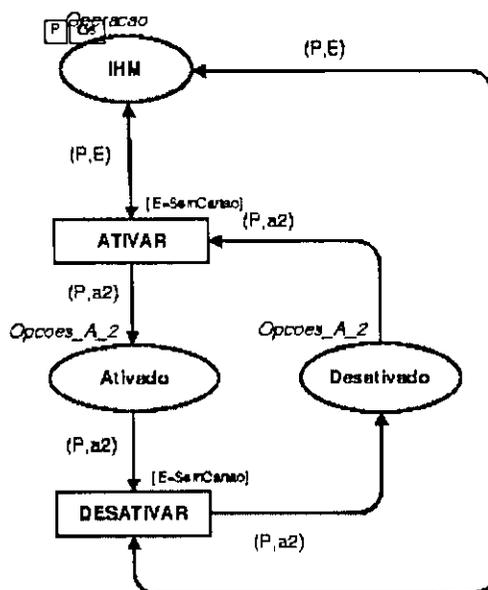


Figura 4.21: Modelo CPN da chave seletora de miliamperímetro de duas posições

- Lugares e transições

Os lugares **Ativado** e **Desativado** modelam os estados da chave seletora associada a cada armário. Esta chave possui dois estados, o primeiro no qual o dispositivo está ativo e outro no qual o dispositivo está inativo.

No modelo há também a transição DESATIVAR que modela a ação de desacoplar o mostrador, e a transição ATIVAR que modela a manipulação da chave no sentido de acoplar o mostrador, o qual exibirá uma leitura da associada.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **Ativado** e **Desativado** são do tipo *Opcoes_A_2* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

O disparo das transições presentes nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla. O disparo da transição ATIVAR retira uma ficha do lugar **Desativado** e a insere no lugar **Ativado**, em contraposição, a transição DESATIVAR que retira uma ficha do lugar **Ativado** e a insere no lugar **Desativado**.

4.5.15 Botões de comando

Conjunto de botões no qual o comando é efetivado após a manipulação de duas delas uma de comando e outra de confirmação. Neste caso a botoeira de confirmação é única para todas as botoeiras de comando.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

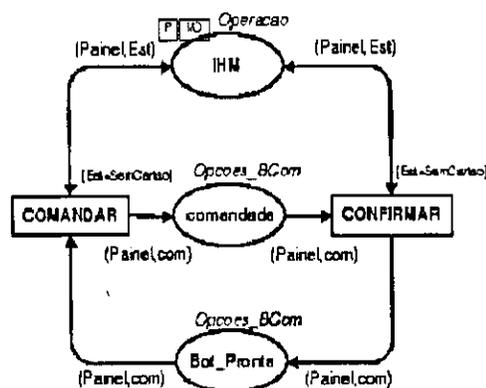


Figura 4.22: Modelo CPN da botoeira de comando

- Lugares e Transições

Os lugares **Comandada** e **Bot_Pronta** representam etapas do comando de equipamentos associados. As transições COMANDAR e CONFIRMAR representam a ação do operador de manipular as botoeiras para comandar a abertura e o fechamento, respectivamente, dos dispositivos associados.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

Para este modelo as fichas dos lugares **Comandada** e **Bot_Pronta** são do tipo *Opcoes_Bcom*, assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

O disparo da transição COMANDAR ou da transição CONFIRMAR está condicionado a correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

As fichas do lugar **Bot_Pronta** indicam quais botoeiras estão prontas para o comando e assim, podem ser manipuladas. As fichas do lugar **Comandada** indicam as botoeiras que foram manipuladas e cujo comando ainda não foi confirmado.

4.5.16 Chave de Transferência de duas posições

A chave de transferência é um dispositivo utilizado para comutar o circuito de proteção de um disjuntor para outro.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

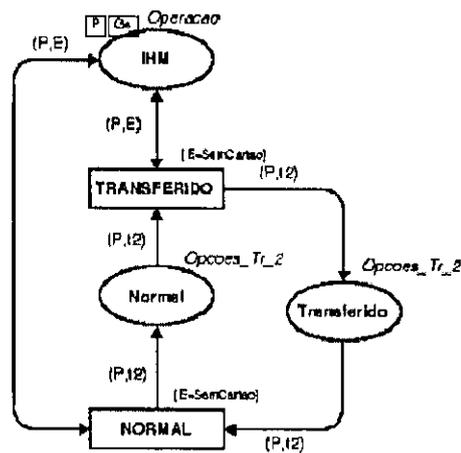


Figura 4.23: Modelo CPN da chave de Transferência de proteção de duas posições

- Lugares e transições

Os lugares **Normal** e **Transferido** modelam os estados da chave de transferência associada a cada armário. Estas chaves possuem dois estados, o primeiro no qual o disjuntor opera com sua proteção e outro no qual a proteção é comutada para o disjuntor de transferência.

No modelo há também a transição **NORMAL** que modela a ação de comutar a proteção do disjuntor de transferência para o disjuntor principal e a transição **TRANSFERIDO** que modela a manipulação da chave para comutar a proteção do disjuntor principal para o disjuntor de transferência.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

As fichas dos lugares **Normal** e **Transferido** são do tipo *Opcoes_Tr_2* e são compostas por uma dupla (painel, equipamento) na qual o primeiro elemento identifica o painel no qual a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

O disparo das transições presentes nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

O disparo da transição *NORMAL* retira uma ficha do lugar **Transferido** e a insere no lugar **Normal**, em contraposição, a transição *TRANSFERIDO* retira uma ficha do lugar **Normal** e a insere no lugar **Transferido**.

4.5.17 Chave de Transferência de três posições

A chave de transferência de três posições é um dispositivo utilizado para comutar o circuito de proteção de um disjuntor para outro. A diferença em relação à chave de transferência de duas posições consiste de uma posição intermediária na qual a proteção atua nos dois disjuntores simultaneamente.

O modelo em CPN é apresentado a seguir:

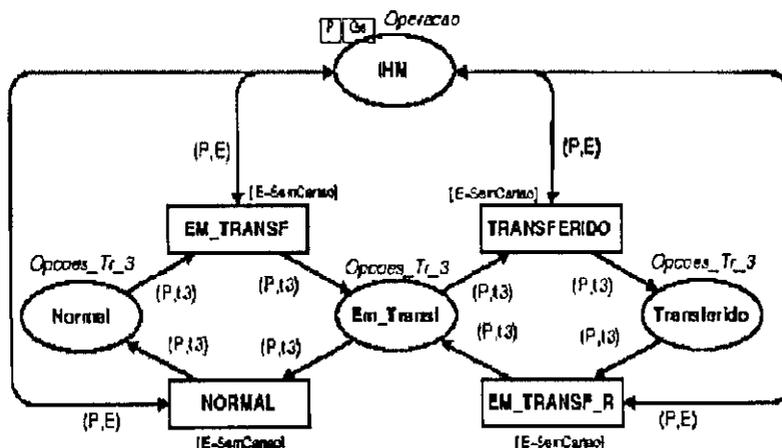


Figura 4.24: Modelo CPN da chave de Transferência de proteção de três posições

- Lugares e transições

Os lugares **Normal**, **Em_Transf** e **Transferido** modelam os estados da chave de transferência associada a cada armário. Este tipo de chave possui três estados: no primeiro o disjuntor opera com sua proteção, no outro a proteção atua nos dois disjuntores (o principal e de transferência) e no último onde a proteção é associada ao disjuntor de transferência.

A transição *NORMAL* que modela a ação de reacoplar a proteção exclusivamente ao disjuntor principal. A transição *EM_TRANSF* modela a proteção simultânea do disjuntor principal e de transferência. A transição *TRANSFERIDO* modela a

manipulação da chave para transferir a proteção exclusivamente para o disjuntor de transferência. A transição *EM_TRANSF_R* que modela a ação sobre a chave para transferência da proteção para os dois disjuntores: principal e de transferência, porém neste caso, a proteção já deveria estar associada ao disjuntor de transferência.

- Segue a descrição das fichas e do funcionamento do modelo

As fichas dos lugares **Normal**, **Em_Transf** e **Transferido** são do tipo *Opcoes_Tr_3* e assim, são compostas por uma dupla (painel, equipamento) no qual o primeiro elemento identifica o painel onde a chave se encontra e o segundo elemento identifica o dispositivo.

O disparo das transições presentes nesta sub-rede está condicionado à correspondência entre a ficha que representa o painel ativo e a ficha que representa a presença da chave naquele painel. Essa correspondência se dá através do primeiro elemento de cada dupla.

O disparo da transição **NORMAL** retira uma ficha do lugar **Em_Transf** e a insere no lugar **Normal**. Em contraposição, a transição **EM_TRANSF** retira uma ficha do lugar **Normal** e a insere no lugar **Em_Transf**.

A transição **TRANSFERIDO** quando disparada, retira uma ficha do lugar **Em_Transf** e a insere no lugar **Transferido**, diferentemente da transição **EM_TRANSF_R** que retira uma ficha do lugar **Transferido** e a insere no lugar **Em_Transf**.

Os dispositivos modelados são oriundos de uma revisão bibliográfica e de visitas às instalações da CHESF. Não houve o objetivo de abranger toda a variedade de componentes existentes no mercado, mas de representar aqueles que são tipicamente encontrados nas instalações visitadas.

Capítulo 5

Contexto de Aplicação: Modelagem da subestação CGD

Neste capítulo serão abordados aspectos relacionados ao fornecimento de energia elétrica para a cidade de Campina Grande, a descrição da subestação de CGD e seu papel para o sistema CHESF, e particularmente a aplicação da biblioteca de modelos dos objetos de interface construída em HCPN ao contexto de uma subestação elétrica. O modelo foi construído e analisado utilizando a ferramenta computacional Design/CPN. Serão exibidas as partes constituintes do modelo da SE CGD e discutidos os resultados de sua aplicação a este contexto, com base nos objetivos deste trabalho.

5.1 Energia Elétrica em Campina Grande e a subestação de CGD

A cidade de Campina Grande foi iluminada com energia de origem elétrica a partir de 1880. Porém, oficialmente a luz elétrica chegou em Campina Grande em 29 de setembro de 1920, com o sistema implantado pela empresa J. Brito & Cia, que consistia de um motor de 100CV de fabricação alemã.

Durante décadas o sistema foi bastante restrito a poucas ruas e com muita descontinuidade no fornecimento. Só em 1947 houve sensíveis melhorias, quando o então prefeito tomou algumas medidas como a venda de alguns motores para a recuperação dos mais modernos. O Departamento Municipal de Serviços Elétricos (DMSE) foi criado em 1951. A partir de então qualquer projeto de instalação ou ampliação de rede elétrica não podia ser realizado senão com a aprovação do DMSE. Assim, a década de cinquenta se iniciou com o fornecimento de energia elétrica praticamente regulamentada (pmcg, 2003).

Com a fundação da Companhia Hidrelétrica de São Francisco (CHESF) em 1955 o município experimentou novamente sensível melhora no fornecimento de energia. Logo a cidade começou a se preparar pra recebê-la, desapropriando 10.000 m² de área e doando-a a CHESF. Com isso em 1956 a CHESF já estava em pleno funcionamento na cidade fornecendo energia oriunda da usina geradora de Paulo Alfonso (hoje Paulo

Afonso I, II, III e IV). Os anos seguintes foram marcados pela ampliação da rede de energia, sendo beneficiados os municípios: de São José da Mata, Jenipapo, Lagoa Seca, Boa Vista, Marinho, Floriano e Fagundes.

Em 1964 o DMSE passou a se chamar Departamento Autônomo dos Serviços Elétricos de Campina Grande (DASEC). Foram adotados padrões para projetos de subestações industriais, redes de distribuição e instalações elétricas, baseadas nos padrões estabelecidos pela CHESF (pmog, 2003).

Hoje, a CHESF possui três grandes instalações na cidade de Campina Grande: Subestação de Campina Grande II (SE CGD), subestação Campina Grande I (SE CGU) e subestação Bela Vista (SE BVT).

5.2 Descrição da subestação de CGD

O sistema da CHESF é dividido em sub-sistemas: Sub-sistema Norte, Sub-sistema Sul, Sub-sistema Leste, Sub-sistema Oeste e sub-sistema Centro. O Sub-sistema Leste é composto de nove subestações, com três delas instaladas em Campina Grande, as quais são operadas por uma equipe de 12 operadores.

A SE CGD é ponto de chegada de cinco linhas de transmissão, todas em 230kV, e de onde saem um total de 16 linhas nas tensões de 230/138/13.8/69kV. Com uma carga total máxima de mais de 480MVA, alimenta algumas cidades do setor leste nordestino. Tem como principais consumidores as cidades de: Natal, Boqueirão, São João do Cariri, entre outras e compreende subestações como a subestação de Bela Vista (BVT) e Campina Grande I (CGU).

A subestação de Campina Grande II é um sistema composto por 5 linhas de entradas, como ilustra a Figura 5.1, todas em 230kV, nomeadas como segue: 04C1 e 04C2 (oriundas de Tacaimbó), 04C3 e 04C4 (oriunda de Pau Ferro) e 04L3 (oriunda de Goianinha). Para a LT 04C4 e 04L3 o fluxo de potência pode se dá nos dois sentidos, podendo assim fornecer ou consumir energia de Campina Grande II. Sendo montado um sexto circuito oriundo de Xingó para Angelim, a qual será interliga, em 230kV, na SE Campina Grande II.

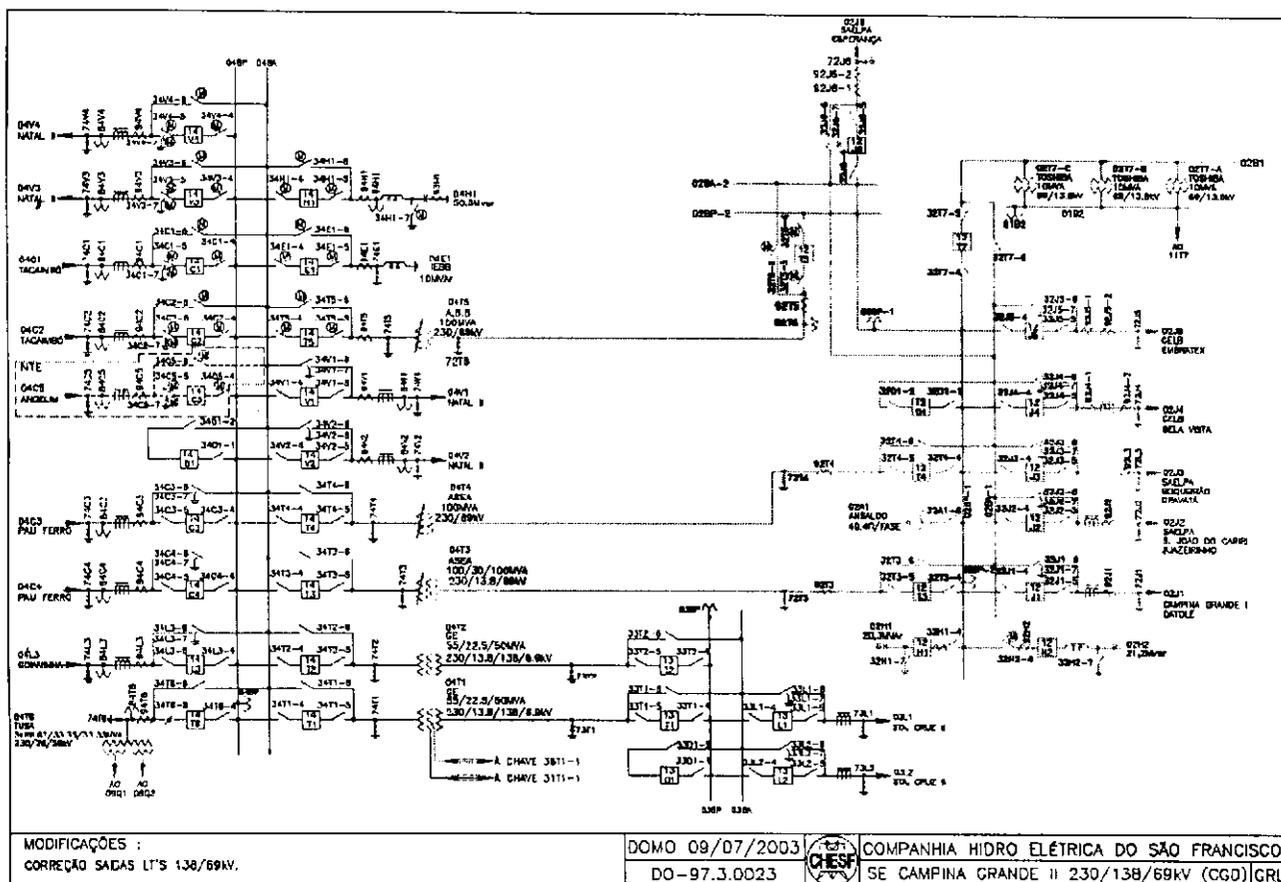


Figura 5.1: Diagrama unifilar de CGD

Encontram-se também em Campina Grande II 16 linhas de transmissão de saída, as quais alimentam:

- O sistema de Natal, formado por 4 LT's de 230kV (04V1, 04V2, 04V3, 04V4) sendo duas linhas com cabo simples e duas com cabo duplo;
- Um barramento de 138kV que alimenta Santa Cruz (2 LT's de 138kV);
- Um barramento em 69kV que supre o brejo paraibano, com 5 linhas, 02J1, 02J2, 02J3, 02J4 e 02J5, alimentando respectivamente a subestação de Campina Grande I, a cidade de São João do Cariri, Boqueirão, a subestação de Bela Vista e uma linha que vai para a concessionária local CELB, a qual repassa energia para a empresa Embratex e ainda a LT 02J6 alimentando a cidade de Esperança;

- 4 LT's de 13,8kV, 01Y1 que alimenta a cidade de Pocinhos, 01Y2 alimenta parte do distrito industrial e o bairro do Velame na cidade de Campina Grande, servindo como uma fonte para o serviço auxiliar da CGD, 01Y3 alimenta Queimadas, 01Y4 que também alimenta parte do distrito Industrial.

5.3 Apresentação do Modelo de uma SE

Em ambientes industriais a interação com o sistema controlado ou supervisionado pode ser feita através da utilização de terminais de computador ou através da manipulação direta dos equipamentos. No primeiro caso, de forma geral, utiliza-se *softwares* supervisórios, por exemplo, os softwares do tipo SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*), já no segundo caso a interação se dá por meio da manipulação direta de dispositivos físicos como botões e chaves.

O projeto da interface com o usuário de um sistema deve seguir metodologias que conduzam o projetista para o desenvolvimento de sistemas seguros e livres de travamentos, ou seja, que atendam a um conjunto de critérios ou propriedades ergonômicas. Isto é particularmente importante no caso de sistemas cuja operação é crítica, tais como as subestações elétricas.

Neste sentido a composição de um modelo para modelagem de IHMs voltadas para subestações proporciona agilidade na etapa de modelagem, desde que a maioria dos componentes tipicamente encontrados nesses ambientes tenham sido previamente modelados e armazenados em um repositório⁴ (ou biblioteca), como aqueles apresentados no capítulo 4. Este repositório pode ser atualizado e expandido partir da modelagem de novos componentes.

O modelo que foi implementado se fundamenta naquele apresentado em Nascimento et al (2003) o qual propõe uma plataforma para a composição de modelos que represente o aspecto de interação com equipamentos no contexto de subestações elétricas. Esta pode ser parametrizada para modelar aspectos de interfaces de *softwares* ou de *hardware* do sistema.

⁴ Neste trabalho consideramos repositório o diretório onde os modelos componentes previamente modelados estão armazenados.

Na modelagem de aspectos de IHMs de sistemas de *software* supervísórios, a navegação entre telas (Scaico, 2002) pode ser classificada como sendo de dois tipos: uma em que a mudança de janela ativa implica no fechamento da janela anterior e outra em que não há fechamento da janela inicialmente aberta, havendo assim, uma superposição de janelas de forma seqüencial.

No caso da IHM construída a partir de sistemas físicos, tais como botociras, chaves, alarmes, etc., como se apresenta na subestação de CGD, a situação é diferente, pois há apenas um tipo de navegação. Assim, perde-se a noção de superposição de janelas, uma vez que a janela ativa corresponde ao painel no qual o operador está pronto para manipular.

Do ponto de vista das funcionalidades foram observadas similaridades entre os dispositivos encontrados em *softwares* e os dispositivos físicos encontrados nos painéis. Em ambos os casos os dispositivos tem estados que podem ser constatados de forma visual. A diferença básica para os dois casos consiste na forma de interação. No caso da modelagem do software a interação se dá através de dispositivos de entrada e saída associados a um terminal de computador, enquanto que para o sistema dito “manual” a interação se dá através da manipulação direta das chaves no painel de operação.

Para o modelo a diferença entre a representação de uma interface de *software* e uma interface de um painel se dá basicamente na rede associada à navegação, uma vez que para o caso de *software* podemos ter várias janelas abertas e eventualmente na inserção de passos de confirmação antes da efetivar a ação no sistema. Ao contrário da modelagem de painéis quando, o painel ativo é aquele em que o operador pode manipular.

A abordagem utilizada:

Este trabalho se apóia na hipótese de construir melhores IHMs a partir da sua modelagem em redes de Petri. Neste sentido é proposta uma plataforma de modelagem montada em HCPN com uma biblioteca de dispositivos, os quais devem servir de ponto de partida para modelagem.

A plataforma consiste em um modelo em CPN no qual se encontram modelados aspectos de navegação e de funcionalidades de interfaces. É evidente que para a modelagem de uma nova interface se faz necessário um trabalho de adaptação. No que se refere a navegação, essa adaptação pode ser feita inserindo-se fichas representando as janelas (interface de *softwares*). No que se refere à funcionalidades, a adaptação pode se dá através da modelagem de novos dispositivos de interação ou da utilização de dispositivos presentes na biblioteca de dispositivos.

Como descrito por Silva (2002) as etapas para inclusão de componentes no modelo são:

- Abrir o arquivo do modelo
- Criar lugares, transições e arcos
- Definir as portas
- Definir as transições de substituição
- Associar os soquetes às portas
- Adequar as cores das portas dos soquetes
- Inserir as declarações do modelo no nó global de declarações

5.3.1 Descrição do Modelo

O modelo é sub-dividido em três partes como ilustrado na Figura 5.2, as mesmas são descritas como segue:

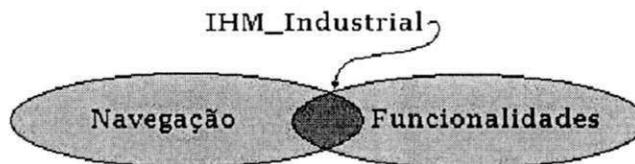


Figura 5.2: Diagrama simplificado do modelo

Essa estrutura provê à solução uma arquitetura modular de forma que a navegação independe dos dispositivos de interação encontrados em cada estado da navegação.

Navegação

Implementa a parte de navegação entre telas para o caso de um sistema computacional, ou entre painéis para o caso de sistema operado sobre uma interface física.

IHM_Industrial

Implementa a parte intermediária a qual se faz a ligação entre o sistema de navegação e as funcionalidades.

Funcionalidades

Contém todas as funcionalidades do sistema, as quais são habilitadas de acordo com a tela ou o painel ativo no sistema.

5.4 Aplicação do Modelo na Representação da Subestação CGD

A subestação utilizada como contexto de aplicação foi a SE de Campina Grande II. Atualmente encontra-se em implementação o sistema supervisório SAGE, mas a IHM modelada neste trabalho foi aquela que ocorre sobre os painéis.

Na Figura 5.3, podemos verificar a presença de todas as páginas que compõem o modelo, como segue:

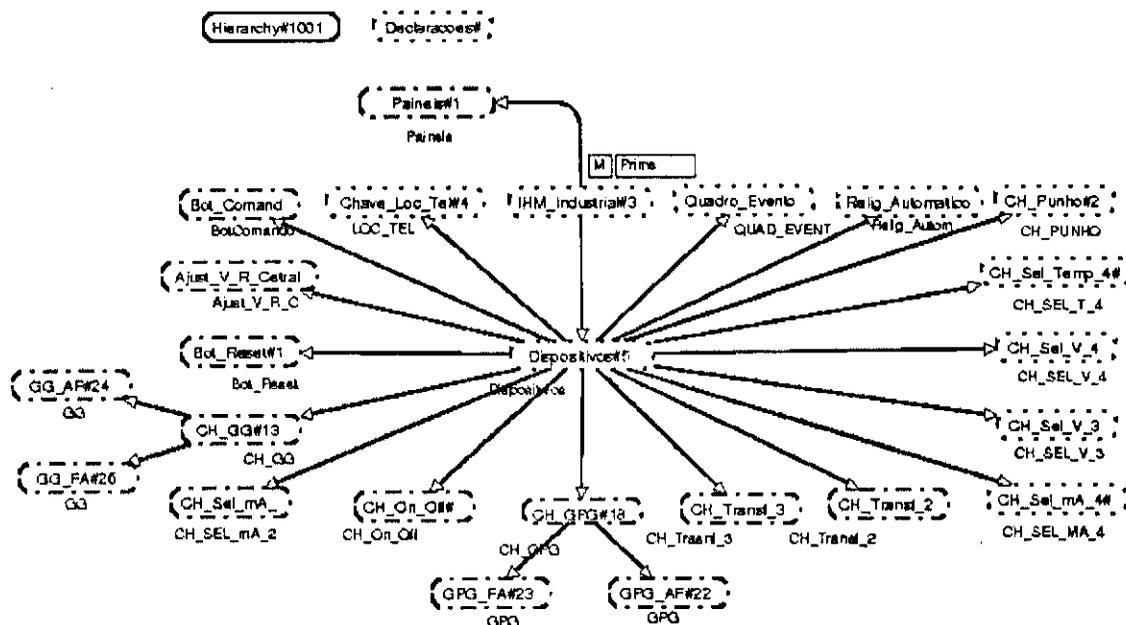


Figura 5.3: Página de Hierarquia

Página de Declarações – nesta página constam às declarações de todos os tipos e funções presentes no modelo. A seguir é apresentada uma descrição das cores, fichas e funções utilizadas no modelo aplicado a SE CGD.

```
color Armario = with LT02J6 | LT02J5 | LT02J4 | LT02J3 | LT02J2  
LT02J1;  
color Estado = with ComCartao | SemCartao;  
color Operacao = product Armario*Estado;  
  
color Local_Telecomando = with Local | Telecomando | nulo;  
color Opcoes_Loc_Tel = product Armario*Local_Telecomando;  
  
color Bot_Comando = with Bot1 | Bot2;  
color Opcoes_BCom = product Armario*Bot_Comando;  
  
color Bot_Central = with Bcentral1 | Bcentral2;  
color Opcoes_R_C = product Armario*Bot_Central;  
  
color Bot_Reset = with Normal | Bloqueado | nexiste;  
color Opcoes_Bot_Reset = product Armario*Bot_Reset;  
  
color CH_GG = with a21Y5 | b21Y6;  
color Opcoes_GG = product Armario*CH_GG;  
  
color Estado_Campo = with Aberto | Fechado;  
color Est_Campo_GG = product Armario*CH_GG*Estado_Campo;  
  
color Quadro_Eventos = with Quadrol | Quadro2;  
color Opcoes_Event = product Armario*Quadro_Eventos;  
  
color CH_GPG = with DJ12T5 | DJ12T6;  
color Opcoes_GPG = product Armario*CH_GPG;  
  
color Est_Campo_GPG = product Armario*CH_GPG*Estado_Campo;  
  
color CH_Punho = with DJ12D5 | DJ12D4;  
color Opcoes_Punho = product Armario*CH_Punho;  
  
color CH_T_4 = with ch1 | ch2;  
color Opcoes_T_4 = product Armario*CH_T_4;  
  
color Est_Campo_P = product Armario*CH_Punho*Estado_Campo;  
  
color CH_V_3 = with Ch_V_3_1 | CH_V_3_2;  
color Opcoes_V_3 = product Armario*CH_V_3;  
  
color CH_V_4 = with ch_v_4_1 | ch_v_4_2;  
color Opcoes_V_4 = product Armario*CH_V_4;  
  
color CH_mA_4 = with chave_ma_4_1 | chave_ma_4_2;  
color Opcoes_A_4 = product Armario*CH_mA_4;  
  
color CH_Transf_3 = with chave_tr_1 | chave_tr_2;  
color Opcoes_Tr_3 = product Armario*CH_Transf_3;  
  
color CH_Transf_2 = with chave_tr2_1 | chave_tr2_2;  
color Opcoes_Tr_2 = product Armario*CH_Transf_2;
```

```

color CH_Sel_mA_2 = with chave_mA_1 | chave_mA_2;
color Opcoes_A_2 = product Armario*CH_Sel_mA_2;

color CH_on_off = with ch_onoff1 | chonoff2;
color Opcoes_onoff = product Armario*CH_on_off;

color CH_Relig_Autom = with Ativado | Desativado | N_consta;
color Opcoes_Rel_Aut = product Armario*CH_Relig_Autom;

var P, Painel, Painell, Paux: Armario;
var E, Est, Est1, Eaux: Estado;
var LTaux, LocTel, LT: Local_Telecomando;
var com, comaux: Bot_Comando;
var br, braux: Bot_Reset;
var qe: Quadro_Eventos;
var gg, ggaux: CH_GG;
var camp, campaux: Estado_Campo;
var rc: Bot_Central;
var gpg, gpgaux: CH_GPG;
var t4: CH_T_4;
var p, paux: CH_Punho;
var v3: CH_V_3;
var v4: CH_V_4;
var a4: CH_mA_4;
var t3: CH_Transf_3;
var t2: CH_Transf_2;
var a2: CH_Sel_mA_2;
var onf: CH_on_off;
var RAux, ra: CH_Relig_Autom;

fun inv_c(camp)=if camp=Aberto then Fechado else Aberto;

fun abrec(camp)=Aberto;

(*FUNCOES DE ATUACAO DE BLOQUEIO MUDA CAMPO PARA ABERTO*)

fun atuacao86gg(Paux)=if Paux=LT02J5 then 1`(Paux,a21Y5,Aberto) else
empty;

fun atuacao86gpg(Paux)=if Paux=LT02J5 then 1`(Paux,DJ12T5,Aberto) else
empty;

fun atuacao86p(Paux)=if Paux=LT02J5 then 1`(Paux,DJ12D5,Aberto) else
empty;

(* FUNCOES DE TRAVAMENTO PARA O CASO DE BLOQUEIO E DE TELECOMANDO *)

fun trav_p(Paux,paux,campaux,LTaux,braux)=if (LTaux=Local orelse
LTaux=nulo) andalso ( braux=Normal orelse braux=nexiste) andalso
Paux=LT02J5 then 1`(Paux,paux,inv_c(campaux)) else
1`(Paux,paux,campaux);

fun trav_gpg (Paux,gpgaux,campaux,LTaux,braux)=if (LTaux=Local orelse
LTaux=nulo) andalso ( braux=Normal orelse braux=nexiste) andalso
Paux=LT02J5 then 1`(Paux,gpgaux,inv_c(campaux)) else
1`(Paux,gpgaux,campaux);

fun trav_gg (Paux,ggaux,campaux,LTaux,braux)=if (LTaux=Local orelse
LTaux=nulo) andalso ( braux=Normal orelse braux=nexiste) andalso
Paux=LT02J5 then 1`(Paux,ggaux,inv_c(campaux)) else
1`(Paux,ggaux,campaux);

```

```

fun inv(Paux,Eaux)=if Eaux=ComCartao then 1`(Paux,SemCartao) else
1`(Paux,ComCartao);

fun invRA(Paux,RAux)=if RAux=Ativado then 1`(Paux,Desativado)else
1`(Paux,Ativado);

fun invLT(Paux,LTaux)=if LTaux=Local then 1`(Paux,Telecomando) else
1`(Paux,Local);

```

Tabela 5.1: Página de Declarações

- Cores das fichas

Armario: representa os armários modelados do ponto de vista da interface

Estado: representa os possíveis estados dos um armário: em operação normal ou com alguma restrição de operação. Por isso temos dois tipos de fichas, *ComCartao*, significando que a operação está restrita ou inoperante, e a ficha *SemCartao*, que significando que se encontra em pleno funcionamento.

Operação: é uma dupla *Armario x Estado* que representa o estado de cada armário específico.

Local_Telecomando: representa os dispositivos de interação através dos quais os armários podem manobrados de forma local ou telecomandada. Para esta cor há três tipos de fichas: **Local**, quando o painel pode ser manobrado localmente; **Telecomando**, quando o painel é manobrado de forma telecomandada; **Nulo**, quando o painel não apresenta esta chave.

Opcoes_Loc_Tel: é uma dupla *Armario x Local_Telecomando* que caracteriza o armário onde a chave Loc-Tel está presente, e seu estado.

Bot_Comando: modela a existência do conjunto de botoeiras, a maioria utilizada para a realização de comandos e uma botoeira comum de confirmação.

Opcoes_BCom: é uma dupla *Armario x Bot_Comando*. A existência de uma ficha dessa cor implica na presença de um conjunto de botoeiras naquele painel identificado pelo primeiro elemento do par.

Bot_Central: modela a existência de uma chave de duas posições com referência central.

Opcoes_R_C: é uma dupla *Armario x Bot_Central* que relaciona o armário à presença da chave de duas posições com referência central.

Bot_Reset: modela a existência de uma botoeira de reset de proteção.

Opcoes_Bot_Reset: é uma dupla *Armario x Bot_Reset* que relaciona o armário à presença de uma botoeira utilizada no reset de proteções.

CH_GG: uma ficha desta cor modela a existência de uma chave do tipo Giro-Giro.

Opcoes_GG: é uma dupla *Armario x CH_GG* que modela a presença de uma chave do tipo Giro-Giro em no painel representado pelo primeiro elemento do par.

CH_GPG: uma ficha desta cor modela a existência de uma chave do tipo Giro-Pressão-Giro.

Opcoes_GPG: é uma dupla *Armario x CH_GPG* que modela a presença de uma chave do tipo Giro-Pressão-Giro em no painel representado pelo primeiro elemento do par.

CH_Punho: uma ficha desta cor modela a existência de uma chave do tipo punho.

Opcoes_Punho: é uma dupla *Armario x CH_Punho* que modela a presença de uma chave do tipo punho no painel representado pelo primeiro elemento do par.

Estado_Campo: as fichas desta cor podem assumir os valores Aberto ou Fechado, modelando assim os estados de dispositivos de disjunção presentes no campo, como disjuntores e seccionadoras.

Est_Campo_GG: é uma cor formada pela tripla *Armário x CH_GG x Estado_Campo* onde pode-se perceber o estado no campo do dispositivo relacionado à chave e ao painel no qual se encontra o dispositivo de interação.

Est_Campo_GPG: é uma cor formada pela tripla *Armário x CH_GPG x Estado_Campo* onde o pode-se perceber o estado no campo do dispositivo relacionado à chave e ao painel no qual se encontra o dispositivo de interação.

Est_Campo_P: é uma cor formada pela tripla *Armário x CH_Punho x Estado_Campo* onde o pode-se perceber o estado no campo do dispositivo relacionado à chave e ao painel no qual se encontra o dispositivo de interação.

Quadro_Eventos: modela a existência de um quadro anunciador de eventos.

Opcoes_Event: é uma dupla *Armario x Quadro_Eventos* onde é relacionada a existência de um quadro de eventos naquele painel caracterizado pelo primeiro elemento do par.

CH_V_4: modela a existência de uma chave seletora de tensão de 4 posições.

Opcoes_V_4: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_V_4* que modela a presença de uma chave seletora de tensão de 4 posições naquele armário representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_V_3: modela a existência de uma chave seletora de tensão de 3 posições.

Opcoes_V_3: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_V_3* que modela a presença de uma chave seletora de tensão de 3 posições no painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_T_4: modela a existência de uma chave de seleção de temperatura de 4 posições.

Opcoes_T_4: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_T_4* que modela a presença de uma chave seletora de temperatura de 4 posições no painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_mA_4: modela a existência de uma chave de seleção de amperímetro a qual tem 4 posições.

Opcoes_A_4: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_mA_4* que modela a presença de uma chave seletora de amperímetro de 4 posições no painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_mA_2: modela a existência de uma chave de seleção de amperímetro a qual tem 2 posições.

Opcoes_A_2: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_mA_4* que modela a presença de uma chave seletora de amperímetro de 2 posições naquele painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_Trnsf_2: modela a existência de uma chave de transferência de proteção de duas posições.

Opcoes_Tr_2: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_Trnsf_2* que modela a presença de uma chave de transferência de proteção de duas posições no painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_Trnsf_3: modela a existência de uma chave de transferência de proteção de duas posições.

Opcoes_Tr_3: é uma dupla formada pelo par *Armario x CH_Trnsf_3* que modela a presença de uma chave de transferência de proteção de 3 posições no painel representado pelo primeiro elemento da dupla.

CH_Religi_Autom: modela a existência de uma chave de religamento automático, tipicamente com duas posições. Pode assumir três estados **Ativado**, indicando que atuará em resposta a uma falta no sistema, **Desativado**, indicando que não irá atuar, e **N_consta** indicando que o armário não dispõe desse dispositivo.

Opcoes_Rel_Aut: é uma dupla *Armario x CH_Religi_Autom* a qual relaciona cada chave de religamento automático ao painel exibido no primeiro elemento do par.

- Descrição das Funções

Funções atuacao86gpg, atuacao86gg e atuacao86p: modelam a atuação da proteção 86, para cada chave de comando 101. A sua atuação da mesma é feita abrindo e bloqueando o comando da chave 101 relacionada.

Função inv_c: essa função é utilizada quando se faz necessária a mudança de estado da variável que modela o estado do dispositivo de campo.

Função abre_c: essa função é utilizada nos casos em que há a necessidade de abertura incondicional do dispositivo de campo.

Função trav_p, trav_gg, trav_gpg: implementa o intertravamento entre a sala de comando e os dispositivos de campo de forma que a atuação em uma chave de um painel quando o mesmo se encontra telecomandado ou bloqueado (para o caso das chaves 101) não deve se refletir no estado do dispositivo de campo, apresentando apenas uma discordância entre a posição das chaves na sala de comando e os dispositivos de campo.

Página IHM_industrial – Para apresentar uma visão de alto nível do modelo, ilustrar duas transições de substituição denominadas Painéis e Dispositivos. A primeira modela a mudança do painel ativo e a segunda estão associados os dispositivos de interação integrados ao modelo. O lugar **IHM** apresenta o painel ativo do sistema através da ficha que contém. A cor da ficha presente neste lugar é *Operacao*, como descrito acima, é formada por uma dupla que determina o painel ativo e o seu estado. É importante destacar que todas as sub-páginas do modelo que modelam as funcionalidades têm em comum o lugar **IHM** como soquete.

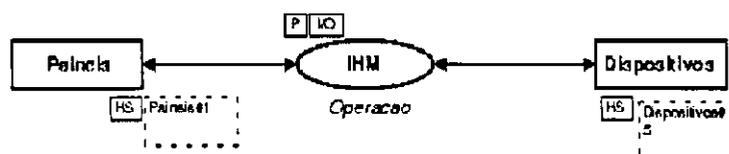


Figura 5.4: Página IHM_Industrial

Página Paineis – nesta página é feito o controle de qual janela encontra-se ativa em determinado instante da interação. No lugar **IHM** encontra-se a ficha que modela o painel disponível para manipulação dos dispositivos de interação. É importante salientar que toda ficha inserida neste lugar simboliza o painel ativo. As condições de impedimento são modeladas através de um cartão de restrição, indicando que o dispositivo está entregue a outro setor da empresa, ou na condição telecomandado.

Apenas a mudança dessas condições o painel pode ser operado localmente com sucesso. Para evitar repetições a descrição do lugar IHM será apresentada apenas uma vez, não sendo reapresentada em conjunto com a descrição das outras sub-redes que o contenha.

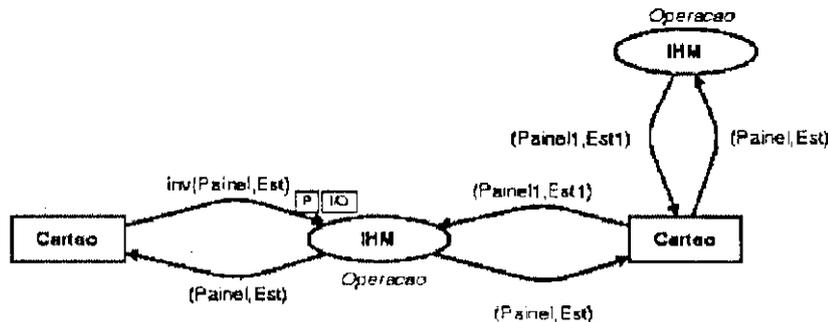


Figura 5.5 Página representando os Painéis de Interação

Página Dispositivos – Nesta página, apresentada na figura 5.6, são encontradas várias transições de substituição, cada uma delas contendo uma rede que modela. Nessas sub-redes onde se encontram modelados os dispositivos de interação que compõem os armários os quais, por sua vez, compõem a sala de comando da SE CGD.

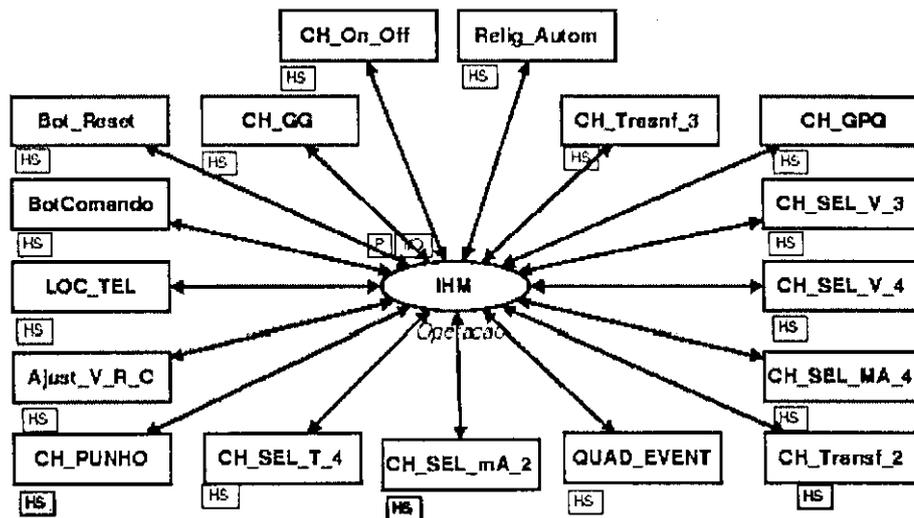


Figura 5.6: Página Dispositivos de Interação

5.5 Resultados Obtidos

Para análise da rede foram utilizadas: Simulações interativas e automáticas, Grafo de Ocorrência e Diagramas de Seqüência de Mensagens, os quais serão discutidos a seguir.

Simulações interativas e automáticas

No decorrer do desenvolvimento do modelo as simulações interativas foram utilizadas para verificar a corretude das partes que o compõe. O uso desta técnica em partes do modelo facilitou a verificação da dinâmica das redes e sub-redes. Para realizar essa análise as marcações iniciais dos lugares do sistema foram alteradas para que o modelo evoluísse apenas na parte que se desejava analisar. Em seguida foram executadas simulações tanto interativas quanto automáticas no modelo com o conjunto total de fichas que compunha o contexto de aplicação.

Gráfico de Ocorrência

Após a realização das simulações interativas e automáticas, foi gerado o Grafo de Ocorrência (Occ) do modelo para verificar propriedades lógicas do sistema. Através da análise do Occ pudemos verificar que os estados terminais do sistema, mas o cálculo dos estados foi parcial, uma vez que o número de estados alcançáveis era muito grande. No entanto foi possível verificar que as marcações não representavam travamentos na rede.

Geração dos MSCs

Gráficos de Sequência de Mensagens (MSC) consistem em uma linguagem gráfica e textual para a descrição e especificação de interações entre componentes de um sistema. Eles descrevem a comunicação assíncrona entre instâncias e podem ser utilizados como uma especificação geral do comportamento de comunicação de sistemas em tempo real (Christensen, 1998). Uma instância é uma entidade abstrata na qual pode-se observar parte da interação com outras instâncias ou com o meio-ambiente. No MSC uma instância é denotada por uma barra vertical. Ao longo de cada eixo o tempo transcorre do topo para a base (Christensen, 1998). A representação de um evento por meio de uma mensagem é muito mais intuitiva que a análise das marcações de um modelo CPN.

Ao longo do desenvolvimento da rede foram feitas várias análises para verificar cenários típicos à planta, sendo realizadas simulações automáticas e interativas e gerado o grafo de ocorrência e ainda o diagrama de seqüência de mensagens a partir da biblioteca MSC.sml, o disparo de uma determinada transição implique em um registro de mensagem.

Da geração do grafo de ocorrência obtivemos os relatórios mostrados a seguir:

Statistics

Occurrence Graph

Nodes: 49753

Arcs: 94396

Secs: 300

Status: Partial

Boundedness Properties

Best Integers Bounds	Upper	Lower
Ajust_V_R_Cetral'Valor 1	5	0
Bot_Comando'Bot_Pronta 1	0	0
Bot_Comando'comandada 1	0	0
Bot_Reset'Buz_Ativa 1	1	0
Bot_Reset'Buz_Desativ 1	1	0
Bot_Reset'Campo_GG 1	0	0
Bot_Reset'Campo_GPG 1	9	9
Bot_Reset'Campo_P 1	3	3
Bot_Reset'Norm_Bloq 1	6	6
Bot_Reset'Piscando 1	2	0
CH_GG'Aberta 1	0	0
CH_GG'Campo 1	0	0
CH_GG'Fechada 1	0	0
CH_GG'Loc_Tel 1	6	6
CH_GG'Norm_Bloq 1	6	6
CH_GPG'Aberta 1	9	6
CH_GPG'Campo 1	9	9
CH_GPG'Fechada 1	1	0
CH_GPG'Loc_Tel 1	6	6
CH_GPG'Norm_Bloq 1	6	6
CH_On_Off'Desligada 1	0	0
CH_On_Off'Ligada 1	0	0
CH_Punho'Aberta 1	3	1
CH_Punho'Campo 1	3	3

CH_Punho'Fechada 1	2	0
CH_Punho'Loc_Tel 1	6	6
CH_Punho'Norm_Bloq 1	6	6
CH_Sel_Temp_4'Desat 1	0	0
CH_Sel_Temp_4'Temp_1 1	0	0
CH_Sel_Temp_4'Temp_2 1	0	0
CH_Sel_Temp_4'Temp_3 1	0	0
CH_Sel_V_3'Desativado 1	0	0
CH_Sel_V_3'Tensao_AB 1	0	0
CH_Sel_V_3'Tensao_BC 1	0	0
CH_Sel_V_3'Tensao_CA 1	0	0
CH_Sel_V_4'Tensao_AB 1	0	0
CH_Sel_V_4'Tensao_BC 1	0	0
CH_Sel_V_4'Tensao_CA 1	0	0
CH_Sel_mA_2'Ativado 1	0	0
CH_Sel_mA_2'Desativado 1	0	0
CH_Sel_mA_4'Desativado 1	4	2
CH_Sel_mA_4'Fase_A 1	2	0
CH_Sel_mA_4'Fase_B 1	1	0
CH_Sel_mA_4'Fase_C 1	1	0
CH_Transf_2'Normal 1	0	0
CH_Transf_2'Transferido 1	0	0
CH_Transf_3'Em_Transf 1	2	0
CH_Transf_3'Normal 1	2	0
CH_Transf_3'Transferido 1	1	0
Chave_Loc_Tel'Loc_Tel 1	6	6
GG_AF'Operando 1	0	0
GG_FA'Operando 1	0	0
GPG_AF'Interm_f 1	1	0
GPG_AF'Interm_t 1	3	0
GPG_FA'Interm_f 1	0	0
GPG_FA'Interm_i 1	0	0
IHM_Industrial'IHM 1	1	0
Paineis'Reserva 1	5	5
Quadro_Eventos'Buz_Ativa1 1		0
Quadro_Eventos'Buz_Ativa1 1		0
Quadro_Eventos'Buz_Destv1 1		0

Quadro_Eventos'N_Pisca 1	1	0
Quadro_Eventos'Piscando 1	2	0
Relig_Automatico'Ativ_Des 1	6	6

Liveness Properties

Dead Markings: 44009 [9998,9997,9996,9995,9994,...]

É importante salientar que para a geração do grafo de ocorrência foi utilizado como contexto de aplicação apenas os dispositivos em 69kV da subestação de CGD, o que compreende os painéis das LT02J1, LT02J2, LT02J3, LT02J4, LT02J5 e LT02J6.

A partir dos dados estatísticos pode-se observar que o grafo foi gerado de forma parcial. O grafo possui um total de 49753 nós e 94396 arcos. Nele são mostradas também as quantidades máxima e mínima de fichas nos espaços relacionados com os estados dos objetos de interação. Por exemplo, o lugar *Reserva* na página *Painéis* sempre possuirá um total de 5 fichas uma vez que só existe uma janela ativa a qualquer momento no sistema. Tal análise faz referência ainda a verificação de conformidade do modelo. Podemos ver através de funções de buscas, aplicadas ao modelo, que não existem transições mortas.

Um diagrama de seqüências de mensagens é mostrado a seguir:

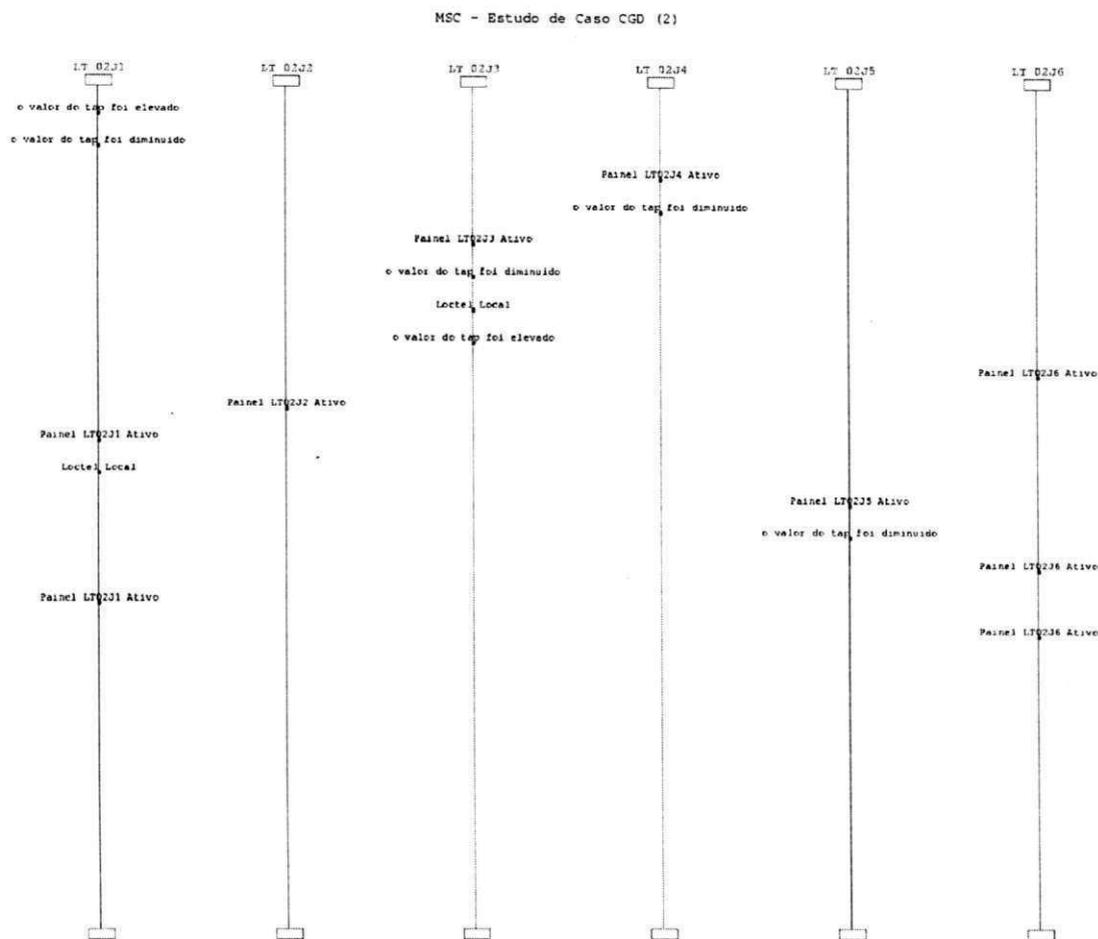


Figura 5.7: Gráfico de Sequência de Mensagens

Nele é ilustrada a interação do operador com cada painel modelado, destacando o instante no qual o painel passa a ser o painel ativo, tornando possível a interação com seus dispositivos. A partir do gráfico de mensagens pode-se observar a seqüência de ações ou de dispositivos manipulados.

Para a modelagem de outras instalações como a SE BVT temos que o trabalho de adaptação seria mais concentrada na inserção ou extração de componentes já existentes no modelo ou na biblioteca de componentes. Os elementos de interação presentes são bastante semelhantes aos encontrados no nosso contexto de aplicação (CGD).

Capítulo 6

Conclusões e sugestões de trabalhos futuros

Neste capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao modelo de interação aplicado a subestações bem como comentários a cerca do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

6.1 Conclusões

Apesar de toda a automação nos processos industriais, inclusive no setor elétrico, a intervenção humana nos sistemas elétricos ainda é bastante expressiva, e se dá mediante a interação com a planta através de sua interface. Neste sentido a utilização de regras de concepção de interfaces com princípios ergonômicos leva o projetista ao desenvolvimento de interfaces menos susceptíveis a falhas de projeto. Neste contexto, a utilização de modelos vem demonstrando ser uma forma vantajosa de representação das interfaces industriais. É bem verdade que sua utilização demanda do projetista um esforço adicional ao projetista de interfaces.

Pode-se afirmar que uma limitação do trabalho encontra-se no fato de não ter sido avaliada a utilização da biblioteca de modelos por outros projetistas de interfaces na modelagem de algum sistema. Por isso não se pode afirmar sobre a facilidade de utilização da biblioteca pelo projetista destes sistemas. Por outro lado, o fato dos componentes tipicamente encontrados nas instalações estarem modelados, aponta no sentido da minimização do esforço de modelagem.

A partir da modelagem do contexto de aplicação (SE CGD) conclui-se pela facilidade de aplicação em outras instalações, devido a similaridade entre as instalações do setor. Por outro lado, a grande maioria das instalações visitadas pertenciam a empresa CHESF e, devido seu alto grau de padronização, a compatibilidade da maioria dos componentes presentes na biblioteca de modelos já era esperada, a exemplo da modelagem da SE BVT. No entanto, o mesmo se espera de outras subestações que não pertençam à CHESF uma vez que estes sistemas foram também montados a partir de componentes tipicamente encontrados no mercado.

A estratégia de reuso de modelos é ponto fundamental para a minimização do esforço de modelagem uma vez que os componentes mais comuns já estariam previamente modelados, e disponíveis uma biblioteca de modelos. Evidente que para a reutilização se faz necessária a execução de uma seqüência de passos de forma a garantir a integração da parte a ser inserida no modelo para assim obter êxito nesta operação.

A partir da construção do modelo da IHM da SE CGD, conclui-se que se torna mais simples o estudo e a validação de projetos de interfaces. A validação se deu a partir da investigação das propriedades do modelo construído a partir da biblioteca de componentes.

6.2 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros pode-se visualizar a inclusão de aspectos temporais no modelo da interface. Seria incluído o tempo gasto na realização de tarefas versus nível de experiência do usuário.

Outras sugestões para trabalho futuro são:

- A verificação do comportamento do sistema em situações críticas como simulação e análise do comportamento do sistema em ocasiões de falhas operacionais.
- A inclusão dos tempos de interação para a navegação e para a realização das ações específicas com o propósito de tornar o modelo mais próximo da realidade também no que se refere à relação entre o tempo de resposta do operador e a de chegada de eventos na subestação.
- Estender a biblioteca para incluir novas ações e componentes encontradas nas interfaces dos sistemas supervisorio das subestações elétricas.
- Modelar de outras instalações não pertencentes a CHESF
- Verificar o grau de facilidade de uso por parte de projetista de interfaces através de aplicações da solução proposta a alguma interface.

Este trabalho pode servir de base para a construção de um simulador a ser utilizado em estudos de situações críticas e também para treinamento de operadores.

Referências

Amalberti, R. *La conduite de systèmes à risques*. Collection Le Travail Humain, 1996.

Avouris, N. M., *Abstractions for Operator Support in Energy Management Systems*. University of Pratas, ECE Dept.

Bezerra, J. R., Sousa, J. R., Barroso, G., Caetano, M., Furtado, R., Leão, R. *Uma abordagem para diagnóstico de falta em subestações de sistemas elétricos de potência usando redes de Petri*. VI SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, setembro 2003, Baurú-SP, Brasil.

Christensen, S. *Design/CPN MSC - Message Sequence Chart Library*, Computer Departamento, Universidade de Aarhus. Version 1.1, 1998.

Christensen, S., Haagh, T. B. *Design/CPN Overview of CPN ML Syntax*. University of Aarhus, 3.0 edition, 1996.

Duarte, A. N.; Sauv e, J. P.; Cirne Filho, W; Figueiredo, J. A.; Rocha Neto, E.; Melo, M. S. de; Araújo, A. S. de. *Desenvolvimento de Uma Ferramenta de Tratamento de Eventos em Redes Elétricas*. V Simpósio De Automa o De Sistemas Elétricos, 2003, Recife. p. 210-214.

Farias, G. F. *Modelo de Funcionalidades de Interface Homem-Máquina Industriais*. Relatório de Projeto de Pesquisa, Pós-Gradua o em Engenharia Elétrica da UFPB, Campina Grande, PB, 1999.

Farias, G. F., *Diretrizes para Projeto de Interfaces Homem-Máquina Aplicadas a Sistemas de Supervisão de Processos Industriais*, Disserta o de Mestrado, Curso de Pós-Gradua o em Engenharia Elétrica, UFPB, 1994.

Guerrero, C. V. S., *MEDITE – Uma Metodologia Orientada a Modelos para Concepção de Interfaces Ergonômicas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, fevereiro, 2002.

Disponível por www em <http://www.chesf.gov.br> em agosto de 2004.

Disponível por <http://www.educ.fc.ul.pt/icm/icm2001/icm33/definicao.htm> em agosto de 2004.

Jensen, K. *Coloured Petri Nets – Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use – Vol. 1*. Ed. Spring-Verlag, USA, 1992.

Keh, H. C., Lewis, T. G., *Direct-Manipulation with High-level Petri Nets*, Department of Computer Science, 1991.

Lei 9.991, de 24 de julho de 2000. Disponível por www em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei20009991.pdf>, março de 2003.

Murata, T., *Petri Nets: Properties, Analysis, and Applications*. Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No 4, April 1989.

Nakatani, Y., Nakagawa, T., Terashita, N., Umeda, Y., *Human Interface Evaluation by Simulation*, IEEE SIXTH ANNUAL FACTORS MEETING, 1997.

Nascimento, J.A.N., Turnell, M. F. Q. V., Scaico, A., *Modelando Componentes da IHM de Sistemas Industriais em Redes de Petri Coloridas*. VI SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, setembro 2003, Bauru-SP, Brasil.

Ogata, Katsuhiko, *Engenharia de Controle Moderno*. Editora Prentice Hall do Brasil LTDA, Segunda Edição. Rio de Janeiro, RJ. 1993, pp 74-77.

Pmcg (Prefeitura Municipal de Campina Grande) disponível por http://www.pmcg.pb.gov.br/perfil_municipio/infraestrutura/energiaeletrica.htm, em novembro de 2003.

Queioz, J. E. R. *Abordagem Híbrida para Avaliação da Usabilidade de Interfaces com o Usuário*. Tese de Doutorado, Universidade da Paraíba, Junho, 2001.

Rosis, F. de; Pizzutilo, S.; De Carolis, B. *Formal Description and Evaluation of User Adapted Interfaces*. Int. J. Human-computer Studies n° 49, p. 95- 120, 1998.

SAGE - Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia - *Guia do Usuário*. Disponível por www em <http://www.sage.cepel.br/documentacao/manusistema.html> junho de 2003.

Sampaio, R. F. *Sistema de Diagnóstico de Falhas para Subestações Baseado em Redes de Petri Coloridas*. Dissertação de Mestrado Universidade federal do Ceará, 2002.

Scaico, A., Turnell, M. F. Q. V. *Análise do Tempo na Interação do Usuário com Sistemas de Automação Industrial*. Congresso Brasileiro de Automação, setembro de 2002.

Scaico, A. *Aplicação de um Modelo de Navegação de IHM ao Contexto de Sistemas Industriais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, agosto de 2001.

Scaico, A., Turnell, M. F. Q.V., Perkusich, A. *Modelagem da Navegação de Interfaces com o Usuário de Sistemas de Automação Industrial*. V SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, novembro de 2001.

Scherer, D. *Proposta de Suporte Computacional ao MCI*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Fevereiro de 2004.

Shneiderman, Ben, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, Addison-Wesley Publishing Company – 3 edição, 1998.

Silva, L. D. *Modelagem Sistemática de Sistemas Flexíveis de Manufatura Baseada em Reuso de Modelos de Redes de Petri Coloridas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, março de 2002.

Sousa, M. R. F. *Avaliação Iterativa de Especificação de Interfaces com Ênfase na Navegação*. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFPB, Campina Grande, PB, 1999.

Sousa, M.R.F. and Turnell, M.F.Q.V., *User interface evaluation based on Coloured Petri nets modelling and analysis*. In IEEE - SMC'98 Proceedings, SanDiego – CA, EUA, October 1998.

Turnell, M. F. V. Q., *Conceitos e Projeto de Interfaces Usuário-Computador, Notas de Aula da Disciplina Projeto de Interface Homem-Máquina*, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFPB, 2000.

University of Aarhus, *Design/CPN Occurrence Graph Manual*, Version 3.0, Computer Science Department, 1996.

Zeilmann, R. P., *Uma estratégia para controle e supervisão de processos industriais via internet*. Dissertação de Mestrado Universidade federal do Rio Grande do Sul, 2002.

Anexo A - Lista de Componentes Presentes em cada armário de CGD

Os elementos encontrados na sala de operação da SE CGD são listados em conjunto com o armário (ou painel) ao qual pertencem.

A.1 Painel do Banco de Capacitores BC 02H2s

É o painel utilizado para a monitoração e controle Banco de Capacitores BC02H2 da subestação de CGD, utilizado para introdução de capacitivos no sistema e pode introduzir uma potência de até 21,2 Mvar.

Os elementos de interação que constituem esse painel são listados como segue:

- Chave 32H2-4: Chave do tipo GPG e comanda seccionadora.
- Chave 12H2: Chave 101 do tipo GPG e comanda disjuntor.
- Chave CLT: Chave seletora de comando Local/Remoto.
- Botoeira de desbloqueio do disjuntor e supervisão do relé de bloqueio.
- Botoeira de sinalização e desligamento de alarme de falta CC.
- Botoeira de descarregamento de banco de capacitores.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave 32H2-7: Chave apenas de visualização de estado de dispositivo de campo, no caso seccionadora.
- Mostradores: Mostradores de corrente nas fases a, b e c, e mostrador de potência reativa.

A.2 Painel do Banco de Capacitores BC02H1

É o painel utilizado para a monitoração e controle Banco do Capacitores BC02H1 da subestação de CGD, é utilizado para introdução de capacitivos no sistema e pode introduzir até 21,2 Mvar.

Os elementos de interação que constituem esse painel são listados como segue:

- Chave 32H1-4 e 32H1-7: Dispositivos apenas de visualização de estado associada à seccionadoras.
- Chave 12H1: Chave 101 do tipo GPG e comanda disjuntor.
- Chave CLT: Chave seletora de comando Local/Remoto.
- Botoeira de desbloqueio do disjuntor
- Botoeira de sinalização e desligamento de alarme de falta CC.
- Botoeira de descarregamento de banco de capacitores.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Mostradores: Mostradores de corrente nas fases a, b e c, e mostrador de potência reativa.

A.3 Quadro de Sinóticos do CE

Dispositivo utilizado para visualização de sinalizações oriundas do compensador estático. O mesmo pode ser utilizado para fornecer ou absorver reativos do sistema, os dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Botoeira de teste de lâmpadas: utilizada para testar as lâmpadas que compõem o quadro do sinótico, a mesma é utilizada de forma que ao ser pressionada as lâmpadas acendem possibilitando a problemas nas mesmas.
- Botoeira de reset da buzina: utilizada para silenciar a buzina associada ao CE quando do seu disparo.
- Botoeira de reset geral: utilizada para forçar o desligamento das lâmpadas do quadro.
- Chave de teste de buzina: chave de 3 posições utilizada para teste da buzina associada aos alarmes do CE.

A.4 Painel de Comando CE lado de 230kV

Os dispositivos de interação para o painel do Compensador Estático lado de 230kV são descritos como segue:

- Chaves 101: São Chaves do tipo Giro-Pressão-Giro utilizadas para comandar disjuntores e seccionadoras associadas ao CE.
- Chave Loc/Tel: Utilizada para colocar o painel sob comando local ou na forma telecomandada onde se pode operar o painel remotamente.
- Chave seletora de Temperatura: Chave de 12 de posições utilizadas para visualização da temperatura de partes do compensador estático, como a temperatura das fases 'a', 'b', e 'c', temperatura do óleo, entre outras.
- Chave de seleção de tensão: Chave de 4 posições onde se pode selecionar a tensão que será associada ao mostrador, a quarta posição é uma posição onde o mostrador não estaria associado a nenhuma tensão.
- Chave de ajuste de tensão de referência: chave de três posições com uma posição de repouso, onde se pode aumentar ou diminuir a tensão de referência com uma simples torção, com a chave voltando automaticamente pra posição de repouso.
- Chave Automático/Manual: É uma chave de três posições onde temos a posição automático/manual/0, onde na posição "0" esta seleção estaria desativada.
- Botoeira de teste de Lâmpadas: É a botoeira utilizada para teste das lâmpadas do painel, onde, pressionando-se a mesma teremos o acendimento de todas as luzes do painel do CE.

- Botoeira para reset de proteção: Botoeira utilizada para reset de proteções que porventura venham a atuar.
- Botoeiras de comandos de equipamentos: é um conjunto de botoeiras utilizadas para o acionamento de equipamentos associados ao CE, diferente da chave 101, o acionamento aqui se dá através da atuação em duas botoeiras uma de comando e outra de confirmação.

A.5 Painel de Controle do CE Lado (Y)

Os dispositivos de interação para o painel do Compensador Estático lado Y são descritos como segue:

- Botoeira de Reset de Proteção: Botoeira utilizada para reset de proteções que porventura venham a atuar.
- Chave de seleção de tensão: É uma chave de três posições utilizada pra a seleção da tensão exibida nos medidores.
- Seleção de temperatura de água: Chave utilizada para a seleção da fase a qual o mostrador de temperatura deverá estar associado, é uma chave de quatro posições, com uma posição onde o medidor não estará associado a nenhuma fase.
- Medidores: São mostradores que indicam os valores de corrente na válvula, corrente no capacitor, reativo indutivo, reativo capacitivo, temperatura da água e potência reativa e nível de tensão.
- Chaves 101: São Chaves do tipo Giro-Pressão utilizadas para comandar disjuntores e seccionadoras associadas ao CE.

A.6 Painel de LT 04C1

Esse painel apresenta os dispositivos de interação na linha de transmissão LT04C2 a qual liga a subestação de Tacaimbó à SE Campina Grande II. Os dispositivos que compõem o painel são listados como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, potência ativa e potência reativa.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.

- Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
- Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
- Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
- Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
- Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Botoeira de Supervisão: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições utilizada para selecionar qual tensão deverá ser exibida no mostrador de tensão. Uma das posições é utilizada para desconexão do mostrador.
- Chave 14C1: Chave 101 do tipo GPG e comanda disjuntor.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Chave 34C1-4, 34C1-5, 34C1-6, 34C1-7: Chave de comando de seccionadora.
- Religamento Automático: Chave utilizada para ativar e desativar o religamento automático da LT. Pra esta chave temos duas posições "0" para religamento automático desativado e "1" exibindo o religamento automático ativado.
- Chave Manual/Automático: Chave de três posições M/D/A onde na posição M (manual) o painel pode ser comandado de forma manual, na posição A (automático) o painel é comando automaticamente a posição D indica que a opção está desativada.

A.7 Painel da LT 04C2

religamento automático desativado e "1" exibindo o religamento automático ativado.

- Chave Manual/Automático: Chave de três posições M/D/A onde na posição M (manual) o painel pode ser comandado de forma manual, na posição A (automático) o painel é comando automaticamente a posição D indica que a opção está desativada.

A.8 Painel da LT 04V3

Esse painel apresenta os dispositivos de interação relacionados com a LT 04V3, cuja tensão de operação é de 230kV. Esta linha de transmissão liga a SE Campina Grande II à SE Natal II. Os elementos que compõem o painel podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, potência reativa e tensão da LT.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições utilizada para selecionar qual tensão deverá ser exibida no mostrador de tensão. Uma das posições é utilizada para desconexão do mostrador.
- Botão de reset de 86: Utilizada para reset quando da atuação da proteção 86.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Botão de Supervisão: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.

- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temos o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave 14T5: Chave 101 do tipo GPG utilizada para comandar o disjuntor.
- Chave 34V3-4, 34V3-5, 34V3-6, 34V3-7: Chaves do tipo GPG para comando de seccionadora.

A.9 Painel da LT 04H1

Esse painel representa o dispositivo de interação com o banco de capacitores 04H1.

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, potência reativa e tensão da LT. Ainda com o miliamperímetro, onde se pode constatar a queima de relifusíveis.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições utilizada para selecionar qual tensão deverá ser exibida no mostrador de tensão. Uma das posições é utilizada para desconexão do mostrador.
- Botoeira de reset de 86: Utilizada para reset quando da atuação da proteção **86**.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

- Botoeira de Supervisão: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.
- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temos o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave seletora de miliamperímetro: Chave de duas posições Ativada/Desativada utilizada para conectar o miliamperímetro no circuito.
- Chave 14H1: Chave 101 do tipo GPG utilizada para comandar o disjuntor.
- Chave 34H1-4, 34H1-5, 34H1-6, 34H1-7: Chave do tipo GPG para comando de seccionadora.

A.10 Painel da LT 04V4

Esse painel apresenta os dispositivos de interação relacionados com a LT 04V3, cuja tensão de operação é de 230kV. Esta linha de transmissão liga a SE Campina Grande II à SE Natal II. Os elementos que compõem o painel podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, potência reativa e tensão da **LT**.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro

- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições utilizada para selecionar qual tensão deverá ser exibida no mostrador de tensão. Uma das posições é utilizada para desconexão do mostrador.
- Botão de reset de 86: Utilizada para reset quando da atuação da proteção 86.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Botão de Supervisão: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.
- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada para a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temos o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Anunciador de Ventilação forçada: Painel luminoso utilizado para alertar falha no sistema de ventilação forçada, com um dispositivo de interação denominado *teste de lâmpadas sinalização do trafo* utilizado para testar as lâmpadas do referido painel.
- Chave de seleção de sincronismo: Chave de três posições M/D/A significando modo manual, desativada e automática, respectivamente. Tal chave em CGD encontra-se sempre desativada.
- Chave 14T5: Chave 101 do tipo GPG utilizada para comandar o disjuntor.
- Chave 34V4-4, 34V4-5, 34V4-6, 34V4-7: Chaves do tipo GPG para comando de seccionadora.

A.11 Painel do disjuntor 14T5

Disjuntor associado ao transformador 04T5 com seus respectivos painéis de interação.

- Mostradores: Mostradores de corrente para as três fases.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas

- Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
- Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
- Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
- Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Botoeira de reset de 86: Utilizada para reset quando da atuação da proteção 86.
- Botoeira de Supervisão: Informa falta de corrente contínua e reset para normalização.
- Chave 43: Chave de três posições N/ET/T utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temos o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal, posição ET simbolizando o termo "em transferência" onde nessa posição a proteção atuaria nos dois disjuntores, o principal e o de transferência, e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- Chave 14T5: Chave 101 do tipo Giro-Pressão-Giro para comando do disjuntor, é uma chave de duas posições.
- Chave 34T4-4, 34T4-5, 34T4-6, 34T4-7: Chaves do tipo Giro-Pressão-Giro para comando de seccionadoras.

A.12 Painéis de Transformadores

Os painéis de transformadores, também denominados de painéis de paralelismo, são utilizados para a monitoração e controle de dispositivos relacionados aos transformadores 04T4, 04T3 e 04T5.

A.12.1 Para o trafo 04T5 temos:

- Mostradores: Possui um mostrador de tensão de regulação e um mostrador digital de tap.

- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Botão de teste de lâmpada: Utilizada para testar os mostradores existentes no painel.
- Lâmpadas de sinalização de programação: Quatro sinalizadores luminosos utilizado para informar a condição do painel de comando do trafo, se o mesmo se encontra operando como mestre, se o valor do Tap está aumentando ou diminuindo.
- Chave seletora de tensão: Chave de quatro posições utilizada para conectar o voltímetro no circuito o associando às tensões de acordo com a posição da chave. Sendo uma delas indicando a desconexão do mostrador.
- Chave de programação: Chave de três posições que determina o modo de funcionamento do painel se é individual, ou seja, um comando no painel só alterará a configuração no próprio painel. Posição comando, quando a atuação em outro painel implica em atuação no mesmo de forma automática, e mestre, quando a atuação no painel provoca uma atuação automática em outro painel associado quando a chave encontrar-se na posição comando.
- Chave de mudança de Tap: Chave de três posições sendo uma a posição de repouso onde uma torção pra o lado direito implica em uma diminuição do Tap e uma torção para a esquerda implica em um aumento do Tap do trafo, com a chave voltando automaticamente para a posição de repouso.
- Chave Manual/Automático: Chave de três posições sendo uma a posição M (Manual) onde o painel pode ser manipulado diretamente, A (Automático) onde pode ser manipulado remotamente e D (Desligado) onde o dispositivo encontra-se desativado.

- Chave de ajuste automático de Tap: Chave de três posições M/0/A relacionada ao ajuste de Tap, assim, na posição M o ajuste de Tap se faria de forma manual, na posição “0” seria desativado e na posição A indicando que a variação se daria de forma automática.
- Lâmpadas de Sinalização: Botoeiras para sinalizar o estado de seccionadoras associadas ao trafo 14T5.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

Para o trafo 04T4 e 04T5 os dispositivos de interação são idênticos.

A.13 Painel do disjuntor DJ 12D1

Esse painel representa o dispositivo de interação com os elementos relacionados ao disjuntor 12D1 que é o disjuntor de transferência do barramento de 69kV.

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave seletora de corrente: é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a corrente que será mostrada no amperímetro.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- Chave 12D1: Chave tipo punho para comando do disjuntor, é uma chave de três posições sendo uma de repouso, onde se girando para um lado se dá o comando de fechamento do disjuntor e para o outro se dá o comando de abertura do mesmo.

Painel do transformador 04T3

Esse painel representa o dispositivo de interação com os elementos relacionados ao transformador 04T3 que é um transformador que alimenta o barramento de 69kV.

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave seletora de corrente: é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a corrente que será mostrada no amperímetro.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- Chave 12T3: Chave tipo punho para comando do disjuntor, é uma chave de três posições sendo uma de repouso, onde se girando para um lado se dá o

comando de fechamento do disjuntor e para o outro se dá o comando de abertura do mesmo.

A.14 Painel do transformador 04T4

Esse painel representa o dispositivo de interação com os elementos relacionados ao transformador 04T4 que é um transformador que alimenta o barramento de 69kV.

- **Mostradores:** Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- **Chave seletora de corrente:** é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a corrente que será mostrada no amperímetro.
- **Chave Loc/Tel:** Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- **Chave 12T4:** Chave tipo punho para comando do disjuntor, é uma chave de três posições sendo uma de repouso, onde se girando para um lado se dá o comando de fechamento do disjuntor e para o outro se dá o comando de abertura do mesmo.

A.15 Painel do disjuntor 12T7

Esse painel representa o dispositivo de interação com os elementos relacionados ao disjuntor 12T7 que é utilizado para interligar o barramento de 69kV ao conjunto de transformadores que alimentam o barramento de 13.8kV.

- **Mostradores:** Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- **Chave seletora de corrente** é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a corrente que será mostrada no amperímetro.
- **Chave Loc/Tel:** Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- **Chave 12T7:** Chave tipo punho para comando do disjuntor, é uma chave de três posições sendo uma de repouso, onde se girando para um lado se dá o comando de fechamento do disjuntor e para o outro se dá o comando de abertura do mesmo.

A.16 Painel do disjuntor 11T7

Esse disjuntor faz a ligação entre o barramento de 69kV e o conjunto de transformadores de três transformadores de 10MVA. Os dispositivos de interação presentes podem ser listados como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave seletora de corrente: é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a corrente que será mostrada no amperímetro.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.
- Chave 11T7: Chave 101 do tipo Giro-Pressão-Giro para comando do disjuntor, é uma chave de duas posições.

A.17 Painel da LT 04V1

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 04V1 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Natal II. Essa linha de transmissão opera na tensão de 230kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, tensão, potência ativa e potência reativa.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave seletora de tensão: é uma chave de 4 posições onde podemos selecionar a tensão que será associada ao mostrador.
- Chave Loc/Tel: Chave seletora de duas posições que coloca o painel suscetível a comandos de forma local ou telecomandada.

- Chave 12J2: Chave 101 do tipo Giro-Pressão-Giro para comando do disjuntor, é uma chave de duas posições.
- Indicador Luminoso de Relé de Bloqueio: Indica a atuação do relé de bloqueio.
- Botocira de reset de Bloqueio: Utilizada pra setar o relé de bloqueio associado ao disjuntor 14V1.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).
- Chave 43: Chave seletora de duas posições que utilizada na transferência de proteção do disjuntor onde uma posição é a posição normal e a outra transferido.

A.18 Painel da LT 04V2

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 04V1 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Natal II. Essa linha de transmissão opera na tensão de 230kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente por fase, potência ativa e potência reativa.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como

normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.

- Chave Seletora de Corrente: Chave de três posições com a qual pode-se associar o mostrador a quaisquer das fases "a" "b" ou "c".
- Chave 14V2: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.19 Painel da LT 04L3

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 04L3 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Goianinha. Essa linha de transmissão opera na tensão de 230kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave Seletora de Amperímetro: Chave de 4 posições sendo uma para cada fase e a ultima desconectando o amperímetro.
- Chave 14L3: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.20 Painel da LT 04C4

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 04L3 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Pau Ferro. Essa linha de transmissão opera na tensão de 230kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave Seletora de Amperímetro: Chave de 4 posições sendo uma para cada fase e a ultima desconectando o amperímetro.
- Chave 14C4: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.21 Painel da LT 04C3

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 04L3 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Pau Ferro. Essa linha de transmissão opera na tensão de 230kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas
 - Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
 - Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som
 - Chave QF: chave de pressão utilizada para reset do piscar das lâmpadas do quadro
 - Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave Seletora de Amperímetro: Chave de 4 posições sendo uma para cada fase e a ultima desconectando o amperímetro.
- Chave 14C3: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.22 Painel do Disjuntor DJ 14D1

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14D1. Esse disjuntor é utilizado para transferência de proteções interligando o barramento auxiliar ao barramento principal. Os componentes de interação presentes no painel podem ser descritos como segue:

- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave 14D1: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.23 Painel do Disjuntor DJ 14E1

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14E1. Utilizado caso haja a necessidade de inserção de reatâncias indutivas no sistema, a capacidade do banco é de 10Mvar indutivo.

- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave 14E1: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora (aberta ou fechada).

A.24 Painel do Disjuntor DJ 14T1

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14T1.

- **Mostradores:** Painéis interligados a medidores de corrente das fases a, b e c, ligadas ao referido disjuntor.
- **Chave 43:** Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- **Chave 14T1:** Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- **Chave CLT:** Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- **Indicador luminoso de seccionadoras:** Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 34T1-4, 34T1-5 e 34T1-6 tais como aberta ou fechada.

A.25 Painel do Disjuntor DJ 14T2

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14T2.

- **Mostradores:** Painéis interligados a medidores de corrente das fases a, b e c, ligadas ao referido disjuntor.
- **Chave 43:** Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- **Chave 14T2:** Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- **Chave CLT:** Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- **Indicador luminoso de seccionadoras:** Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 34T2-4, 34T2-5 e 34T2-6 (aberta ou fechada).

A.26 Painel do Disjuntor DJ 14T3

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14T3.

- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave 14T3: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 34T3-4, 34T3-5 e 34T3-6 tais como aberta ou fechada.

A.27 Painel do Disjuntor DJ 14T4

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 14T4.

- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave 14T4: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 34T4-4, 34T4-5 e 34T4-6 tais como aberta ou fechada.

A.28 Painel da LT 03L1

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave Seletora de Amperímetro: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave 13L1: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora 33L1-4, 33L1-5, 33L1-6 e 33L1-7 (aberta ou fechada).

A.29 Painel da LT 03L2

- Mostradores: Mostradores de corrente, potência ativa e potência reativa.
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave Seletora de Amperímetro: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave 13L24: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado da seccionadora 33L2-4, 33L2-5, 33L2-6 e 33L2-7 (aberta ou fechada).
- Painel disjuntor 14T6 e 14H1 verificar na subestação.

A.30 Painel do Disjuntor DJ 13D1

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 13D1.

- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Indicador de Pressão: mostrador luminoso que indica a normalidade da pressão do ar comprimido associado ao referido disjuntor.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave 13D1: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 13D1-1, 13D1-2 tais como aberta ou fechada.

A.31 Painel do Disjuntor DJ 13T1

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 13T1.

- Mostradores: Painéis interligados a medidores de corrente, potência Ativa e potência Reativa.
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave 13T1: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.

- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 33T1-4, 33T1-5 e 33T1-6 tais como aberta ou fechada.

A.32 Painel do Disjuntor DJ 13T2

Esse painel representa os dispositivos de interação relacionado com o disjuntor DJ 13T2.

- Mostradores: Painéis interligados a medidores de corrente, potência Ativa e potência Reativa.
- Chave 43: Chave de duas posições Normal/Transferido utilizada pra a transferência de proteção do disjuntor. Na posição N temo o uso dito como normal, ou seja, a proteção está atuando no disjuntor principal e a posição "T" indicando que a proteção está associada agora ao disjuntor auxiliar.
- Chave Seletora de Tensão: Chave de 4 posições sendo uma de desativação.
- Chave 13T2: Chave de três posições com uma posição de repouso central e as duas posições restantes que comandam o disjuntor abrindo e fechando o mesmo.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.
- Indicador luminoso de seccionadoras: Formado por dois indicadores luminosos de cores diferentes os quais indicam o estado das seccionadoras 33T2-4, 33T2-5 e 33T2-6 tais como aberta ou fechada.

A.33 Painel de 13.8kV

Esse painel apresenta os dispositivos de interação associados às linhas de transmissão 01Y1, 01Y2, 01Y3, 01Y4 e 01Y5. Como elementos comuns de interação entre o operador e o sistema temos:

- Quadro anunciador de eventos: Mostrador através do qual podem ser visualizadas informações de alarmes associadas ao banco de capacitores. Esse dispositivo possui ainda alguns elementos de interação listados a seguir.
 - Chave TL: chave de pressão utilizada para teste de lâmpadas

- Chave TF: chave de pressão utilizada para teste completo, lâmpadas associadas ao som de buzina.
- Chave QS: chave de pressão utilizada para reset de som (verificar)
- Chave RE: chave de pressão utilizada para o reset geral do quadro
- Botoeira de teste de lâmpadas: Utilizada para testar as lâmpadas presentes no painel.

A.34 Painel da Linha de Transmissão 01Y1

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 a qual faz a interligação entre a subestação de Campina Grande II e a subestação de Pocinhos. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y1: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

A.35 Painel da Linha de Transmissão 01Y2

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 interligada a subestação de Campina Grande II e alimenta o distrito industrial e parte do bairro do Velame. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y2: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

A.36 Painel da Linha de Transmissão 01Y3

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 interligada a subestação de Campina Grande II provendo o fornecimento de energia para

a cidade de Queimadas. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y3: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

A.37 Painel da Linha de Transmissão 01Y4

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 interligada a subestação de Campina Grande II provendo o fornecimento de energia para parte do Distrito Industrial. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y4: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

A.38 Painel da Linha de Transmissão 01Y5

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 interligada a subestação de Campina Grande II provendo o fornecimento de energia para parte do Distrito Industrial. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y5: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

A.39 Painel da Linha de Transmissão 01Y6

Esse painel representa o dispositivo de interação na linha de transmissão 01Y1 interligada a subestação de Campina Grande II provendo o fornecimento de energia para parte do Distrito Industrial. Essa linha de transmissão opera na tensão de 13.8kV e seus dispositivos de interação podem ser descritos como segue:

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y6: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

- Mostradores: Mostrador de corrente na fase b
- Chave 21Y6: Chave 101 do tipo giro-giro utilizada para manobrar o disjuntor associado.
- Chave CLT: Utilizada para seleção de comando em nível local ou remoto.

Anexo B - Instrução Normativa IN-OC-01004

CHESF

INSTRUÇÃO NORMATIVA

IN-OC.01.004

VIGÊNCIA
15/09/95

SISTEMA: OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

SUBSIST: OPERAÇÃO DO SISTEMA E INSTALAÇÕES

ASSUNTO: CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE INSTALAÇÕES, EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO E REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

1. OBJETIVO

Estabelecer uma codificação operacional para identificação das instalações, equipamentos e linhas de transmissão e definir a representação de equipamentos em diagramas unifilares.

2. ABRANGÊNCIA

A presente Instrução Normativa abrange os equipamentos/LT's integrantes do Sistema Eletroenergético, excluindo os equipamentos referentes a Serviços Auxiliares.

3. IDENTIFICAÇÃO/CODIFICAÇÃO

3.1 Identificação Operacional das Instalações

As instalações são identificadas por uma sigla de 03 (três) letras, conforme a relação aprovada pelo Comitê Coordenador de Operações do Nordeste - CCOR, constante do Anexo I desta Instrução Normativa.

3.2 Codificação Operacional dos Equipamentos e Linhas de Transmissão

Cada equipamento é identificado por um código alfanumérico de 4 a 6 dígitos, conforme exemplo no Anexo II, que deve ser colocado no equipamento ou na sua estrutura de fixação, através de uma plaqueta ou pintura no próprio corpo, nas dimensões 100 x 200mm com fundo amarelo e caracteres preto, com a seguinte estrutura:

1o.	2o.	3o.	4o.	-	5o.	6o.
-----	-----	-----	-----	---	-----	-----

Onde:

a) 1o. Dígito

Define o tipo de equipamento.

Gerador, Transformador, Linha de Transmissão, Regulador	
Série, CE, CS, Banco Capacitor, Reator e Barramento	0
Disjuntor	1
Religador	2
Seccionadora	3
Chave fusível	4
Chave de abertura em carga, VCR e VBM	5
Chave de aterramento rápido	6
Para-raios	7
Transformador de potencial	8
Transformador de corrente	9

EDICÃO APROVAÇÃO *Luiz José Nascimento Carneiro*
4a. Superintendente de Operação e

DATA EMISSÃO FOLHA
24/08/95 1/6

SISTEMA: OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO
 SUBSIST: OPERAÇÃO DO SISTEMA E INSTALAÇÕES
 ASSUNTO: CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE INSTALAÇÕES, EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO E REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

Os transformadores de potencial e de corrente e pára-raios só serão codificados quando existir mais de um desses elementos associados a um equipamento principal.

b) 2o. Dígito

Define a tensão de operação do equipamento.

1 a 9,9 KV	6
10 a 25 KV	1
26 a 50 KV	9
51 a 75 KV	2
76 a 150 KV	3
151 a 250 KV	4
251 a 550 KV	5

Quando se tratar de transformadores elevadores conectados a unidades geradoras, deverá ser adotado o código definido para a tensão de geração. Para os demais transformadores deverá ser adotado o código do maior nível de tensão.

c) 3o. e 4o. Dígitos

O 3o. e 4o. dígitos definem a função e a sequência do equipamento ou linha, excetuando-se pára-raios e transformadores de potencial e de corrente que, da mesma forma que os equipamentos interruptores, deverão ter esses caracteres definidos em função dos equipamentos principais a eles associados.

Quando se tratar de barramentos principal e auxiliar, o 4o. dígito complementa a informação da sua função.

Gerador	G1, G2 ... G9
Transformador de aterramento	A1, A2 ... A9
Barramento principal	BP
auxiliar	BA
outros	B1, B2 ... B9
Equipamento de transferência/central	D1, D2 ... D9
Reator paralelo	E1, E2 ... E9
Banco de capacitor	H1, H2 ... H9
Compensador síncrono	K1, K2 ... K9
estático	Q1, Q2 ... Q9
Regulador série	R1, R2 ... R9
Transformador	T1, T2 ... T9

SISTEMA: OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO
 SUBSIST: OPERAÇÃO DO SISTEMA E INSTALAÇÕES
 ASSUNTO: CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE INSTALAÇÕES, EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO E REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

Linha de transmissão	C1, C2 ... C9
	F1, F2 ... F9
	J1, J2 ... J9
	L1, L2 ... L9
	M1, M2 ... M9
	N1, N2 ... N9
	P1, P2 ... P9
	S1, S2 ... S9
	V1, V2 ... V9
	Y1, Y2 ... Y9
	Z1, Z2 ... Z9
Disjuntor comum a dois ou mais transformadores	W1, W2 ... W9
Equipamentos que estejam nas instalações, mas sem aplicação para a operação, energizados ou suscetíveis de energização através de outros equipamentos manobráveis	X1, X2 ... X9

d) 5o. Dígito

Define a posição do equipamento.

Barramento seccionável,	
Transformador de potencial,	
Transformador de corrente,	
Pára-raios e Seccionadora de disjuntor de transferência	1, 2, 3, 4
Seccionadora de barramento	1, 2, 3
Seccionadora de disjuntor, lado do barramento	4
Seccionadora de disjuntor, lado contrário do barramento	5
Seccionadora de "by pass"	6
Seccionadora de aterramento	7
Seccionadora de gerador	1, 2
Seccionadora com outras funções	8, 9
Transformador de mesma classe de tensão rigidamente paralelo a outro(s) e Disjuntor de auto-trafo	A, B, C

Este dígito, quando for usado, será separado do 4o. dígito por um traço (-).

e) 6o. Dígito

Utilizado apenas nos casos de necessidade de diferenciar dois ou mais equipamentos de mesma posição vinculados a um mesmo equipamento principal. Adota-se letras em ordem alfabética.

OBS.: Não deverão ser codificados os seguintes equipamentos:

- . Bobina de bloqueio;
- . Reator limitador de corrente;
- . Mufas e cabos subterrâneos;

SISTEMA: OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO
SUBSIST: OPERAÇÃO DO SISTEMA E INSTALAÇÕES
ASSUNTO: CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE INSTALAÇÕES, EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO E REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

4. REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

4.1 Desenho em linha cheia com código

- . Equipamentos instalados no pátio e entregues à operação.
- . Equipamentos fora de operação ou retirados do pátio desde que já entregues à operação e com previsão de retorno. No entanto, deverá ser representada sua disponibilidade pelo símbolo -//-

4.2 Desenho tracejado com código

- . Equipamentos instalados no pátio, porém não entregues à operação.

4.3 Desenho tracejado sem código

- . Equipamentos não instalados no pátio, porém previstos no POCP.

5. RESPONSABILIDADES

- 5.1 Compete à Divisão de Metodização da Operação-DOMO, a identificação operacional das instalações e a codificação dos equipamentos e linhas de transmissão, bem como a elaboração e divulgação de diagramas unifilares de operação.
- 5.2 Compete aos órgãos executivos de Operação de Instalação a implantação e manutenção das plaquetas de identificação dos equipamentos nos pátios das instalações.

6. DISPOSIÇÃO FINAL

Esta Instrução Normativa substitui a 3a. edição, emitida em 29.03.93.

* * *

EDICÃO APROVAÇÃO
4a.

BRUNO JOSÉ NEPOMUCENO CASCINHO
Supervisor de Operação e
Comercialização de Energia

DATA EMISSÃO/FOLHA
24/08/95 4/6

SISTEMA: OPERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO

SUBSIST: OPERAÇÃO DO SISTEMA E INSTALAÇÕES

ASSUNTO: CODIFICAÇÃO OPERACIONAL DE INSTALAÇÕES, EQUIPAMENTOS E LINHAS DE TRANSMISSÃO E REPRESENTAÇÃO EM DIAGRAMA UNIFILAR

ANEXO I

INSTALACAO	SIGLA	UF	INSTALACAO	SIGLA	UF
. AGUAS BELAS (FUTURA)	ABL	PE	. MONTE SANTO (FUTURA)	MSA	PE
. ABAIXADORA	ABX	BA	. NOSSORO II	MED	RN
. ACU II	ACD	RN	. NESSIAS	MSI	AL
. ACONORPE (CONS.)	ACN	PE	. NATATU	MNT	BA
. ANGELIM II	AGD	PI	. NOXOTO	MXT	BA
. ANGILIM	AGL	PI	. NARANDEIRA (FUTURA)	NRD	BA
. ALCAN-ARATU (CONS.)	ALC	BA	. NATAL II	NTD	RN
. ALUME SUAPI (CONS.FUTURO)	ALS	PE	. OLINDINA	OLD	BA
. BOA ESPERANCA	BEA	NA	. PAULO AFONSO III	PAT	AL
. BONGI	BGI	PE	. PAULO AFONSO IV	PAQ	AL
. BON JESUS DA LATA	BJS	BA	. PICI II (FUTURA)	PCD	CE
. BANASUIV	BND	BA	. POLO (FUTURA)	PLO	SI
. BON NOME	BNO	CI	. PENEDO II (FUTURA)	PEN	AL
. BARREIRAS (FUTURA)	BRR	PI	. PAU FERRO (FUTURA)	PFE	PE
. BELA VISTA	BVT	BA	. PICOS	PIC	PI
. CABRODO	CAD	PB	. PINECOSTES II (FUTURA)	PMT	CE
. LIBRA (CONS.)	LBR	PI	. PIRAPAMA II	PRD	PE
. CICERO BANTRE	CCD	CI	. PIRIPIRI	PRI	PI
. CANDEIAS (FUTURA)	CDI	BA	. PITUACU (FUTURA)	PTU	BA
. CAMPINA GRANDI II	CGD	BA	. QUIXADA	QKA	CI
. CAMPINA GRANDI I	CGU	PB	. RECIFE II	RCD	PE
. COENHAS	CHA	PB	. RIBEIRAC	RIB	PE
. CANACARI II	CHD	PB	. RIO LARGO II	RLD	AL
. CARAIBA METAIS (CONS.)	CMI	BA	. RUSSAS II	RSD	CE
. CARAIBA MINERACAO (CONS.)	CHI	BA	. SOBRAL II	SBD	CE
. COPIRE (CONS.)	COP	BA	. SOBRAL III (FUTURA)	SBT	CE
. CURBAIS NOVOS II	CND	BA	. SACOS (FUTURA)	SCO	BA
. CANTO DO BURITI (FUTURA)	CTD	BA	. SALGEMA (CONS.)	SGM	AL
. COTEGIPI	CTG	RN	. SIBRA (CONS.)	SIB	BA
. CATU	CTU	PI	. SAO JOAO DO PIAUI	SJI	PI
. CONF. O. RECONCAVO (CONS.)	CQR	BA	. SANTANA DO MATOS II	SND	RN
. BELMIRO GOUVEIA	BMG	BA	. SENHOR DO BONFIM II	SNB	BA
. BON QUINICA (CONS.)	BQN	PI	. SUATI (CONS.FUTURO)	SZI	PE
. IND. PEDRA DO CAVALO (CONS.)	EPD	BA	. SANTA CRUZ II	STD	RN
. ELISEU MARTINS (FUTURA)	ELM	BA	. SANTO A. DE JESUS (FUTURA)	STJ	BA
. EUNAPOLIS (FUTURA)	ENP	BA	. YACAIÑO	TAC	PE
. FERDASA (CONS.)	FES	PI	. TERESINA	TSA	PI
. FUNIL	FML	BA	. TERESINA II (FUTURA)	TSD	PI
. FAFEN (CONS.)	FFN	BA	. USIBA (CONS.)	USA	BA
. FORTALIZA	FTZ	BA	. VARZEA II (FUTURA)	VSD	PE
. FORTALEZA II (FUTURA)	FZD	CE	. XINGO	XNG	SE
. GOIANINHA	GNN	CI	. XIBU	XBU	AL
. GARANHUNS (FUTURA)	GRN	PE	. USINA ABACA (FUTURA)	UAC	PE
. GOVERNADOR MANGABEIRA	GUM	BA	. USINA ABARAS	UAB	CE
. IGEIJA	IGR	BA	. USINA APOLONIO SALLES	UAS	AL
. ICO (FUTURA)	ICO	CI	. USINA BOA ESPERANCA	UBE	PI
. IRECI	IRE	BA	. USINA COTEGIPI (FUTURA)	UCT	BA
. ITABAIANA	ITB	SE	. USINA CUBEMAS	UCB	PB
. ITAPIRI (FUTURA)	ITP	BA	. USINA PEDRA DO CAVALO (FUTURA)	UCV	BA
. ITABAIANINHA (FUTURA)	ITN	SE	. USINA FUNIL	UFL	BA
. ITAPARICA	ITP	PE	. USINA LUIS GONSAGA	ULG	PE
. JACAPACANGA	JCP	BA	. USINA PEDRA	UPI	BA
. JARDIM II (FUTURA)	JDD	SE	. USINA SILETO	USL	BA
. JARDIM	JDR	SE	. USINA COBRADINHO	USC	BA
. JAGUARARI	JGR	BA	. USINA SACOS (FUTURA)	USO	BA
. JUAZEIRO DA BANIA II	JJD	BA	. USINA PAULO AFONSO III	USB	BA
. LINOIPIRO (FUTURA)	LMO	PE	. USINA PAULO AFONSO IV	USQ	BA
. MACIO (FUTURA)	MCO	AL	. USINA PAULO AFONSO III	USY	BA
. MODELO REDUZIDO	MDR	BA	. USINA PAULO AFONSO I	USU	BA
. MILAGRES	MGR	CE	. USINA TECNICA DE CANACARI	UTC	BA
. MULUNGU	MLU	BA	. USINA ITAPIRI (FUTURA)	UTP	BA
. MUSURE II	MUR	PB	. USINA URBANA (FUTURA)	URB	PB
. MURUEIRA	MUR	PE	. USINA XINGO	UXG	SE

ARQ. INB-01