

TESE

1017

Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Planejador Inteligente  
Para o Restabelecimento  
de Subestações Elétricas

Alexandre Rasi Aoki

Abril de 1999



**ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ**

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica



**PLANEJADOR INTELIGENTE  
PARA O RESTABELECIMENTO  
DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS**

Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

**Alexandre Rasi Aoki**

Itajubá, Abril de 1999



Alexandre Rasi Aoki

# PLANEJADOR INTELIGENTE PARA O RESTABELECIMENTO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá para a obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

**Área de concentração:**

Automação e Sistemas Elétricos Industriais

**Orientador:**

Germano Lambert Torres

**Co-orientador:**

Luiz Edival de Souza

Itajubá, Abril de 1999



Alexandre Rasi Aoki

# PLANEJADOR INTELIGENTE PARA O RESTABELECIMENTO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

## Ficha Catalográfica

004.8:621.311.4(043.2)

A638p

Aoki, Alexandre Rasi

Planejador inteligente para o restabelecimento de subestações elétricas. Itajubá, 1999.

112p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Instituto de Engenharia Elétrica.

1. Planejamento inteligente 2. Restabelecimento de subestações elétricas 3. Modelagem funcional I. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Instituto de Engenharia Elétrica II. Título.



# Agradecimentos

À Prof. Germano Leites Lima, pelo incentivo, incentivo e estímulo que me deu neste trabalho.

À Prof. Luiz Inácio de Souza, sempre disposto a ajudar e me fazer muitas coisas.

À minha mãe, a Sônia, que sempre me incentivou, me deu muitas coisas e sempre torceu por mim.

À amiga Paula Henrique R. P. Lima, pelo incentivo e estímulo.

Às amigas do Programa Especial de Pós-graduação do Instituto de Engenharia Elétrica, pela convivência agradável e grande amizade, em especial ao amigo Carlos Henrique V. de Araujo pela ajuda na programação.

À todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À Deus, que sempre esteve presente, para que eu possa concluir e realizar um bom trabalho.

*À minha querida Milena  
por todo amor e carinho*

# Agradecimentos

Ao Prof. Germano Lambert Torres pela orientação, incentivo e amizade que resultaram neste trabalho.

Ao Prof. Luiz Edival de Souza sempre disposto a ajudar e esclarecer minhas dúvidas.

À minha mãe e família que souberam compreender minhas ausências e sempre torceram pelo meu sucesso.

Ao amigo Paulo Henrique R. P. Gama, pelo inestimável incentivo e apoio.

Aos amigos do Programa Especial de Treinamento do Instituto de Engenharia Elétrica pela convivência agradável e grande amizade, em especial ao amigo Carlos Henrique V. de Moraes pela ajuda na programação.

À todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

À Deus que ilumina nossos pensamentos para que possamos transformar o mundo num lugar melhor.



# Sumário

<b>Agradecimentos</b> .....	iii
<b>Resumo</b> .....	viii
<b>Abstract</b> .....	ix
<b>Lista de Figuras</b> .....	x
<b>Lista de Tabelas</b> .....	xiii
<b>Capítulo 1 - Introdução</b> .....	1
1.1 - Considerações Iniciais .....	1
1.2 - Objetivo .....	2
1.3 - Motivação .....	2
1.4 - Organização da Dissertação .....	3
<b>Capítulo 2 - Estudo de Subestações Típicas de 138kV</b> .....	4
2.1 - Introdução .....	4
2.2 - Arranjos de Barra .....	5
2.2.1 - Barra Simples .....	6
2.2.2 - Barra Principal e de Transferência .....	6
2.2.3 - Barra Dupla .....	8
2.3 - Equipamentos de Manobra .....	9
2.3.1 - Chaves .....	9
2.3.2 - Disjuntores .....	9
2.4 - Sistema de Medição .....	10
2.4.1 - Transformadores de Corrente .....	12
2.4.2 - Transformadores de Potencial .....	12
2.5 - Sistema de Proteção .....	12
2.5.1 - Proteção das linhas .....	14
2.5.2 - Proteção de Transformadores .....	15
2.5.3 - Proteção de Barras .....	16



2.6 - Conclusões .....	17
<b>Capítulo 3 - Critérios e Filosofias de Restabelecimento.....</b>	<b>18</b>
3.1 - Introdução.....	18
3.2 - Critérios para o Restabelecimento .....	19
3.2.1 - Linhas de Transmissão e Alimentadores de Distribuição.....	19
3.2.1.1 - <i>Critérios de Restabelecimento</i> .....	21
3.2.1.2 - <i>Critérios de Verificação do Sincronismo</i> .....	21
3.2.2 - Transformadores e Autotransformadores .....	22
3.2.3 - Equipamentos de Controle de Tensão .....	22
3.2.4 - Cargas.....	22
3.3 - Filosofia de Restabelecimento de Subestações .....	23
3.3.1 - Bases Filosóficas .....	23
3.3.2 - Hierarquia e Prioridades de Restabelecimento.....	23
3.3.2.1 - <i>Falta de Tensão</i> .....	23
3.3.2.2 - <i>Atuação de Proteção</i> .....	23
3.3.2.3 - <i>Falha de Disjuntor</i> .....	27
3.3.3 - Restabelecimento da Subestação Elétrica.....	28
3.3.3.1 - <i>Após um Colapso Total</i> .....	28
3.3.3.1 - <i>Após uma Perturbação no Sistema que envolva a Subestação</i> ...	30
3.3.4 - Influências das Condições Operativas do Sistema.....	31
3.4 - Conclusões .....	31
<b>Capítulo 4 - Planejamento Inteligente.....</b>	<b>32</b>
4.1 - Introdução.....	32
4.2 - Representações Básicas para Planejamento Inteligente.....	34
4.2.1 - Representação de Estados e Objetivos .....	34
4.2.2 - Representação de Ações .....	35
4.2.3 - Espaço de Situações e Planejamento.....	36
4.2.4 - Representação de Planos.....	36
4.3 - Engenharia de Conhecimento para Planejamento Inteligente.....	37
4.4 - Conclusões .....	37



<b>Capítulo 5 - Modelagem Funcional e Aquisição de Conhecimentos para Planejamento Inteligente .....</b>	<b>38</b>
5.1 - Introdução.....	38
5.2 - Conceitos Básicos de MFM .....	38
5.2.1 - Objetivos e Funções .....	39
5.2.2 - Estruturas MFM e Relações Meios-Fins .....	40
5.3 - Construindo um Modelo MFM .....	41
5.4 - Derivando Conhecimentos de Planejamento usando MFM.....	43
5.5 - Mapeamento das Funções MFM na Representação de Planejamento .....	46
5.5.1 - Precondições Derivadas da Topologia do Modelo .....	47
5.5.2 - Aquisição de Conhecimentos Específicos .....	48
5.5.3 - Aquisição de Tarefas de Usuário .....	49
5.6 - Domínio de Planejamento baseado em MFM.....	49
5.7 - Conclusões .....	51
 <b>Capítulo 6 - Planejador Inteligente para o Restabelecimento de Subestações Elétricas .....</b>	 <b>52</b>
6.1 - Introdução.....	52
6.2 - Modelagem Funcional de Subestações .....	53
6.3 - Derivando Conhecimentos do Modelo MFM .....	59
6.4 - Sistema de Apoio à Decisão.....	62
6.5 - O Programa PIRSE.....	63
6.5.1 - O Editor de Componentes.....	64
6.5.2 - Interface de Aquisição de Conhecimentos Topológicos .....	66
6.5.3 - Edição das estruturas.....	67
6.5.4 - Interface de Aquisição de Conhecimentos Específicos de Proteção.....	68
6.5.5 - O Simulador .....	69
6.6 - Resultados .....	71
6.6.1 - Exemplo de ocorrência de uma falta ocorrida em uma linha de transmissão .....	72
6.6.2 - Exemplo de ocorrência de um black-out na subestação .....	73



6.6.3 - Exemplo de ocorrência de defeito de um transformador.....	74
6.7 - Conclusões .....	76
<b>Capítulo 7 - Conclusão .....</b>	<b>77</b>
7.1 - Considerações Finais.....	77
7.2 - Trabalhos Futuros.....	79
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>80</b>
<b>Anexo I - Banco de Dados do Wizard de Topologia.....</b>	<b>84</b>
<b>Anexo II - Banco de Dados do Editor de Componentes.....</b>	<b>92</b>
<b>Anexo III - Banco de Dados do Modelo MFM.....</b>	<b>96</b>
<b>Anexo IV - Subrotinas do Planejador Inteligente .....</b>	<b>108</b>

**Introdução**

Um sistema de apoio à decisão que ajuda no restabelecimento de uma subestação deve ter as seguintes características:

- Analisar o estado de um sistema;
- Definir e gerar diagnósticos possíveis pelo estado de um sistema;
- Caracterizar se o defeito é permanente ou transitório;
- Identificar os componentes envolvidos e os sintomas;
- Gerar um plano de restabelecimento.

O sistema desenvolvido é dividido em quatro partes: uma interface de aquisição de dados, um sistema de diagnóstico, um dispositivo de um sistema de planejamento.

- A interface de aquisição de dados estabelece uma base de dados das partes e equipamentos de subestação, topologia e estado de saúde;
- O sistema de diagnóstico possui uma parte intermediária para adquirir o conhecimento de planejamento, enquanto mantém um nível fácil para acessar os dados de conhecimento de cada função MFM;
- A interface entre o modelo MFM e o planejador inteligente é realizada por um conjunto de funções de expansão, que são responsáveis pela manipulação das variáveis e operações de planejamento;
- O sistema de planejamento é responsável por gerar um plano de testes corretivos baseado no estado atual da subestação e de acordo com o diagnóstico de problemas especificado.

A parte de topologia faz parte de um sistema apropriado para adquirir conhecimento de planejamento, porque esse conhecimento é necessário apenas no estado de conhecimento sobre a subestação de um sistema. Como a aquisição de conhecimento está baseada no modelo MFM, esse conhecimento é fundamental.

O sistema de planejamento baseado no MFM é facilmente entendido, mesmo assim é necessário a desenvolvimento de operadores específicos de acordo com a aplicação. As melhorias necessárias para aplicação em outros tipos de subestação é possível, no âmbito das funções MFM, diagnóstico e manutenção e oferecendo flexibilidade ao sistema de apoio à decisão.



# Resumo

O grande aumento do número de blecautes no sistema elétrico de potência brasileiro é uma consequência do pesado carregamento do sistema e da falta de investimento no setor elétrico. Além disso, o impacto dos prolongados blecautes nos consumidores, na economia, e no próprio sistema elétrico torna um restabelecimento rápido e efetivo muito importante.

Uma parte importante do sistema é a subestação elétrica, que atendem a necessidade de interligação, transformação e controle do sistema. O restabelecimento da configuração normal de uma subestação, depois de uma falta, é feita atualmente pela intervenção de um operador humano. Considerando a crescente complexidade no arranjo das subestações, a probabilidade de falha humana e o tempo gasto na execução das ações de restauração são grandes e devem ser evitados.

Este trabalho consiste na aplicação de Planejamento Inteligente com a técnica de modelagem funcional Multilevel Flow Modeling (MFM), para desenvolver um sistema de apoio à decisão capaz de contribuir com o operador de subestação, em uma situação de restabelecimento.

Um sistema de apoio à decisão que ajuda no restabelecimento de uma subestação deve ter meios para:

- Avaliar o agente da ocorrência;
- Definir a área defeituosa isolada pela atuação da proteção;
- Caracterizar se o defeito é permanente ou transitório;
- Identificar os componentes envolvidos e os afetados;
- Gerar um plano de restabelecimento.

O sistema desenvolvido é dividido em quatro partes: uma interface de aquisição de conhecimento, um sistema de modelagem, um mapeador e um sistema de planejamento:

- A interface de aquisição de conhecimento gera um banco de dados das partes e equipamentos da subestação, proteções e tarefas de usuário;
- O sistema de modelagem provê um passo intermediário para adquirir o conhecimento de planejamento, enquanto mantém um modo fácil para acrescentar ou modificar conhecimento de cada função MFM;
- A interface entre o modelo MFM e o planejador inteligente é realizada por um conjunto de funções de mapeamento, que são responsáveis pela instanciação das variáveis e operadores de planejamento;
- O sistema de planejamento é responsável por gerar uma série de planos complexos baseados no estado atual da subestação e de acordo com o domínio de conhecimento especificado.

A técnica de modelagem funcional MFM mostrou-se apropriada para adquirir conhecimento de planejamento, mesmo que tenha se mostrado muito eficiente apenas em relação ao conhecimento sobre a topologia da subestação. Como a aquisição de conhecimento está baseado no modelo MFM, obter um modelo bom é fundamental

O domínio de planejamento baseado em MFM é facilmente entendido, mesmo assim é necessário o desenvolvimento de operadores específicos de acordo com a aplicação. As modificações necessárias para aplicação em outros tipos de subestações é interna às estruturas, no arranjo das funções MFM, facilitando a manutenção e oferecendo flexibilidade ao sistema de apoio à decisão.



# Abstract

The great increase of blackouts' number in Brazilian power system is a consequence of the system overload and the investment lack in the electric sector. Besides, the impact of prolonged blackouts on the consumer, economy, and on the power system itself makes rapid effective restoration very important.

An important part of power systems is the electrical substation, which assist the need of interconnection, transformation and control of the power system. The restoration of the normal configuration of a substation, after a fault, is performed by intervention of a human operator. Considering the growing complexity in the arrangement of the substations, the probability of human failure, and the spent time in the execution of the restoration actions are large and must be evicted.

This work consists of applying intelligent planning joined with multilevel flow modeling (MFM) to develop a software package capable to contribute with the decision making of the human operator of a substation in a restoration situation.

A decision support system that aids the restoration of a substation should have means for:

- Evaluate the agent of the occurrence;
- Define the defective area which was isolated by the performance of the protection;
- Characterize the defect is permanent or transitory;
- Identify the involved components and the affected ones;
- Generate a restoration plan.

The proposed system is divided in four parts: a knowledge acquisition interface, a modeling system, a mapping interface and a planning system:

- The knowledge acquisition interface generates a database of the parts and equipment of the substation, protections and user tasks;
- The modeling system provides an intermediate step to acquire planning knowledge while maintaining an easy way to add or modify knowledge of each MFM function;
- The mapping interface between the MFM and the intelligent planner is realized by a set of mapping functions, that are responsible for initialize planning variables and operators;
- The planning system is responsible for generating a series of complex plans based on the current state of the substation and according to the domain knowledge specified.

The MFM modeling technique has been shown appropriate to acquire planning knowledge, even so it is very efficient just in relation to the knowledge of substation's topology. As the acquisition of knowledge is based on the MFM model, the obtaining of a good model is fundamental.

The planning domain based on MFM can be understood easily, even so it is necessary the development of specific operators according to the application. The necessary modification for application in another topologies of substations is internal to the structures, in the arrangement of the MFM functions, facilitating the maintenance and offering flexibility.



# Lista de Figuras

2.1 - Arranjo de uma subestação com Barra Simples.....	6
2.2 - Arranjo de uma subestação com Barra Principal e de Transferência .....	7
2.3 - Arranjo de uma subestação com Barra Dupla.....	8
2.4 - Vão de linha (proteção e medição) .....	15
2.5 - Vão de transformador (proteção e medição).....	16
2.6 - Duas possíveis configurações de proteção de Barras.....	17
4.1 - Abordagem clássica de planejamento inteligente .....	33
4.2 - Mundo dos blocos .....	34
4.3 - Espaço de Situações e Planejamento .....	36
4.4 - (A) Plano Totalmente Ordenado e (B) Plano Parcialmente Ordenado .....	37
5.1 - Eixos de decomposição funcional utilizados por MFM.....	39
5.2 - Símbolos gráficos utilizados na decomposição meios-fins.....	41
5.3 - Sistema de captação e tratamento de água de uma indústria .....	42
5.4 - Funções e objetivos do sistema de captação e tratamento de água de uma indústria .	42
5.5 - Modelo MFM do sistema de captação e tratamento de água de uma indústria .....	43
5.6 - (A) Descritor para habilitar uma função e (B) Descritor para estabelecer uma função .....	44
5.7 - Representação genérica das precondições dependentes da topologia do modelo.....	48
5.8 - Representação genérica para aquisição de conhecimentos específicos .....	48
5.9 - Representação genérica para aquisição de tarefas de usuário.....	49
5.10 - Representação genérica dos operadores habilitar e estabelecer.....	50
6.1 - Divisão em estruturas de uma subestação Barra Simples .....	54
6.2 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para linhas de transmissão .....	54
6.3 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para o barramento de entrada.....	55
6.4 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para o transformador T1 .....	56
6.5 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para cargas .....	57
6.6 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para a barra de saída.....	57
6.7 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para o banco de capacitores .....	58
6.8 - Representação genérica dos Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER....	59



6.9 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função transporte TrL11 .....	60
6.10 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função fonte SoBP .....	61
6.11 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função balanço BaBT .....	61
6.12 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função dreno SiBP .....	62
6.13 - Estrutura do Planejador Inteligente para tarefas de restabelecimento .....	62
6.14 - Tela de abertura do programa PIRSE .....	64
6.15 - Programa PIRSE .....	64
6.16 - Editor de Componentes .....	65
6.17 - Wizard de aquisição de conhecimentos topológicos .....	66
6.18 - Montando a topologia de uma subestação barra simples .....	67
6.19 - Edição dos componentes da subestação .....	68
6.20 - Interface de aquisição de conhecimentos específicos de proteção .....	68
6.21 - Editor de Falhas .....	69
6.22 - Fluxograma do Simulador .....	70
6.23 - Algoritmo da Função Habilitar .....	70
6.24 - Algoritmo da Função Estabelecer .....	71
6.25 - Plano de restabelecimento do exemplo 1 .....	73
6.26 - Plano de restabelecimento do exemplo 2 .....	74
6.27 - Plano de restabelecimento do exemplo 3 .....	75
I.1 - Subestação Barra Simples .....	84
I.2 - Banco de dados de conhecimentos topológicos .....	86
I.3 - Subrotina para salvar a configuração na memória .....	86
I.4 - Subrotina para adicionar áreas no banco de dados .....	88
I.5 - Subrotina para criar o banco de dados .....	91
II.1 - Banco de dados - arquivo EditSub.ini .....	94
II.2 - Subrotina para salvar o banco de dados do Editor de Componentes no arquivo EditSub.ini .....	95
III.1 - Banco de dados - arquivo EditSub.ini .....	98
III.2 - Subrotina para criar o banco de dados do Modelo MFM de uma subestação Barra Simples .....	107



IV.1 - Subrotina do planejador inteligente.....	110
IV.2 - Subrotina para habilitação .....	111
IV.3 - Subrotina para estabelecimento .....	112

2.1 - Principais variáveis de grandezas elétricas e suas funções.....	10
2.2 - Principais características do sistema de medição .....	12
2.3 - Principais métodos de proteção empregados em subestações .....	14
3.1 - Hierarquia de substâncias.....	19
4.1 - Capacidades de carga de um sistema de planejamento.....	34
5.1 - Conexões de funções permitidas em MFM.....	41
5.2 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para habilitar .....	46
5.3 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para estabelecer .....	46



# Lista de Tabelas

2.1 - Principais medidas de grandezas elétricas e suas funções .....	10
2.2 - Principais características do sistema de medição.....	12
2.3 - Principais relés de proteção encontrados em subestações .....	14
3.1 - Hierarquia de restabelecimento.....	19
4.1 - Capacidades desejáveis de um sistema de planejamento.....	34
5.1 - Conexões de funções permitidas em MFM.....	41
5.2 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para habilitar.....	46
5.3 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para estabelecer .....	46



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 – Considerações Iniciais

O crescente número de blecautes no sistema elétrico de potência (SEP) brasileiro é uma consequência da sobrecarga do sistema e da falta de investimento no setor elétrico. Além disso, o impacto de blecautes prolongados nos consumidores, na economia, e no próprio sistema elétrico fazem com que um restabelecimento rápido e efetivo seja muito importante [1].

Uma parte importante do SEP é a subestação elétrica, que atende às necessidades de interconexão, transformação e controle do sistema. O restabelecimento da configuração normal de uma subestação, depois da ocorrência de uma falta, é executada através da intervenção de um operador humano, muitas vezes com o auxílio de um sistema automatizado de controle e supervisão.

Considerando a complexidade das topologias das subestações, e ainda que a tarefa de restabelecimento não é uma tarefa totalmente automática, a probabilidade de uma falha humana e o tempo gasto na execução das ações de restabelecimento é grande e devem ser evitados.

Hoje em dia a implantação de sistemas automatizados em subestações elétricas, assim como sua viabilidade técnica, já estão consolidados com vários equipamentos e produtos sendo ofertados no mercado, e inúmeras aplicações no setor. Estes sistemas são baseados na automação das ações de supervisão (sinalização e medição), controle (comando e seleção) e proteção.

Este trabalho consiste na aplicação de Planejamento Inteligente juntamente com a técnica de modelagem funcional Multilevel Flow Modeling (MFM), para desenvolver um sistema de apoio à decisão capaz de contribuir com o operador de subestação na execução de sua tarefa de restabelecimento.

A aplicação de planejamento inteligente em sistemas reais de engenharia têm sido mostrada ser particularmente difícil devido a dificuldade de adquirir conhecimentos robustos



dos especialistas. Além disso, este conhecimento, quando adquirido, é muito dependente do domínio e muito raramente pode ser reutilizado em outras aplicações.

Já o processo de construção de um modelo MFM é altamente dependente do nível de abstração desejado, um sistema pode ser descrito sob muitos pontos de vista diferente, e pode definir vários níveis de representação [2, 3, 4].

Por fim, um sistema de apoio à decisão que contribua no restabelecimento de uma subestação deve ter meios para:

- Avaliar o agente da ocorrência;
- Definir a área defeituosa que foi isolada pela atuação da proteção;
- Caracterizar se o defeito é permanente ou transitório;
- Identificar os componentes envolvidos e os afetados;
- Gerar um plano de restabelecimento [5].

## 1.2 - Objetivo

O objetivo dessa dissertação é aplicar técnicas de aquisição de conhecimento para planejamento inteligente combinadas com técnicas de modelagem funcional para se construir um sistema de apoio à decisão que ajude o operador de subestações elétricas na execução da tarefa de restabelecimento. Esta aplicação deverá apresentar flexibilidade na manutenção e adição de novos conhecimentos, bem como fornecer subsídios para aplicação em sistemas automatizados de supervisão e controle de subestações elétricas.

## 1.3 - Motivação

Com a crescente utilização de sistemas automatizados de controle e supervisão em subestações elétricas, disponibilizou-se uma grande quantidade de dados e informações via rede de computadores. Estes dados e informações podem ser utilizados não somente pelos sistemas automatizados como também por outros sistemas computacionais que possam acessá-los da rede.

O desenvolvimento de sistemas automatizados integrados com sistemas inteligentes têm se mostrado viável tecnologicamente e necessário, uma vez que num sistema de operação desassistida de subestações, onde o operador está muito longe da subestação e controla várias subestações ao mesmo tempo, os sistemas de apoio à decisão são ferramentas importantes e necessárias para uma boa operação do sistema elétrico.



## 1.4 – Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte maneira. O Capítulo II descreve brevemente os tipos mais comuns de subestações de 138kV, e ainda apresenta os arranjos de barra mais utilizados, os equipamentos de manobra, proteção e medição encontrados normalmente nessas subestações.

No Capítulo III, são descritos os critérios e filosofias de restabelecimento comumente adotados em subestações de 138kV, e ainda é apresentada a hierarquia e prioridades de restabelecimento após um colapso total e após uma perturbação no sistema.

No Capítulo IV, são apresentadas os conceitos básicos de planejamento inteligente, e ainda são apresentadas as representações básicas de estados, objetivos, ações e planos.

No Capítulo V, é apresentada a técnica de modelagem funcional MFM (Multilevel Flow Modeling) e definidos seus objetivos e funções. Utiliza-se um exemplo simples para se demonstrar o processo de construção de um modelo MFM e como derivar conhecimentos a partir desse modelo.

No Capítulo VI, é apresentado o planejador inteligente para o restabelecimento de subestações elétricas. Primeiramente, são apresentados os modelos MFM utilizados e as interfaces de aquisição de conhecimento, em seguida são mostrados os resultados obtidos e confrontados com os resultados obtidos por um sistema especialista.

O Capítulo VII apresenta as conclusões e discussão de trabalhos futuros que poderiam orientar novas pesquisas que possam dar continuidade aos resultados obtidos nessa dissertação.



# CAPÍTULO 2

## ESTUDO DE SUBESTAÇÕES TÍPICAS DE 138kV

*O objetivo deste capítulo é descrever brevemente os tipos mais comuns de subestações de 138kV. Serão descritos os arranjos de barra, os equipamentos de manobra, o sistema de medição e proteção encontrados usualmente nestas subestações elétricas. E ainda, serão apresentados detalhes de operação dessas subestações que serão importantes para os estudos de restabelecimento das mesmas.*

### 2.1 - Introdução

As subestações elétricas constituem um ponto do sistema elétrico de potência (SEP) onde a energia é transformada, controlada e distribuída. Assim, por serem pontos de operação do SEP, devem ter suas ações e comandos coordenadas a partir de programas e filosofias de operação, em conformidade com as informações coletadas pelos sistemas de medição e proteção. Além dos equipamentos principais, as subestações possuem equipamentos de manobra, de medição e proteção.

Dentro da subestação elétrica, existem inúmeras maneiras de se promover as ligações entre os vários componentes que a compõe. As ligações elétricas definem o arranjo, ou topologia, da subestação que, agregando o binômio confiabilidade/custo, delineiam a qualidade de fornecimento da energia elétrica nas diversas condições de operação.

Sendo assim as características operativas de uma subestação são definidas pelos equipamentos de manobra e pelo seu arranjo de barra. Cada arranjo possui suas vantagens e desvantagens, que serão mostradas neste capítulo, sendo cada um deles mais adequado a um certo tipo de aplicação.

O condicionamento dos arranjos das subestações, para atender a premissa de maior confiabilidade do sistema elétrico, deve abranger também as características que permitam absorver os impactos das condições anormais de operação [6].

Os equipamentos de manobra permitem que conexões e/ou desconexões sejam feitas entre os vários componentes de um sistema elétrico. Em uma subestação os equipamentos de



manobra são as chaves e disjuntores [7]. Sua importância também se evidencia quando da necessidade de ações corretivas sob falta, que será mostrado neste capítulo e no capítulo 3.

Os sistemas de medição e proteção são de fundamental importância na análise das ações que devem ser tomadas durante o restabelecimento, portanto as principais características dos relés de proteção e dos instrumentos de medição serão apresentadas no decorrer deste capítulo [8].

## 2.2 - Arranjos de Barra

↙ O esquema elétrico ou arranjo de uma subestação é definido a partir do nível de confiabilidade desejado, ou seja, do objetivo de se manter o compromisso de fornecimento de energia elétrica aos consumidores.

A função mais importante das subestações é garantir a máxima segurança de operação e serviço a todas as partes componentes do sistema elétrico. As partes defeituosas ou sob falta devem ser desligadas imediatamente e o fornecimento de energia deve ser restaurado por meio de manobras.

Assim sendo, a escolha do arranjo de barra no planejamento de uma subestação, assume um significado fundamental e deve ser realizada estritamente de acordo com o planejamento do sistema elétrico. Outros fatores que influenciam a escolha do arranjo de barra são:

- A possibilidade de divisão da rede, por exemplo, para reduzir a potência de curto-circuito;
- A sensibilidade e reação dos consumidores em caso de interrupção do fornecimento de energia;
- A influência mútua dos consumidores em caso de flutuações de tensão;
- Número de altas tensões de alimentação, reguladas e não reguladas, assim como consumidores distantes;
- Segurança do SEP, de equipamentos e de pessoas;
- Facilidade de manutenção;
- Simplicidade e eficiência da proteção;
- Facilidade de ampliações.

Juntamente com os aspectos técnico deve-se lembrar dos custos, que estão intimamente ligados à escolha do arranjo de barra a ser utilizado, isto é, todos os requisitos técnicos exigidos para uma subestação são proporcionais aos custos de investimentos [6].



## 2.2.1 - Barra Simples

Os esquemas de barra simples são aqueles em que a interligação dos circuitos da subestação somente podem ser feitas em uma única barra, veja Figura 2.1. Esse esquema é de todos o de menor custo, sendo também o mais limitado em termos operativos. Todos os circuitos operam em paralelo.

A manutenção do barramento só pode ser feita com a perda de todos os circuitos da subestação. Além disso, qualquer defeito que atinja o barramento provoca o imediato desligamento de todos os circuitos. A manutenção de qualquer disjuntor obriga a perda do respectivo circuito, nos casos em que não existe a chave de desvio, ou coloca em risco toda a subestação. X

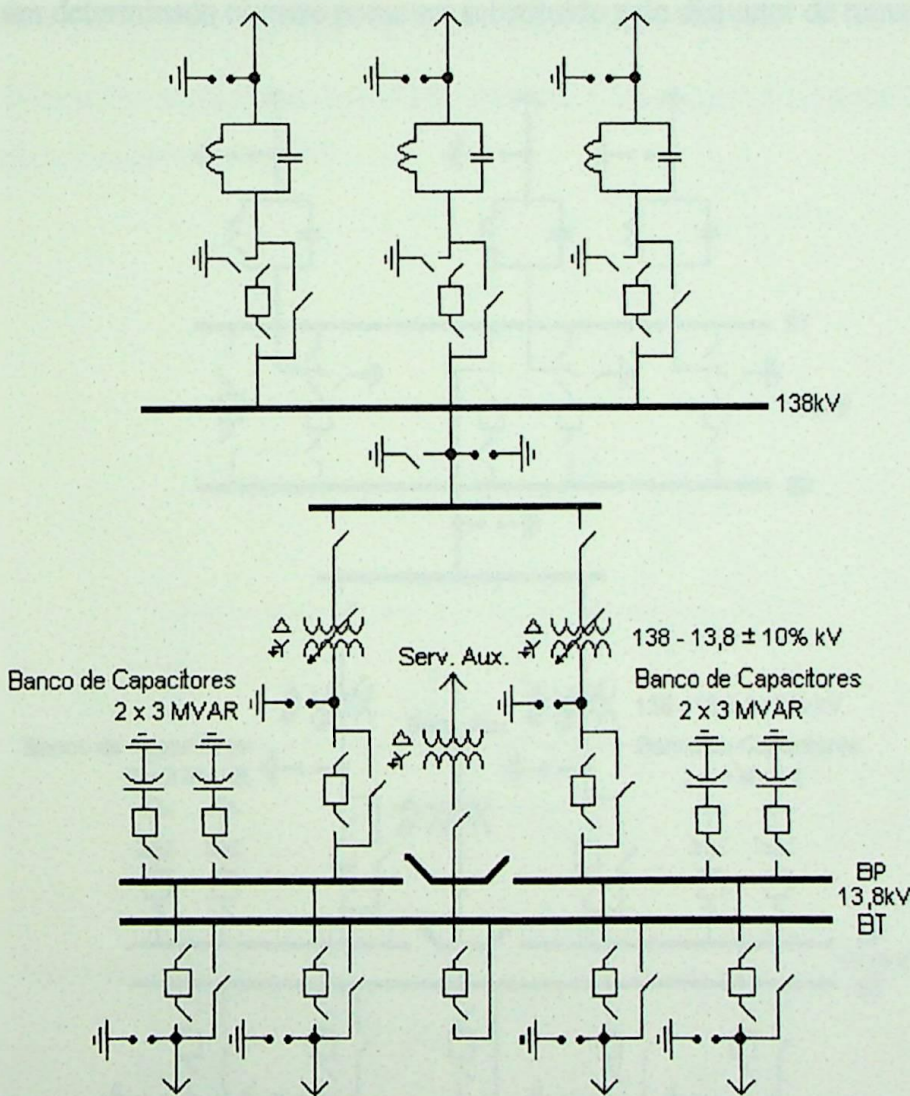


Figura 2.1 - Arranjo de uma subestação com Barra Simples

## 2.2.2 - Barra Principal e de Transferência

Quando uma subestação possui, além de uma barra principal, uma barra para auxiliar as manobras necessárias a liberação de disjuntores para a manutenção, tem-se a configuração denominada Barra Principal e de Transferência, veja Figura 2.2.



Neste tipo de arranjo embora a subestação possua fisicamente duas barras, do ponto de vista operacional continua sendo um esquema de Barra Simples, já que a barra de transferência não pode ser usada para interligar circuitos, sendo operacionalmente apenas um prolongamento da barra principal.

Este esquema possui um disjuntor de transferência entre as duas barras, que assume qualquer um dos circuitos cujo disjuntor esteja em manutenção. A manutenção de disjuntores é bastante freqüente, o que torna desejável o uso deste esquema, o qual permite essa manutenção sem o comprometimento da segurança do sistema.

A manutenção da barra principal também só pode ser feita com a perda de todos os circuitos, e a barra de transferência serve apenas como uma barra auxiliar permitindo que um disjuntor de um determinado circuito possa ser substituído pelo disjuntor de transferência.

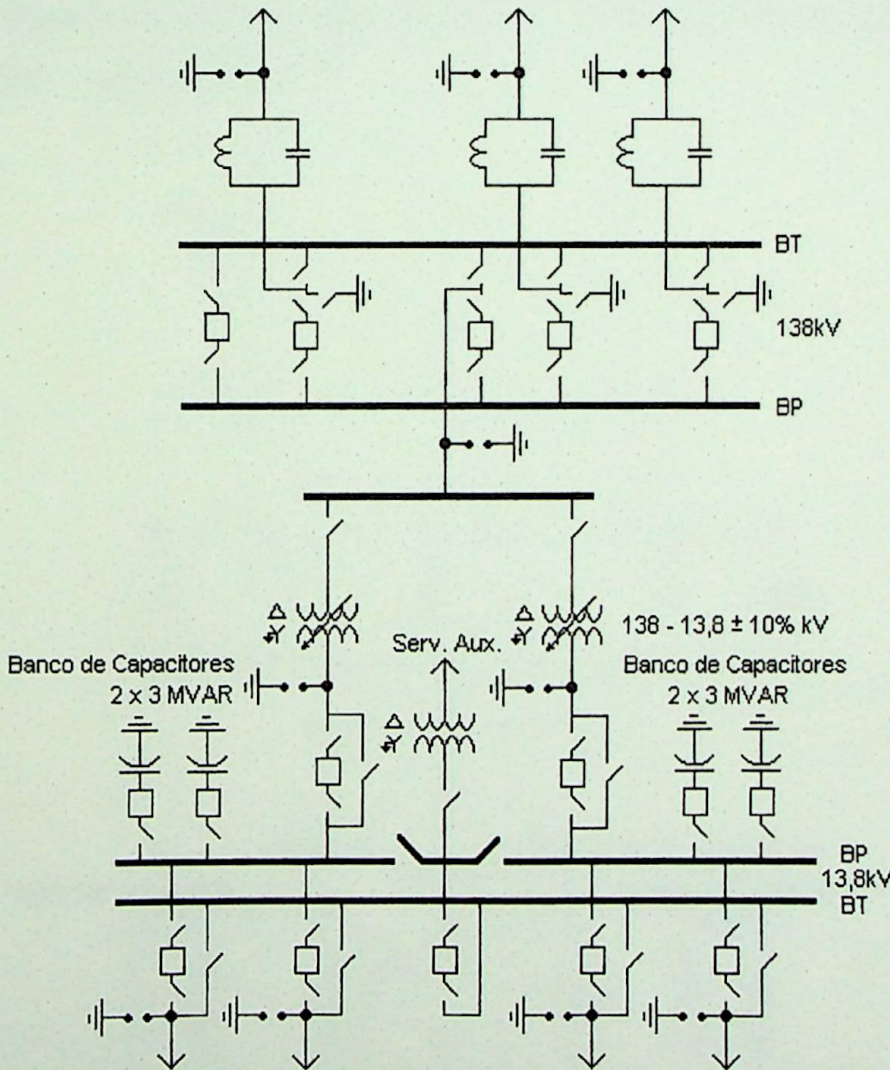


Figura 2.2 - Arranjo de uma subestação com Barra Principal e de Transferência



### 2.2.3 - Barra Dupla

Os esquemas de barra dupla são aqueles nos quais a subestação tem o barramento composto por duas barras, às quais podem ser ligados alternativamente todos os circuitos da subestação, Figura 2.3.

Pode-se usar simultaneamente as duas barras e fazer diversas combinações dos circuitos entre si. Este tipo de arranjo possui um disjuntor de acoplamento ligado entre a barra 1 e a barra 2, que funciona como disjuntor de transferência.

Este esquema além de oferecer grande flexibilidade operativa, tem as vantagens de permitir manutenção nas barras, além de possibilitar a utilização de uma das barras como barra de transferência durante a manutenção de um dos disjuntores de circuito, possibilitando a utilização do disjuntor de interligação como disjuntor de transferência.

Normalmente o arranjo de barra dupla aplica-se a interligações importantes onde não se pode sacrificar a segurança do SEP.

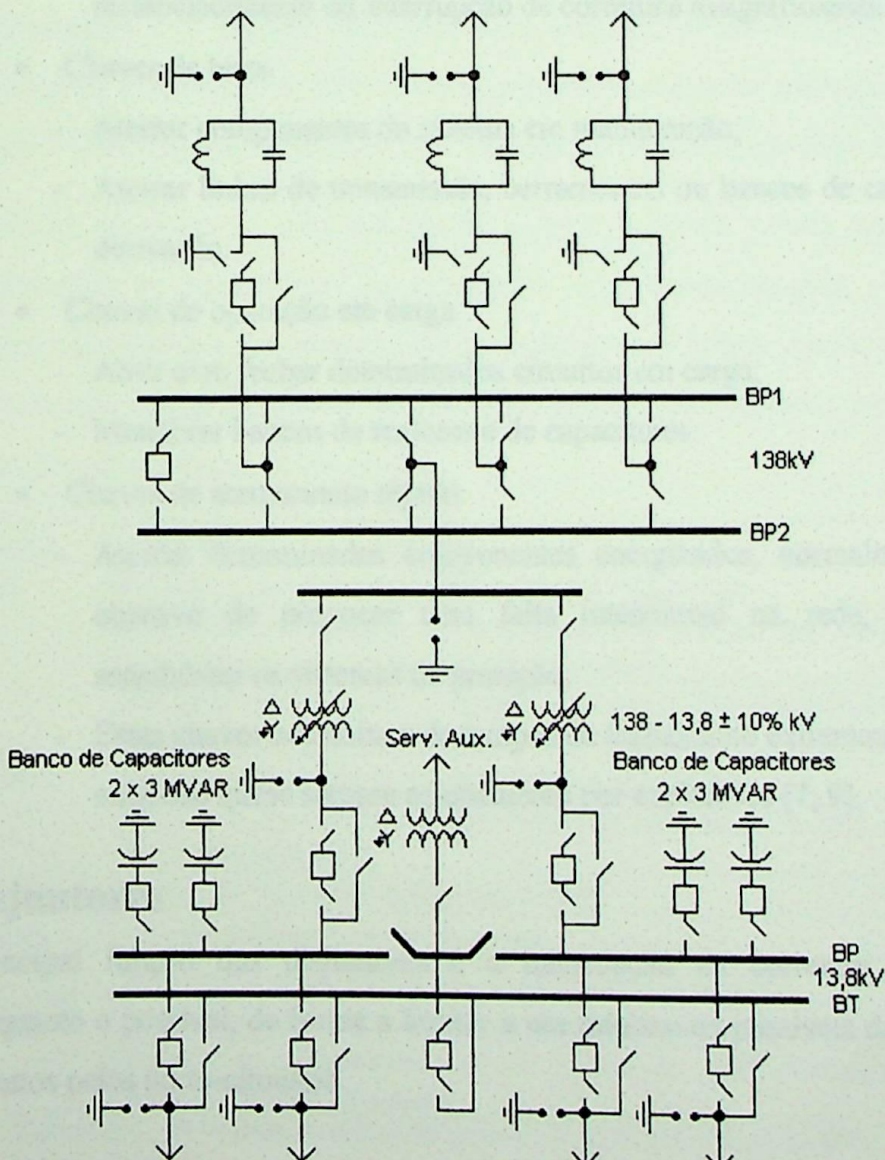


Fig. 2.3 - Arranjo de uma subestação com Barra Dupla



## 2.3 - Equipamentos de Manobra

### 2.3.1 - Chaves

As chaves podem ser classificadas de acordo com as funções que desempenham em subestações de alta tensão:

- Seccionadores
  - Contornar (*baipassar*) equipamentos, como disjuntores e capacitores série, para a execução de manutenção ou por necessidade operativa;
  - Isolar equipamentos, como disjuntores, capacitores série, barramentos, transformadores, reatores, geradores ou linhas, para a execução de manutenção;
  - Manobrar circuitos entre os barramentos de uma subestação;
  - Os seccionadores somente podem operar quando houver uma variação de tensão insignificante entre seus terminais, ou nos casos de restabelecimento ou interrupção de correntes insignificantes.
- Chaves de terra
  - Aterrar componentes do sistema em manutenção;
  - Aterrar linhas de transmissão, barramentos ou bancos de capacitores em derivação.
- Chaves de operação em carga
  - Abrir e/ou fechar determinados circuitos em carga;
  - Manobrar bancos de reatores e de capacitores.
- Chaves de aterramento rápido
  - Aterrar determinados componentes energizados, normalmente com o objetivo de provocar uma falta intencional na rede, de forma a sensibilizar os sistemas de proteção;
  - Estas chaves necessitam de tempos de fechamento extremamente rápidos, exigindo quase sempre acionamento por explosivos [7, 9].

### 2.3.2 - Disjuntores

A principal função dos disjuntores é a interrupção de correntes de falta tão rapidamente quanto o possível, de forma a limitar a um mínimo os possíveis danos causados aos equipamentos pelos curto-circuitos.



Além das correntes de falta, o disjuntor deve ser capaz de interromper correntes normais de carga, correntes de magnetização de transformadores e reatores, e as correntes capacitivas de bancos de capacitores e de linhas em vazio.

E ainda, o disjuntor deve ser capaz de fechar circuitos elétricos não só durante condições normais de carga como na presença de curto-circuitos. Por fim, as funções mais freqüentemente desempenhadas pelos disjuntores são, em primeiro lugar, a condução de correntes de carga na posição fechada, seguindo-se o isolamento entre duas partes de um sistema elétrico.

Os disjuntores são, em geral, chamados a mudar de uma condição para outra ocasionalmente, e a desempenhar a função de abrir faltas ou fechar circuitos sob faltas muito raramente [7, 9].

## 2.4 - Sistema de Medição

A aplicação de equipamentos de medição em sistemas elétricos têm como objetivo permitir a observação e o registro das grandezas elétricas e não-elétricas, fornecendo elementos necessários à operação do SEP. E ainda, possibilita a atuação preventiva e corretiva a fim de garantir o fornecimento de energia aos consumidores com a qualidade adequada [10].

As medidas elétricas em uma subestação devem, portanto, existir em qualidade e quantidade suficientes às necessidades da subestação a ser supervisionada, viabilizando o acesso aos dados necessários à sua operação e à correção de suas falhas. Apesar do sistema de medição supervisionar várias grandezas, as principais grandezas observadas para a operação de uma subestação estão listadas na Tabela 2.1.

GRANDEZA	FUNÇÃO
TENSÃO	Permitir a operação de equipamentos e instalações
	Observar e respeitar as restrições em relação ao isolamento, impostas pelos equipamentos da subestação
	Fornecer dados para o ajuste e atuação dos equipamentos de controle de tensão e compensação de reativo;
CORRENTE	Permitir a operação de equipamentos e instalações
	Permitir o controle do carregamento de equipamentos face às suas restrições operativas
FATOR DE POTÊNCIA	Avaliar as condições operativas do SEP
	Permitir o gerenciamento da carga
	Identificar a necessidade de compensação de reativo
FREQUÊNCIA	Fornecer dados para o ajuste e atuação dos equipamentos
	Permitir o restabelecimento de partes do SEP desligadas pelo sistema de alívio de cargas

Tabela 2.1 - Principais medidas de grandezas elétricas e suas funções



As características do sistema de medição devem seguir os seguintes critérios:

- CLASSE DE EXATIDÃO
  - Os transformadores de corrente (TC) devem possuir classe de exatidão de 0,3 para o núcleo de medição, conforme definido pela NBR 6856, e de 10 para o núcleo de proteção;
  - Os transformadores de potencial (TP) são especificados com classe de exatidão de 0,3 para medição, conforme definido pela NBR 6855, e de 0,3 ou 0,6 para a proteção;
  - Os transdutores utilizados devem possuir classe de exatidão de 0,25%, exceto os transdutores de frequência que devem ter classe de exatidão de 0,01%;
  - Os medidores devem possuir a mesma classe de exatidão padronizada para os instrumentos indicadores de painel, do tipo analógico, que é de 1,5%. Para os aparelhos de medição do tipo digital, a classe de exatidão é de 0,5%.
- VALORES DE ESCALA
  - Voltímetro - a medida de tensão deve permitir a leitura de 110% da tensão nominal do barramento;
  - Amperímetro - a medida de corrente deve permitir a leitura de 110% do limite do condutor da linha ou 150% do carregamento nominal dos transformadores;
  - Medidor de fator de potência - a medida de fator de potência deve permitir a leitura em uma escala de 0,4 indutivo a 0,4 capacitivo;
  - Freqüencímetro - a medida de frequência deve permitir a sua leitura na faixa de 58 a 62 Hertz.

A Tabela 2.2 apresenta as principais características dos sistemas de medição das grandezas de maior interesse.

Os medidores e relés de proteção das subestações são atuados por tensões e correntes supridas por transformadores de potencial (TP) e de corrente (TC). A função dos TP e TC é transformar as correntes e tensões do sistema de potência em magnitudes menores, e fornecer isolamento galvânica entre o sistema de potência e os relés de proteção e instrumentos de medição.



GRANDEZA	LOCALIZAÇÃO	ERRO	RESOLUÇÃO	ESCALA	TEMPO MÁX. AMOSTRAGEM
TENSÃO	Barra 13,8kV	1,0	50V - 1/360	0 a 18kV	4,0 s
	Barra 23,1kV	1,0	100V - 1/300	0 a 30kV	4,0 s
	Barra 34,5kV	1,0	500V - 1/90	0 a 45kV	4,0 s
	Barra 69kV	1,0	500V - 1/180	0 a 90kV	4,0 s
	Barra 138kV	1,0	1kV - 1/180	0 a 180kV	4,0 s
CORRENTE	RDU e RDR	2,0	1/140	0 a 110% do limite do condutor	4,0 s
	LT	2,0	1/140		4,0 s
	Trafos	2,0	1/150	0 a 150% de In	4,0 s
FREQÜÊNCIA	Barramento	0,01	0,1Hz - 1/400	58 a 62Hz	4,0 s
FATOR DE POTÊNCIA	LT	-	-	-0,4 a +0,4	4,0 s

Tabela 2.2 - Principais características do sistema de medição

### 2.4.1 - Transformadores de Corrente

Os transformadores de corrente têm o seu enrolamento primário ligado em série com o circuito de alta tensão. A impedância do TC, vista do lado do enrolamento primário, é desprezível, comparada com a do sistema ao qual estará instalado, mesmo que se leve em conta a carga que se coloca no secundário. Desta forma a corrente que circulará no primário dos transformadores de corrente é ditada pelo circuito de potência, ou circuito primário [9].

Quanto ao tipo, os transformadores de corrente podem ser:

- Transformadores de corrente para serviço de medição;
- Transformadores de corrente para serviço de proteção.

### 2.4.2 - Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial têm a finalidade de isolar o circuito de baixa tensão (secundário) do circuito de alta tensão (primário), e ainda de reproduzir os efeitos transitórios e de regime permanente do circuito de alta tensão o mais fielmente possível no circuito de baixa tensão [9].

Quanto ao tipo, os transformadores de potencial podem ser:

- Transformadores indutivos (TPI);
- Transformadores capacitivos (TPC);
- Divisores capacitivos;
- Divisores resistivos;
- Divisores mistos (resistivo/capacitivo).

## 2.5 - Sistema de Proteção

Os sistemas elétricos defrontam-se com perturbações e anomalias de funcionamento que prejudicam a qualidade do serviço e as próprias instalações elétricas, sendo assim a



aplicação de equipamentos de proteção objetiva assegurar, o melhor possível, a continuidade de alimentação dos usuários e salvaguardar o material e instalações da rede [11].

No cumprimento dessas missões a proteção deve tanto alertar os operadores em caso de perigo não imediato, como retirar de serviço a instalação se há, por exemplo, um curto-circuito que arriscaria deteriorar um equipamento ou afetar toda rede [12].

Nos estudos de proteção de um sistema elétrico, devem ser examinados três aspectos importantes:

- Operação normal do sistema;
- Prevenção contra falhas elétricas;
- Limitação dos defeitos devidos às falhas.

A proteção por meio de relés vem contribuir com o terceiro aspecto, e tem como função principal promover uma rápida retirada de serviço de um elemento do sistema quando esse sofre um curto-circuito, ou quando ele começa a operar de modo anormal que possa causar danos ou, de outro modo, interferir com a correta operação do resto do sistema. E ainda, tem como função secundária promover a indicação da localização e do tipo de defeito.

As principais características funcionais dos relés de proteção são:

- VELOCIDADE: rapidez de atuação que garante a diminuição da extensão do dano ocorrido e auxilia na manutenção da estabilidade do SEP, assegurando a manutenção das condições normais de operação nas partes sãs do sistema;
- SENSIBILIDADE: capacidade de responder às anormalidades nas condições de operação e aos curtos-circuitos para os quais foi projetado;
- CONFIABILIDADE: probabilidade do sistema de proteção satisfazer a função prevista, após longa inatividade, seguida de operação em condições difíceis, o que exige do equipamento de proteção simplicidade e robustez;
- SELETIVIDADE: habilidade em reconhecer e selecionar entre as várias condições, aquelas para as quais uma operação imediata é requerida, e aquelas para as quais nenhuma operação ou um retardo de atuação é exigido [11, 12].

Os relés de proteção são constituídos por um elemento sensor, ou detetor, um elemento comparador e de um elemento de controle, são dispositivos por meio dos quais um equipamento elétrico é operado quando se produzem variações nas condições deste



equipamento ou do circuito em que ele está ligado, ou em outro equipamento ou circuito associado.

Esses relés supervisionam constantemente grandezas dos sistemas elétricos, tais como tensão, corrente, frequência, etc., e grandezas inerentes aos próprios equipamentos, temperatura por exemplo. Eles monitoram estas grandezas do SEP através de transformadores de corrente (TC) e de potencial (TP).

Neste estudo abrange-se apenas os relés de proteção que acionam disjuntores, direta ou indiretamente. Na Tabela 2.3 são apresentados os principais relés encontrados em subestações.

ASA	DESCRIÇÃO
21	Relé de distância
25	Relé de conferência de sincronismo
26	Relé de temperatura do óleo
27	Relé de subtensão
32	Relé direcional de potência
49	Relé de temperatura do enrolamento
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
59	Relé de sobretensão
62	Relé de interrupção ou abertura temporizada
63	Relé de gás
64	Relé de proteção de terra
67	Relé direcional de sobrecorrente CA
78	Relé de proteção contra falta de sincronismo
79	Relé de religamento CA
81	Relé de frequência
87	Relé de proteção diferencial

Tabela 2.3 - Principais relés de proteção encontrados em subestações

### 2.5.1 - Proteção das Linhas

Para as linhas são usados basicamente os relés de proteção de sobrecorrente e de distância. Na Figura 2.4 está apresentado um esquema de proteção e medição de uma linha [8, 13].

Nesta linha tem-se as seguintes medições:

- Correntes nas três fases;
- 3 tensões;
- Potência ativa trifásica;
- Potência reativa trifásica;
- Energia ativa trifásica.



As proteções previstas para esta linha são:

- Relés 21P, 67NP e 67NRP: referem-se a proteção principal de distância e sobrecorrente direcional de terra;
- Relés 21S, 67NS e 67 NRS: proteção secundária para obter maior confiabilidade;
- Relés 51BF: proteção de sobrecorrente para detectar falha de abertura do disjuntor;
- Relés 59T e 27: proteção de sobretensão e subtensão;
- Relés 25 e 79: conferência de sincronismo e religamento CA.

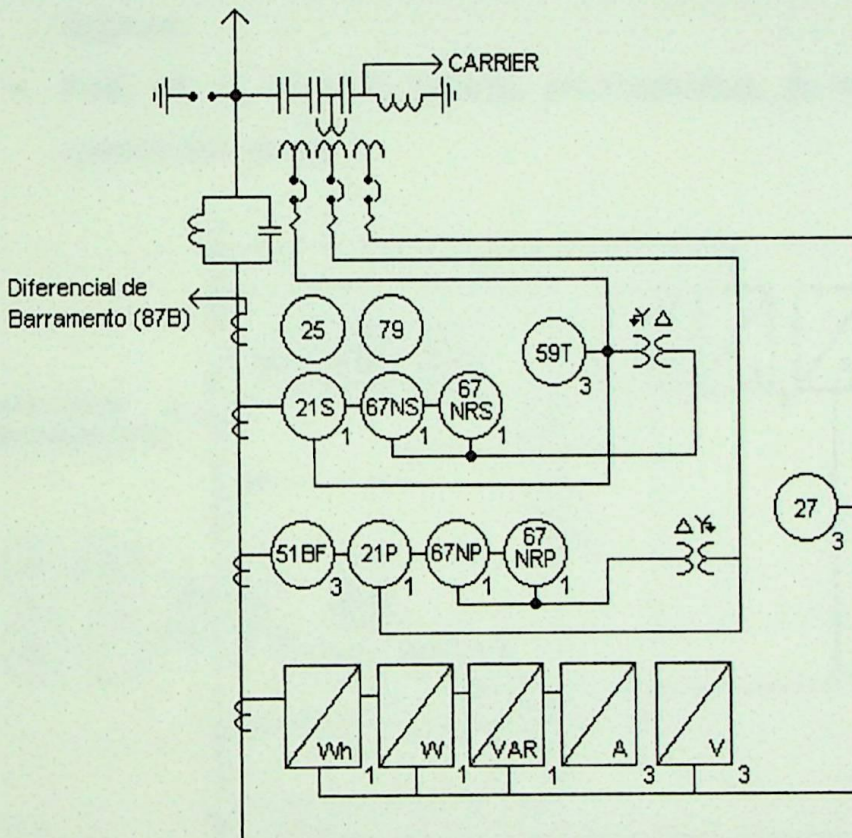


Figura 2.4 - Vão de linha (proteção e medição)

## 2.5.2 - Proteção de Transformadores

Nos transformadores são utilizadas basicamente as proteções de Buchholz, diferencial, sobrecorrente e térmica. Na Figura 2.5 está apresentado um esquema de proteção e medição de um transformador [8, 13].

Neste transformador tem-se as seguintes medições:

- Lado primário:
  - 3 correntes.
- Lado secundário:
  - 3 correntes;



- 3 tensões;
- potência ativa;
- potência reativa;
- energia ativa para faturamento.

As proteções previstas para este transformador são:

- Relé 87T: proteção diferencial;
- Relés 50/51 e 50/51N: proteção de sobrecorrente de fase e de neutro, no primário e secundário, com função de retaguarda;
- Relés 51BF: proteção de sobrecorrente para detectar falha de abertura do disjuntor;
- Relés 49, 26, 63 e 71: proteção por temperatura, de nível de óleo e aparecimento de gases.

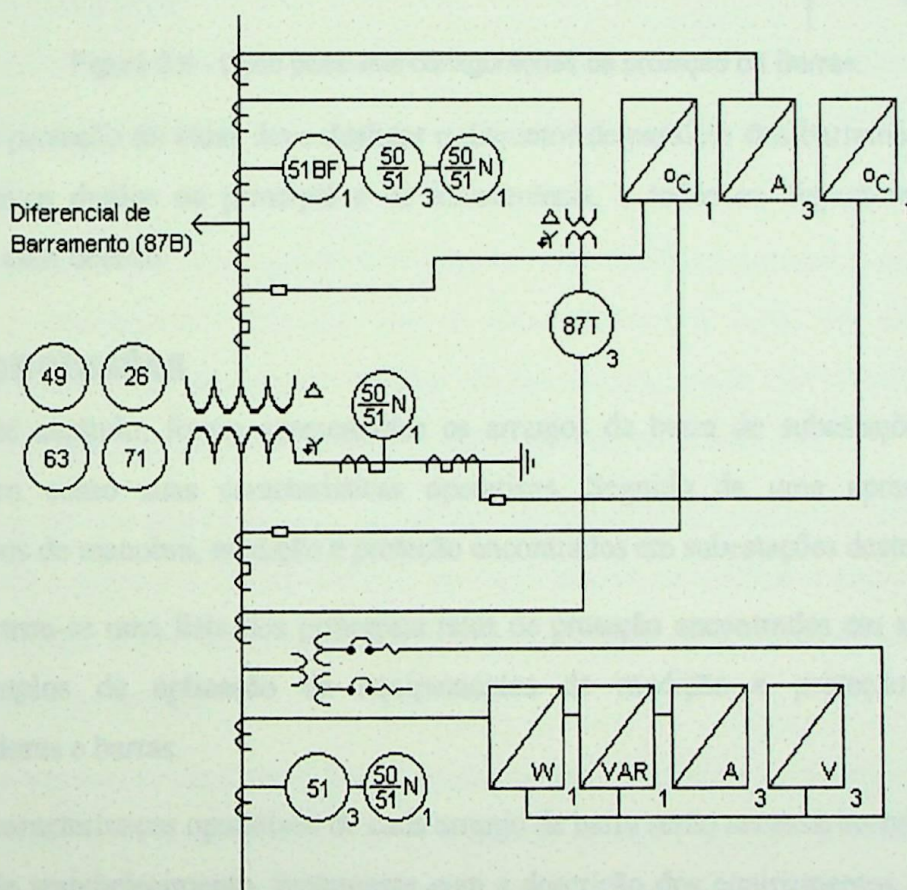


Figura 2.5 - Vão de transformador (proteção e medição)

### 2.5.3 - Proteção de Barras

A proteção de barras é feita por relés operando no princípio de corrente diferencial [8, 13], veja Figura 2.6.



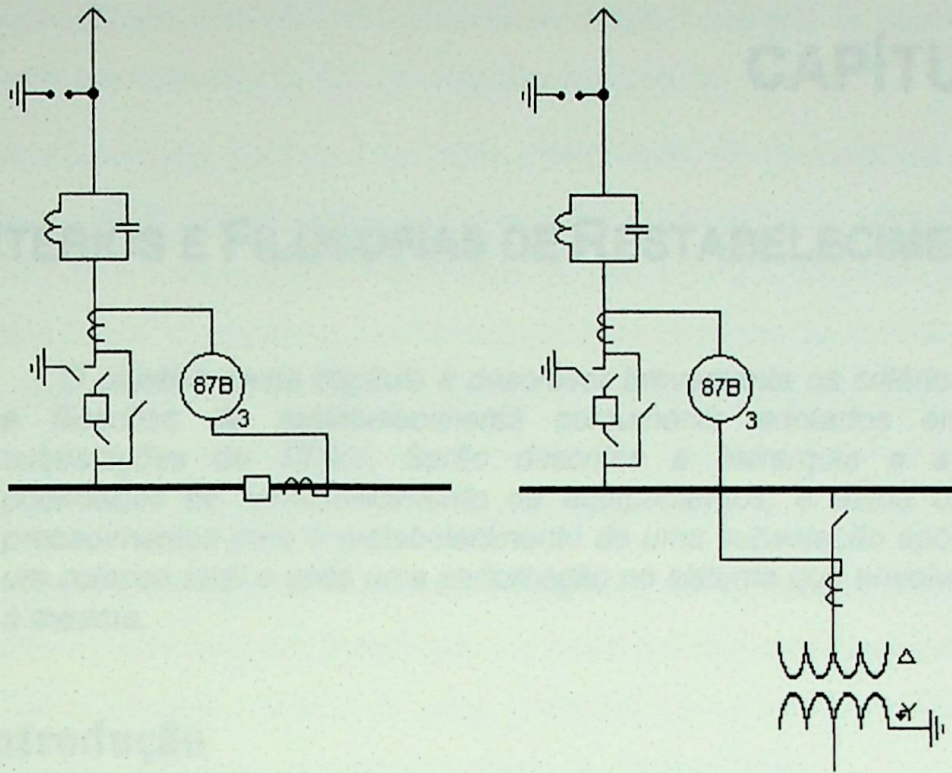


Figura 2.6 - Duas possíveis configurações de proteção de Barras

Esta proteção ao atuar deve desligar o disjuntor de paralelo dos barramentos, no caso de barramentos duplos ou principal e de transferência, e todos os disjuntores ligados ao barramento com defeito.

## 2.6 - Conclusões

Neste capítulo, foram apresentados os arranjos de barra de subestações típicas de 138kV, bem como suas características operativas. Seguido de uma apresentação dos equipamentos de manobra, medição e proteção encontrados em subestações deste tipo.

Mostrou-se uma lista dos principais relés de proteção encontrados em subestações, e ainda exemplos de aplicação de equipamentos de medição e proteção em linhas, transformadores e barras.

As características operativas de cada arranjo de barra serão necessárias nos estudos das manobras de restabelecimento, juntamente com a descrição dos equipamentos de medição e proteção, que constituirão os dados de entrada do sistema de restabelecimento. Estes fatores circunscrevem a definição de critérios e da filosofia de restabelecimento de subestações apresentada no próximo capítulo.



# CAPÍTULO 3

## CRITÉRIOS E FILOSOFIAS DE RESTABELECIMENTO

*O objetivo deste capítulo é descrever brevemente os critérios e filosofias de restabelecimento comumente adotados em subestações de 138kV. Serão descritas a hierarquia e as prioridades de restabelecimento de equipamentos, e ainda os procedimentos para o restabelecimento de uma subestação após um colapso total e após uma perturbação no sistema que envolva a mesma.*

### 3.1 - Introdução

O modelo energético no qual a sociedade se encontra atualmente estruturada, torna imprescindível o fornecimento contínuo da energia elétrica, dentro dos padrões de qualidade estabelecidos.

A interrupção no fornecimento é considerada uma condição anormal, a qual procura-se diminuir sua abrangência e duração, face as conseqüências e danos por ela originados. Contudo, os defeitos em um sistema elétrico são inevitáveis, sejam eles oriundos de causas externas ou internas, de fenômenos elétricos, ambientais ou humanos.

Como, em sua grande maioria, os defeitos são transitórios, procura-se então minimizar os seus efeitos e garantir a continuidade da operação através de técnicas e equipamentos, que visam proporcionar maior rapidez na recomposição do sistema após desligamentos parciais ou totais de seus componentes.

A recomposição da subestação só se inicia após a correta e completa eliminação do defeito. Durante o período transitório, os relés de proteção sentem a presença de uma anormalidade nas características básicas de funcionamento do sistema (tensão, corrente, frequência, etc.) e acionam os equipamentos de manobra para, seletivamente, isolarem o componente defeituoso ou envolvido diretamente no defeito.

A velocidade ou rapidez da atuação dos relés de proteção visa diminuir a extensão dos danos ocorridos, assegurando a manutenção das condições normais de operação nas partes sadias do sistema elétrico. No entanto, dependendo do arranjo de barra da subestação,



algumas partes são envolvidas no desligamento devido à ausência de equipamentos de manobras adequados para interromper correntes de curto-circuito.

Caso o defeito seja transitório, decorrido o tempo típico de eliminação ou extinção da falta, todos os componentes desenergizados podem ser sequencialmente colocados de novo em operação por um sistema de restabelecimento. No caso do defeito ser permanente, chaves seccionadoras devem ser manobradas de forma a que a menor parcela do sistema, aquela que realmente apresenta ou contém o defeito, fique desenergizada aguardando a intervenção da manutenção. Enquanto que as partes sadias, inicialmente desligadas devido à limitação de disjuntores do arranjo da subestação e outras restrições, devem ser reenergizadas.

É muito importante que o sistema de restabelecimento disponha de meios para que, após o defeito ter sido localizado/identificado e o trecho defeituoso desenergizado, haja um restabelecimento eficiente e seletivo de forma a se evitar que os trechos defeituosos ou os defeitos de caráter permanente se propaguem dentro do sistema elétrico.

Dependendo do defeito, deve-se restabelecer apenas parte dos componentes desenergizados, ou apenas parte da carga. Contudo, existe uma hierarquia de restabelecimento, conforme apresentado na Tabela 3.1.

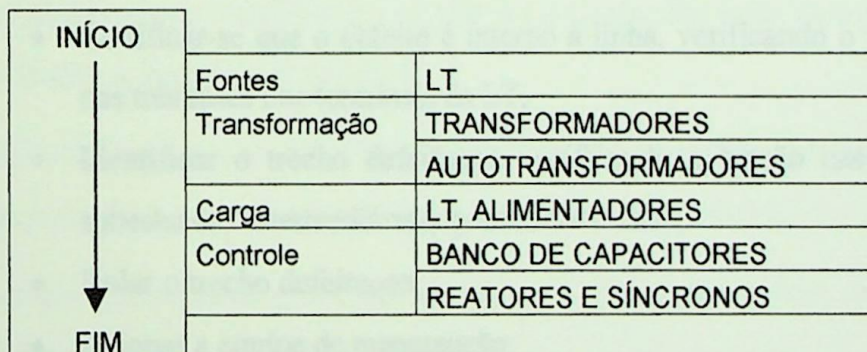


Tabela 3.1 - Hierarquia de Restabelecimento

A filosofia de operação e o estado pré e pós falta dos equipamentos e dos relés de proteção, constituem a fonte de dados inicializadora do processo de restabelecimento. Com base nesses dados e após uma análise dos mesmos, as ações de restabelecimento serão inicializadas e terão sua seqüência definida [1, 14, 15].

## 3.2 - Critérios para o Restabelecimento

### 3.2.1 - Linhas de Transmissão e Alimentadores de Distribuição

Na ocorrência de desligamentos forçados de Linhas de Transmissão (LT) e de Alimentadores de Distribuição, o restabelecimento deverá considerar a seqüência dos eventos ocorridos e as proteções que atuaram para a análise das medidas a serem tomadas. Esta



análise deve ser estruturada de forma a estabelecer uma resposta contendo uma seqüência de manobras, que possua um elevado grau de confiança na eficiência de sua aplicação [16].

Sempre que possível, deve ser tentada uma identificação da causa da ocorrência. Durante a execução dos testes de religamento previstos, as variações das grandezas de interesse ( $V$ ,  $I$ ,  $f$  e  $\theta$ ) nos circuitos e nas barras da subestação devem ser monitoradas, visando identificar e localizar o defeito.

Os Alimentadores de Distribuição são aqueles circuitos que alimentam diretamente, ou por intermédio de seus ramais, transformadores de distribuição. São agrupados em Rede de Distribuição Urbana (RDU) e Rede de Distribuição Rural (RDR). Para esses alimentadores, somente deverá ser permitida a seqüência de religamentos automáticos típica de seus religadores.

Caso se caracterize um defeito permanente pela análise das proteções operadas e das grandezas monitoradas, após uma tentativa insatisfatória de restabelecimento, devem ser acionadas as equipes de manutenção.

Havendo a constatação de falta de fase na linha, pela falta de corrente ou de tensão em uma das fases, deve-se adotar os seguintes procedimentos:

- Certificar-se que o defeito é interno à linha, verificando o valor da tensão nas três fases nos terminais da LT;
- Identificar o trecho defeituoso, verificando a tensão nas três fases nas subestações intermediárias, quando for o caso;
- Isolar o trecho defeituoso;
- Acionar a equipe de manutenção;
- Se a linha for classificada como "alto risco"<sup>1</sup>, a linha deverá ser desligada imediatamente.

No restabelecimento de LT de sistemas em anel, tem-se sempre presente a possível necessidade de se verificar o sincronismo em um dos terminais. No caso de LT radiais, nas quais, em condições normais de operação, só pode haver fluxo de energia em um único sentido, somente é necessário supervisionar a drenagem de carga capacitiva em linhas longas ou paralelas.

---

<sup>1</sup>As linhas são consideradas de "alto risco" se o seu religamento, sob certas condições de falta representar alto risco para terceiros e propriedades.



As condições de pré-energização de LT que devem ser definidas e observadas são as seguintes:

- Restrições quanto aos equipamentos e LT que devem estar em serviço de forma a garantir a estabilidade do SEP;
- Tensão máxima de pré-energização no barramento.

Uma LT não deve ser energizada se não existirem as condições mínimas de pré-energização, ou se houver outra LT energizada com o terminal remoto aberto ou a vazio. O sentido de energização de uma LT pode depender da ocorrência ou possuir sentido único [16].

### **3.2.1.1 - Critérios de Restabelecimento**

- Antes de se energizar uma linha deve-se verificar se não há tensão de retorno;
- É indispensável a verificação das condições de paralelo ou anel em toda a operação de fechamento de disjuntor;
- Desarmado o disjuntor de uma linha em apenas um de seus terminais, esse poderá ser fechado imediatamente se as condições de anel ou paralelo permitirem;
- Desarmado ambos os terminais de uma linha, para o seu restabelecimento deverão ser observados os sentidos de energização estabelecidos pelas instruções operativas da malha regional a que pertença;
- Quando da execução dos testes de energização de linhas, o comportamento dos amperímetros e voltímetros de linha deverão ser monitorados;
- Sempre que necessário, o disjuntor de transferência pode e deve ser utilizado para execução de teste de restabelecimento;
- Ao se energizar uma determinada linha, aguardar o fechamento do seu terminal remoto e uma tomada de carga, para se iniciar o processo de energização de outra linha [16].

### **3.2.1.2 - Critérios de Verificação de Sincronismo**

Normalmente, adota-se o critério de instalar sincronismo somente para terminais de LT de 345 e 500 kV, condição em que seu custo é irrisório em relação ao custo da subestação. A inconveniência deste critério decorre do fato de que, em certos casos específicos, partes do sistema de subtransmissão podem ficar ilhadas após o desligamento de uma ou mais LT do sistema de transmissão.



Uma vez definida a necessidade e o local da instalação de um painel de sincronismo, a rotina de restabelecimento da subestação deve considerar como prioritário o fechamento da LT de interligação, evitando-se o possível ilhamento [17].

### 3.2.2 - Transformadores e Autotransformadores

O restabelecimento de transformadores e/ou autotransformadores só deverá ser feito se não houver a possibilidade da presença de defeito interno.

Quando na subestação houver qualquer perturbação causada por defeito interno em transformadores e/ou autotransformadores, o restabelecimento deste equipamento deverá ser feito manualmente, de acordo com instruções operativas específicas da subestação, após terem sido feitos os teste pertinentes [18, 19, 20, 21].

### 3.2.3 - Equipamentos de Controle de Tensão

O sistema elétrico deverá operar, após a ocorrência de uma contingência simples e restabelecido o regime permanente, considerando apenas a atuação dos reguladores de tensão, LTC automáticos ou de outros equipamentos de controle de tensão, dentro dos seguintes limites com relação a sua tensão nominal ( $V_n$ ):

- Tensão mínima: 90%  $V_n$
- Tensão máxima: 110%  $V_n$

A tensão deverá ser restabelecida aos valores normais através de ações sobre controladores disponíveis tais como, tensão de excitação de unidades geradoras ou compensadores síncronos, taps de transformadores e manobra em equipamentos de compensação reativa, à medida que a carga for sendo retomada.

Dessa forma, os equipamentos de compensação reativa tais como banco de capacitores, reatores e síncronos, caso existam, não deverão ser chaveados durante o processo de restabelecimento [18, 19, 20, 21].

### 3.2.4 - Cargas

As cargas devem ser restabelecidas preferencialmente em blocos iguais ou menores a 3% da carga total dentro de uma seqüência definida e de forma rápida, na medida que não haja variações bruscas de freqüência e tensão.

O início da restauração da carga deverá ocorrer quando a freqüência estiver acima da faixa de 59,7 a 60 Hz, durante um tempo de retardo inicial. A temporização da restauração da carga em blocos graduais permite que o sistema de restabelecimento tenha condições de



distinguir se o estado operativo do sistema elétrico é estável ou oscilatório sob as novas condições operativas, permitindo um equilíbrio estável entre geração e carga nos estágios intermediários de restabelecimento.

A queda de frequência associada a cada bloco ligado não deverá exceder a 0,25 Hz sob a pior condição operativa, e ainda, a restauração deve ser interrompida quando a frequência cair abaixo de 59 Hz [18, 19, 20, 21].

## **3.3 - Filosofia de Restabelecimento de Subestações**

### **3.3.1 - Bases Filosóficas**

O objetivo de um sistema de restabelecimento é recompor a subestação de forma eficiente e rápida, reintegrando-a ao sistema elétrico o mais próximo possível da configuração em que se encontrava antes da perturbação, excluindo apenas os componentes defeituosos ou afetados por faltas permanentes, e aqueles que poderiam levar novamente a subestação, ou o sistema elétrico, à uma nova contingência.

As influências nas condições operativas do sistema elétrico ao longo do processo de recomposição da subestação é avaliada a cada manobra de restabelecimento de forma a validar o que já foi feito e liberar a execução das ações subsequentes.

### **3.3.2 - Hierarquia e Prioridades de Restabelecimento**

#### **3.3.2.1 - Falta de Tensão**

Verificada a falta de tensão na subestação, por um tempo superior a um valor pré-fixado, o sistema de restabelecimento inicia a abertura de todos os disjuntores afim de que nenhum equipamento seja ou venha a ser energizado diretamente das subestações remotas. Caso a subestação possua o relé de subtensão de barra (27) essa ação já é automática.

#### **3.3.2.2 - Atuação de Proteção**

A reenergização de componente após atuação de proteção, deve ser criteriosa e fundamentada em análise dos relés de proteção que atuaram.

A função principal de um sistema de proteção é a de detectar uma perturbação da grandeza monitorada, caracterizar um comportamento anormal do sistema elétrico ou que venha a comprometer a vida útil do equipamento, comandar a abertura do disjuntor de modo a interromper a anormalidade, e isolar o equipamento ou a parte do sistema elétrico afetado pela



anomalia impedindo que a perturbação danifique equipamentos, comprometa a operação ou propague-se para outras partes que não tenham sido atingidas até então.

A função secundária é a de promover uma indicação da localização e do tipo do defeito, sinalizando ao operador o maior número de características presentes na condição anormal detectada, de forma a permitir uma eficiente ação de restabelecimento, através da análise de suas sinalizações.

Assim, pela análise dos relés de proteção que atuaram, pode-se identificar o agente da ocorrência, caracterizar a falta (quanto ao tipo e fases envolvidas) e a sua localização, e em seguida, estabelecer ou eliminar prioridades no processo de restabelecimento.

A seguir, são apresentadas as orientações básicas de restabelecimento associadas à atuação de cada um dos principais relés de proteção presentes em uma subestação [18, 19, 20, 21]:

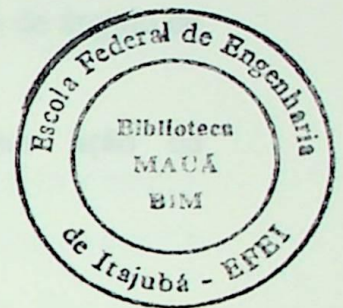
- Por atuação do relé de distância (21)
  - Se atuou a primeira zona, acionar um alarme e bloquear o restabelecimento automático;
  - Se atuou a segunda ou terceira zona, fechar o disjuntor monitorando os amperímetros de linha;
  - Caso o restabelecimento seja não satisfatório e os amperímetros de linha tenham atingido fim de escala, isolar a linha de transmissão.
  
- Por atuação do relé de temperatura do óleo (26)
  - Se atuou o primeiro estágio:
    - Acionar um alarme;
    - Monitorar as correntes do referido equipamento;
    - Caso se caracterize uma sobrecarga, abrir os circuitos pré estabelecidos;
  - Se atuou o segundo estágio:
    - abrir ou verificar aberto os disjuntores da alta e da baixa;
    - Abrir as chaves seccionadoras da alta e da baixa, promovendo o completo isolamento do transformador;
    - Abrir a chave de aterramento, caso exista;
    - Bloquear o religamento dos disjuntores da alta e da baixa.



- Por atuação do relé de subtensão (27) da linha de transmissão
  - Sinalizar e permitir o religamento, no caso do terminal ser seguidor;
  - Sinalizar e bloquear o religamento, no caso do terminal ser iniciador.
- Por atuação do relé de subtensão (27) da barra
  - Abrir ou verificar aberto os disjuntores dos equipamentos de controle de tensão, ou acionar seus bloqueios no caso de um colapso total de tensão na subestação.
- Por atuação do relé direcional de potência (32)
  - Bloquear o religamento até o retorno de fonte forte principal.
- Por atuação do relé de temperatura do enrolamento (49)
  - Se atuou o primeiro estágio:
    - Acionar um alarme;
    - Monitorar as correntes no referido equipamento;
  - Se atuou o segundo estágio:
    - Abrir ou verificar aberto os disjuntores da alta e da baixa;
    - Abrir as chaves seccionadoras da alta e da baixa, promovendo o completo isolamento do transformador;
    - Abrir a chave de aterramento, caso exista;
    - Bloquear o religamento dos disjuntores da alta e da baixa.
- Por atuação do relé de sobrecorrente instantâneo (50) da linha de transmissão
  - Fechar o disjuntor monitorando os amperímetros de linha;
  - Caso o restabelecimento seja não satisfatório e os amperímetros de linha tenham atingido fim de escala, isolar a linha de transmissão.
- Por atuação do relé de sobrecorrente temporizado (51) da linha de transmissão
  - Fechar o disjuntor monitorando os amperímetros de linha;
  - Caso o restabelecimento seja não satisfatório e os amperímetros de linha tenham atingido fim de escala, isolar a linha de transmissão.
- Por atuação do relé de sobretensão (59)
  - Se atuou o primeiro estágio:
    - Acionar um alarme;



- Monitorar as correntes no referido equipamento;
- Se atuou o segundo estágio:
  - Abrir ou verificar aberto os disjuntores dos equipamentos de controle de tensão;
  - Bloquear o religamento dos disjuntores dos equipamentos de controle de tensão.
- Por atuação do relé de tempo (62)
  - Normalmente o relé de tempo é aplicado agregando a temporização a outra função, vale nesse casos, a orientação básica de restabelecimento da função principal.
- Por atuação do relé de gás (63)
  - Se atuou o primeiro estágio:
    - Acionar um alarme;
    - Monitorar as correntes no referido equipamento;
  - Se atuou o segundo estágio:
    - Abrir ou verificar aberto os disjuntores da alta e da baixa;
    - Abrir as chaves seccionadoras da alta e da baixa, promovendo o completo isolamento do transformador;
    - Abrir a chave de aterramento, caso exista;
    - Bloquear o religamento dos disjuntores da alta e da baixa.
- Por atuação do relé de proteção de terra (64) do transformador
  - Abrir ou verificar aberto os disjuntores da alta (138kV) e da baixa (13,8kV);
  - Abrir as chaves seccionadoras da alta e da baixa, promovendo o completo isolamento do transformador;
  - Abrir a chave de aterramento, caso exista;
  - Bloquear o religamento dos disjuntores da alta e da baixa.
- Por atuação do relé de proteção de terra (64) do banco de capacitores
  - Se atuou o primeiro estágio:
    - Acionar um alarme;
    - Monitorar as correntes no referido equipamento;
  - Se atuou o segundo estágio:





- Abrir ou verificar aberto os disjuntores dos equipamentos de controle de tensão;
  - Bloquear o religamento dos disjuntores dos equipamentos de controle de tensão.
- Por atuação do relé de sobrecorrente direcional (67)
    - Fechar o disjuntor monitorando os amperímetros de linha e verificar as condições de sincronismo;
    - Caso o restabelecimento seja não satisfatório e os amperímetros de linha tenham atingido fim de escala, isolar a linha de transmissão.
  - Por atuação do relé contra falta de sincronismo ou de medição de ângulo de fase (78)
    - Verificar a estabilização da frequência para posterior ação de restabelecimento.
  - Por atuação do relé de frequência (81)
    - Promover as funções de alívio de carga, dentro da filosofia de corte de carga em vigor, abrindo os disjuntores específicos, em função da taxa de variação da frequência.
  - Por atuação do relé diferencial (87)
    - Abrir ou verificar aberto os disjuntores da alta (138kV) e da baixa (13,8kV);
    - Abrir as chaves seccionadoras da alta e da baixa, promovendo o completo isolamento do transformador;
    - Abrir a chave de aterramento, caso exista.

### 3.3.2.3 - Falha de Disjuntor

Ocorrendo falha de algum disjuntor durante a abertura automática do mesmo, o sistema de restabelecimento bloqueia todos os outros ligados ao barramento do disjuntor defeituoso. Em seguida, passa a rotina que verifica se uma nova configuração pode ou não ser realizada, em função das restrições operativas existentes e face à nova restrição imposta pela falha do disjuntor. Posteriormente, decide as ações de recomposição da subestação ou o fim do restabelecimento automático.



No caso de defeito no disjuntor e o mesmo bloquear fechado, o isolamento poderá ser feito através da abertura das chaves seccionadoras, independentemente do tipo de defeito no mesmo, desde que a corrente passante seja suficientemente pequena [18, 19, 20, 21].

### 3.3.3 - Restabelecimento da Subestação Elétrica

No restabelecimento, a segurança precede a agilidade. Portanto, o fechamento de qualquer disjuntor somente poderá ser efetivado após a análise conclusiva da perturbação, efetuada em função das proteções operadas e valores das grandezas medidas, e sendo identificada a falta e suas características [22].

Assim sendo, isolado o componente defeituoso nas faltas permanentes, ou eliminada a falta transitória, as condições estipuladas de pré-energização dos equipamentos deverão ser rigorosamente observadas.

Caso a análise da perturbação não leve a uma conclusão, usam-se regras heurísticas, em rotina paralela de restabelecimento, na qual quaisquer dificuldades devem interromper e bloquear o processo.

Seguir sempre os sentidos de energização das linhas de transmissão. Havendo sobrecarga inadmissível em equipamentos o restabelecimento deve ser interrompido. Em caso de perda de equipamentos na subestação deve-se adotar os seguintes procedimentos:

- Se a perda ocorrer simultaneamente com a perturbação total, o equipamento deverá ser isolado de imediato;
- Se a perda ocorrer durante o restabelecimento da subestação, o equipamento deverá ser isolado após a recomposição das linhas.

#### 3.3.3.1 - Após um Colapso Total

Uma perturbação total é caracterizada pela falta de tensão na subestação, normalmente causada por desarme dos disjuntores ou falta de tensão nas linhas de transmissão fonte (LT-fonte). A seguir, é apresentada a seqüência de restabelecimento, no caso de desligamento das linhas de transmissão fonte [22].

- Preparação da subestação:
  - Abrir ou verificar abertos todos os disjuntores das linhas de alimentação (LT-fonte), dos transformadores e dos equipamentos de controle de tensão;



- Caso algum disjuntor não aceite o comando de abertura, abrir as chaves seccionadoras do mesmo, promovendo o seu isolamento e acionando um sinal de alarme;
  - Fechar ou verificar fechado os disjuntores ou chaves seccionadoras dos circuitos ou linhas de carga;
  - Abrir ou isolar as chaves de aterramento rápido que foram acionadas durante o processo de interrupção da contingência, caso existam.
- Restabelecimento:
    - Aguardar tensão por uma LT-fonte;
    - Verificar a chegada de tensão pelo TP de linha de uma LT-fonte;
    - Fechar o disjuntor restabelecendo a tensão no barramento;
    - Fechar o disjuntor de alimentação dos transformadores;
    - Restabelecer as cargas dos transformadores, através da energização dos alimentadores das redes de distribuição local (RDU e RDR);
    - Se necessário, energizar os bancos de capacitores;
    - Aguardar ou enviar tensão pelas demais LT-fonte;
    - Fechar seus respectivos disjuntores em anel, verificando as condições de sincronismo, ou aguardar o fechamento dos disjuntores do terminal remoto;
    - Energizar as LT-carga;
    - Monitorar a corrente durante a reenergização de um equipamento que tiver seu disjuntor aberto por acionamento do relé de proteção.

Sendo satisfatória a seqüência de restabelecimento o defeito foi transitório, caso contrário, o defeito é permanente e deve ser localizado, deve-se abrir seccionadoras e/ou disjuntores do circuito indicado pela análise das proteções e realizar teste de energização. Se o teste de energização for satisfatório, então o defeito foi identificado e está no circuito isolado, caso contrário o defeito deve ser procurado em outro circuito, considerando-se as probabilidades associadas aos valores pré e pós falta, e aos monitorados durante o restabelecimento.

O restabelecimento das cargas deverá ser feito dentro de uma seqüência ótima e atendendo aos critérios pós falta do esquema de alívio de carga, caso exista.



### 3.3.3.2 - Após uma Perturbação no Sistema que envolva a Subestação

Uma perturbação parcial é uma ocorrência em que não há perda total de tensão na subestação, e que a eliminação da contingência envolve apenas alguns dos seus componentes. Apesar da filosofia de restabelecimento ser a mesma, a sua seqüência é variável e dependente do arranjo remanescente após o término da ocorrência (pós falta), e restabelecido o regime permanente [22].

Para esses casos vale o seguinte roteiro de restabelecimento:

- Desarmando um disjuntor da alta (138kV)
  - Verificar se o terminal é seguidor<sup>2</sup>, iniciador<sup>3</sup> ou iniciador/seguidor, pelos sentidos de energização das linhas e as características da perturbação;
  - Se o terminal for iniciador/seguidor, havendo ou não tensão de retorno, fechar o disjuntor enviando tensão se iniciador, ou fechar o disjuntor em anel se seguidor;
  - Se o terminal for iniciador, havendo tensão de retorno, enviar sinal de comando de abertura do disjuntor do terminal remoto e aguardar a abertura do disjuntor do terminal remoto, não tendo tensão de retorno fechar o disjuntor enviando tensão;
  - Se o terminal for seguidor, havendo tensão de retorno, fechar o disjuntor em anel, caso contrário enviar sinal de comando de fechamento do disjuntor do terminal remoto, aguardar o fechamento do disjuntor do terminal remoto e recebendo tensão de retorno, fechar o disjuntor em anel ou paralelo.
- Desarmando um disjuntor de um transformador ou de um equipamento de controle de tensão
  - Seguir orientação estabelecida nos itens 3.2.2 e 3.3.3. No caso de caracterização ou de suspeita de um defeito interno, o restabelecimento deve ser bloqueado, e a equipe de manutenção deve ser acionada.

---

<sup>2</sup> Terminal seguidor: linha viva - barra morta/viva

<sup>3</sup> Terminal iniciador: linha morta - barra viva



- Desarmando um disjuntor (reliador) da baixa (13,8kV)
  - Iniciar o ciclo normal de religamento automático do alimentador, normalmente nenhuma ação global é tomada associada ao restabelecimento de um alimentador.

### 3.3.4 - Influência das Condições Operativas do Sistema

Ao longo de todo o processo de restabelecimento, o sistema de restabelecimento deverá monitorar as variações das grandezas características de interesse:

- Tensão da barra e nos circuitos ( $V_n$ );
- Corrente de fase e residual nos circuitos ( $I_i$ );
- Freqüência da barra ( $f_n$ );
- Ângulo entre a tensão e a corrente ( $\theta_{n_i}$ ).

Tal acompanhamento permite identificar qualquer possibilidade de defeito ou oscilação que possa vir a comprometer o restabelecimento. Os valores amostrados podem validar uma etapa, interromper o processo ou mesmo modificar as ações e a seqüência de restabelecimento [22].

## 3.4 - Conclusões

Neste capítulo procurou-se estabelecer e elucidar alguns critérios de restabelecimento e a filosofia básica de restabelecimento automático de subestações. Um sistema de apoio a decisão para ajudar na tarefa de restabelecimento deve possuir as características descritas para ser aplicável no auxílio à operação da subestação.



# CAPÍTULO 4

## PLANEJAMENTO INTELIGENTE

*O objetivo deste capítulo é apresentar as idéias básicas envolvidas em sistemas de planejamento inteligente. Serão apresentadas as representações básicas de planejamento, tais como: estados, objetivos, ações, planos e soluções. E ainda, será apresentada uma metodologia para resolver problemas usando uma abordagem de planejamento inteligente.*

### 4.1 - Introdução

Os estudos de planejamento inteligente foram consolidados no começo da década de 70 com o surgimento do planejador STRIPS (Stanford Research Institute Problem Solver) que trabalhava com uma representação do mundo em um conjunto de sentenças bem formuladas de predicados de primeira ordem [23].

Planejamento refere-se ao processo de pré-calcular várias etapas de um procedimento de solução de problemas antes de executar qualquer uma delas. Do ponto de vista de Inteligência Artificial, o planejamento é uma técnica onde o programa (planejador) raciocina sobre ações e suas conseqüências para procurar uma solução em um espaço de estados ou planos.

A abordagem clássica (STRIPS) de planejamento inteligente assume uma representação baseada em estados, ou seja, o mundo real é representado em um conjunto de sentenças em uma linguagem formal que descreve o seu estado atual, veja Figura 4.1. Essa abordagem apresenta diversas desvantagens quando se quer representar processos contínuos.

Na Figura 4.1, tem-se as três entradas do planejador (estados, ações e problemas) que serão representadas nos formatos mostrados abaixo das setas verticais, em uma linguagem formal de planejamento. A saída é uma seqüência de ações primitivas (plano), ou seja, ações que o planejador não tem nenhum conhecimento sobre os detalhes e meios de execução.



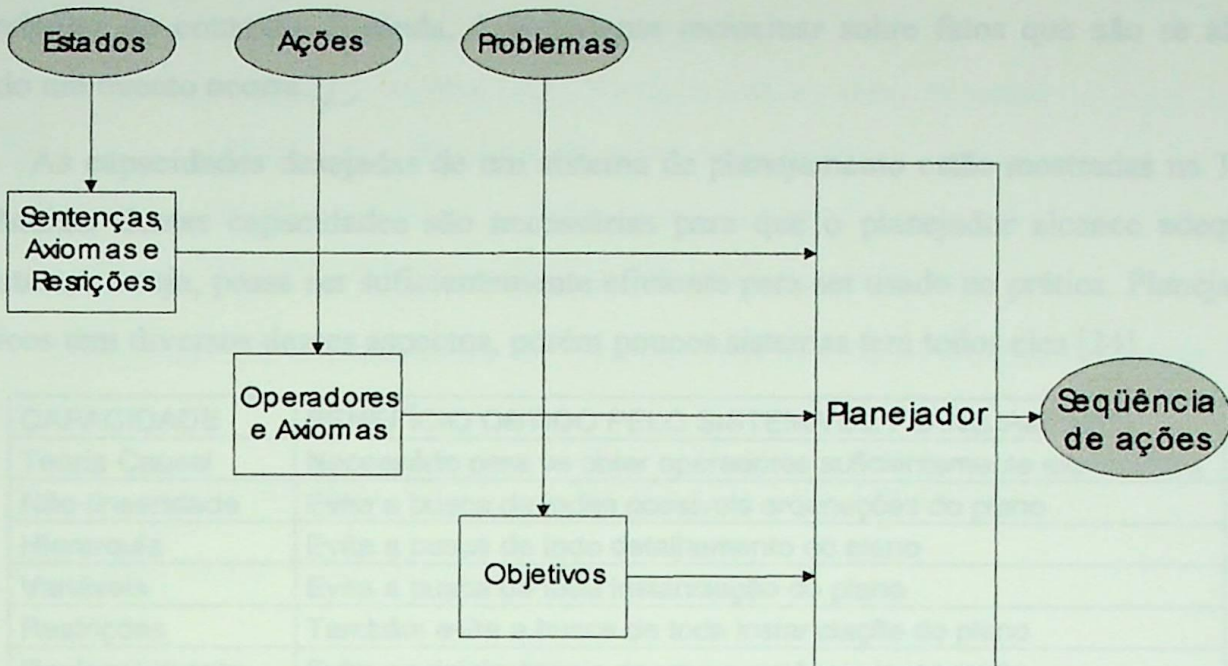


Figura 4.1 - Abordagem clássica de planejamento inteligente

As entradas do planejador são descritas abaixo:

- O estado inicial do mundo é geralmente descrito por um conjunto de sentenças, embora sentenças adicionais possam ser deduzidas pelo planejador através dos axiomas de relações causais e restrições do domínio de planejamento;
- As ações que podem ser tomadas devem ser representadas na forma de operadores, de tal maneira que o planejador possa pegar o estado inicial do mundo e mapear no estado que existirá após a execução da ação (estado objetivo);
- Os problemas encontrados no mundo são representados na forma de objetivos a serem alcançados pelo planejador.

Na abordagem clássica o planejador assume que o estado inicial do mundo não se altera durante a fase de planejamento. Esta é uma importante limitação, pois leva a uma distinção entre tempo de planejamento e tempo de execução.

É importante entender a essência do problema de planejamento para que se possa determinar a dificuldade do problema a ser resolvido por um sistema em particular. O principal aspecto a ser observado é determinar como um mundo complexo é afetado por um evento que ocorre nele, assim pode-se raciocinar sobre como o mundo estava antes do evento e como ficou depois do evento, isto é chamado de problema estrutural.

Outro aspecto do problema estrutural é analisar a diferença entre os efeitos de uma ação que depende da exata situação na qual foi tomada, estes efeitos são chamados de efeitos



dependentes do contexto. E ainda, é importante raciocinar sobre fatos que não se alteram quando um evento ocorre.

As capacidades desejadas de um sistema de planejamento estão mostradas na Tabela 4.1. Muitas dessas capacidades são necessárias para que o planejador alcance adequação heurística, ou seja, possa ser suficientemente eficiente para ser usado na prática. Planejadores clássicos tem diversos desses aspectos, porém poucos sistemas tem todos eles [24].

CAPACIDADE	BENEFÍCIO OBTIDO PELO SISTEMA DE PLANEJAMENTO
Teoria Causal	Necessário para se obter operadores suficientemente expressivos
Não-linearidade	Evita a busca de todas possíveis ordenações do plano
Hierarquia	Evita a busca de todo detalhamento do plano
Variáveis	Evita a busca de toda instanciação do plano
Restrições	Também evita a busca de toda instanciação do plano
Replanejamento	Evita o reinício depois de uma ocorrência inesperada
Independência do domínio	Permite a solução de uma grande variedade de problemas

Tabela 4.1 - Capacidades desejáveis de um sistema de planejamento

## 4.2 - Representações Básicas para Planejamento Inteligente

Para mostrar as representações básicas usadas em planejamento inteligente pode-se definir como domínio-exemplo o mundo dos blocos, que é complexo o bastante para mostrar a necessidade de cada mecanismo, e facilmente entendido. Nesse domínio há uma superfície plana na qual os blocos podem ser colocados. Há vários blocos quadrados, todos do mesmo tamanho. Há um robô que manipula os blocos, veja Figura 4.2 [25].

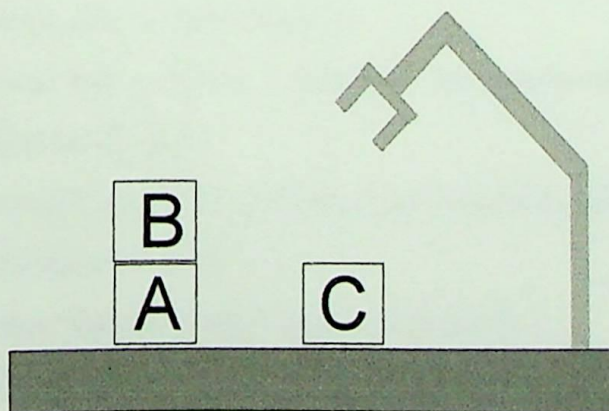


Figura 4.2 – Mundo dos blocos

### 4.2.1 - Representação de Estados e Objetivos

Os estados e objetivos são representados através de predicados de primeira ordem, e essa representação não precisa ser completa. Por exemplo, os estados possíveis no domínio-exemplo são:



- SOBRE (A,B) – Bloco A está em cima do bloco B;
- SOBRE\_A\_MESA (A) – Bloco A está em cima da mesa;
- LIVRE (A) – Não há nada sobre o bloco A;
- SEGURANDO (A) – O braço está segurando o bloco A;
- BRAÇO\_VAZIO – O braço não está segurando nada.

Os objetivos são representados por uma sentença de estados e declarações lógicas, por exemplo:

$$\text{BRAÇO\_VAZIO} \wedge \text{SOBRE (A,B)} \wedge \text{LIVRE (C)}$$

onde o operador lógico  $\wedge$  significa E.

### 4.2.2 - Representação de Ações

A representação das ações (operadores) consiste de três componentes:

- A descrição da ação, que é o que geralmente o planejador retorna ao usuário para ser executado;
- As precondições, que é o que deve ser verdadeiro para que o operador possa ser aplicado;
- Os efeitos, que é o que será mudado quando o operador for aplicado.

As ações (operadores) que o planejador pode executar, no domínio-exemplo, são:

- DESEMPILHAR (A,B)  
*Precondições:* O braço do robô precisa estar vazio e não pode haver nenhum bloco sobre o bloco A  
*Efeitos:* Pegar o bloco A e tirá-lo de sua posição corrente sobre o bloco B
- EMPILHAR (A,B)  
*Precondições:* O braço precisa estar segurando o bloco A e a superfície de B precisa estar livre  
*Efeitos:* Colocar o bloco A sobre o bloco B
- PEGAR (A)  
*Precondições:* O braço precisa estar vazio e não pode haver nada sobre o bloco A  
*Efeitos:* Pegar o bloco A na mesa e segurá-lo
- LARGAR (A)  
*Precondições:* O braço precisa estar segurando o bloco A  
*Efeitos:* Colocar o bloco A na mesa



### 4.2.3 - Espaço de Situações e Planejamento

O espaço de situações e planejamento é representado por todas as possíveis aplicações dos operadores sobre o estado inicial resultando em um novo estado, e ainda, todas as possíveis aplicações dos operadores sobre esse novo estado, e assim por diante, veja Figura 4.3.

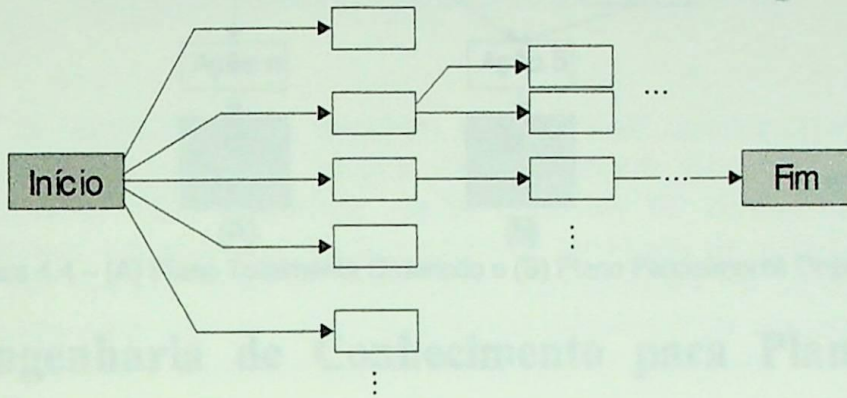


Figura 4.3 – Espaço de Situações e Planejamento

### 4.2.4 - Representação de Planos

Um plano é formalmente definido como uma estrutura de dados consistindo dos seguintes componentes:

- Um conjunto de ações, onde cada ação é representada pelos operadores definidos no domínio de planejamento;
- Um conjunto de restrições na ordenação das ações;
- Um conjunto de restrições na instanciação das variáveis de planejamento;
- Um conjunto de ligações causais, que determinam a necessidade das ações no plano.

Um plano pode ser descrito de duas formas: plano totalmente ordenado e plano parcialmente ordenado, veja Figura 4.4. E ainda, o planejador para atingir o estado objetivo pode raciocinar de dois modos: raciocínio para frente e raciocínio para trás. O raciocínio para frente, ou progressivo, parte do estado inicial e decide quais ações aplicar para atingir o estado objetivo. O raciocínio para trás, ou regressivo, parte do estado objetivo e decide quais ações aplicar para chegar ao estado inicial.

A solução de um problema de planejamento é um plano que quando executado, a partir do estado inicial, garante a obtenção do estado objetivo.



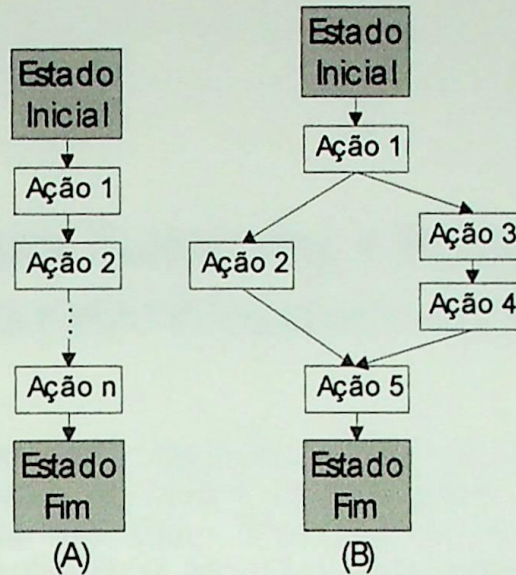


Figura 4.4 – (A) Plano Totalmente Ordenado e (B) Plano Parcialmente Ordenado

### 4.3 - Engenharia de Conhecimento para Planejamento Inteligente

A metodologia para se desenvolver uma solução para problemas utilizando uma abordagem de planejamento é descrita abaixo:

- Definição geral da aplicação;
- Definição do vocabulário a ser utilizado (estados, operadores e objetos);
- Codificar os operadores para o domínio;
- Codificar o problema;
- Apresentar o problema para o planejador e obter os planos.

Esta metodologia foi mostrada nos itens anteriores para o domínio-exemplo do mundo dos blocos [26].

### 4.4 - Conclusões

Este capítulo apresentou através de um exemplo simples, o mundo dos blocos, as representações usadas em planejamento inteligente, e apresentou ainda uma metodologia para resolver problemas utilizando uma abordagem de planejamento inteligente.

A abordagem clássica (STRIPS) é limitada, porém é facilmente entendida. Muito se avançou durante esse período em busca de abordagens mais complexas e eficientes, com algumas aplicações práticas de planejamento inteligente em sistemas reais [27].



# CAPÍTULO 5

## MODELAGEM FUNCIONAL E PLANEJAMENTO INTELIGENTE BASEADO EM MFM

*O objetivo deste capítulo é descrever brevemente os conceitos básicos da técnica de modelagem funcional MFM (Multilevel Flow Modeling). Serão descritas as definições de objetivos e funções MFM, bem como os princípios de construção de um modelo MFM. E ainda serão apresentados os conceitos básicos para mapear os conhecimentos adquiridos de um modelo MFM em uma representação de planejamento inteligente.*

### 5.1 - Introdução

Em um sistema de supervisão é importante obter informações que expliquem o que as partes do sistema devem fazer (qualidades funcionais) e porque devem fazer (qualidades intencionais). Este tipo de informação, chamada meios-fins, é muito pouco fornecida ou mesmo inexistente nas técnicas de modelagem clássicas, que em geral explicam como as diferentes partes do sistema interagem (qualidades comportamentais).

As técnicas de modelagem funcional capturam quais as funções as partes do sistema podem realizar individualmente, ou em conjunto, e como estas funções são realizadas. Multilevel Flow Modeling (MFM) está fortemente relacionada com diagnósticos, raciocínio baseado em modelos e técnicas em geral para modelagem.

MFM utiliza um nível de abstração muito alto e é adequada para planejamento porque permite um raciocínio sobre as funções do sistema e uma abstração dos detalhes técnicos de implementação. Uma das diferenças entre MFM e outras técnicas de modelagem é que MFM estende a pesquisa baseada em modelos com novos métodos, apropriados para aplicação em sistemas complexos. Outra diferença importante é a definição de objetivos e funções, enquanto que outras técnicas não definem estes conceitos explicitamente [3].

### 5.2 - Conceitos Básicos de MFM

MFM introduz objetivos como um conceito necessário e importante para a representação dos propósitos de um sistema de engenharia. Estes objetivos são atingidos se todas as partes do sistema funcionam de acordo com as intenções do projetista. MFM utiliza o



conceito de função para capturar as intenções, as funções são os resultados das interações entre os componentes físicos do sistema e podem variar de acordo com os objetivos a serem alcançados.

MFM utiliza dois tipos de decomposição funcional, todo-parte e meios-fins, para representar um sistema de engenharia, veja Figura 5.1. A decomposição todo-parte é utilizada para descrever refinamentos de uma função a fim de apresentar mais detalhes de sua realização, ou implementação técnica. E ainda, uma função pode representar um sistema complexo utilizando um alto nível de abstração, esta função pode ainda ser decomposta em subfunções representando com mais detalhes as partes que compõem o sistema. Este processo cria estruturas hierárquicas com novas funções e objetivos definidos. A decomposição meios-fins procura identificar as funções e suas conexões, bem como as relações das funções com os objetivos do sistema [2].

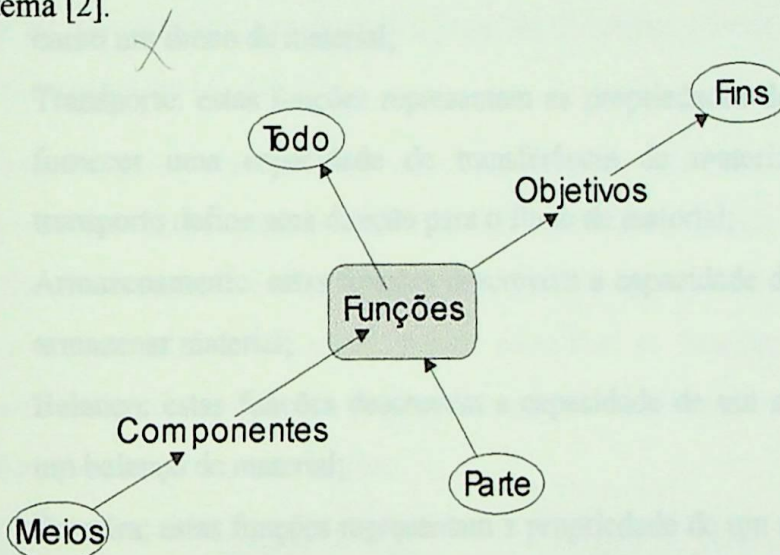


Figura 5.1 - Eixos de decomposição funcional utilizados por MFM

### 5.2.1 - Objetivos e Funções

Os conceitos de objetivos e funções são importantes para a representação das funcionalidades de um sistema de engenharia porque todos os sistemas deste tipo foram construídos com propósitos específicos. Os objetivos devem capturar os propósitos dos sistemas e as funções devem expressar o comportamento útil dos componentes físicos necessários para atingir os objetivos.

Pode-se usar as seguintes definições dos conceitos de objetivos e funções que atendem aos propósitos da técnica MFM [3, 28]:

- Objetivos: define a tendência para qual certas atividades dos sistemas ou suas partes são direcionadas;
- Funções: define qual é o papel de um sistema ou de suas partes para que um ou mais objetivos possam ser atendidos.



A partir destas definições pode-se notar que os conceitos de objetivos e funções estão fortemente relacionados, uma vez que MFM considera função como um comportamento útil de um sistema que pode ser explorado, de acordo com suas propriedades comportamentais, para atingir os objetivos desejados.

### 5.2.2 - Estruturas MFM e Relações Meios-fins

Para representar as funcionalidades de um sistema, MFM define um conjunto de relações meios-fins que são utilizadas para descrever as diversas relações entre funções e objetivos, veja Figura 5.2:

- Fonte: estas funções descrevem a capacidade de um sistema em funcionar como uma fonte infinita de material;
- Dreno: estas funções descrevem a capacidade de um sistema em funcionar como um dreno de material;
- Transporte: estas funções representam as propriedades de um sistema em fornecer uma capacidade de transferência de material, a função de transporte define uma direção para o fluxo de material;
- Armazenamento: estas funções descrevem a capacidade de um sistema em armazenar material;
- Balanço: estas funções descrevem a capacidade de um sistema de prover um balanço de material;
- Barreira: estas funções representam a propriedade de um sistema em evitar a transferência de material entre dois subsistemas.

Estas funções são adequadas para a representação das funcionalidades de sistemas complexos que envolvam a manipulação de massa e/ou energia. A relação de conexão interliga funções através de portos de entrada e saída formando uma estrutura de funções.

Uma estrutura MFM é definida como um grupo de funções interconectadas que processam o mesmo tipo de material. As estruturas são inter-relacionadas por objetivos através de relações meios-fins do tipo alcance e condição. A relação do tipo alcance é utilizada para descrever quais objetivos MFM a estrutura satisfaz. Usualmente, um objetivo é atingido por uma ou mais funções. A relação do tipo condição é usada para conectar um objetivo MFM com uma precondição das funções.



Funções	Fonte	Dreno	Armazenamento	Balanço	Transporte	Barreira
Energia						
Massa						
Relações	Conexão		Condição C		Alcance A	Objetivo o

Figura 5.2 - Símbolos gráficos utilizados na decomposição meios-fins

### 5.3 - Construindo um Modelo MFM

Para se construir um modelo MFM as funções devem ser definidas considerando um alto nível de abstração, uma vez que não interessa especificar detalhes de implementação do sistema. O detalhamento das funções pode ser feito utilizando a decomposição todo-parte, e a representação de um sistema pode ser descrita a partir de diferentes pontos de vista e definir vários níveis de representação [4, 29].

Deve-se seguir regras de sintaxe para conexão de funções, veja Tabela 5.1, estas regras restringem as conexões a um conjunto menor de possibilidades. A primeira coluna da Tabela 5.1 identifica a função, a segunda coluna identifica as funções que podem ser conectadas no sentido do fluxo de material e a terceira coluna identifica as funções que podem ser conectadas no sentido do contra-fluxo de material. Os números entre parênteses representa o número de funções que podem ser conectadas.

Função	Função no fluxo	Função no contra-fluxo
Fonte	Transporte (1)	-
Transporte	Dreno (1)	Fonte (1)
	Balanço (1)	Balanço (1)
	Armazenamento (1)	Armazenamento (1)
Balanço	Transporte (n)	Transporte (n)
Armazenamento	Transporte (n)	Transporte (n)
Dreno	-	Transporte (n)

Tabela 5.1 - Conexões de funções permitidas em MFM

Para elucidar melhor esses conceitos, veja o exemplo mostrado na Figura 5.3, um sistema de captação e tratamento de água de uma indústria. O sistema funciona da seguinte maneira, a indústria capta água de um rio e a bombeia até uma estação de tratamento. Desta estação de tratamento a água é armazenada em um reservatório para, então, ser bombeada, quando necessário, para a caixa d'água.

Sempre que o sensor de nível alto do reservatório (SNAR) estiver desacionado, a bomba do rio (BR) deve ser ligada para encher o reservatório até o sensor de nível alto ser



acionado. Ao mesmo tempo, a caixa d'água da indústria deve ficar com seu nível sobre o sensor de nível crítico (SC). Se o nível da caixa d'água ficar abaixo de SC, a bomba da caixa (BC) deve ser ligada, mas somente se o sensor de nível baixo do reservatório (SNBR) não estiver acionado.

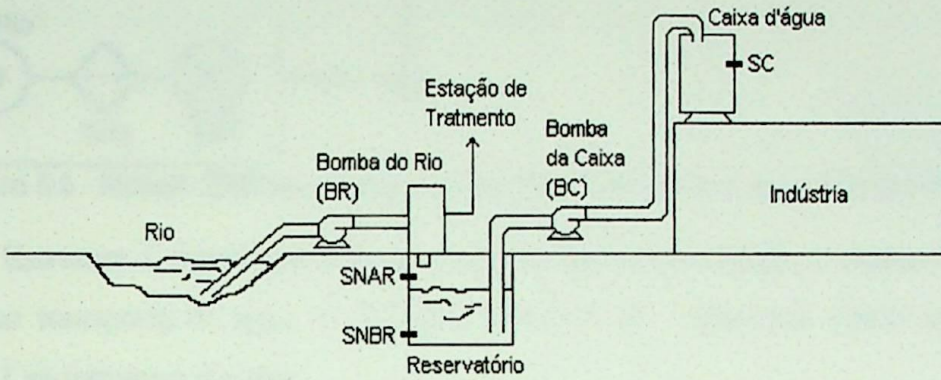


Figura 5.3 - Sistema de captação e tratamento de água de uma indústria

Para construir um modelo MFM, primeiro deve-se identificar os objetivos do sistema, como pode ser visto na Figura 5.4:

- G1: captar água para estação de tratamento;
- G2: manter o nível da caixa d'água acima do limite crítico.

Para atingir esses objetivos os componentes do sistema devem realizar funções que foram previstas durante o projeto do sistema.

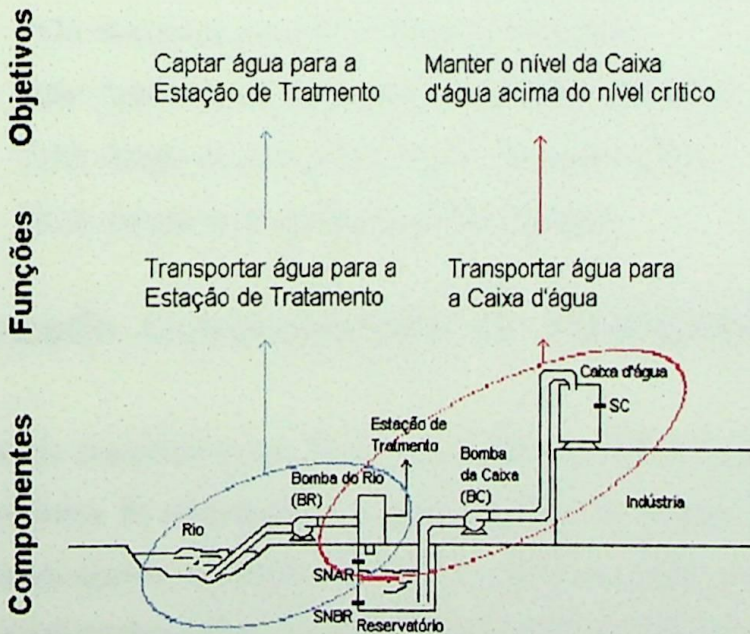


Figura 5.4 - Funções e objetivos do sistema de captação e tratamento de água de uma indústria

Considerando os objetivos e funções definidas na Figura 5.4 pode-se representar o sistema de captação de água de uma indústria através de duas estruturas MFM, conforme ilustrado na Figura 5.5.



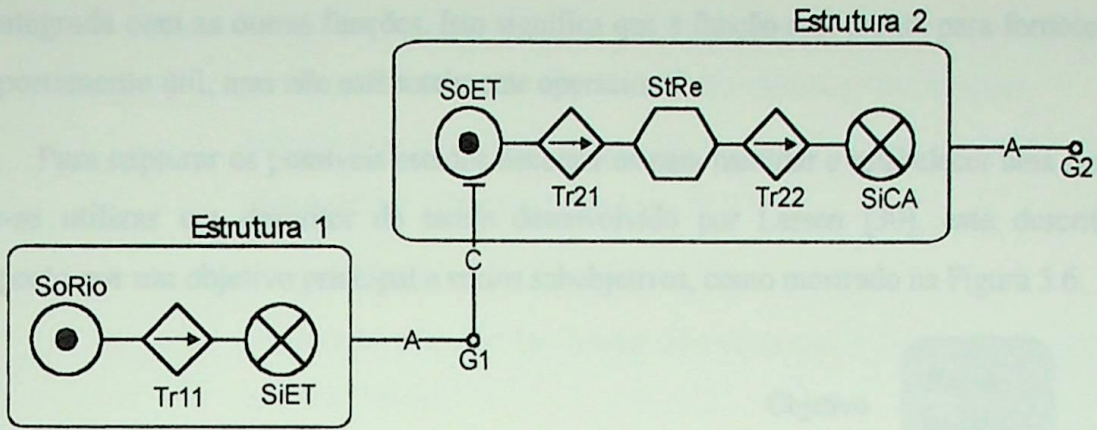


Figura 5.5 - Modelo MFM do sistema de captação e tratamento de água de uma indústria

A Estrutura 1 representa o fluxo de massa (água) para atingir o objetivo G1, que é baseada no transporte de água do Rio para a Estação de Tratamento, foram utilizadas na Estrutura 1 as seguintes funções:

- SoRio: função de fonte de água (Rio);
- Tr11: função de transporte de água (tubulações e BR);
- SiET: função de dreno de água (Estação de Tratamento).

Já a Estrutura 2 representa o fluxo de massa (água) para atingir o objetivo G2, que é baseada no transporte de água da Estação de Tratamento passando pelo Reservatório até a Caixa d'água, foram utilizadas na Estrutura 2 as seguintes funções:

- SoET: função de fonte de água (Estação de Tratamento);
- Tr21: função de transporte de água (tubulações);
- StRe: função de armazenamento de água (Reservatório);
- Tr22: função de transporte de água (tubulações e BC)
- SiCA: função de dreno de água (Caixa d'água).

## 5.4 - Derivando Conhecimentos de Planejamento usando MFM

O processo de desenvolvimento de um plano para um sistema modelado por MFM é comparado ao problema de estabelecer as funções definidas no modelo. Um função MFM pode ser estabelecida quando as funções vizinhas e o processo estão em estados conforme pretendido pelo projetista do sistema e contribuem para atingir os objetivos operacionais.

Entretanto, estabelecer uma função é uma tarefa difícil considerando que os componentes ou os subsistemas podem realizar diversos papéis no sistema. Esta dificuldade é superada dividindo o estabelecimento de uma função em duas etapas. Antes de estabelecer uma função é preciso habilitar a função, a qual pode ser habilitada quando estiver pronta para



ser integrada com as outras funções. Isto significa que a função está pronta para fornecer um comportamento útil, mas não está totalmente operacional.

Para capturar os possíveis estados necessários para habilitar e estabelecer uma função, deve-se utilizar um descritor de tarefa desenvolvido por Larsen [30], este descritor é composto por um objetivo principal e vários subobjetivos, como mostrado na Figura 5.6.

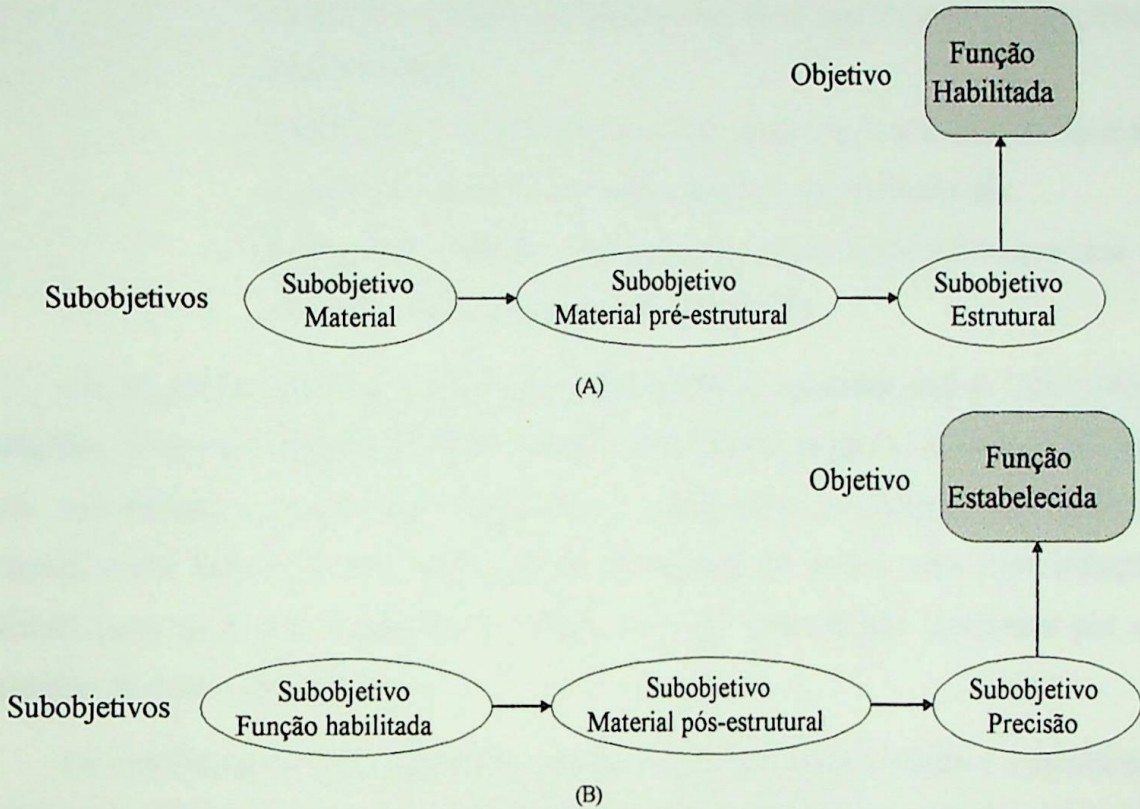


Figura 5.6 - (A) Descritor para habilitar uma função e (B) Descritor para estabelecer uma função

O objetivo principal é atingido quando os subobjetivos são obtidos na ordem mostrada, e ainda os subobjetivos de um descritor podem ser o objetivo principal de outro descritor. Esta conexão permite organizar as condições de habilitação e estabelecimento das funções MFM formando uma estrutura do tipo árvore. Esta decomposição de descritores termina quando ações primitivas<sup>1</sup> são identificadas.

Nem todos os subobjetivos, mostrados na Figura 5.6, precisam estar presentes para que o objetivo principal seja atingido, depende do tipo de função que está sendo habilitada ou estabelecida [30]. Os subobjetivos podem ser definidos como:

- Descritor para habilitar uma função, Figura 5.6 (A)
  - Subobjetivo Material: determina que as funções no fluxo de material devem estar habilitadas;

<sup>1</sup> Ações primitivas geralmente são realizadas por um operador humano nos componentes do sistema, e ainda, também são descritas por uma estrutura do tipo árvore, porém esta ação não exige novas decomposições.



- Subobjetivo Material pré-estrutural: determina a necessidade da presença de material, utilizado somente para algumas funções;
- Subobjetivo Estrutural: determina um estado do processo necessário para suportar o comportamento da função;
- Descritor para estabelecer uma função, Figura 5.6 (B)
  - Subobjetivo Função habilitada: determina que a função deve primeiro estar habilitada;
  - Subobjetivo Material pós-estrutural: determina a presença de material, a função no contra-fluxo de material deve estar estabelecida;
  - Subobjetivo Precisão: determina um estado adicional do processo que expresse uma sintonia/ajuste nas operações.

Os descritores formam o núcleo da representação do conhecimento de planejamento inteligente, para cada função definida no modelo dois descritores são definidos. A utilização desta metodologia consiste em instanciar os subobjetivos e conectar os descritores adequadamente formando uma representação estruturada em árvore, esta representação é utilizada para guiar um mecanismo de busca capaz de gerar planos compostos por uma seqüência de ações primitivas.

Os conhecimentos são organizados em estruturas facilitando a adição e a modificação do banco de dados, além disso o conhecimento é representado baseado nas funções individuais do modelo facilitando a aquisição do conhecimento, bem como a manutenção. Esta representação é composta de três estruturas:

- Estruturas topológicas: para cada função definida no modelo as funções vizinhas, localizadas no fluxo e no contra-fluxo de material são identificadas e organizadas, desta maneira, dada uma função de referência as funções vizinhas são facilmente acessadas;
- Estruturas de estados do processos: capturam os conhecimentos específicos de um domínio, que devem ser adquiridos quando representarem uma condição que deve ser satisfeita afim de suportar o comportamento básico de uma função MFM, dessa forma pode-se desenvolver um planejamento hierárquico;
- Estruturas de tarefas de usuário: organizam os conhecimentos que expressam as tarefas de usuário, este conhecimento é útil para gerar a solução do problema de planejamento, que consiste em uma seqüência de ações para o operador do sistema.



## 5.5 - Mapeamento das Funções MFM na Representação de Planejamento

O mapeamento das funções MFM na representação de planejamento é baseado na instanciação dos objetivos e subobjetivos dos descritores de tarefa mostrados na Figura 5.6 para habilitar e estabelecer as funções, conforme ilustrado nas Tabelas 5.2 e 5.3.

Objetivo Principal	Subobjetivo Material	Subobjetivo Material pré-estrutural	Subobjetivo Estrutural
SoET habilitado	Tr21 habilitado	-	G1
Tr21 habilitado	StRe habilitado	-	-
StRe habilitado	Tr22 habilitado	-	Reservatório não cheio
Tr22 habilitado	SiCA habilitado	-	Reservatório não vazio
SiCA habilitado	-	-	Caixa d'água não cheia

Tabela 5.2 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para habilitar

Objetivo Principal	Subobjetivo Função habilitada	Subobjetivo Material pós-estrutural	Subobjetivo Precisão
SoET estabelecido	SoET habilitado	-	-
Tr21 estabelecido	Tr21 habilitado	SoET estabelecido	-
StRe estabelecido	StRe habilitado	Tr21 estabelecido	-
Tr22 estabelecido	Tr22 habilitado	StRe estabelecido	Ligar BC
SiCA estabelecido	SiCA habilitado	Tr22 estabelecido	-

Tabela 5.3 - Conhecimentos derivados das Figuras 5.4 e 5.5, subobjetivos para estabelecer

Por exemplo, para a função SoET ser habilitada é preciso satisfazer um subobjetivo do tipo material, este subobjetivo é derivado da função vizinha localizada no sentido do fluxo de material, isto permite uma generalização do operador. O segundo subobjetivo é do tipo material pré-estrutural, não é necessário definir este subobjetivo para esta função, porém este subobjetivo pode ser utilizado para incluir grandezas (medidas) relevantes do sistema. O terceiro subobjetivo para habilitar a função Tr21 é do tipo estrutural, o objetivo G1 deve ter sido alcançado pela Estrutura 1. De forma similar pode-se instanciar os subobjetivos das demais funções mostradas na Tabela 5.2.

Para estabelecer a função Tr22 é preciso satisfazer um subobjetivo do tipo função habilitada, a função Tr22 deve estar habilitada antes de ser estabelecida. O segundo subobjetivo é do tipo material pré-estrutural, este subobjetivo é derivado da função vizinha localizada no sentido do contra-fluxo de material, isto permite uma generalização do operador. Por fim, o terceiro subobjetivo é do tipo precisão, ligar a bomba BC. De forma similar pode-se instanciar os subobjetivos das demais funções mostradas na Tabela 5.3.

No mapeamento dos subobjetivos para condições de operadores, observa-se que os subobjetivos do tipo material da Tabela 5.2 e material pós-estrutural da Tabela 5.3,



juntamente com o subobjetivo função habilitada, podem ser derivados diretamente da topologia do modelo.

O subobjetivo material pré-estrutural e o subobjetivo estrutural da Tabela 5.2, representam um conhecimento tático, assegurando a integridade do processo ou uma condição de intertravamento entre os componentes, então pode-se classificar estas precondições como estados do processo.

O subobjetivo precisão da Tabela 5.3, representa um estado necessário para suportar um comportamento útil da função MFM. Pode-se classificar este estado como um estado que pode ser obtido por uma ação externa, isto permite introduzir uma outra classe de precondição para representar as tarefas do usuário do sistema.

O mapeamento do conhecimento de um modelo MFM para um representação de planejamento consiste de três fases: aquisição das precondições derivadas diretamente da topologia do modelo, aquisição de conhecimentos específicos baseados nos estados do processo e aquisição de conhecimentos que representam as atividades do usuário do sistema [31].

### **5.5.1 - Precondições Derivadas da Topologia do Modelo**

Para derivar as precondições dependentes da topologia do modelo utiliza-se uma característica importante da metodologia MFM: regras de sintaxe bem definidas para a conexão de funções, estas regras restringem as conexões a um conjunto menor como pode ser visto na Tabela 5.1.

Combinando as regras de sintaxe e a capacidade do sistema de planejamento em definir variáveis, pode-se obter uma representação genérica para capturar as precondições dependentes da topologia do modelo. A Figura 5.7 mostra a representação das precondições dependentes do modelo e o conhecimento sobre a topologia organizado em forma de tabela.

Esta representação genérica é apropriada e oferece vantagens devido à capacidade do planejador em restringir as variáveis de planejamento através das funções de restrição. Na Figura 5.7 a representação genérica do operador para habilitar uma função de transporte define três precondições que podem ser extraídas diretamente do modelo, no entanto, conforme pode ser visto na tabela somente uma precondição é necessária para cada transporte, Tr21 e Tr22. Esta representação permite uma abstração da topologia do modelo MFM, além de reduzir o número de operadores no domínio de planejamento [31].



**Operador habilitar\_transp <tr>**

**Var:** <tr> transp

<stg> arm: instanciar arm

<bal> bal: instanciar bal

<si> dre: instanciar dre

**Pre:** arm\_habilitado <stg>

bal\_habilitado <bal>

dre\_habilitado <si>

**Ef:** transp\_habilitado <tr>

Função de Restrição	Argumento	
	Tr21	Tr22
Instanciar arm	StRe	-
Instanciar bal	-	-
Instanciar dre	-	SiCA

**Operador estabelecer\_transp <tr>**

**Var:** <tr> transp

<so> fon: instanciar fon

<stg> arm: instanciar arm

<bal> bal: instanciar bal

**Pre:** transp\_habilitado <tr>

fon\_estabelecido <so>

arm\_estabelecido <stg>

bal\_estabelecido <bal>

**Ef:** transp\_estabelecido <tr>

Função de Restrição	Argumento	
	Tr21	Tr22
Instanciar arm	-	StRe
Instanciar bal	-	-
Instanciar fon	SoET	-

Figura 5.7 - Representação genérica das precondições dependentes da topologia do modelo

### 5.5.2 - Aquisição de Conhecimentos Específicos

Os conhecimentos específicos, ou estados do processo, são adquiridos seguindo a mesma metodologia mostrada na seção anterior. Os operadores da Figura 5.7 serão estendidos para incluírem este tipo de precondições, veja Figura 5.8.

**Operador habilitar\_transp <tr>**

**Var:** <tr> transp

<stg> arm: instanciar arm

<bal> bal: instanciar bal

<si> dre: instanciar dre

<pst> pst: instanciar prst

<est> est: instanciar estpr

**Pre:** arm\_habilitado <stg>

bal\_habilitado <bal>

dre\_habilitado <si>

**pré-estrutural** <pst>

**estrutural** <est>

**Ef:** transp\_habilitado <tr>

Função de Restrição	Argumento	
	Tr21	Tr22
Instanciar arm	StRe	-
Instanciar bal	-	-
Instanciar dre	-	SiCA
<b>Instanciar prst</b>	-	-
<b>Instanciar estpr</b>	-	<b>Reservatório não vazio</b>

**Operador estabelecer\_transp <tr>**

**Var:** <tr> transp

<so> fon: instanciar fon

<stg> arm: instanciar arm

<bal> bal: instanciar bal

**Pre:** transp\_habilitado <tr>

fon\_estabelecido <so>

arm\_estabelecido <stg>

bal\_estabelecido <bal>

**Ef:** transp\_estabelecido <tr>

Função de Restrição	Argumento	
	Tr21	Tr22
Instanciar arm	-	-
Instanciar bal	-	StRe
Instanciar fon	SoET	-

Figura 5.8 - Representação genérica para aquisição de conhecimentos específicos



Seguindo a mesma técnica, as novas variáveis de planejamento são instanciadas através de funções de mapeamento e tabelas. A precondição "pré\_estrutural <pst>" será instanciada nesse exemplo, porém pode ser utilizada em outro modelo [31].

### 5.5.3 - Aquisição das Tarefas do Usuário

Para completar a aquisição de conhecimento deve-se incluir nos operadores as precondições relativas às tarefas do usuário. Estas precondições devem ser incluídas quando for necessário executar uma ação externa para habilitar uma função. Os operadores da Figura 5.8 serão estendidos para incluírem este tipo de precondições, veja Figura 5.9.

Da mesma forma, os conhecimentos são capturados em forma de tabela e transferidos para os operadores através de funções de mapeamento. Dependendo da complexidade do sistema e do nível de abstração utilizado, as atividades podem não estar relacionadas diretamente com as mudanças no estado operacional do processo. Estas atividades podem representar procedimentos complexos que apenas indicarão que a execução de um procedimento atingirá um subobjetivo que é uma condição para habilitar uma função [31].

**Operador estabelecer\_transp <tr>**

**Var:** <tr> transp

<so> fon: instanciar fon  
 <stg> arm: instanciar arm  
 <bal> bal: instanciar bal

**<tu> tarus: instanciar tarus**

**Pre:** transp\_habilitado <tr>

fon\_estabelecido <so>  
 arm\_estabelecido <stg>  
 bal\_estabelecido <bal>

**tarefa <tu>**

**Ef:** transp\_estabelecido <tr>

Função de Restrição	Argumento	
	Tr21	Tr22
Instanciar arm	-	-
Instanciar bal	-	StRe
Instanciar fon	SoET	-
<b>Instanciar tarus</b>	-	<b>Ligar BC</b>

Figura 5.9 - Representação genérica para aquisição de tarefas do usuário

### 5.6 - Domínio de Planejamento baseado em MFM

O domínio de planejamento especifica as ações legais que podem ser usadas para mudar os estados do processo. Estas ações são representadas em termos de operadores que definem precondições e efeitos [31].

Fazendo-se uma abstração das funções MFM pode-se utilizar uma estrutura genérica com apenas dois operadores, veja Figura 5.10.



<b>Operador habilitar &lt;func&gt;</b> <b>Var:</b> <lista de variáveis> <b>Pre:</b> func1_habilitado <func1> func2_habilitado <func2> func3_habilitado <func3> estrutural <ps> MFM_pre <obj> <b>Ef:</b> habilitado <func>	<b>Operador estabelecer &lt;func&gt;</b> <b>Var:</b> <lista de variáveis> <b>Pre:</b> func_habilitado <func> func1_estabelecido <func1> func2_estabelecido <func2> func3_estabelecido <func3> MFM_pre <obj> tarefa <tu> <b>Ef:</b> estabelecido <func>
--	--

Figura 5.10 - Representação genérica dos operadores habilitar e estabelecer

Para o operador habilitar tem-se as seguintes precondições:

- Precondições de fluxo habilitado: estas precondições mostram que uma função só pode ser habilitada se as funções localizadas no fluxo de material estiverem habilitadas;
- Precondição objetivo MFM: esta precondição também é derivada da topologia do modelo e representa o objetivo MFM associado a uma função;
- Precondição estrutural: esta precondição representa um conhecimento específico relacionado com o estado do processo que é necessário para habilitar uma função.

No operador habilitar os objetivos MFM são instanciados separadamente das precondições do tipo estrutural, facilitando o processo de instanciação das variáveis dos operadores.

E para o operador estabelecer, tem-se as seguintes precondições:

- Precondição de função habilitada: esta precondição define que para estabelecer uma função primeiro ela deve estar habilitada;
- Precondição de contra-fluxo estabelecido: esta precondição define que para estabelecer uma função as funções vizinhas localizadas no contra-fluxo de material devem estar estabelecidas;
- Precondição de precisão: esta precondição representa um conhecimento específico relacionado com o estado do processo que é necessário para estabelecer uma função;
- Precondição de tarefas: esta precondição é utilizada para associar uma ação externa ao estabelecimento de uma função.

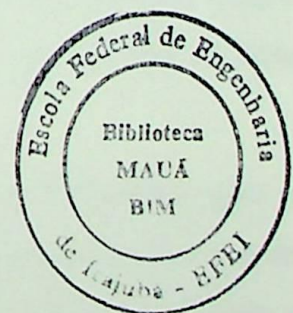


No operador estabelecer as precondições do tipo precisão foram separadas das precondições de tarefas do usuário, dessa forma pode-se adicionar conhecimentos derivados a partir de leitura de grandezas medidas para se verificar estados do processo importantes.

## 5.7 - Conclusões

Este capítulo mostrou através de um exemplo simples os conceitos básicos de MFM e como construir um modelo MFM. Em seguida, mostrou como derivar e mapear conhecimentos de planejamento baseado nesse modelo. Por fim, foi mostrado uma estrutura genérica do domínio de planejamento utilizado nessa abordagem.

Esta estrutura permite a reutilização do conhecimento, flexibilidade de mudanças e independência do domínio. A reutilização do conhecimento pode ser obtida porque o domínio de planejamento possui dois operadores genéricos que estão relacionados com o modelo MFM. A flexibilidade de mudanças é proporcionada pela decomposição funcional e pela representação interna do modelo em estruturas bem definidas. A independência do domínio de aplicação se deve ao fato do domínio de planejamento ser baseado em estruturas genéricas dependentes do modelo.





# CAPÍTULO 6

## PLANEJADOR INTELIGENTE PARA O RESTABELECIMENTO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

*O objetivo deste capítulo é mostrar a aplicação de Planejamento Inteligente com a técnica de modelagem funcional Multilevel Flow Modeling (MFM), para desenvolver um sistema de apoio à decisão capaz de contribuir com o operador de subestação em uma situação de restabelecimento. E ainda, apresentar os testes realizados, bem como os resultados obtidos com a aplicação do sistema de planejamento inteligente.*

### 6.1 – Introdução

O sistema elétrico brasileiro passa atualmente por grandes transformações, novas formas de gerenciamento estão sendo estudadas e o setor elétrico está sendo reestruturado. Esta reestruturação está acontecendo também nas concessionárias, onde o controle administrativo está sendo passado para a iniciativa privada ou para consórcios de empresas.

Este quadro leva a novos rumos, tanto no âmbito administrativo quanto na gestão eletro-energética, sendo assim desde a geração da energia elétrica até o consumidor final, surgem novos desafios tecnológicos e comerciais.

Neste contexto, existe a necessidade de maximizar a utilização dos recursos do sistema, minimizar possíveis estados operativos perigosos, aumentar a confiabilidade, reduzir índices de corte de carga e melhorar a qualidade da energia elétrica. Tudo isto deve ser feito em um cenário de baixo investimento e carga sempre crescente [32].

Dentre essas necessidades, encontra-se o aperfeiçoamento de ferramentas para o restabelecimento de subestações elétricas, cuja função básica é a de diminuir o tempo total de paralisação do atendimento (fornecimento) de energia aos consumidores de forma eficiente e segura [22].

A interrupção no fornecimento é considerada uma condição anormal, e que traz grandes prejuízos aos consumidores, sejam eles de pequeno ou grande porte, e também ao próprio sistema elétrico, como ficou evidenciado no último incidente do dia 11/03/1999, onde



as regiões sul e sudeste foram quase que totalmente desligadas e o restabelecimento do fornecimento de energia demorou mais de quatro horas em algumas localidades.

Para auxiliar o operador na tarefa de restabelecimento pode-se utilizar sistemas de apoio à decisão baseados em técnicas de Inteligência Artificial. O sistema de apoio à decisão desenvolvido neste capítulo consiste na aplicação de Planejamento Inteligente com a técnica de modelagem funcional Multilevel Flow Modeling (MFM).

A aplicação de planejamento inteligente em sistemas reais de engenharia têm sido mostrada ser particularmente difícil devido a dificuldade de adquirir conhecimentos robustos de especialistas. Além disso, este conhecimento, quando adquirido, é muito dependente do domínio e muito raramente é reutilizado em outras aplicações [4, 31].

## 6.2 - Modelagem Funcional de Subestações

O processo de construção de um modelo MFM é altamente dependente do nível de abstração desejado. Um sistema pode ser descrito sob muitos pontos de vista diferentes, e pode definir vários níveis de representação [3]. Em uma planta de subestação, só há fluxos de energia, desde que não estão sendo considerados fluxos de informação e massa

Para construir o modelo MFM de uma planta de subestação precisou-se dividir a subestação em várias estruturas: linhas de transmissão, barramento de entrada, transformadores, barramento de saída, banco de capacitores e cargas, veja Figura 6.1.

Para cada estrutura tem-se um modelo MFM que alcança um objetivo que é pré-condição para o funcionamento da estrutura seguinte. Na Figura 6.2, tem-se o diagrama elétrico e o modelo MFM para a linha de transmissão de uma subestação barra simples. O modelo MFM de uma linha de transmissão não inclui o filtro e o para-raio, porque estes equipamentos não são importantes nas tarefas de restabelecimento [33].

Na Estrutura 1, Figura 6.2 (B), tem-se:

- Os dois balanços BaN1 e BaN2 representam dois nós do diagrama elétrico;
- O conjunto seccionadora/disjuntor/seccionadora (S11, D1 e S12) formam o transporte TrDS1, uma vez que eles trabalham em conjunto e executam a mesma função;
- A fonte SoL1 representa a capacidade de fornecer energia da linha L1;
- O transporte TrL11 representa os condutores da linha L1;
- O transporte TrS13 representa a seccionadora de by-pass S13;



- O transporte TrSAT1 representa a chave de terra SAT1;
- O dreno SiAT1 representa o aterramento da chave de terra;
- O transporte TrL12 representa a conexão elétrica da linha com o barramento de alta B1;
- O dreno SiB1 representa a capacidade de absorver energia do barramento de alta B1.

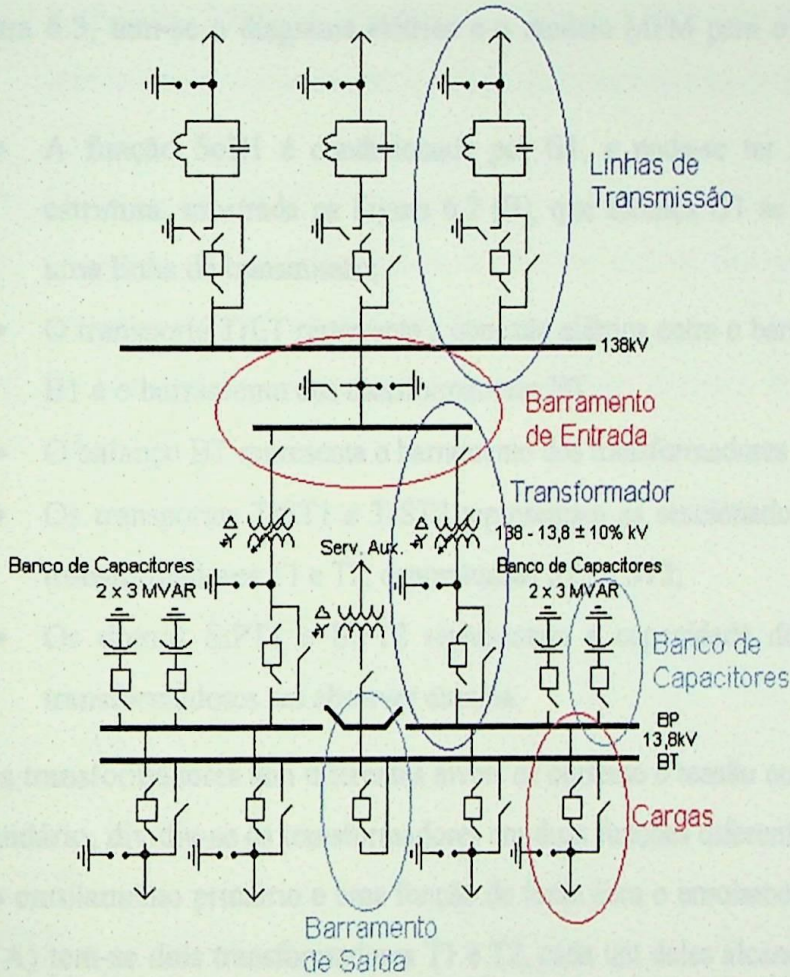


Figura 6.1 - Divisão em estruturas de uma subestação Barra Simples

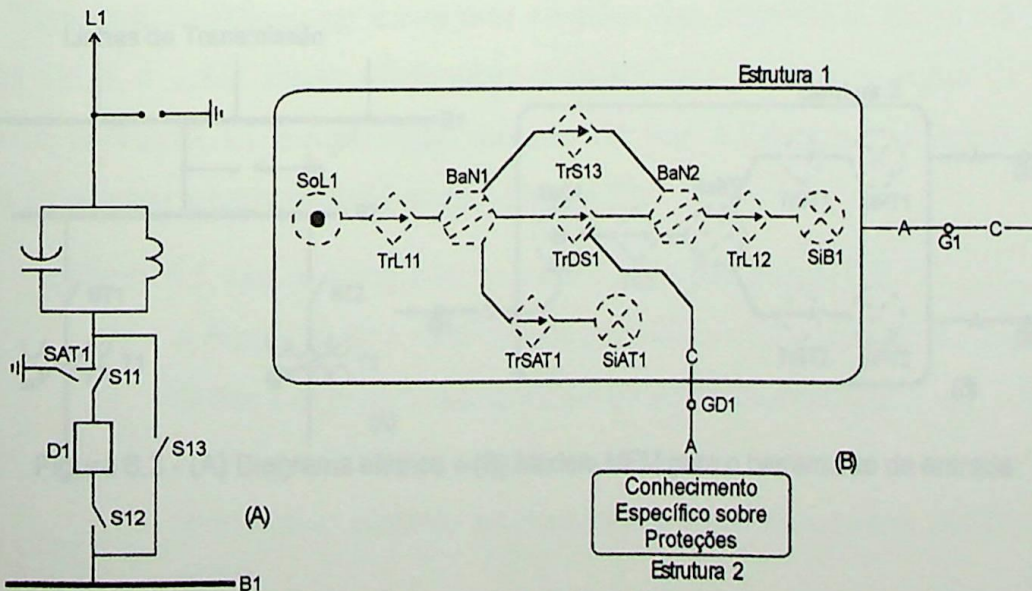


Figura 6.2 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para linhas de transmissão

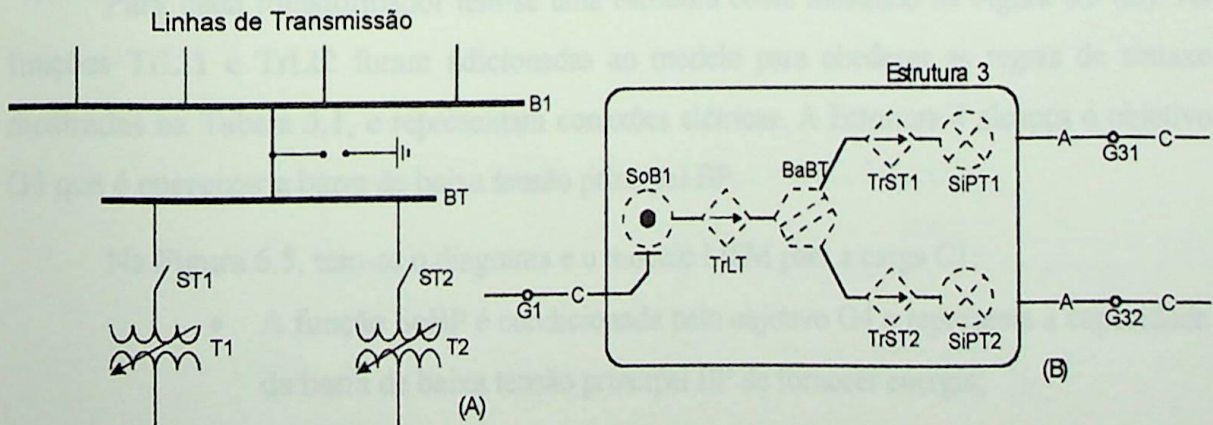


A Estrutura 1 foi definida para alcançar o objetivo G1, que é energizar o barramento de entrada (barramento de alta B1). Já a Estrutura 2 representa o conhecimento específico sobre a proteção da linha, esta estrutura alcança o objetivo GD1 que condiciona o transporte TrDS1. Na Estrutura 2 não foi utilizado um modelo MFM, mas sim regras genéricas sobre proteção que dão como resultado uma condição booleana (verdadeira ou falsa) de operação da função MFM. ✕

Na Figura 6.3, tem-se o diagrama elétrico e o modelo MFM para o barramento de entrada:

- A função SoB1 é condicionada por G1, e pode-se ter mais que uma estrutura, mostrada na Figura 6.2 (B), que alcança G1 se existe mais de uma linha de transmissão;
- O transporte TrLT representa a conexão elétrica entre o barramento de alta B1 e o barramento dos transformadores BT;
- O balanço BaBT representa o barramento dos transformadores BT;
- Os transportes TrST1 e TrST2 representam as seccionadoras de alta dos transformadores T1 e T2, denominadas ST1 e ST2;
- Os drenos SiPT1 e SiPT2 representam a capacidade do primário dos transformadores em absorver energia.

Como os transformadores têm diferentes níveis de corrente e tensão nos enrolamentos primário e secundário, dividiu-se os transformadores em duas funções diferentes: uma função de dreno para o enrolamento primário e uma função de fonte para o enrolamento secundário. Na Figura 6.3 (A) tem-se dois transformadores T1 e T2, cada um deles alcança um objetivo, G31 e G32, que são energizar o enrolamento secundário dos respectivos transformadores.





Na Figura 6.4, tem-se o diagrama elétrico e o modelo MFM para o transformador T1:

- A função SoST1 é condicionada pelo objetivo G31, e representa a capacidade do secundário do transformador de fornecer energia;
- O transporte TrLI1 representa a conexão elétrica entre o secundário do transformador e os equipamentos de baixa tensão;
- O balanço BaNT1 e BaNT2 representam dois nós do diagrama elétrico;
- A função TrDT1 é semelhante à função TrDS1 em sua operação, e representa o conjunto seccionadora/disjuntor/seccionadora (ST11, DT1 e ST12);
- O transporte TrST13 representa a seccionadora de by-pass ST13;
- O transporte TrLI2 representa a conexão elétrica dos equipamentos de manobra com a barra principal BP;
- O dreno SiBP representa a capacidade de absorver energia da barra principal principal.

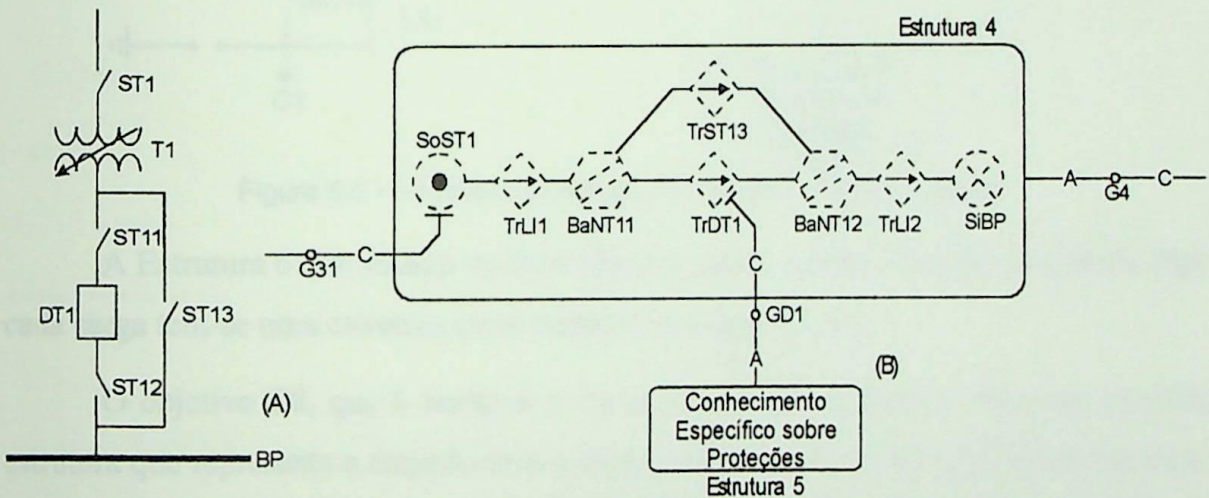


Figura 6.4 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para o transformador T1

Para cada transformador tem-se uma estrutura como mostrado na Figura 6.3 (B). As funções TrLI1 e TrLI2 foram adicionadas ao modelo para obedecer as regras de sintaxe mostradas na Tabela 5.1, e representam conexões elétricas. A Estrutura 4 alcança o objetivo G4 que é energizar a barra de baixa tensão principal BP.

Na Figura 6.5, tem-se o diagrama e o modelo MFM para a carga C1:

- A função SoBP é condicionada pelo objetivo G4 e representa a capacidade da barra de baixa tensão principal BP de fornecer energia;
- A função TrDC1 é semelhante à função TrDS1 em sua operação e representa o conjunto seccionadora/disjuntor/seccionadora (SC11, DC1 e SC12);



- A função BaNC1 representa um nó do diagrama elétrico;
- A fonte SoBT representa a capacidade de fornecer energia da barra de baixa tensão de transferência BT;
- O transporte TrSC13 representa a seccionadora SC13;
- O transporte TrLC1 representa a conexão elétrica entre os equipamentos de manobra e a carga;
- O dreno SiC1 representa a capacidade da carga de absorver energia.

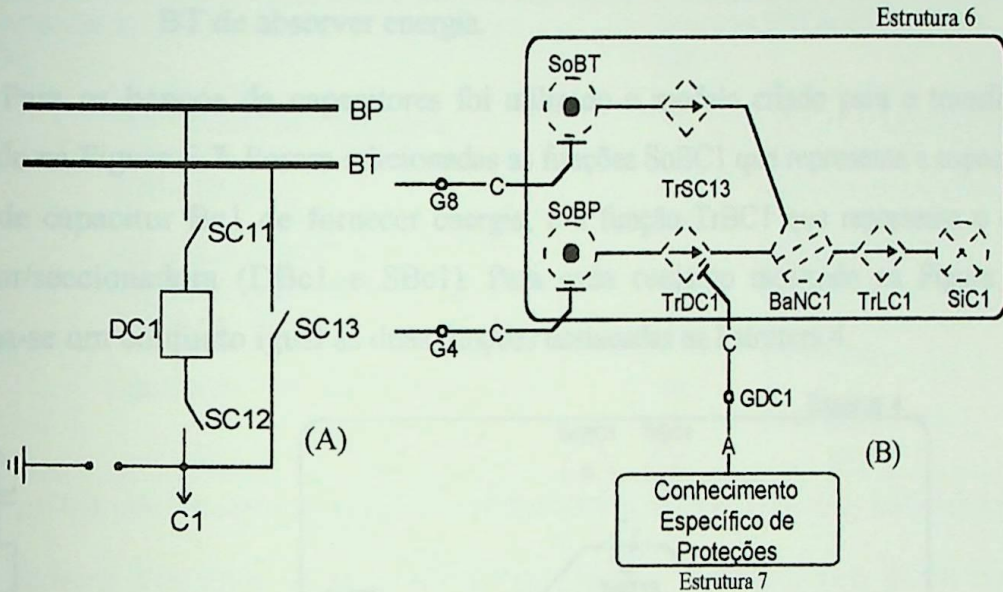


Figura 6.5 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para cargas

A Estrutura 6 não alcança nenhum objetivo, pois é a última estrutura do modelo. Para cada carga tem-se uma estrutura como mostrado na Figura 6.5 (B).

O objetivo G8, que é energizar o barramento de transferência, é alcançado por uma estrutura que representa a conexão entre a barra principal e a barra de transferência, mostrada na Figura 6.6 (A). A Estrutura 8 vai ser ativada se houver a necessidade de transferir a alimentação das cargas para o barramento de transferência, liberando, ou não, o barramento principal.

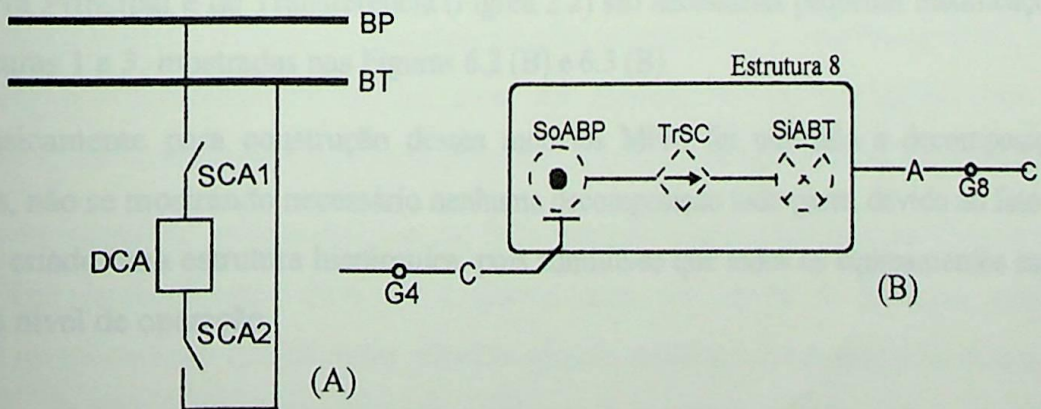


Figura 6.6 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para a barra de saída



A Estrutura 8 apresenta as seguintes funções:

- SoABP está relacionada com a função SiBP e representa a capacidade que a barra principal BP tem de fornecer energia para a barra de transferência BT;
- A função TrSC representa o conjunto seccionadora/disjuntor/seccionadora (SCA1, DCA e SCA2);
- SiABT representa a capacidade da barra de baixa tensão de transferência BT de absorver energia.

Para os bancos de capacitores foi utilizado o modelo criado para o transformador, mostrado na Figura 6.7. Foram adicionadas as funções SoBC1 que representa a capacidade do banco de capacitor Bc1 de fornecer energia, e a função TrBC1 que representa o conjunto disjuntor/seccionadora (DBc1 e SBc1). Para cada conjunto mostrado na Figura 6.7 (A) adiciona-se um conjunto igual às duas funções destacadas na Estrutura 4.

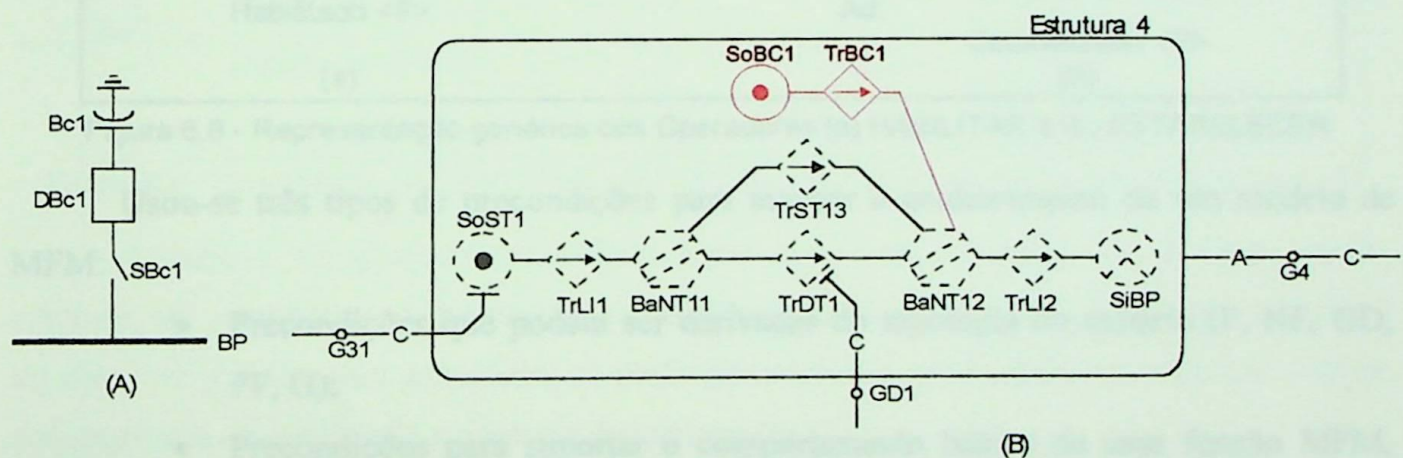


Figura 6.7 - (A) Diagrama elétrico e (B) Modelo MFM para o banco de capacitores

Este modelo foi desenvolvido buscando um nível de abstração adequado para a reutilização em outras topologias, visto que esse modelo descreve uma subestação do tipo Barra Simples. Para as outras duas topologias mostradas no Capítulo II, Barra Dupla (Figura 2.3) e Barra Principal e de Transferência (Figura 2.2) são necessárias pequenas modificações nas Estruturas 1 e 3, mostradas nas Figuras 6.2 (B) e 6.3 (B).

Basicamente para construção desses modelos MFM foi utilizado a decomposição meios-fins, não se mostrando necessário nenhuma decomposição todo-partes, devido ao fato de não ter se criado uma estrutura hierárquica, pois admitiu-se que todos os equipamentos estão no mesmo nível de operação.



### 6.3 - Derivando Conhecimentos do Modelo MFM

Baseado nos conceitos desenvolvidos no Capítulo V, construiu-se um domínio de planejamento composto dos operadores generalizados HABILITAR e ESTABELEECER, mostrado na Figura 6.8. As funções de mapeamento são responsáveis por instanciar as variáveis de planejamento de acordo com o conhecimento adquirido e armazenado no modelo MFM [33].

<p>Operador <b>HABILITAR</b> &lt;F&gt;                  Var:                      &lt;F&gt; Função                      &lt;NF&gt; Funções Posteriores                      &lt;PS&gt; Estados do Processo                      &lt;GD&gt; Objetivo</p> <p>Pre:                      Habilitado &lt;NF&gt;                      Obj_Alcançado&lt;GD&gt;                      Estrutural &lt;PS&gt;</p> <p>Ad:                      Habilitado &lt;F&gt;</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p>Operador <b>ESTABELEECER</b> &lt;F&gt;                  Var:                      &lt;F&gt; Função                      &lt;PF&gt; Funções Anteriores                      &lt;G&gt; Objetivo                      &lt;AS&gt; Tarefa de Usuário</p> <p>Pre:                      Habilitado &lt;F&gt;                      Estabelecido &lt;PF&gt;                      Obj_Alcançado&lt;G&gt;                      Tarefa &lt;AS&gt;</p> <p>Ad:                      Estabelecido &lt;F&gt;</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
--	--

Figura 6.8 - Representação genérica dos Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER

Usou-se três tipos de precondições para mapear o conhecimento de um modelo de MFM:

- Precondições que podem ser derivadas do topologia do modelo (F, NF, GD, PF, G);
- Precondições para suportar o comportamento básico de uma função MFM, chamadas de precondições de estados do processo (PS);
- Precondições associadas às atividades de operadores humanos, chamadas de precondições de tarefas de usuário (AS).

As estruturas topológicas descrevem as relações meios-fins MFM. Para cada função (F) definida no modelo as funções vizinhas, funções anteriores (PF) e posteriores (NF), são identificadas e organizadas em tabelas, além dos objetivos (G) de interligação entre as diversas partes da subestação e (GD) das estruturas de conhecimento específico de proteções.

As estruturas de estados do processo (PS) capturam o conhecimento específico de um domínio. Um conhecimento deve ser adquirido como um estado de processo quando representa uma condição que deve ser satisfeita afim de suportar o comportamento básico de uma função de MFM, como por exemplo medições de grandezas ou informações de outras subestações.



A solução de um problema de planejamento consiste em uma seqüência de ações que se executadas levará o sistema para um estado objetivo. Estas ações são derivadas do domínio e elas normalmente representam uma ação de usuário. Se uma ação externa é necessária para estabelecer uma função MFM, então o conhecimento que representa aquela ação deve ser adquirido e deverá ser armazenado na estrutura correspondente. Estas ações (AS) serão representadas no operador de estabelecimento.

Se a função a ser instanciada for um transporte, por exemplo TrL11 da Estrutura 1 da Figura 6.2, então tem-se os operadores mostrados na Figura 6.9.

<p>Operador HABILITAR &lt;TrL11&gt;                  Var:                      &lt;TrL11&gt; Função                      &lt;BaN1&gt; Funções Posteriores                      &lt;PSL11&gt; Estados do Processo                  Pre:                      Habilitado &lt;BaN1&gt;                      Estrutural &lt;PSL11&gt;                  Ad:                      Habilitado &lt;TrL11&gt;</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p>Operador ESTABELEECER &lt;TrL11&gt;                  Var:                      &lt;TrL11&gt; Função                      &lt;SoL1&gt; Funções Anteriores                      &lt;ASL11&gt; Tarefa de Usuário                  Pre:                      Habilitado &lt;TrL11&gt;                      Estabelecido &lt;SoL1&gt;                      Tarefa &lt;AS&gt;                  Ad:                      Estabelecido &lt;TrL11&gt;</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
---	--

Figura 6.9 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função transporte TrL11

A variável de planejamento PSL11 é um estado do processo, por exemplo tensão, corrente, etc., que pode ser importante para algumas funções específicas. Este tipo de variável ou deve ser previamente adquirida, ou pode ser adquirida automaticamente de um sistema automatizado de supervisão e controle de subestações.

Já a variável ASL11 é previamente adquirida durante o processo de construção do modelo e aquisição de conhecimento, essas tarefas de usuário irão compor o plano de restabelecimento fornecido pelo sistema ao operador.

Se a função a ser instanciada for uma fonte, por exemplo SoBP da Estrutura 6 da Figura 6.5, então tem-se os operadores mostrados na Figura 6.10. A mesma observação feita anteriormente para ASL11 vale para ASBP.

Esta função para ser estabelecida necessita que o objetivo G4, que é energizar o barramento de saída, seja alcançado, ou seja, é necessário que a Estrutura 4, Figura 6.4 ou 6.7, funcione adequadamente.



<p>Operador HABILITAR &lt;SoBP&gt;                  Var:                      &lt;SoBP&gt; Função                      &lt;TrDC1&gt; Funções Posteriores                      &lt;PSBP&gt; Estados do Processo                  Pre:                      Habilitado &lt;TrDC1&gt;                      Estrutural &lt;PSBP&gt;                  Ad:                      Habilitado &lt;SoBP&gt;</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p>Operador ESTABELEECER &lt;SoBP&gt;                  Var:                      &lt;SoBP&gt; Função                      &lt;G4&gt; Objetivo                      &lt;ASBP&gt; Tarefa de Usuário                  Pre:                      Habilitado &lt;SoBP&gt;                      Obj_Alcançado &lt;G4&gt;                      Tarefa &lt;ASBP&gt;                  Ad:                      Estabelecido &lt;SoBP&gt;</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
--	--

Figura 6.10 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função fonte SoBP

Se a função a ser instanciada for um balanço, por exemplo BaBT da Estrutura 3 da Figura 6.3, então tem-se os operadores mostrados na Figura 6.11.

Como pode-se ver na Figura 6.11, pode-se ter mais de uma função posterior e anterior, porém isso não traz dificuldades, uma vez que essas informações estão todas contidas no modelo MFM.

<p>Operador HABILITAR &lt;BaBT&gt;                  Var:                      &lt;BaBT&gt; Função                      &lt;TrST1&gt; Funções Posteriores                      &lt;TrST2&gt; Funções Posteriores                      &lt;PSBT&gt; Estados do Processo                  Pre:                      Habilitado &lt;TrST1&gt;                      Habilitado &lt;TrST2&gt;                      Estrutural &lt;PSBT&gt;                  Ad:                      Habilitado &lt;BaBT&gt;</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p>Operador ESTABELEECER &lt;BaBT&gt;                  Var:                      &lt;BaBT&gt; Função                      &lt;TrLT&gt; Funções Anteriores                      &lt;ASBT&gt; Tarefa de Usuário                  Pre:                      Habilitado &lt;BaBT&gt;                      Estabelecido &lt;TrLT&gt;                      Tarefa &lt;ASBT&gt;                  Ad:                      Estabelecido &lt;BaBT&gt;</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
---	---

Figura 6.11 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função balanço BaBT

Como pode-se ver na Figura 6.11, pode-se ter mais de uma função posterior e anterior, porém isso não traz dificuldades, uma vez que essas informações estão todas contidas no modelo MFM. No entanto, vale ressaltar que para o operador HABILITAR <BaBT> funcionar basta que uma das duas condições, Habilitado <TrST1> e Habilitado <TrST2>, seja verdadeira.

Se a função a ser instanciada for um dreno, por exemplo SiBP da Estrutura 4 da Figura 6.4 ou 6.7, então tem-se a estrutura mostrada na Figura 6.12.

Esta função dreno SiBP alcança o objetivo G4, que é energizar o barramento de saída, e este objetivo aparecerá na lista de estados adicionados do operador ESTABELEECER.



<p>Operador HABILITAR &lt;SiBP&gt;                  Var:                      &lt;SiBP&gt; Função                      &lt;PSBP&gt; Estados do Processo                  Pre:                      Estrutural &lt;PSBP&gt;                  Ad:                      Habilitado &lt;SiBP&gt;</p> <p style="text-align: center;">(a)</p>	<p>Operador ESTABELEECER &lt;SiBP&gt;                  Var:                      &lt;SiBP&gt; Função                      &lt;TrLI2&gt; Funções Anteriores                      &lt;ASBP&gt; Tarefa de Usuário                  Pre:                      Habilitado &lt;SiBP&gt;                      Estabelecido &lt;TrLI2&gt;                      Tarefa &lt;ASBT&gt;                  Ad:                      Estabelecido &lt;SiBT&gt;                      Obj_Alcançado &lt;G4&gt;</p> <p style="text-align: center;">(b)</p>
---	---

Figura 6.12 - Operadores (a) HABILITAR e (b) ESTABELEECER para uma função drenos SiBP

Todas estas instanciações são feitas automaticamente pelo planejador através do banco de dados do modelo MFM da subestação.

### 6.4 – Sistema de Apoio à Decisão

O sistema de apoio à decisão proposto está mostrado na Figura 6.13, e é dividido em quatro partes: um interface de aquisição de conhecimento, um sistema de modelagem, um mapeador e um sistema de planejamento [33, 34, 35].

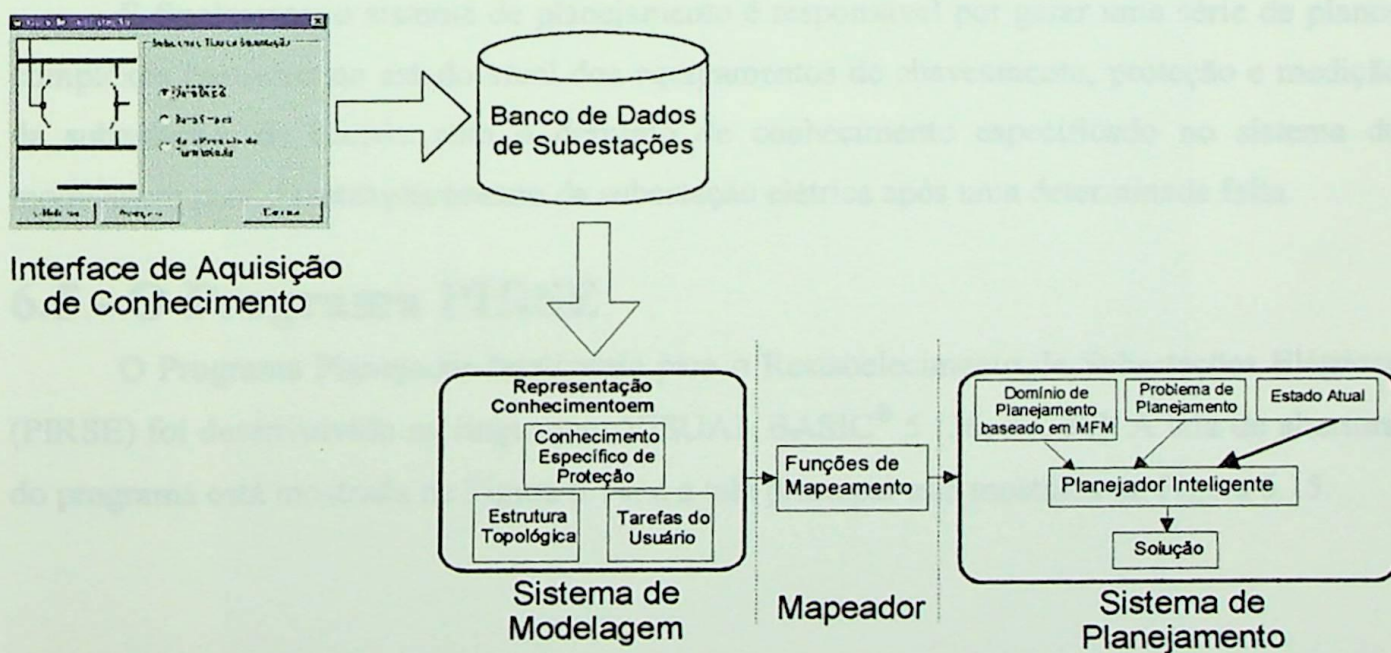


Figura 6.13 - Estrutura do Planejador Inteligente para tarefas de restabelecimento

A interface de aquisição de conhecimento gera um banco de dados dos equipamentos e proteções da subestação, e ainda possui recursos para aquisição de conhecimento das tarefas de usuário envolvidas na operação desses equipamentos e proteções.

Pode-se trabalhar com três topologias diferentes de subestações elétricas: barra simples, barra principal e de transferência e barra dupla. Estas três topologias foram



escolhidas tendo em vista buscar soluções para subestações de 138-13,8kV, muito encontradas no SEP. A partir deste banco de dados e usando os modelos mostrados na Seção 6.2 gera-se outro banco de dados com as funções dos modelos MFM da subestação, Anexo I.

O sistema de modelagem provê um passo intermediário para adquirir conhecimento de planejamento, neste ponto o banco de dados com os modelos MFM é utilizado para se construir o domínio de planejamento. E ainda, este sistema mantém uma estrutura fácil de adicionar ou modificar os conhecimentos de cada função MFM.

Este domínio de conhecimento é dividido em três áreas, como foi definido anteriormente: conhecimento específico de proteções, conhecimento da estrutura topológica e conhecimento das tarefas de usuário.

O mapeador entre o sistema de modelagem e o sistema de planejamento é um conjunto de funções de mapeamento que é responsável pela instanciação das variáveis dos operadores de planejamento. Estas funções mantêm uma independência entre os dois sistemas, uma vez que torna o sistema de planejamento independente do sistema modelado e dos modelos utilizados, Anexo II.

E finalmente, o sistema de planejamento é responsável por gerar uma série de planos complexos baseados no estado atual dos equipamentos de chaveamento, proteção e medição da subestação, de acordo com o domínio de conhecimento especificado no sistema de modelagem para o restabelecimento da subestação elétrica após uma determinada falta.

## 6.5 - O Programa PIRSE

O Programa Planejador Inteligente para o Restabelecimento de Subestações Elétricas (PIRSE) foi desenvolvido na linguagem VISUAL BASIC<sup>®</sup> 5 [36, 37, 38]. A tela de abertura do programa está mostrada na Figura 6.14, e a tela principal está mostrada na Figura 6.15.





Figura 6.14 - Tela de abertura do programa PIRSE

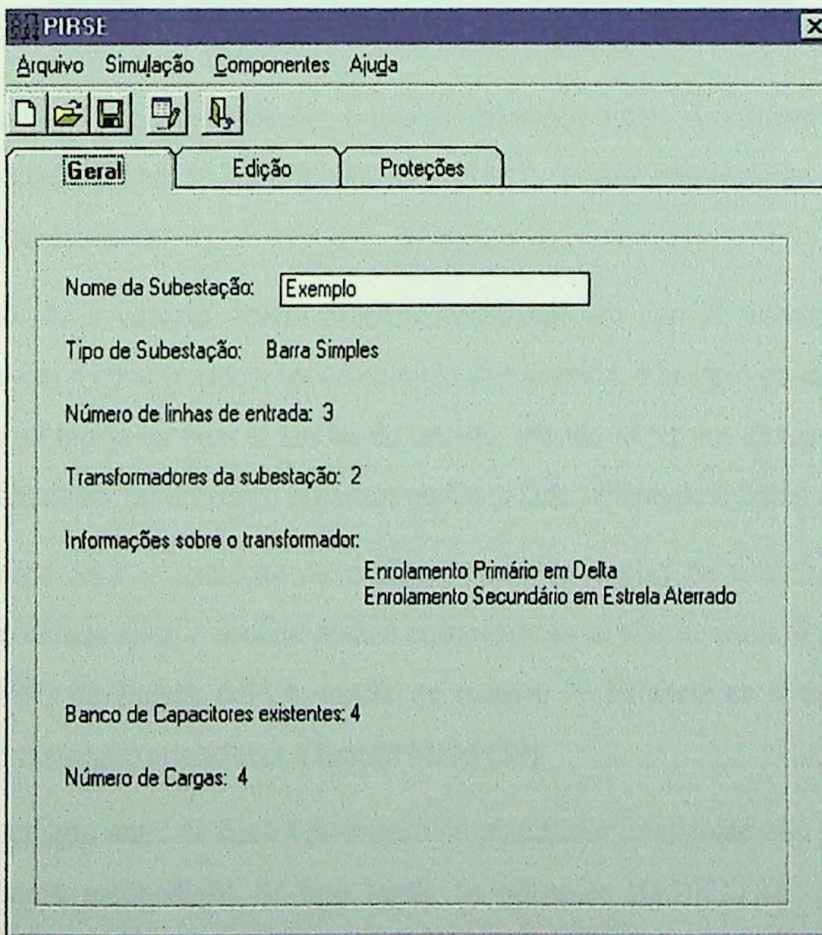


Figura 6.15 - Programa PIRSE

### 6.5.1 - O Editor de Componentes

O Editor de Componentes é uma interface para o usuário editar manualmente os componentes de cada parte da subestação. Como uma topologia, por exemplo barra dupla, pode ter algumas pequenas alterações na distribuição dos equipamentos elétricos de caso a



caso, o programa possui uma ferramenta para editar os componentes de cada estrutura da subestação, que é o Editor de componentes, veja Figura 6.16.

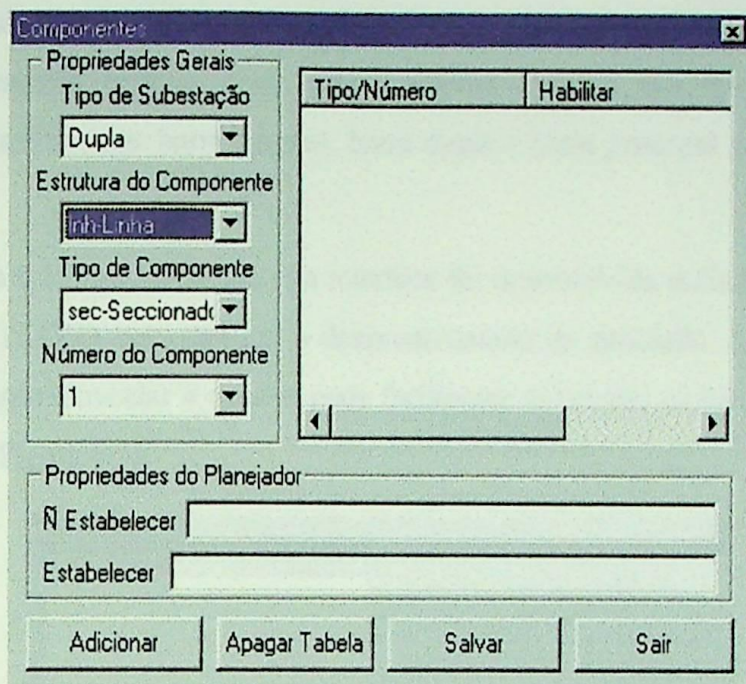


Figura 6.16 - Editor de Componentes

No quadro Propriedades Gerais, o usuário seleciona o tipo de subestação, a estrutura que vai ser editada (linha de transmissão, carga, etc.), e qual componente numerado será adicionado nessa estrutura.

Para edição o usuário deverá primeiro selecionar um tipo de subestação, depois a estrutura e por fim o componente a ser adicionado. Em seguida, o usuário preencherá o campo Propriedades do Planejador com as tarefas de usuário, usando os termos técnicos utilizados na sua empresa. Qualquer modificação posterior pode ser feita utilizando o botão Apagar Tabela.

No campo para a aquisição de conhecimentos de tarefas de usuário, intitulado de Propriedades do Planejador, o usuário poderá entrar com as tarefas de usuário para o operador ESTABELEECER, da Figura 6.8. A tarefa de usuário Ñ Estabelecer é usada quando o planejador não consegue estabelecer a função MFM [39].

Para o estágio atual de desenvolvimento do planejador inteligente não foi necessário a utilização de uma pré-condição do tipo tarefa no operador HABILITAR, porém visando futuros desenvolvimentos de funções de validação de medições, análise de alarmes e diagnóstico de faltas este tipo de tarefa poderá ser necessária [40]. Por fim, esta interface gera um banco de dados, mostrado no Anexo II.



## 6.5.2 - Interface de Aquisição de Conhecimentos Topológicos

No Programa PIRSE há uma interface própria para adquirir conhecimentos topológicos. Esta interface foi desenvolvida visando facilitar a montagem do diagrama unifilar da subestação elétrica, e ela está preparada para os três tipos de subestações mencionadas anteriormente: barra simples, barra dupla e barra principal e transferência [22, 41].

Na Figura 6.17 mostra-se que esta interface foi desenvolvida utilizando a estrutura de um programa WIZARD, para auxiliar o desenvolvimento da aplicação. Através dos botões Avançar, Retornar e Cancelar o usuário pode facilmente selecionar os itens componentes da subestação, veja Figura 6.18.

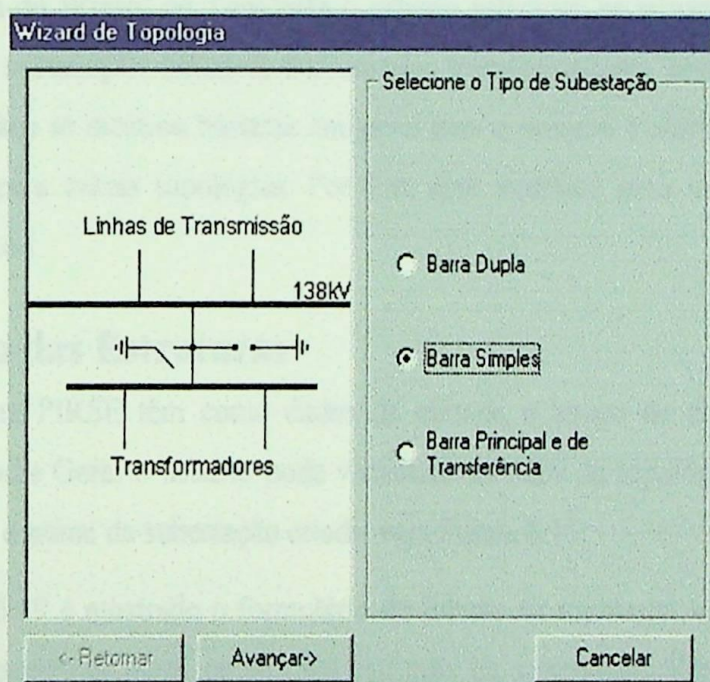


Figura 6.17 - Wizard de aquisição de conhecimentos topológicos

Esta interface usa como dados de entrada o banco de dados criado pelo editor de Componentes, mostrado no Anexo II.



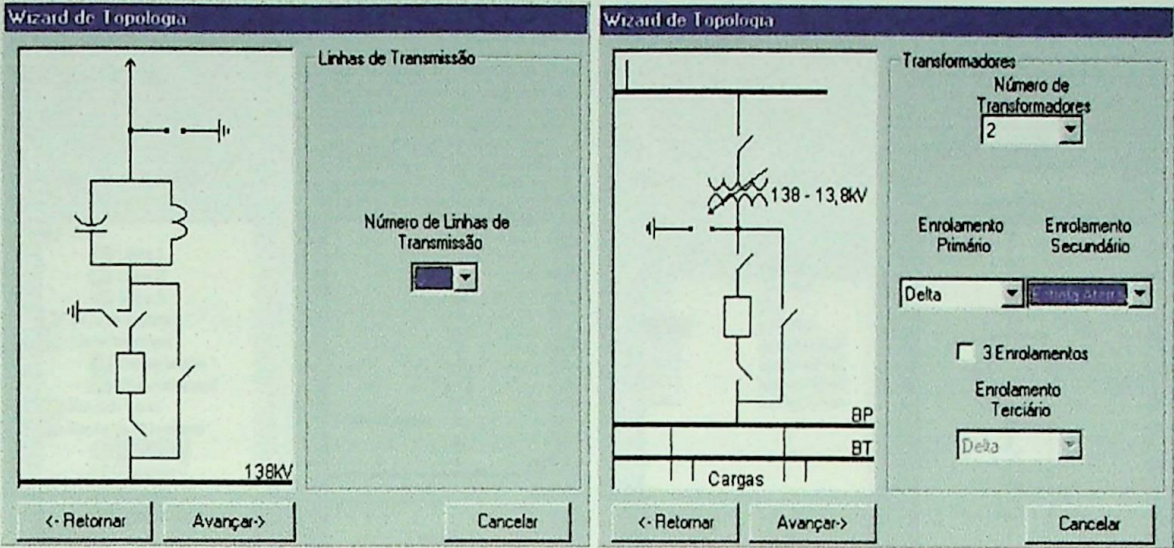


Figura 6.18 - Montando a topologia de uma Subestação Barra Simples

Cada etapa do Wizard de Topologia o usuário seleciona as propriedades de uma das diversas partes da subestação: linhas de transmissão, transformadores, banco de capacitores e cargas. Esta interface se mostrou bastante amigável para o usuário, e ainda bastante flexível e fácil de ampliar para outras topologias. Por fim, esta interface gera um banco de dados, mostrado no Anexo I.

### 6.5.3 - Edição das Estruturas

O Programa PIRSE têm como dados de entrada o banco de dados do Wizard de Topologia. Na tabela Geral o usuário pode visualizar os itens da topologia da subestação, e ainda pode mudar o nome da subestação criada, veja Figura 6.15.

Na figura 6.19 é mostrado o formulário de Edição da topologia, onde o usuário pode renomear os equipamentos elétricos de cada estrutura da subestação. Para editar o nome de cada componente o usuário deve selecionar a estrutura a ser editada na tabela Estruturas e ir para a tabela Componentes, dar um clique com o botão esquerdo do mouse sobre o nome do componente e entrar com o novo nome do componente.



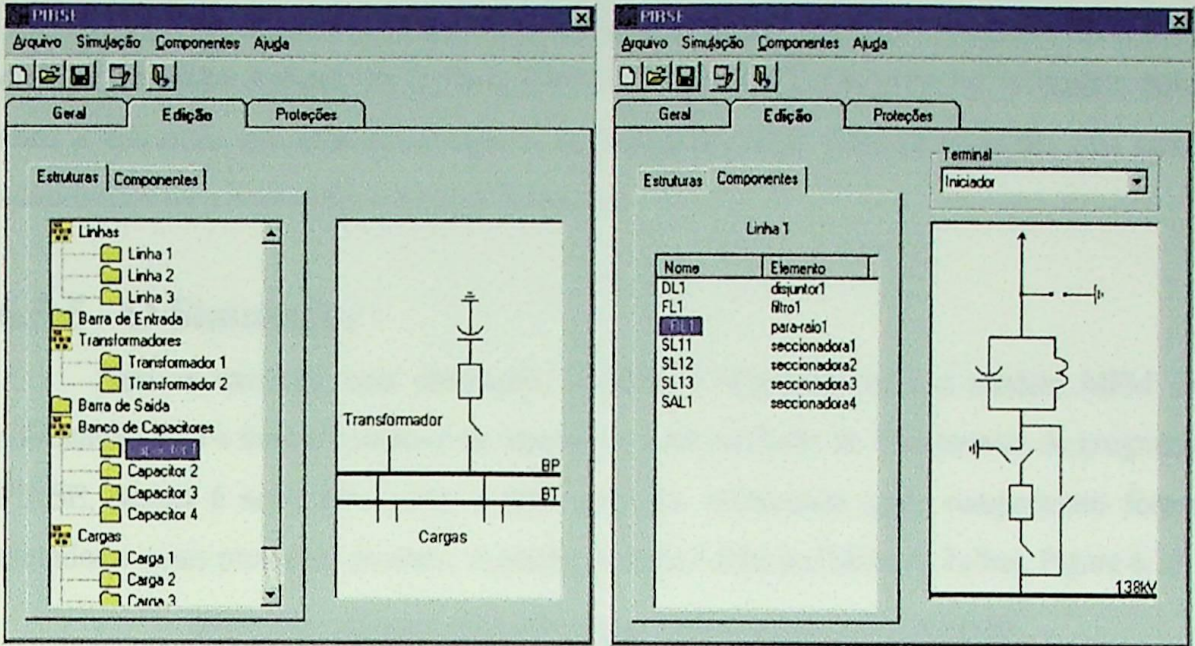


Figura 6.19 - Edição dos componentes da subestação

Esta estrutura permite ao usuário que use a mesma nomenclatura dos equipamentos que são utilizados na sua empresa. Após a edição dos componentes o usuário deve salvar o esquemático usando o menu Arquivo/Salvar, ou o respectivo botão na Barra de Ferramentas.

### 6.5.4 - Interface de Aquisição de Conhecimentos Específicos de Proteção

O usuário, após usar a tabela Edição do programa PIRSE e renomear os componentes do sistema, usará a tabela de Proteções para ajustar que tipo de proteção que há em cada estrutura da subestação, veja Figura 6.20.

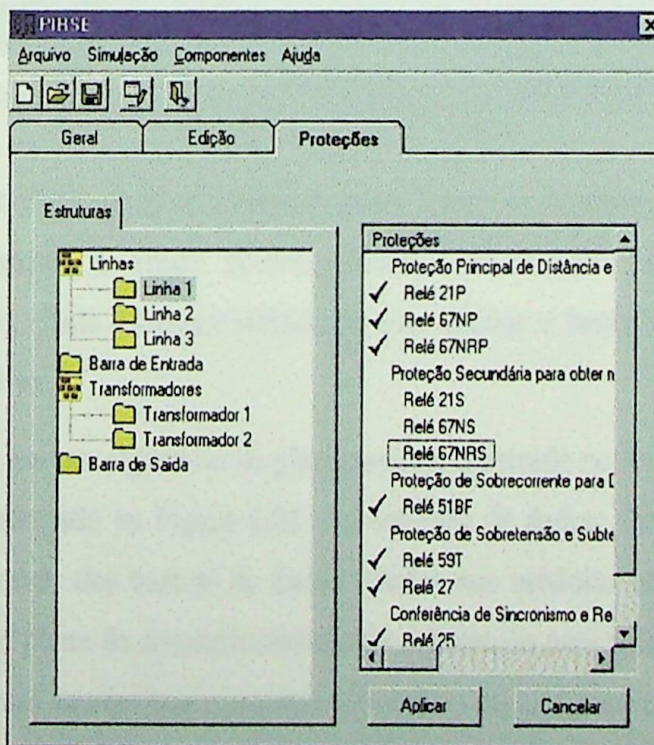


Figura 6.20 - Interface de aquisição de conhecimentos específicos de proteção



Para cada estrutura o usuário deverá selecionar as proteções encontradas na subestação e clicar no botão Aplicar. Se for necessário alguma modificação posterior, o usuário deve abrir a estrutura que será modificada e simplesmente clicar sobre as proteções que serão adicionadas e/ou removidas e Aplicar novamente.

### 6.5.5 - O Simulador

Para se executar uma simulação, primeiro é necessário criar o modelo MFM da subestação, isto é feito clicando-se no respectivo botão na Barra de Ferramentas do programa PIRSE, depois é necessário editar a falha ocorrida, informando quais componentes foram afetados e quais proteções atuaram. A edição da falha é feita no Editor de Falhas, Figura 6.21.

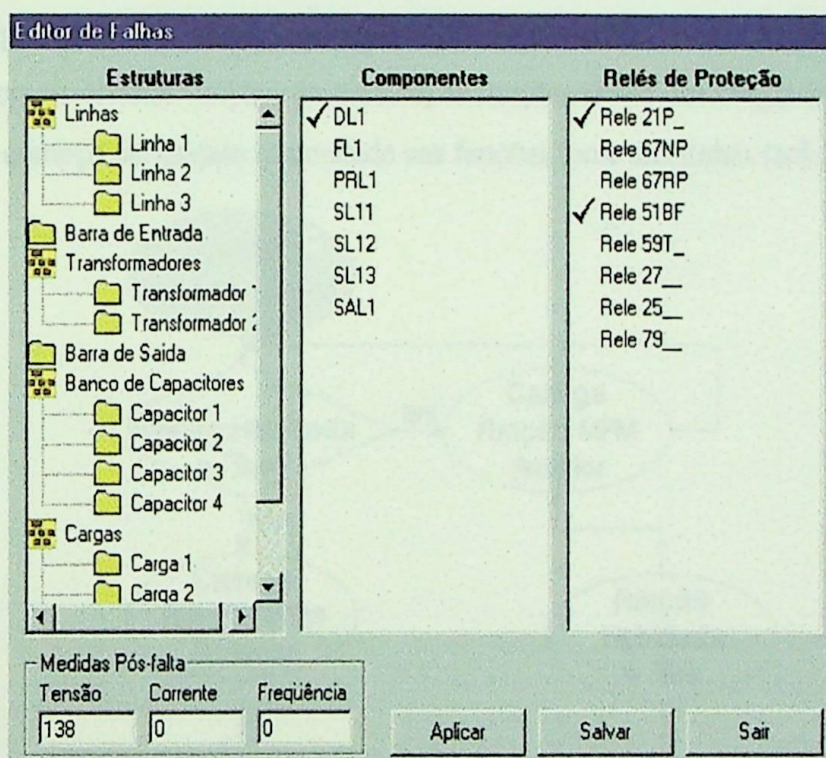


Figura 6.21 - Editor de Falhas

Para cada estrutura pode-se informar quais foram os equipamentos que falharam e quais proteções atuaram. E ainda, pode-se informar as medidas pós-falha como tensão, corrente e frequência. Cada estrutura editada deve-se apertar o botão Aplicar, para finalizar clica-se no botão Salvar.

O Simulador usa um algoritmo de planejamento, mostrado no Anexo IV, o fluxograma do simulador está mostrado na Figura 6.22. As entradas de dados: Cenário Pré-falha e Pós-falha, são obtidas através dos bancos de dados criados nos módulos anteriores do programa PIRSE. A saída é um plano de restabelecimento da subestação para a falta editada, este plano é composto de diversas tarefas que o usuário (operador) seguirá para proceder a restauração da operação da subestação.



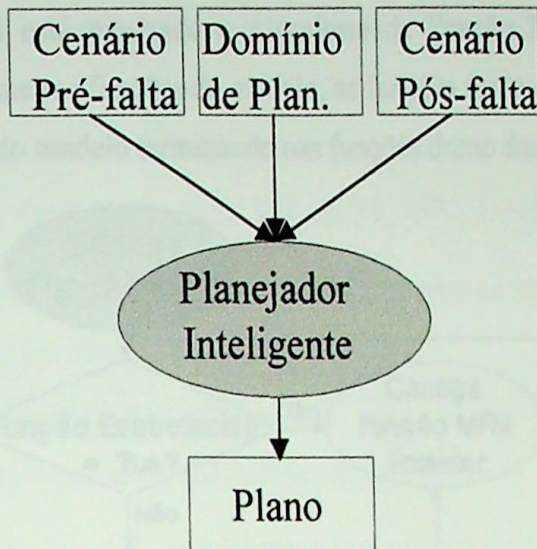


Figura 6.22 - Fluxograma do Simulador

Na Figura 6.23 está mostrado o Algoritmo da Função Habilitar, esta função é inicializada com as últimas funções do modelo, as funções dreno das cargas (siC), e caminha do fim para o começo do modelo terminando nas funções fonte das linhas (soL).

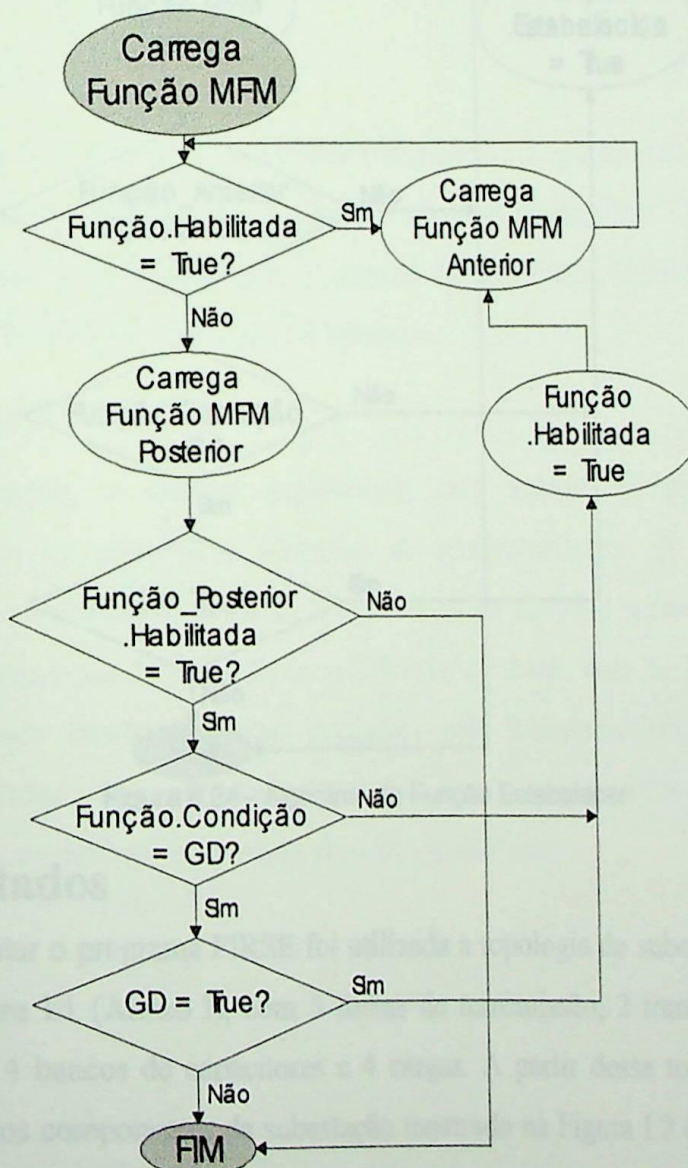


Figura 6.23 - Algoritmo da Função Habilitar



Na Figura 6.24 está mostrado o Algoritmo da Função Estabelecer, esta função é inicializada com as primeiras funções do modelo, as funções fonte das linhas (soL), e caminha do começo para o fim do modelo terminando nas funções dreno das cargas (siC).

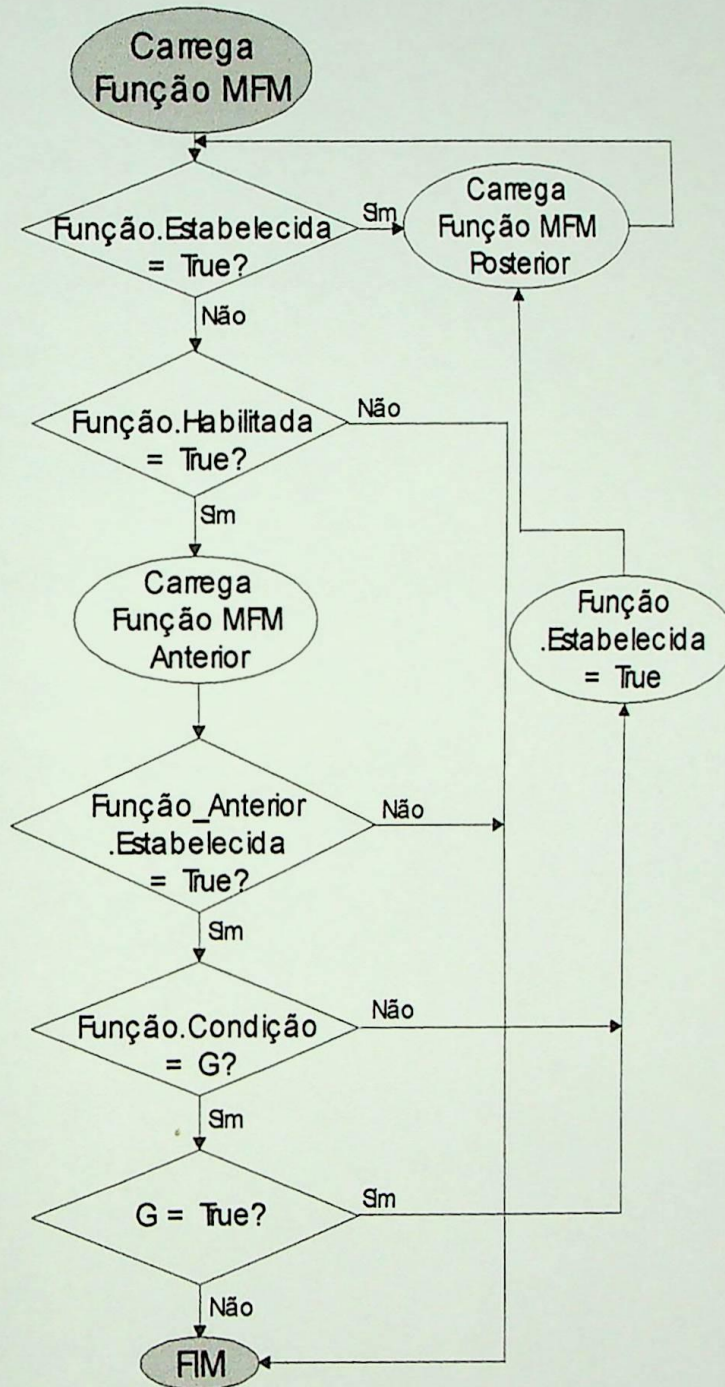


Figura 6.24 - Algoritmo da Função Estabelecer

## 6.6 – Resultados

Para se testar o programa PIRSE foi utilizada a topologia de subestação barra simples mostrada na Figura I.1 (Anexo I), com 3 linhas de transmissão, 2 transformadores (delta / estrela aterrado), 4 bancos de capacitores e 4 cargas. A partir dessa topologia foi criado o banco de dados dos componentes da subestação mostrado na Figura I.2 (Anexo I), e o banco de dados do modelo MFM mostrado na Figura III.1 (Anexo III).



As proteções previstas para essa topologia foram:

- Linhas de Transmissão: Relés 21P, 67NP, 67NRP, 51BF, 59T, 27, 25 e 79;
- Barramento de Entrada (138kV): Relé 87B;
- Transformadores: Relés 87T, 50/51, 50/51N, 51BF, 49, 26, 63 e 71.

Foram utilizados os seguintes exemplos de faltas para os testes:

- Falta em uma linha de transmissão;
- Black-out na subestação;
- Defeito em um dos transformadores.

Os resultados obtidos com a aplicação do programa PIRSE foram comparados com os resultados obtidos com o programa ESRASE (Expert Systema para Restabelecimento Automático de Subestações Elétricas) [22].

### **6.6.1 - Exemplo de ocorrência de uma falta em uma linha de transmissão**

PROBLEMA:

Houve uma falta transitória na linha de transmissão L1, que se auto extinguiu. Houve a atuação da proteção de distância em 3<sup>a</sup> zona e a abertura do disjuntor DL1. O disjuntor do terminal remoto não desarmou e, após o término da ocorrência, verifica-se a presença de tensão de retorno. O terminal da linha L1 é iniciador.

SISTEMA ESPECIALISTA:

Nesta situação, o sistema especialista, pela análise da proteção atuada em conformidade com os critérios e filosofias de restabelecimento da concessionária, se comunicaria com a subestação solicitando a abertura do terminal remoto afim de iniciar o processo de reenergização da linha. Após verificação de tensão nula na linha, a mesma seria energizada enviando tensão (terminal iniciador) pelo fechamento do disjuntor DL1. A manobra do disjuntor deve ser feita de acordo com os procedimentos operativos que consideram o intertravamento e a posição das chaves seletoras.

PIRSE:

O plano de restabelecimento encontrado pelo Programa PIRSE está mostrado na Figura 6.25.



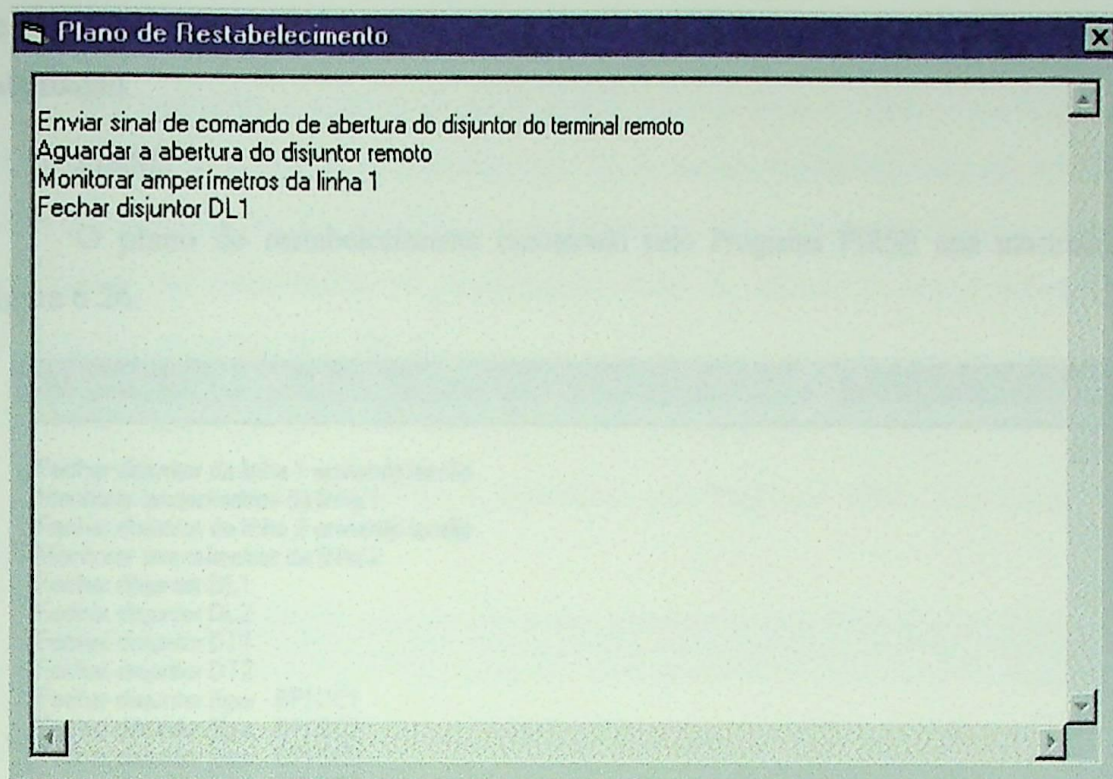


Figura 6.25 - Plano de restabelecimento do exemplo 1

#### DISCUSSÃO:

A ocorrência foi identificada corretamente pelo Programa PIRSE e envolveu apenas um circuito. O plano de restabelecimento obtido está em conformidade com os critérios e filosofias estabelecidos, sendo enviado um sinal de comando de abertura (Transfer-Trip) e então realizada a manobra.

### 6.6.2 - Exemplo de ocorrência de um black-out na subestação

#### PROBLEMA:

Houve uma falta transitória envolvendo simultaneamente as linhas de transmissão L1 e L2. As duas linhas são responsáveis pela alimentação da subestação e o seu desligamento simultâneo ocasiona um colapso total na subestação. Atuaram as proteções da linha L1 e L2 - relé 51BT. Não há tensão de retorno em nenhuma das linhas e todos os circuitos da subestação foram desenergizados. O terminal L2 é seguidor e o terminal L1 é iniciador.

#### SISTEMA ESPECIALISTA:

Nesta situação, o sistema especialista constatando a ocorrência de um colapso total de tensão na subestação procede como descrito no item 3.3.3.1. Inicialmente a subestação é preparada para a reenergização, estabelecendo na subestação uma configuração definida previamente pelos estudos de engenharia. A seguir, restabelece cada um dos circuitos dentro



de uma ordem e seqüência ótimos, assumindo carga até completar a reenergização de toda a subestação.

PIRSE:

O plano de restabelecimento encontrado pelo Programa PIRSE está mostrado na Figura 6.26.

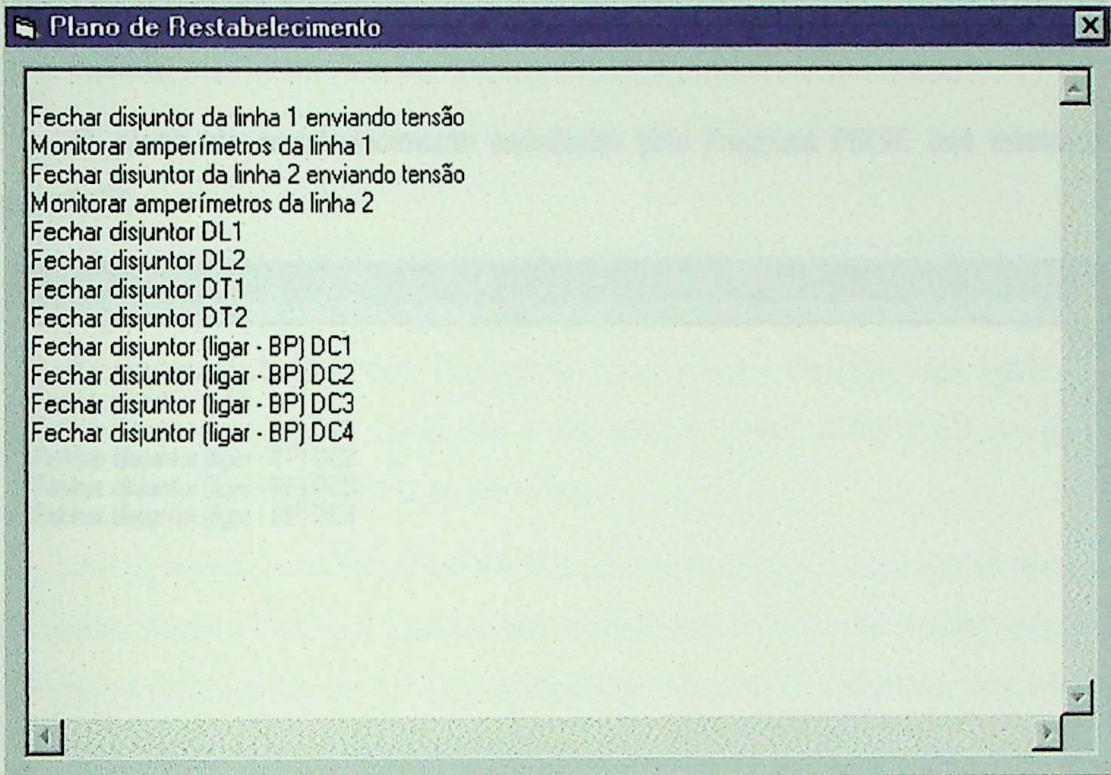


Figura 6.26 - Plano de restabelecimento do exemplo 2

DISCUSSÃO:

A ocorrência foi identificada corretamente pelo Programa PIRSE e envolveu todos os circuitos da subestação, caracterizando uma situação de colapso total. O Programa PIRSE não contempla os procedimentos de preparação da subestação após um colapso total, porém estas ações são corretamente analisadas se forem entradas no programa junto com a falha. Uma vez feito isso o plano de restabelecimento obtido está em conformidade com os critérios e filosofias estabelecidos, e ainda, este contém oito manobras que seguiram os procedimentos operativos desejados e esperados.

### 6.6.3 - Exemplo de ocorrência de defeito de um transformador

PROBLEMA:

Houve a atuação da proteção diferencial do transformador T1, e conseqüente abertura do disjuntor DT, indicando uma situação de colapso de tensão no 13,8kV da subestação.



### SISTEMA ESPECIALISTA:

Normalmente a atuação da proteção 87T está associada e indica a possibilidade de presença de defeito interno no transformador T1. O sistema especialista nesta situação, deve isolar o transformador T1, restabelecer o transformador T2 e a seguir reenergizar os circuitos de 13,8kV da subestação. A reenergização pode ter alguma seqüência pré-definida, favorecendo as cargas prioritárias.

### PIRSE:

O plano de restabelecimento encontrado pelo Programa PIRSE está mostrado na Figura 6.27.

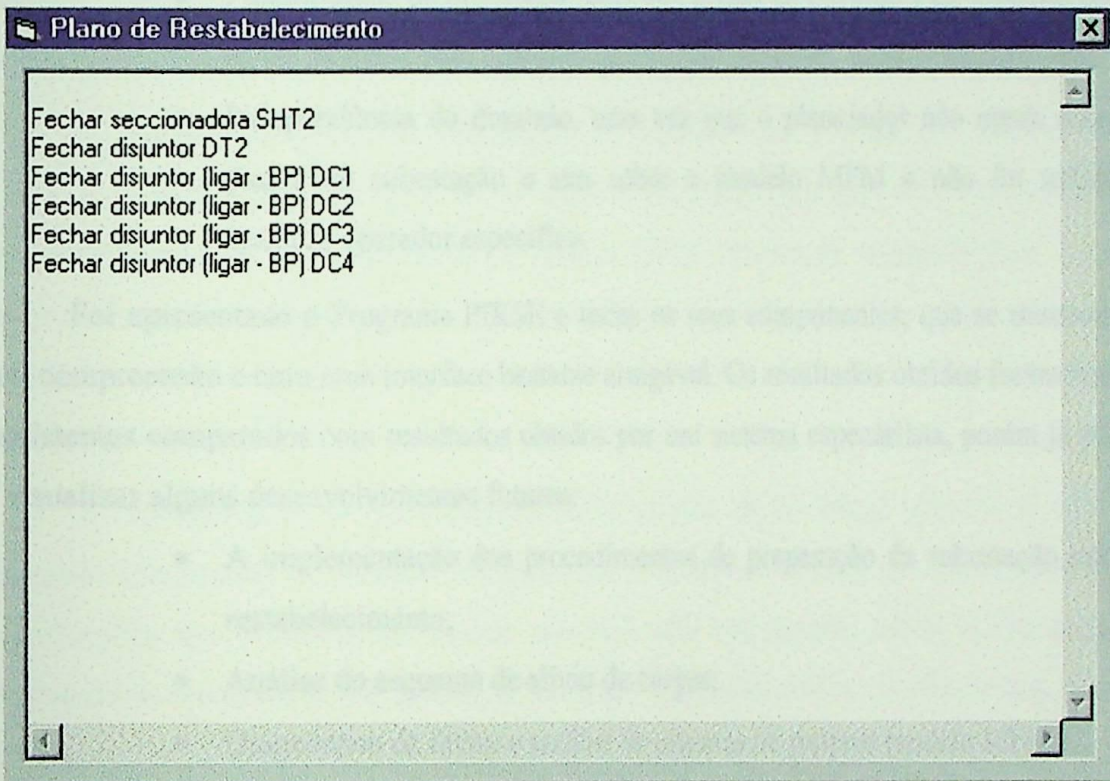


Figura 6.27 - Plano de restabelecimento do exemplo 3

### DISCUSSÃO:

A ocorrência foi identificada corretamente pelo Programa PIRSE e envolveu todos os circuitos da subestação, com exceção das linhas de transmissão. Novamente, o Programa PIRSE não contempla os procedimentos de preparação da subestação para o restabelecimento, porém estas ações são corretamente analisadas se forem entradas no programa junto com a falha. Uma vez feito isso o plano de restabelecimento obtido está em conformidade com os critérios e filosofias estabelecidos, e ainda, este contém seis manobras que seguiram os procedimentos operativos desejados e esperados.



## 6.7 – Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os modelos utilizados na modelagem funcional de subestações e como adquirir conhecimentos a partir desses modelos. Estes modelos foram baseados na decomposição funcional das estruturas da subestação, e a obtenção de um bom modelo MFM é vital para a obtenção de bons resultados na aplicação do planejador.

Os operadores utilizados pelo planejador inteligente foram apresentados de uma forma genérica para um planejador independente do domínio, esta combinação permite:

- Reutilização do conhecimento em outros modelos para outros tipos de topologia;
- Flexibilidade de mudanças, uma vez criada as estruturas do modelo, pode-se ter modelos para qualquer quantidade de linhas, transformadores, etc.
- Independência do domínio, uma vez que o planejador não opera sobre a planta da subestação e sim sobre o modelo MFM e não foi utilizado nenhum operador específico.

Foi apresentado o Programa PIRSE e todas os seus componentes, que se mostrou de fácil compreensão e com uma interface bastante amigável. Os resultados obtidos foram bons e consistentes comparados com resultados obtidos por um sistema especialista, porém já pôde-se visualizar alguns desenvolvimentos futuros:

- A implementação dos procedimentos de preparação da subestação para o restabelecimento;
- Análise do esquema de alívio de cargas;
- Diagnóstico de falhas e análise de alarmes no próprio modelo MFM.
- Inclusão de medições de grandezas como tensão, corrente e potências.



# CAPÍTULO 7

## CONCLUSÃO

### 7.1 – Considerações Finais

Este trabalho representa mais um passo no desenvolvimento de ferramentas que utilizam técnicas de Inteligência Artificial para dar apoio às atividades na operação de Sistemas Elétricos de Potência, cujo objetivo final é a busca constante da otimização das ações e procedimentos de supervisão e controle de Sistemas de Potência.

O modelo funcional da subestação foi desenvolvido visando um bom grau de abstração, assim sendo o modelo pode ser aplicado em outras topologias sem muito esforço de desenvolvimento de novos modelos. A técnica MFM mostrou-se adequada para adquirir conhecimentos de planejamento, uma vez que cria uma coleção de objetos para o planejador trabalhar, no entanto se mostrou muito eficiente apenas em relação ao conhecimento topológico da subestação.

A representação do conhecimento MFM através de estruturas também se mostrou adequado oferecendo flexibilidade de mudanças e inserções na base de conhecimentos. As modificações nas estruturas do modelo são realizadas nas funções MFM individualmente facilitando a manutenção do mesmo, e ainda a codificação destes conhecimentos para os operadores de planejamento através das funções de mapeamento garante a reutilização dos operadores em outros domínios.

O Programa PIRSE foi concebido, estruturado e implementado de uma forma modular, que garante maior flexibilidade quanto à expansão e implementação de modificações operacionais, além de possuir um módulo com a base de conhecimentos da filosofia de restabelecimento de subestações.

O programa foi desenvolvido para operação “off-line” com a finalidade de testar a nova abordagem proposta, principal contribuição dessa dissertação, porém ainda pode ser aplicado para o treinamento de operadores de subestação uma vez que é capaz de adquirir a terminologia técnica utilizada em cada empresa. E ainda, este tipo de ferramenta pode ser utilizado conjuntamente com um sistema automatizado de supervisão e controle de



subestações oferecendo grandes benefícios à realização das atividades de operação de uma subestação.

O planejador desenvolvido utilizou de um algoritmo bastantes simples de planejamento, o que limita a capacidade de se implementar novas características de raciocínio inteligente, porém planejadores mais robustos são facilmente encontrados na literatura e seu desenvolvimento é viável e só demanda esforço computacional de programação.

O sistema desenvolvido ainda não dispõe de recursos para trabalhar com informações quantitativas, como medidas de tensão, corrente, potência, etc., no entanto existem trabalhos desenvolvidos nessa área que comprovam que este tipo de modelo também é bastante adequado para trabalhar com essas informações [40]. E ainda, o sistema não possui um algoritmo para preparar a subestação para o restabelecimento, mas esse tipo de algoritmo também pode ser implementado baseando-se no modelo MFM, raciocinando sobre as funções que foram desestabelecidas e/ou desabilitadas, e como elas influenciam nas suas respectivas estruturas.

Os principais benefícios do Programa PIRSE são:

- Auxilia na tomada de decisões do operador de subestação, aumentando a sua eficiência na execução de tarefas;
- Otimização e rapidez na definição e implementação das ações de restabelecimento;
- Repetibilidade;
- Viabiliza o processo de automação completa da subestação;
- Contribui para a diminuição do tempo de interrupção do fornecimento de energia;
- Flexibilidade e adaptabilidade, advindos dos modelos MFM de subestações.

Os testes realizados mostraram resultados bons e consistentes que comprovam os benefícios visualizados e descritos acima. O programa não utiliza nenhuma regra sobre topologia, apenas trabalhando com o modelo MFM, e também não utiliza raciocínio baseado em casos, para cada contingência uma análise é feita e uma solução é proposta. Para as estruturas que representam o conhecimento específico sobre proteções foram utilizadas 14 regras genéricas de atuação de proteção.



## 7.2 - Trabalhos Futuros

A análise dos resultados obtidos já traz a visualização de desenvolvimentos futuros para o Programa PIRSE:

- Implementação dos procedimentos de preparação da subestação para o restabelecimento;
- Análise dos esquemas de alívio de cargas;
- Diagnóstico de falhas e análise de alarmes no próprio modelo MFM;
- Módulo de operação ON-LINE em conjunto com um sistema automatizado de controle e supervisão de subestação;
- Módulo específico para treinamento de operadores;
- Procedimentos de aprendizado a serem incorporados no algoritmo de planejamento;
- Utilização de um algoritmo de planejamento inteligente mais robusto;
- Simulação e teste em ambiente real de operação.

Esta nova abordagem dá margens para se desenvolver novos sistemas de restabelecimento, não somente para subestações, mas também para redes do sistema elétrico, desenvolvendo para isto modelos com mais do que um nível de fluxo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Adibi, M.M.; Fink, L.H. "Power System Restoration Planning", *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 9, no. 1, Feb. 1994, pp. 22-28.
- [2] Larsson, J.E. "Diagnosis based on explicit means-end models", *Artificial Intelligence*, Vol. 80, pp. 29-93, 1996.
- [3] Lind, M. "Modeling Goals and Functions of Complex Industrial Plants", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 8, pp. 259-283, 1994.
- [4] Lind, M. "A categorization of models and its application for the analysis planning knowledge", In Proceedings of the ANP-92 Conference Seminar at Human Cognitive and Cooperative Activities in Advanced Technological Systems, Novembro 1992.
- [5] Lambert-Torres, G.; Ribeiro, G.M.; Costa, C.I.A.; Alves da Silva, A.P.; Quintana, V.H. "Knowledge Engineering Tool for Training Power-Substation Operators", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 2, pp. 694-699, April 1997.
- [6] Negrisola, M.E.M.; Curi, M.A. *Subestações*. Itajubá: Núcleo Tecnológico 1990.
- [7] Carvalho, A.C.C.; et al. *Disjuntores e Chaves - Aplicação em Sistemas de Potência*. Niterói: Editora de Universidade Federal Fluminense 1995
- [8] Horowitz, S.H.; Phadke, A.G. *Power System Relaying - Second Edition*. Research Studies Press, 1995.
- [9] D'Ajuz, A. *Equipamentos Elétricos - Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão*. Rio de Janeiro: FURNAS Centrais elétricas 1985.
- [10] CEMIG. *Aplicação de Medição em Subestações - Requisitos Básicos*. Belo Horizonte: CEMIG 1987.
- [11] ELETROBRÁS. *Proteção de Sistemas Aéreos de Distribuição*. Rio de Janeiro: Editora Campus 1982.
- [12] Caminha, A.C. *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*. São Paulo: Editora Edgard Blücher 1977



- [13] Jardini, J.A. *Sistemas Digitais para Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica*. São Paulo, s.ed. 1996.
- [14] M.M. Adibi, *et al.* "Power System Restoration - A Task Force Report", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. PWRs-2, No. 2, Maio 1987, pp. 271-277.
- [15] Nielsen, K.E. *et al.* "System Operations Challenges", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 3, No. 1, Fevereiro 1988, pp. 118-126.
- [16] CEMIG. Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento de linhas de transmissão e alimentadores de distribuição do sistema CEMIG. Belo Horizonte: CEMIG, 1991 (NO-OP/OS2-03.002).
- [17] CEMIG. Critérios para a instalação de sincronismo no sistema elétrico. Belo Horizonte: CEMIG, 1991 (02.118-TN-029).
- [18] CEMIG. Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento da malha regional oeste - 138 kV. Belo Horizonte: CEMIG, 1988 (IO-OP/OS2-02.006i).
- [19] CEMIG. Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento da SE Jaguara 500 kV. Belo Horizonte: CEMIG, 1990 (IO-OP/OS2-03.028g).
- [20] CEMIG. Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento da SE Jaguara 345 kV. Belo Horizonte: CEMIG, 1991 (IO-OP/OS2-03.029e).
- [21] CEMIG. Manual de controle do sistema, critérios para o restabelecimento da SE Barbacena 2. Belo Horizonte: CEMIG, 1989 (IO-OP/OS2-03.038d).
- [22] G.M. Ribeiro, *Sistemas Especialistas para Restabelecimento Automático de Subestações*. M.Sc. thesis, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Maio 1993.
- [23] Fikes, R.E., Nilsson, N.J. "STRIPS: A New Approach to the Application of Theorem Proving to Problem Solving", *Artificial Intelligence*, Vol. 2, 1971, pp. 189-208.
- [24] Wilkins, D.E. *Practical Planning: Extending the Classical AI Planning Paradigm*, Morgan Kaufmann Publishers.
- [25] Rich, E., Knight, K. *Inteligência Artificial – Segunda Edição*, São Paulo, MAKRON Books, 1993.
- [26] Russel, S., Norvig, P. *Artificial Intelligence – A Modern Approach*, Prentice Hall, 1995.

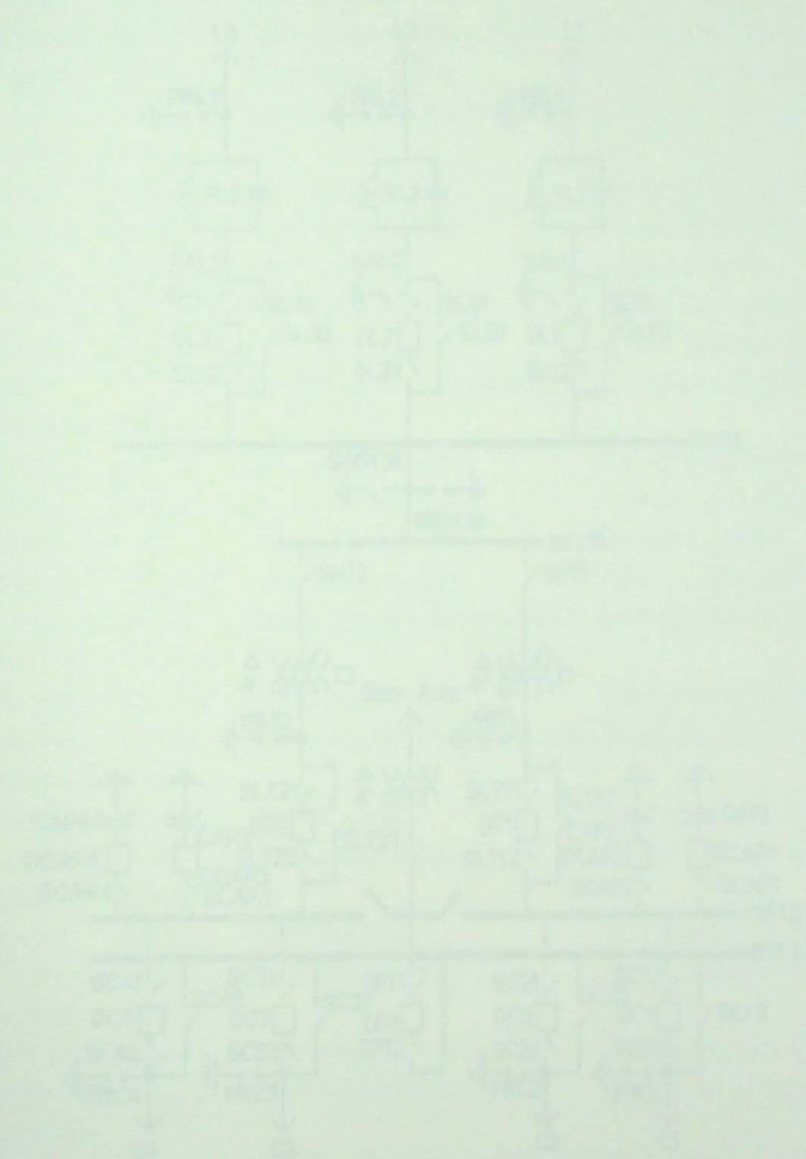


- [27] Veloso, M. *et al.* "Integrating planning and learning: the PRODIGY architecture", *J. Exp. Theor. Artif. Intell.*, 1995, pp. 81-120.
- [28] Lind, M. "Representing goals and functions of complex systems", Technical Report 90-D-381, Institute of Automatic Control Systems, Technical University of Denmark, Novembro 1990.
- [29] Larsen, M.N. "Modeling start-up tasks using functional models. Interactive planning for integrated supervision and control of complex plant", Technical Report 4937-92-08-ED ISP DK, Institute of Automatic Control Systems, Technical University of Denmark, Agosto 1992.
- [30] Larsen, M.N. *Deriving action Sequences for start-up using multilevel flow models*, Ph.D. Thesis, Technical of Denmark, 1993.
- [31] Souza, L.E. *Aquisição de conhecimentos para planejamento IA de processos industriais usando modelo funcional meios-fins*, Ph.D. Thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997.
- [32] Costa, C.I.A. *Ambiente Computacional para Previsão de Carga a Curto-Prazo*, M.Sc. Thesis, Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1997.
- [33] Aoki, A.R.; Lambert-Torres, G.; Souza, L.E. "Planning Knowledge Acquisition for Restoration of Substations Using Functional Modeling". In: *Proceedings of The International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, ISAP'99*, pp. 311-315, 1999.
- [34] Bennett, J.L. *Building Decision Support Systems*, Addison-Wesley Publishing, 1983.
- [35] de SOUZA, L.E. "Flexible Planning Representation of a Boiler Power Plant", In *Proceedings of The International Conference on Intelligent System Application to Power Systems, ISAP '97*, pp. 436-440, 1997.
- [36] Holzner, S.; Norton, P. *Visual Basic for Windows - Versão 3.0*, Rio de Janeiro, Editora Campus, 1994.
- [37] Hergert, D. *Visual Basic 5 - Bible*, IDG Books Worldwide, 1997.
- [38] Kennedy, D.; Garrick, J.; Harper, B.; Roff, J.T. *Visual Basic 5 - Database How To*, Wait Group Press, 1997.
- [39] Norma Técnica NBR 6878, *Operação de Sistemas de Potência - Terminologia*, Setembro, 1981.



- [40] LARSSON, J.E. "Diagnostic Reasoning Strategies for Means-End Models", *Automatica*, vol. 30, No. 5, pp 775-787, 1994.
- [41] Norma Técnica NBR 12523, Símbolos gráficos de equipamentos de manobra e controle e de dispositivos de proteção, Abril, 1992.

O banco de dados mostrado na Figura 12, foi criado pelo Wizard de tecnologia para esta subestação Extra Simple, mostrado na Figura 11.



Equipamento	Modelo	Descrição	Função
1. Interruptor	10.1	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar
2. Parafuso	10.1	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar
3. Parafuso	10.11	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar
4. Parafuso	10.12	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar
5. Parafuso	10.13	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar
6. Parafuso	10.1	Ativ. manobrável	Fechar/abrir/intertrancar



# ANEXO I - BANCO DE DADOS DO WIZARD DE TOPOLOGIA

O banco de dados mostrado na Figura I.2, foi criado pelo Wizard de topologia para uma subestação Barra Simples, mostrada na Figura I.1.

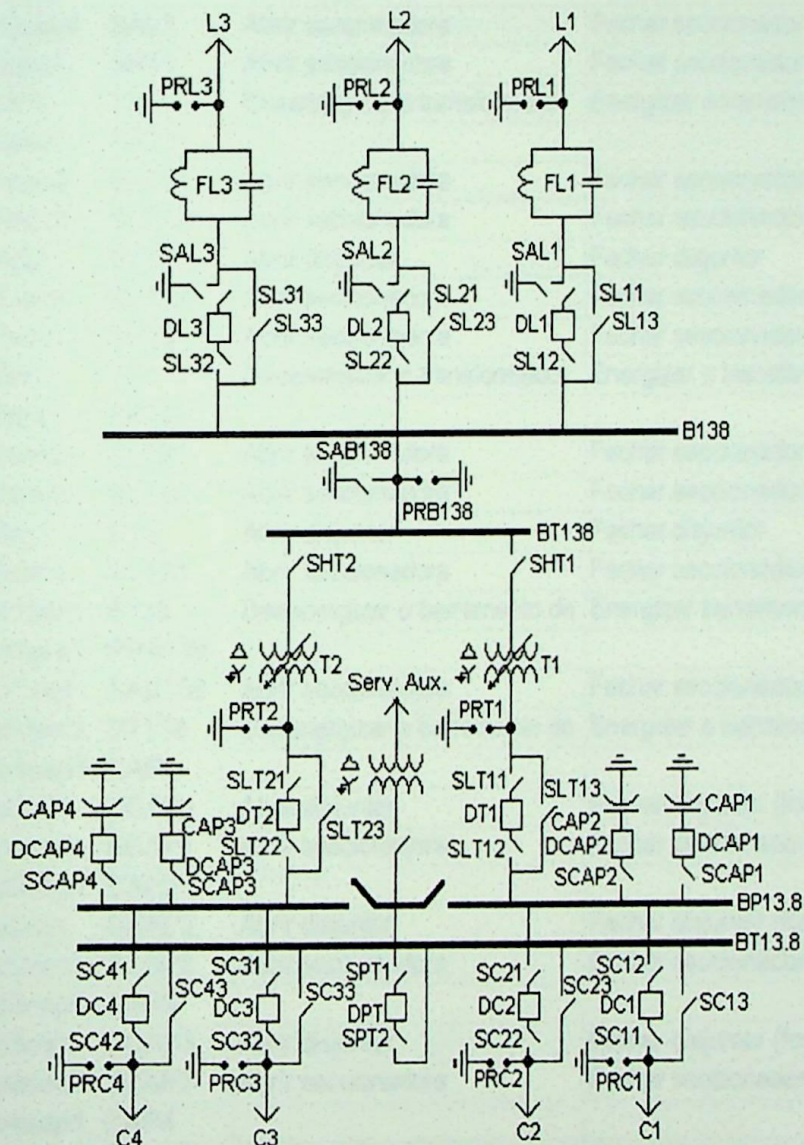


Figura I.1 - Subestação Barra Simples

IdComp	Chave	Nome	TUNestabelecer	TUEstabelecer
1	Inh1pra1	PRL1		
2	Inh1flt1	FL1		
3	Inh1sec1	SL11	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
4	Inh1sec2	SL12	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
5	Inh1sec3	SL13	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (baipassar)
6	Inh1dij1	DL1	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor



7	Inh1sec4	SAL1	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (aterrar)
8	Inh2pra1	PRL2		
9	Inh2flt1	FL2		
10	Inh2sec1	SL21	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
11	Inh2sec2	SL22	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
12	Inh2sec3	SL23	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (baipassar)
13	Inh2dij1	DL2	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor
14	Inh2sec4	SAL2	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (aterrar)
15	Inh3pra1	PRL3		
16	Inh3flt1	FL3		
17	Inh3sec1	SL31	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
18	Inh3sec2	SL32	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
19	Inh3sec3	SL33	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (baipassar)
20	Inh3dij1	DL3	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor
21	Inh3sec4	SAL3	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (aterrar)
22	trf1sec1	SHT1	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
23	trf1trf1	T1	Desenergizar o transformador	Energizar o transformador
24	trf1pra1	PRT1		
25	trf1sec2	SLT11	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
26	trf1sec3	SLT12	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
27	trf1dij1	DT1	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor
28	trf1sec4	SLT13	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (baipassar)
29	trf2sec1	SHT2	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
30	trf2trf1	T2	Desenergizar o transformador	Energizar o transformador
31	trf2pra1	PRT2		
32	trf2sec2	SLT21	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
33	trf2sec3	SLT22	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
34	trf2dij1	DT2	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor
35	trf2sec4	SLT23	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (baipassar)
36	ben1bar1	B138	Desenergizar o barramento de	Energizar barramento de entrada
37	ben1pra1	PRB138		
38	ben1sec1	SAB138	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (aterrar)
39	ben1bar2	BT138	Desenergizar o barramento do	Energizar o barramento do
40	cap1cap1	CAP1		
41	cap1dij1	DCAP1	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (fornecer reativo)
42	cap1sec1	SCAP1	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
43	cap2cap1	CAP2		
44	cap2dij1	DCAP2	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (fornecer reativo)
45	cap2sec1	SCAP2	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
46	cap3cap1	CAP3		
47	cap3dij1	DCAP3	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (fornecer reativo)
48	cap3sec1	SCAP3	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
49	cap4cap1	CAP4		
50	cap4dij1	DCAP4	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (fornecer reativo)
51	cap4sec1	SCAP4	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
52	crg1sec1	SC11	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
53	crg1sec2	SC12	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
54	crg1dij1	DC1	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (ligar - BP)
55	crg1sec3	SC13	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (ligar - BT)
56	crg1pra1	PRC1		
57	crg2sec1	SC21	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
58	crg2sec2	SC22	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora



59	crg2dij1	DC2	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (ligar - BP)
60	crg2sec3	SC23	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (ligar - BT)
61	crg2pra1	PRC2		
62	crg3sec1	SC31	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
63	crg3sec2	SC32	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
64	crg3dij1	DC3	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (ligar - BP)
65	crg3sec3	SC33	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (ligar - BT)
66	crg3pra1	PRC3		
67	crg4sec1	SC41	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
68	crg4sec2	SC42	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
69	crg4dij1	DC4	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (ligar - BP)
70	crg4sec3	SC43	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora (ligar - BT)
71	crg4pra1	PRC4		
72	bsa1bar1	BP13.8	Desenergizar barramento	Energizar barramento principal
73	bsa1bar2	BT13.8	Desenergizar barramento de	Energizar barramento de
74	bsa1sec1	SPT1	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
75	bsa1sec2	SPT2	Abrir seccionadora	Fechar seccionadora
76	bsa1dij1	DPT	Abrir disjuntor	Fechar disjuntor (fazer paralelo)

Figura I.2 - Banco de dados de conhecimentos topológicos

Código das subrotinas para criar os banco de dados da Figura I.2.

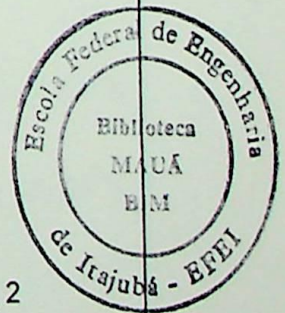
```

Private Sub Salva_Conf()
    'Pega o valor do tipo da subestacao
    For Tipo = 0 To 2
        If optEstacao(Tipo).Value = True Then
            Exit For
        End If
    Next
    'Numero de linhas de entrada
    Linha = cobEntrada.ListIndex + 1
    'Numero de linhas de entrada
    Trafo = cobTrafo.ListIndex + 1
    'Numero de linhas de entrada
    Primario = cobPrimario.ListIndex
    'Numero de linhas de entrada
    Secundario = cobSecundario.ListIndex
    'Numero de linhas de entrada
    Carga = cobSaida.ListIndex + 1
    'Numero de Banco de Capacitores
    Capacitor = cobCapac.ListIndex
    '3 enrolamentos
    Terceiro = If(chkTerceiro.Value = 1, cobTerceiro.ListIndex + 1, 0)
End Sub
    
```

Figura I.3 - Subrotina para salvar a configuração na memória



```
Private Sub AdicionaAreas()  
    Dim Mover As Byte  
  
    'Posiciona o painel  
    sstPrincipal.Tab = 0  
  
    'Limpa o Tree view de áreas e protecoes  
    treeArea.Nodes.Clear  
    treeProtecao.Nodes.Clear  
    'Limpa a área de componentes  
    lblArea.Caption = ""  
    lstNome.ListItems.Clear  
  
    'Adiciona as partes ao treeview  
    With treeArea  
        'Linhas de Entrada  
        .Nodes.Add , , "Linha", "Linhas", 1, 1  
        For Mover = 1 To Linha  
            .Nodes.Add "Linha", twwChild, "lnh" & CStr(Mover), "Linha " & CStr(Mover), 2, 2  
        Next  
  
        'Barramento de entrada  
        .Nodes.Add , , "ben", "Barra de Entrada", 2, 2  
  
        'Trafos  
        .Nodes.Add , , "Trafo", "Transformadores", 1, 1  
        For Mover = 1 To Trafo  
            .Nodes.Add "Trafo", twwChild, "trf" & CStr(Mover), "Transformador " & CStr(Mover), 2, 2  
        Next  
  
        'Barramento de saida  
        .Nodes.Add , , "bsa", "Barra de Saida", 2, 2  
  
        'Bancos de Capacitores  
        If Capacitor <> 0 Then  
            .Nodes.Add , , "Capa", "Banco de Capacitores", 1, 1  
            For Mover = 1 To Capacitor  
                .Nodes.Add "Capa", twwChild, "cap" & CStr(Mover), "Capacitor " & CStr(Mover), 2, 2  
            Next  
        End If  
  
        'Cargas de Saida  
        .Nodes.Add , , "Cargas", "Cargas", 1, 1  
  
        For Mover = 1 To Carga  
            .Nodes.Add "Cargas", twwChild, "crg" & CStr(Mover), "Carga " & CStr(Mover), 2, 2  
        Next  
  
    End With  
  
    'Adiciona as partes ao treeview  
    With treeProtecao  
        'Linhas de Entrada  
        .Nodes.Add , , "Linha", "Linhas", 1, 1  
        For Mover = 1 To Linha  
            .Nodes.Add "Linha", twwChild, "lnh" & CStr(Mover), "Linha " & CStr(Mover), 2, 2  
        Next  
  
        'Barramento de entrada  
        .Nodes.Add , , "ben", "Barra de Entrada", 2, 2
```





```
'Trafos
.Nodes.Add , , "Trafo", "Transformadores", 1, 1
For Mover = 1 To Trafo
.Nodes.Add "Trafo", twChild, "trf" & CStr(Mover), "Transformador " & CStr(Mover), 2, 2
Next

'Barramento de saida
.Nodes.Add , , "bsa", "Barra de Saida", 2, 2
End With

End Sub
```

Figura I.4 - Subrotina para adicionar áreas no banco de dados

```
Private Sub Cria_BancoDados()

Dim Codigo As ArqModelo
Dim i As Byte
'Utilizando o Microsoft Jet para banco de Dados
'Definindo a database de trabalho
Dim dbsTemp As Database
Dim rstTabela As Recordset
Dim ChaveComp As String
Dim ChaveArea As String
Dim Contar As Integer
'Nome de um novo esquematico
NomeSub = "Subestação1"

'Definindo o arquivo mdb a ser aberto no jet
Set dbsTemp = OpenDatabase(Temporario)
'Definindo qual tabela vai ser usada
'Aqui está se abrindo as características da sub
Set rstTabela = dbsTemp.OpenRecordset("Caracteristica", dbOpenDynaset)

With rstTabela
'Colocando os dados da sub no registro
.AddNew
!NomeSub = NomeSub
!Tipo_Estacao = Tipo
!linhas = Linha
!Trafos = Trafo
!Capacitores = Capacitor
!Cargas = Carga
!Primario = Primario
!Secundario = Secundario
!terciario = Terceiro
!NomeSub = "SubEstação1"
.Update
.Bookmark = .LastModified
'Para a janela de debug
Debug.Print "Caracteristica adicionada"
End With

'Fechando a tabela características da sub
rstTabela.Close

'Abrindo a tabela Componentes da subestação
```



```

Set rstTabela = dbsTemp.OpenRecordset("Componentes", dbOpenDynaset)

With rstTabela

'Selecionando todas as linhas
For i = 1 To Linha

    Contar = 1 'reseta contador

    Do 'adiciona componentes
        ChaveArea = "Inh" & CStr(Tipo)
        'pega o nomechave do comp
        ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

        If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
            Exit Do
        Else
            .AddNew
            !Chave = "Inh" & CStr(i) & ChaveComp
            !Nome = ChaveComp
            'pega o NEstabelecer
            !TUNEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

            'pega o estabelecer
            !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

            .Update
            .Bookmark = .LastModified
        End If

        Contar = Contar + 1
    Loop
Next

'Selecionando todas os trafos
For i = 1 To Trafo
    Contar = 1
    Do 'adiciona componentes
        ChaveArea = "trf"
        'pega o nomechave do comp
        ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

        If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
            Exit Do
        Else
            .AddNew
            !Chave = "trf" & CStr(i) & ChaveComp
            !Nome = ChaveComp
            'pega o NEstabelecer
            !TUNEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

            'pega o estabelecer
            !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

            .Update
            .Bookmark = .LastModified
        End If

        Contar = Contar + 1
    Loop
Next

```



```

'Abrindo arquivo modelo de Barra de Entrada
Contar = 1
Do 'adiciona componentes
  ChaveArea = "ben" & CStr(Tipo)
  'pega o nomechave do comp
  ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

  If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
    Exit Do
  Else
    .AddNew
    !Chave = "ben" & "1" & ChaveComp
    !Nome = ChaveComp
    'pega o NEstabelecer
    !TUNestabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

    'pega o estabelecer
    !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

    .Update
    .Bookmark = .LastModified
  End If

  Contar = Contar + 1
Loop

'Selecionando todas as linhas
For i = 1 To Capacitor
  Contar = 1
  Do 'adiciona componentes
    ChaveArea = "cap"
    'pega o nomechave do comp
    ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

    If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
      Exit Do
    Else
      .AddNew
      !Chave = "cap" & CStr(i) & ChaveComp
      !Nome = ChaveComp
      'pega o NEstabelecer
      !TUNestabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

      'pega o estabelecer
      !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

      .Update
      .Bookmark = .LastModified
    End If

    Contar = Contar + 1
  Loop
Next

'Selecionando todas as linhas
For i = 1 To Carga
  Contar = 1
  Do 'adiciona componentes
    ChaveArea = "crg"
    'pega o nomechave do comp
    ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

```



```

If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
    Exit Do
Else
    .AddNew
    !Chave = "crg" & CStr(i) & ChaveComp
    !Nome = ChaveComp
    'pega o NEstabelecer
    !TUNEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

    'pega o estabelecer
    !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

    .Update
    .Bookmark = .LastModified
End If

    Contar = Contar + 1
Loop
Next

'Abrindo arquivo modelo de Barra de Saida
Contar = 1
Do 'adiciona componentes
    ChaveArea = "bsa"
    'pega o nomechave do comp
    ChaveComp = Get_Comp(ChaveArea, "NumComp" & CStr(Contar), CurDir & ArqINI)

    If ChaveComp = "fim" Or ChaveComp = "" Then 'para fim de registro
        Exit Do
    Else
        .AddNew
        !Chave = "bsa" & "1" & ChaveComp
        !Nome = ChaveComp
        'pega o NEstabelecer
        !TUNEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "NEstabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

        'pega o estabelecer
        !TUEstabelecer = Get_Comp(ChaveArea, "Estabelecer" & CStr(Contar), CurDir &
                                                                    ArqINI)

        .Update
        .Bookmark = .LastModified
    End If

    Contar = Contar + 1
Loop

End With

'Fechando o registro e o banco de dados
rstTabela.Close
dbsTemp.Close
Debug.Print "Componentes adicionados"

End Sub

```

Figura I.5 - Subrotina para criar o banco de dados



## ANEXO II - BANCO DE DADOS DO EDITOR DE COMPONENTES

O banco de dados criado pelo Editor de Componentes, para uma subestação Barra Simples, está mostrado na Figura II.1.

```
[Inh1]
NumComp1=pra1
NEstabelecer1=
Estabelecer1=
NumComp2=flt1
NEstabelecer2=
Estabelecer2=
NumComp3=sec1
NEstabelecer3=Abrir seccionadora
Estabelecer3=Fechar seccionadora
NumComp4=sec2
NEstabelecer4=Abrir seccionadora
Estabelecer4=Fechar seccionadora
NumComp5=sec3
NEstabelecer5=Abrir seccionadora
Estabelecer5=Fechar seccionadora (baipassar)
NumComp6=dij1
NEstabelecer6=Abrir disjuntor
Estabelecer6=Fechar disjuntor
NumComp7=sec4
NEstabelecer7=Abrir seccionadora
Estabelecer7=Fechar seccionadora (aterrar)
NumComp8=fim

[ben1]
NumComp1=bar1
NEstabelecer1=Desenergizar o barramento de entrada
Estabelecer1=Energizar barramento de entrada
NumComp2=pra1
NEstabelecer2=
Estabelecer2=
NumComp3=sec1
NEstabelecer3=Abrir seccionadora
Estabelecer3=Fechar seccionadora (aterrar)
NumComp4=bar2
NEstabelecer4=Desenergizar o barramento do transformador
```



Estabelecer4=Energizar o barramento do transformador  
NumComp5=fim

[trf]

NumComp1=sec1  
NEstabelecer1=Abrir seccionadora  
Estabelecer1=Fechar seccionadora  
NumComp2=trf1  
NEstabelecer2=Desenergizar o transformador  
Estabelecer2=Energizar o transformador  
NumComp3=pra1  
NEstabelecer3=  
Estabelecer3=  
NumComp4=sec2  
NEstabelecer4=Abrir seccionadora  
Estabelecer4=Fechar seccionadora  
NumComp5=sec3  
NEstabelecer5=Abrir seccionadora  
Estabelecer5=Fechar seccionadora  
NumComp6=dij1  
NEstabelecer6=Abrir disjuntor  
Estabelecer6=Fechar disjuntor  
NumComp7=sec4  
NEstabelecer7=Abrir seccionadora  
Estabelecer7=Fechar seccionadora (baipassar)  
NumComp8=fim

[bsa]

NumComp1=bar1  
NEstabelecer1=Desenergizar barramento principal  
Estabelecer1=Energizar barramento principal  
NumComp2=bar2  
NEstabelecer2=Desenergizar barramento de transferência  
Estabelecer2=Energizar barramento de transferência  
NumComp3=sec1  
NEstabelecer3=Abrir seccionadora  
Estabelecer3=Fechar seccionadora  
NumComp4=sec2  
NEstabelecer4=Abrir seccionadora  
Estabelecer4=Fechar seccionadora  
NumComp5=dij1  
NEstabelecer5=Abrir disjuntor  
Estabelecer5=Fechar disjuntor (fazer paralelo)  
NumComp6=fim

[cap]

NumComp1=cap1  
NEstabelecer1=  
Estabelecer1=  
NumComp2=dij1  
NEstabelecer2=Abrir disjuntor



```
Estabelecer2=Fechar disjuntor (fornecer reativo)
NumComp3=sec1
NEstabelecer3=Abrir seccionadora
Estabelecer3=Fechar seccionadora
NumComp4=fim

[crg]
NumComp1=sec1
NEstabelecer1=Abrir seccionadora
Estabelecer1=Fechar seccionadora
NumComp2=sec2
NEstabelecer2=Abrir seccionadora
Estabelecer2=Fechar seccionadora
NumComp3=dij1
NEstabelecer3=Abrir disjuntor
Estabelecer3=Fechar disjuntor (ligar - BP)
NumComp4=sec3
NEstabelecer4=Abrir seccionadora
Estabelecer4=Fechar seccionadora (ligar - BT)
NumComp5=pra1
NEstabelecer1=
Estabelecer1=
NumComp6=fim
```

Figura II.1 - Banco de dados - arquivo EditSub.ini

O código das subrotinas para criar o banco de dados da Figura II.1 está mostrado na Figura II.2.



```
Private Sub Salv_Comp()  
    Dim ChavComp As String 'Chave do comp  
    Dim Contar As Integer 'conta o numero de comp  
    Dim Compon As ListItems  
    Dim AreaChave As String  
  
    AreaChave = Mid(cmbArea.Text, 1, 3) 'define a chave da área  
  
    Set Compon = lstComp.ListItems 'Seta os list items dos comp  
  
    'define a área a ser adicionada  
    If AreaChave = "Inh" Or AreaChave = "ben" Then  
        AreaChave = AreaChave & CStr(cmbSub.ListIndex)  
    End If  
  
    Debug.Print "Area do reg " & AreaChave  
    Debug.Print "Local " & CurDir & ArqINI  
  
    For Contar = 1 To Compon.Count 'muda os componentes  
        'seta o nomechave do comp  
        Set_Comp AreaChave, "NumComp" & CStr(Contar), Compon(Contar).Text, CurDir &  
                                                    ArqINI  
  
        'fornece o habilitar  
        Set_Comp AreaChave, "NEstabelecer" & CStr(Contar), Compon(Contar).SubItems(1),  
                                                    CurDir & ArqINI  
  
        'fonece o estabelecer  
        Set_Comp AreaChave, "Estabelecer" & CStr(Contar), Compon(Contar).SubItems(2),  
                                                    CurDir & ArqINI  
  
    Next  
  
    'finaliza procura  
    Set_Comp AreaChave, "NumComp" & CStr(Contar), "fim", CurDir & ArqINI  
    Debug.Print "Salvando registro"  
End Sub
```

Figura II.2 - Subrotina para salvar o banco de dados do Editor de Componentes no arquivo EditSub.ini



# ANEXO III - BANCO DE DADOS DO MODELO MFM

O banco de dados criado pelo Programa PIRSE, do modelo MFM de uma subestação Barra Simples, está mostrado na Figura III.1.

IDFuncao	Funcao	Posterior	Anterior	TuN	TuE	Condicao	Alcance
1	sol1	trL11					
2	trL11	baL11	sol1				
3	baL11	trDL1trSL1trAL	trL11				
4	trSL1	baL12	baL11	Abrir	Fechar		
5	trDL1	baL12	baL11	Abrir	Fechar	GDL1	
6	trAL1	siAL1	baL11	Abrir	Fechar		
7	siAL1		trAL1				
8	baL12	trL12	trDL1trSL1				
9	trL12	siBE1	baL12				
10	siBE1		trL12				G1
11	sol2	trL21					
12	trL21	baL21	sol2				
13	baL21	trDL2trSL2trAL	trL21				
14	trSL2	baL22	baL21	Abrir	Fechar		
15	trDL2	baL22	baL21	Abrir	Fechar	GDL2	
16	trAL2	siAL2	baL21	Abrir	Fechar		
17	siAL2		trAL2				
18	baL22	trL22	trDL2trSL2				
19	trL22	siBE2	baL22				
20	siBE2		trL22				G1
21	sol3	trL31					
22	trL31	baL31	sol3				
23	baL31	trDL3trSL3trAL	trL31				
24	trSL3	baL32	baL31	Abrir	Fechar		
25	trDL3	baL32	baL31	Abrir	Fechar	GDL3	
26	trAL3	siAL3	baL31	Abrir	Fechar		
27	siAL3		trAL3				
28	baL32	trL32	trDL3trSL3				
29	trL32	siBE3	baL32				
30	siBE3		trL32				G1
31	soBE1	trBET		Desenergizar	Energizar	G1	
32	trSBE	siABE	baBET	Abrir	Fechar		
33	siABE		trSBE				
34	trBET	baBET	soBE1				
35	tSTH1	siPT1	baBET	Abrir	Fechar		
36	siPT1		tSTH1	Desenergizar	Energizar o		G31
37	tSTH2	siPT2	baBET	Abrir	Fechar		



38	siPT2		tSTH2	Desenergizar	Energizar o		G32
39	baBET	tSTH1tSTH2tr	trBET	Desenergizar	Energizar o		
40	soBC1	trSC1					
41	trSC1	baT12	soBC1	Abrir	Fechar		
42	soBC2	trSC2					
43	trSC2	baT12	soBC2	Abrir	Fechar		
44	soBC3	trSC3					
45	trSC3	baT12	soBC3	Abrir	Fechar		
46	soBC4	trSC4					
47	trSC4	baT12	soBC4	Abrir	Fechar		
48	soST1	tLT11					G31
49	tLT11	baT11	soST1				
50	baT11	trDT1trST1	tLT11				
51	trDT1	baT12	baT11	Abrir	Fechar		GDT1
52	trST1	baT12	baT11	Abrir	Fechar		
53	baT12	tLT12	trDT1trST1trS				
54	tLT12	siBP1	baT12				
55	siBP1		tLT12				G4
56	soST2	tLT21					G32
57	tLT21	baT21	soST2				
58	baT21	trDT2trST2	tLT21				
59	trDT2	baT22	baT21	Abrir	Fechar		GDT2
60	trST2	baT22	baT21	Abrir	Fechar		
61	baT22	tLT22	trDT2trST2				
62	tLT22	siBP2	baT22				
63	siBP2		tLT22				G4
64	soBP	trSC		Desenergizar	Energizar		G4
65	trSC	siBT	soBP	Abrir	Fechar		
66	siBT		trSC	Desenergizar	Energizar		G8
67	soBT1	trSX1					G8
68	trSX1	baNL1	soBT1	Abrir	Fechar		
69	soBP1	trDX1					G4
70	trDX1	baNL1	soBP1	Abrir	Fechar		GDX1
71	baNL1	trLL1	trDX1trSX1				
72	trLL1	siL1	baNL1				
73	siL1		trLL1				
74	soBT2	trSX2					G8
75	trSX2	baNL2	soBT2	Abrir	Fechar		
76	soBP2	trDX2					G4
77	trDX2	baNL2	soBP2	Abrir	Fechar		GDX2
78	baNL2	trLL2	trDX2trSX2				
79	trLL2	siL2	baNL2				
80	siL2		trLL2				
81	soBT3	trSX3					G8
82	trSX3	baNL3	soBT3	Abrir	Fechar		
83	soBP3	trDX3					G4
84	trDX3	baNL3	soBP3	Abrir	Fechar		GDX3
85	baNL3	trLL3	trDX3trSX3				
86	trLL3	siL3	baNL3				
87	siL3		trLL3				
88	soBT4	trSX4					G8
89	trSX4	baNL4	soBT4	Abrir	Fechar		



90	soBP4	trDX4				G4
91	trDX4	baNL4	soBP4	Abrir	Fechar	GDX4
92	baNL4	trLL4	trDX4trSX4			
93	trLL4	siL4	baNL4			
94	siL4		trLL4			

Figura III.1 - Banco de dados - arquivo EditSub.ini

O código das subrotinas para criar o banco de dados da Figura III.1 está mostrado na Figura III.2.

```

Private Sub Cria_ModeloBS()

    Dim SQLChave As String
    Dim dbsNormal As Database
    Dim dbsModeloMFM As Database
    Dim rstElemento As Recordset
    Dim rstFuncoes As Recordset
    Dim Contar As Integer
    Dim Indice As Long
    Dim AuxTuE As String
    Dim AuxTuN As String
    Dim AuxTuN1 As String
    Dim AuxTuN2 As String
    Dim AuxPost As String
    Dim AuxAnt As String
    Dim AuxCap As String

    Indice = 0 'reseta indice

    Cria_Modelado ModeloMFM 'Cria banco de dados em disco

    'Abre o banco de dados normal
    Set dbsNormal = OpenDatabase(Temporario)
    'Abre banco de dados modelado recém criado
    Set dbsModeloMFM = OpenDatabase(ModeloMFM)

    'abre a tabela funcoes ###
    Set rstFuncoes = dbsModeloMFM.OpenRecordset("Funcoes", dbOpenDynaset)

    #####LINHAS DE TRANSMISSÃO####
    'procura individual de linha
    For Contar = 1 To Linha
        With rstFuncoes
            'Colocando os dados da sub no registro
            Indice = Indice + 1
            .AddNew
                !IdFuncao = Indice
                !Funcao = "soL" & CStr(Contar) & ""
                !Posterior = "trL" & CStr(Contar) & "1"
            .Update
            .Bookmark = .LastModified

            Indice = Indice + 1
            .AddNew
                !IdFuncao = Indice
        
```



```

!Funcao = "trL" & CStr(Contar) & "1"
!Posterior = "baL" & CStr(Contar) & "1"
!Anterior = "soL" & CStr(Contar) & ""
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "baL" & CStr(Contar) & "1"
!Posterior = "trSL" & CStr(Contar) & _
    "trDL" & CStr(Contar) & "trAL" & CStr(Contar)
!Anterior = "trL" & CStr(Contar) & "1"
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'inh" & CStr(Contar) & "sec3' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trSL" & CStr(Contar)
!Posterior = "baL" & CStr(Contar) & "2"
!Anterior = "baL" & CStr(Contar) & "1"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'inh" & CStr(Contar) & "sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN1 = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'inh" & CStr(Contar) & "sec2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & "" & rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN2 = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'inh" & CStr(Contar) & "dij1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & "" & rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome & "" & _
    AuxTuN2 & "" & AuxTuN1
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trDL" & CStr(Contar)
!Posterior = "baL" & CStr(Contar) & "2"
!Anterior = "baL" & CStr(Contar) & "1"
!TuN = AuxTuN
!TuE = AuxTuE
!Condicao = "GDL" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _

```



```

"Chave LIKE 'Inh" & CStr(Contar) & "sec4' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome
Indice = Indice + 1
.AddNew
    !IdFuncao = Indice
    !Funcao = "trAL" & CStr(Contar)
    !Posterior = "siAL" & CStr(Contar)
    !Anterior = "baL" & CStr(Contar) & "1"
    !TuN = AuxTuN
    !TuE = AuxTuE
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
    !IdFuncao = Indice
    !Funcao = "siAL" & CStr(Contar)
    !Anterior = "trAL" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
    !IdFuncao = Indice
    !Funcao = "baL" & CStr(Contar) & "2"
    !Anterior = "trSL" & CStr(Contar) & _
        "trDL" & CStr(Contar)
    !Posterior = "trL" & CStr(Contar) & "2"
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
    !IdFuncao = Indice
    !Funcao = "trL" & CStr(Contar) & "2"
    !Posterior = "siBE" & CStr(Contar)
    !Anterior = "baL" & CStr(Contar) & "2"
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
    !IdFuncao = Indice
    !Funcao = "siBE" & CStr(Contar)
    !Anterior = "trL" & CStr(Contar) & "2"
    !Alcance = "G1"
.Update
.Bookmark = .LastModified
End With
Next

#####BARRAMENTO DE ENTRADA####
With rstFuncoes
'Colocando os dados da sub no registro
SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'ben1bar1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew

```



```

!IdFuncao = Indice
!Funcao = "soBE1"
!Posterior = "trBET"
!Condicao = "G1"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'ben1sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trSBE"
!Posterior = "siABE"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "siABE"
!Anterior = "trSBE"
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trBET"
!Posterior = "baBET"
!Anterior = "soBE1"
.Update
.Bookmark = .LastModified

AuxPost = ""
For Contar = 1 To Trafo

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & 'sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trST" & CStr(Contar)
!Posterior = "siPT" & CStr(Contar)
!Anterior = "baBET"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & "" & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & 'trf1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew

```



```

!IdFuncao = Indice
!Funcao = "siPT" & CStr(Contar)
!Anterior = "trST" & CStr(Contar)
!Alcance = "G3" & CStr(Contar)
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

AuxPost = AuxPost & "trST" & CStr(Contar)
Next

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'ben1bar2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "baBET"
!Posterior = AuxPost & "trSBE"
!Anterior = "trBET"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified
End With

#####BANCO DE CAPACITORES#####
AuxCap = ""
For Contar = 1 To Capacitor
With rstFuncoes
'Colocando os dados da sub no registro
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "soBC" & CStr(Contar)
!Posterior = "trSC" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'cap" & CStr(Contar) & "sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN1 = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'cap" & CStr(Contar) & "dij1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & " " & rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome & " " & AuxTuN1

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trSC" & CStr(Contar)
!Posterior = "baT12"
!Anterior = "soBC" & CStr(Contar)
!TuN = AuxTuN
!TuE = AuxTuE
.Update

```



```

.Bookmark = .LastModified

AuxCap = AuxCap & "trSC" & CStr(Contar)
End With
Next

#####TRANSFORMADORES####
With rstFuncoes
'Colocando os dados da sub no registro
For Contar = 1 To Trafo
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "soST" & CStr(Contar)
!Posterior = "tLT" & CStr(Contar) & "1"
!Condicao = "G3" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "tLT" & CStr(Contar) & "1"
!Posterior = "baT" & CStr(Contar) & "1"
!Anterior = "soST" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "baT" & CStr(Contar) & "1"
!Posterior = "trDT" & CStr(Contar) & "trST" & CStr(Contar)
!Anterior = "tLT" & CStr(Contar) & "1"
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & "sec2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN1 = rstElemento!TUNEstabelecer & "" & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & "sec3' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & "" & rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN2 = rstElemento!TUNEstabelecer & "" & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & "dij1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & "" & rstElemento!TUEstabelecer & "" & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNEstabelecer & "" & rstElemento!Nome & "" & _
AuxTuN2 & "" & AuxTuN1
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trDT" & CStr(Contar)
!Posterior = "baT" & CStr(Contar) & "2"
!Anterior = "baT" & CStr(Contar) & "1"

```



```

!Condicao = "GDT" & CStr(Contar)
!TuN = AuxTuN
!TuE = AuxTuE
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'trf' & CStr(Contar) & "sec4' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trST" & CStr(Contar)
!Posterior = "baT" & CStr(Contar) & "2"
!Anterior = "baT" & CStr(Contar) & "1"
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

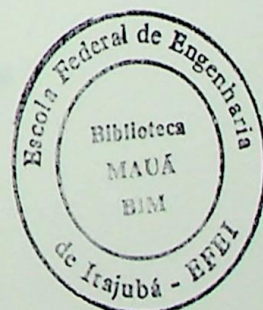
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "baT" & CStr(Contar) & "2"
!Posterior = "tLT" & CStr(Contar) & "2"
If Contar = 1 Then
!Anterior = "trST" & CStr(Contar) & "trDT" & CStr(Contar) & _
AuxCap
Else
!Anterior = "trST" & CStr(Contar) & "trDT" & CStr(Contar)
End If
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "tLT" & CStr(Contar) & "2"
!Posterior = "siBP" & CStr(Contar)
!Anterior = "baT" & CStr(Contar) & "2"
.Update
.Bookmark = .LastModified

'Tarefa de usuário foi para a funcao soBP
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "siBP" & CStr(Contar)
!Anterior = "tLT" & CStr(Contar) & "2"
!Alcance = "G4"
.Update
.Bookmark = .LastModified
Next
End With

#####BARRA DE SAÍDA####
With rstFuncoes
'Colocando os dados da sub no registro
SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'bsa1bar1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)

```





```

Indice = Indice + 1
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "soBP"
  !Posterior = "trSC"
  !Condicao = "G4"
  !TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
  !TuE = rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'bsa1sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN1 = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'bsa1sec2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & " " & rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN2 = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'bsa1dij1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & " " & rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome & " " & _
AuxTuN2 & " " & AuxTuN1
Indice = Indice + 1
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "trSC"
  !Anterior = "soBP"
  !Posterior = "siBT"
  !TuN = AuxTuN
  !TuE = AuxTuE
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'bsa1bar2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "siBT"
  !Anterior = "trSC"
  !Alcance = "G8"
  !TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
  !TuE = rstElemento!TUEestabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified
End With

#####CARGAS####
With rstFuncoes
'Colocando os dados da sub no registro
For Contar = 1 To Carga
  Indice = Indice + 1
  .AddNew

```



```

!IdFuncao = Indice
!Funcao = "soBT" & CStr(Contar)
!Posterior = "trSL" & CStr(Contar)
!Condicao = "G8"
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'crg" & CStr(Contar) & "sec3' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trSL" & CStr(Contar)
!Posterior = "baNL" & CStr(Contar)
!Anterior = "soBT" & CStr(Contar)
!TuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome
!TuE = rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "soBP" & CStr(Contar)
!Posterior = "trDL" & CStr(Contar)
!Condicao = "G4"
.Update
.Bookmark = .LastModified

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'crg" & CStr(Contar) & "sec1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN1 = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'crg" & CStr(Contar) & "sec2' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & " " & rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN2 = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome

SQLChave = "SELECT * FROM Componentes WHERE " & _
"Chave LIKE 'crg" & CStr(Contar) & "dij1' ORDER BY Chave"
Set rstElemento = dbsNormal.OpenRecordset(SQLChave, dbOpenDynaset)
AuxTuE = AuxTuE & " " & rstElemento!TUEstabelecer & " " & rstElemento!Nome
AuxTuN = rstElemento!TUNestabelecer & " " & rstElemento!Nome & " " & _
AuxTuN2 & " " & AuxTuN1
Indice = Indice + 1
.AddNew
!IdFuncao = Indice
!Funcao = "trDL" & CStr(Contar)
!Posterior = "baNL" & CStr(Contar)
!Anterior = "soBP" & CStr(Contar)
!Condicao = "GDL" & CStr(Contar)
!TuN = AuxTuN
!TuE = AuxTuE
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1

```



```
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "baNL" & CStr(Contar)
  !Posterior = "trLL" & CStr(Contar)
  !Anterior = "trSL" & CStr(Contar) & "trDL" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "trLL" & CStr(Contar)
  !Posterior = "siL" & CStr(Contar)
  !Anterior = "baNL" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified

Indice = Indice + 1
.AddNew
  !IdFuncao = Indice
  !Funcao = "siL" & CStr(Contar)
  !Anterior = "trLL" & CStr(Contar)
.Update
.Bookmark = .LastModified
Next
End With

rstElemento.Close
rstFuncoes.Close
dbsNormal.Close
dbsModeloMFM.Close

End Sub
```

Figura III.2 - Subrotina para criar o banco de dados do Modelo MFM de uma subestação Barra Simples



# ANEXO IV - SUBROTINAS DO PLANEJADOR INTELIGENTE

A subrotina planejador inteligente do Programa PIRSE está mostrado na Figura IV.1.

```
Public Sub Planejador_Principal(NomeDoArquivoDeFalta As String)
  Dim clIModelado As New Collection
  Dim clIFalhas As New Collection
  Dim Funcao As New clsModelado
  Dim ContarArea As Integer
  Dim UltimaFuncao As New clsModelado
  Dim Goal(1 To 10) As Boolean

  'Armazena modeloMFM na memoria e cria cenario prefalta
  If Cenario_PreFalta(clIModelado) = False Then Exit Sub

  'Cria cenario pos falta
  Cenario_Falta NomeDoArquivoDeFalta, clIModelado, clIFalhas

  'HABILITANDO COMPONENTES
  '###Cargas###
  For ContarArea = 1 To Carga
    Habilitacao clIModelado, "siL" & CStr(ContarArea), "crg" & CStr(ContarArea), clIFalhas
  Next
  ' testa qual é a entrada da carga
  For ContarArea = 1 To Carga
    Set UltimaFuncao = clIModelado("soBT" & CStr(ContarArea))
    If UltimaFuncao.Habilitar Then
      Debug.Print "Necessita habilitar barra de saida"
      Exit For
    End If
  Next

  '###Barra de saida###
  If UltimaFuncao.Habilitar Then
    Habilitacao clIModelado, "siBT", "bsa1", clIFalhas
  End If

  '###Transformadores###
  For ContarArea = 1 To Trafo
    Habilitacao clIModelado, "siBP" & CStr(ContarArea), "trf" & CStr(ContarArea), clIFalhas

    Set Funcao = clIModelado("trDT" & CStr(ContarArea))

  '###Barra de Entrada###

  If Funcao.Habilitar Then
    Habilitacao clIModelado, "siPT" & CStr(ContarArea), "ben1", clIFalhas
  End If
  Next

  '###Linhas###
```



```
For ContarArea = 1 To Linha
  Habilidade cllModelado, "siBE" & CStr(ContarArea), "Inh" & CStr(ContarArea), cllFalhas
Next
```

```
'ESTABELECENDO ESTRUTURAS
```

```
###LINHAS###
```

```
Goal(1) = False
```

```
For ContarArea = 1 To Linha
```

```
  Estabelecer cllModelado, "soL" & CStr(ContarArea)
```

```
  Set Funcao = cllModelado("trDL" & CStr(ContarArea))
```

```
  If Funcao.Estabelecer Then
```

```
    Goal(1) = True
```

```
  End If
```

```
Next
```

```
###Barra de Entrada###
```

```
If Goal(1) Then
```

```
  For ContarArea = 1 To Trafo
```

```
    Goal(ContarArea) = False
```

```
  Next
```

```
  Estabelecer cllModelado, "soBE1"
```

```
  For ContarArea = 1 To Trafo
```

```
    Set Funcao = cllModelado("tSTH" & ContarArea)
```

```
    If Funcao.Estabelecer Then
```

```
      Goal(ContarArea) = True
```

```
    End If
```

```
  Next
```

```
End If
```

```
###Transformadores###
```

```
Goal(Trafo + 1) = False
```

```
For ContarArea = 1 To Trafo
```

```
  If Goal(ContarArea) Then
```

```
    Estabelecer cllModelado, "soST" & CStr(ContarArea)
```

```
  End If
```

```
  Set Funcao = cllModelado("trDT" & CStr(ContarArea))
```

```
  If Funcao.Estabelecer Then
```

```
    Goal(Trafo + 1) = True
```

```
  End If
```

```
Next
```

```
###Barra de Saida###
```

```
If Goal(Trafo + 1) Then
```

```
  Estabelecer cllModelado, "soBP"
```

```
  Set Funcao = cllModelado("trSC")
```

```
  If Funcao.Estabelecer Then
```

```
    Goal(1) = True
```

```
  Else
```

```
    Goal(1) = False
```

```
  End If
```

```
End If
```

```
###Cargas###
```

```
For ContarArea = 1 To Carga
```

```
  If Goal(1) Then
```

```
    Estabelecer cllModelado, "soBT" & CStr(ContarArea)
```



```
End If

If Goal(Trafo + 1) Then
    Estabelecer cllModelado, "soBP" & CStr(ContarArea)
End If

Next
'abre form de Saida de informacoes
frmPlano.Show vbModal

End Sub
```

Figura IV.1 - Subrotina do planejador inteligente

```
Private Sub Habilitacao(cllModelado As Collection, UltimaFuncao As String, Estrutura As
String, cllFalhas As Collection)

Dim Funcao As New clsModelado
Dim ConjAnterior As String
Dim Anterior(1 To 30) As String
Dim NumAnter As Integer
Dim NumArea As Integer
Dim Numcomp As Integer
Dim ContarAnter As Integer
Dim PrecisaHabilitar As Boolean

NumAnter = 1
Anterior(NumAnter) = UltimaFuncao

Do

'lista o(s) componente(s) anteriore(s) habilitado(s)
PrecisaHabilitar = True 'inicializacao
ConjAnterior = "" 'inicializacao
For ContarAnter = 1 To NumAnter

    Set Funcao = cllModelado(Anterior(ContarAnter))
    Debug.Print "Listando funcao=" & Funcao.Funcao

    If Funcao.Habilitar = True Then
        PrecisaHabilitar = False
        ConjAnterior = ConjAnterior & Funcao.Anterior
        Debug.Print "OK Habilitado"
    Else
        Debug.Print "Precisa Habilitar"
    End If

'esvazia funcao
    Set Funcao = Nothing
Next

'verifica se necessita habilitar
If PrecisaHabilitar Then

'Tenta habilitar funcao com posteriores

For ContarAnter = 1 To NumAnter
    PrecisaHabilitar = True 'inicializacao
'reseta teste
    Set Funcao = cllModelado(Anterior(ContarAnter))
    Debug.Print "Tentando Hab funcao=" & Funcao.Funcao
```



```

Tenta_Habilitar cllModelado, Funcao, Estrutura, cllFalhas

'testa se conseguiu
If Funcao.Habilitar Then
    PrecisaHabilitar = False
    Debug.Print "Conseguiu Habilitar=" & Funcao.Funcao
    ConjAnterior = Funcao.Anterior
    Exit For
Elseif Mid(Funcao.Funcao, 1, 4) = "trDL" Or Mid(Funcao.Funcao, 1, 4) = "trDT" Then
    Exit Sub
End If
Next

'Verifica se conseguiu habilitar pelo menos uma funcao
If PrecisaHabilitar Then
    Debug.Print "Não conseguiu habilitar nenhuma das funcoes"
End If
End If

'pega conjunto de anteriores
NumAnter = 1 'inicializacao
For ContarAnter = 1 To Len(ConjAnterior) Step 5
    Anterior(NumAnter) = Mid(ConjAnterior, ContarAnter, 5)
    Debug.Print "Funcao Anterior=" & Anterior(NumAnter)
    NumAnter = NumAnter + 1
Next
NumAnter = NumAnter - 1
Loop Until ConjAnterior = ""
End Sub

```

Figura IV.2 - Subrotina para habilitação

```

Private Sub Estabelecer(cllModelado As Collection, PrimeiraFuncao As String)
    Dim Funcoes As New clsModelado
    Dim ConjPoster As String
    Dim Posteriores(1 To 30) As String
    Dim NumPoster As Integer
    Dim ContarPoster As Integer
    Dim PrecisaEstabelecer As Boolean

    NumPoster = 1
    Posteriores(NumPoster) = PrimeiraFuncao

    Do
        'lista o(s) componente(s) Posteriores(es) habilitado(s)
        PrecisaEstabelecer = True 'inicializacao
        ConjPoster = "" 'inicializacao

        For ContarPoster = 1 To NumPoster

            Set Funcoes = cllModelado(Posteriores(ContarPoster))

            Debug.Print "Listando Funcao=" & Funcoes.Funcao

            If Funcoes.Estabelecer Then
                PrecisaEstabelecer = False
                ConjPoster = ConjPoster & Funcoes.Posterior
                Debug.Print "OK Estabelecido"
            Else
                Debug.Print "Precisa Estabelecer"
            End If
        Next
    Loop Until PrecisaEstabelecer = False
End Sub

```



```
'esvazia Funcoes
Set Funcoes = Nothing
Next

'verifica se necessita habilitar
If PrecisaEstabelecer Then

  'Tenta habilitar Funcoes com Posteriores

  For ContarPoster = 1 To NumPoster
    PrecisaEstabelecer = True 'inicializacao
    'reseta teste
    Set Funcoes = cllModelado(Posteriores(ContarPoster))
    Debug.Print "Tentando Est Funcoes=" & Funcoes.Funcao

    If Funcoes.Habilitar Then

      Tenta_Estabelecer cllModelado, Funcoes
    End If

    'testa se conseguiu
    If Funcoes.Estabelecer Then
      PrecisaEstabelecer = False
      Debug.Print "Conseguiu Estabelecer=" & Funcoes.Funcao
      ConjPoster = Funcoes.Posterior
      Exit For
    End If
  Next

  'Verifica se conseguiu habilitar pelo menos uma Funcoes
  If PrecisaEstabelecer Then
    Debug.Print "NÃO conseguiu estabelecer nenhuma das funcoes"
    Exit Sub
  End If
End If

'pega conjunto de anteriores
NumPoster = 1 'inicializacao
For ContarPoster = 1 To Len(ConjPoster) Step 5
  Posteriores(NumPoster) = Mid(ConjPoster, ContarPoster, 5)
  Debug.Print "Funcoes Posteriores=" & Posteriores(NumPoster)
  NumPoster = NumPoster + 1
Next
NumPoster = NumPoster - 1
Loop Until ConjPoster = ""

End Sub
```

Figura IV.3 - Subrotina para estabelecimento