

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA PROPOSTA

5.1 Introdução

Os alarmes que ocorrem em subestações de energia elétrica, conforme já discutido anteriormente, são gerados pela ocorrência de defeitos e manobras nos equipamentos constituintes da subestação. Quando da ocorrência destes defeitos e manobras os equipamentos responsáveis pela aquisição dos dados (Relés Digitais, CLPs e UTRs) enviam os dados relativos a tais ocorrências para o centro de operação, onde os operadores tomarão decisões visando a minimização dos impactos destes defeitos, bem como a manutenção da continuidade do fornecimento de energia elétrica.

Neste trabalho foram investigadas duas estratégias visando a classificação dos alarmes de uma subestação de energia elétrica via redes neurais. A primeira foi a de se construir uma rede neural única, envolvendo os equipamentos típicos de uma subestação, a saber: barramento de alta tensão, transformador, barramento de baixa tensão, banco de capacitores e alimentadores. A segunda estratégia considera uma rede neural específica para classificar a ocorrência de defeitos em cada tipo de equipamento da subestação. Em ambos os casos as redes são projetadas para identificar o tipo de equipamento que apresenta defeito e não diretamente o componente defeituoso. Isto permite a redução da complexidade e da dimensão do problema através da redução do número de variáveis de entrada e saída da rede. Uma vez identificado o tipo de componente que apresenta defeito, a identificação do componente em si pode ser facilmente obtida com base na informação presente no sistema SCADA. A metodologia proposta será apresentada a seguir.

5.2 Definição dos Equipamentos Típicos

Na metodologia proposta são definidas duas estratégias para o processamento dos alarmes. Nas duas estratégias utilizam-se redes neurais para classificar apenas os

equipamentos típicos, ou seja, não foram considerados, por exemplo, todos os alimentadores e sim apenas um alimentador, considerado como típico, o mesmo acontecendo para os outros tipos de equipamentos. O critério para a definição dos equipamentos típicos é bem simples e consiste apenas da escolha de um equipamento de cada tipo. No caso do presente trabalho a escolha foi baseada no arranjo de uma subestação típica, a qual está apresentada no Apêndice A. A Figura 5.1 apresenta os equipamentos típicos.

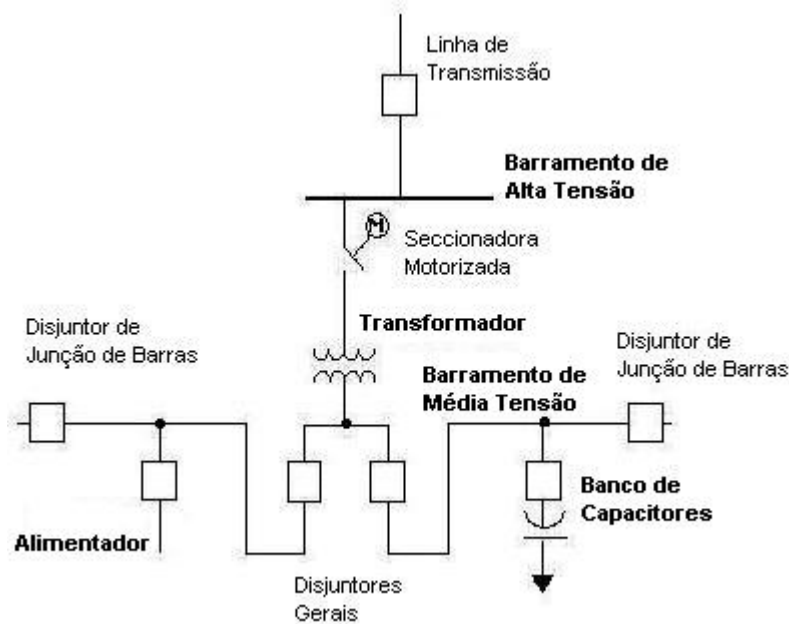


Figura 5.1 – Equipamentos típicos

5.3 Estratégia 1 – Rede Neural Única

A primeira estratégia considera a construção de uma rede neural única englobando todos os equipamentos típicos, conforme ilustrado na Figura 5.2.

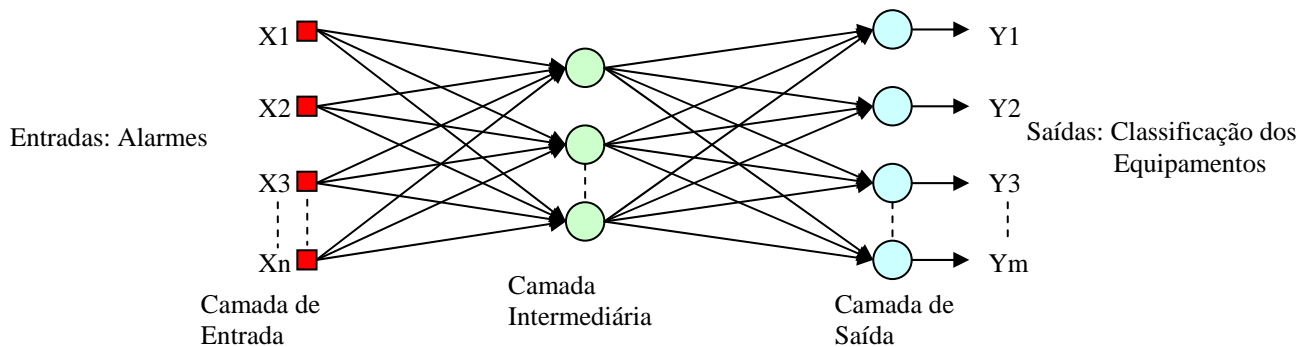


Figura 5.2 – Utilização de uma única RN

As saídas da rede devem apresentar valores binários e são responsáveis por classificar cada equipamento em defeituoso (1) ou não defeituoso (0). O conjunto de variáveis de entrada para a rede da Figura 5.2 será formado pela união de todos os alarmes que podem ser gerados para defeitos envolvendo os equipamentos da subestação representada na Figura 5.1. Estes são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Variáveis de entrada

EQUIPAMENTOS SUPERVISIONADOS	VARIÁVEIS DE ENTRADA
Barramento de 138kV (DJs Entrada)	Proteções: - 50, 50N, 27 e 79 Estados: - Disjuntor
Transformador	Proteções: - 87, 51H, 51G, 63, 63CACC, 2T, 86-1 e 86-2. Estados: - Seccionadora Motorizada; - Disjuntores Gerais (Lado BT do Transformador).
Barramento 13,8kV	Proteções: - 87B, 87BN e 74. Estados: - Disjuntores de Junção de Barras (13.8 kV)
Alimentadores	Proteções: - 50, 50N, 51, 51N, 79, e 62BF. Estados: - Disjuntor
Bancos de Capacitores	Proteções: - 50, 50N, 51, 51N, 59, 61N e 62BF. Estados: - Disjuntor

As variáveis de entrada também assumirão valores binários, sendo iguais a 1 quando o alarme foi recebido do sistema SCADA e 0 em caso contrário. Na Tabela 5.1, cada alarme corresponde a uma variável de entrada. Estas variáveis estão associadas à subestação

típica apresentada na Figura 5.1. Por exemplo, para uma subestação com vários alimentadores, as mesmas entradas serão ativadas sempre que atuar qualquer uma das proteções de alimentador, independente do alimentador sob defeito. O mesmo ocorrerá para outras proteções e para defeitos em outros equipamentos. Logo, deverá haver um filtro para direcionar as informações sobre a atuação da proteção de equipamentos da subestação para os canais de entrada correspondentes da RN. Neste caso, a sinalização de alarmes sobre a atuação de um certo tipo de proteção será sempre encaminhada para o mesmo canal de entrada da rede, independente do equipamento ao qual ela está associada. Por exemplo, a entrada correspondente ao relé 50N (relativa à proteção de alimentadores da Tabela 5.1) será igual a 1 sempre que a proteção instantânea de neutro de um alimentador atuar, independente do alimentador ao qual ela está associada. O encaminhamento destes dados para as entradas correspondentes pode ser realizado através do emprego de lógicas simples sobre a base de dados dinâmica de uma empresa, atualizada pelo sistema SCADA. A construção de tais lógicas não será tratada neste trabalho.

Com a análise da subestação típica, ao invés da subestação completa, a RN irá classificar em sua saída a ocorrência de defeito em um certo tipo de equipamento, ainda não indicando explicitamente qual foi o equipamento na subestação (por exemplo, ocorrência de defeito em um alimentador, mas sem explicitar, a princípio, em qual alimentador). Uma vez identificado o tipo de equipamento, o equipamento com defeito pode ser também identificado através de lógicas simples que podem ser construídas para testar a informação coletada pelo sistema SCADA e disponível na base de dados de uma empresa. A construção de tais lógicas não é alvo deste trabalho. O Apêndice C apresenta uma breve descrição sobre o sistema de aquisição e armazenamento de dados em uma empresa.

O conjunto de treinamento da RN deve conter padrões de alarme correspondentes a diversas situações de defeito nos equipamentos da subestação, incluindo também aquelas nas quais ocorrem falhas no sistema de proteção. O vetor de saídas desejadas associado a cada padrão de alarme deve ser tal que a saída correspondente ao equipamento defeituoso assume o valor 1 enquanto as demais são iguais a 0. Em certas situações, para a ocorrência de defeitos simultâneos correlacionados pode-se ter mais de uma variável de saída com valor igual a 1.

Os defeitos simultâneos são aqueles nos quais a ocorrência de um determinado defeito em um equipamento provoca um defeito em outro equipamento. No presente trabalho, considera-se a existência de defeitos simultâneos envolvendo alimentadores e transformadores e bancos de capacitores e transformadores. Por exemplo, uma falta violenta em um alimentador pode balançar o óleo de um transformador e provocar a operação do relé buchholz (função ANSI 63).

A Tabela 5.2 apresenta a descrição das variáveis de saída para uma rede neural (denominada C1) que classifica os equipamentos como defeituosos (saída desejada igual a 1) ou não defeituosos (saída desejada igual a 0), admitindo ainda que mais de uma saída desejada seja igual a 1 para o mesmo padrão de alarme (caso de defeitos simultâneos).

Tabela 5.2 – Variáveis de saída para a RN C1

EVENTO	SAÍDAS OBTIDAS				
	Transformador	Banco de Capacitores	Barra 138kV	Barra 13.8kV	Alimentador
Defeito Barra 138kV	0	0	1	0	0
Defeito Transformador	1	0	0	0	0
Defeito Barra 13.8kV	0	0	0	1	0
Defeito no Alimentador	0	0	0	0	1
Defeito no Banco de Capacitores	0	1	0	0	0
Defeitos Simultâneos (Alimentador + Transformador)	1	0	0	0	1
Defeitos Simultâneos (Banco de Capacitores + Transformadores)	1	1	0	0	0

Neste trabalho é proposta ainda a investigação de uma RN (denominada de C2) na qual se admite que, para cada padrão de alarme, o evento ocorrido é classificado por apenas uma variável de saída, a qual possui saída desejada igual a 1, enquanto as demais apresentam saídas desejadas iguais a 0. A RN C2 possui dois neurônios de saída

adicionais (em relação a RN C1), visando a identificação dos defeitos simultâneos (alimentador + transformador e banco de capacitores + transformador). Nesta rede, as saídas referentes aos defeitos em alimentadores, bancos de capacitores e transformadores deverão assumir valores iguais a 1 apenas para defeitos não-simultâneos. A Tabela 5.3 apresenta as variáveis de saída para a rede C2.

Tabela 5.3 – Variáveis de saída para a RN C2

EVENTO	SAÍDAS OBTIDAS						
	Transformador	Banco de Capacitores	Barra 138kV	Barra 13.8kV	Alimentador	Defeito Simult. Alim. + Trafo	Defeito Simult. BCap. + Trafo
Defeito Barra 138kV	0	0	1	0	0	0	0
Defeito Transformador	1	0	0	0	0	0	0
Defeito Barra 13.8kV	0	0	0	1	0	0	0
Defeito no Alimentador	0	0	0	0	1	0	0
Defeito no Banco de Capacitores	0	1	0	0	0	0	0
Defeitos Simultâneos (Alimentador + Transformador)	0	0	0	0	0	1	0
Defeitos Simultâneos (Banco de Capacitores + Transformador)	0	0	0	0	0	0	1

5.3 Estratégia 2 – Redes Neurais Individuais

A principal diferença entre esta estratégia e a anterior é que neste caso a cada equipamento está associada uma RN específica, conforme ilustrada na Figura 5.3, a qual irá classificá-lo como defeituoso (saída igual a 1) ou não defeituoso (saída igual a 0).

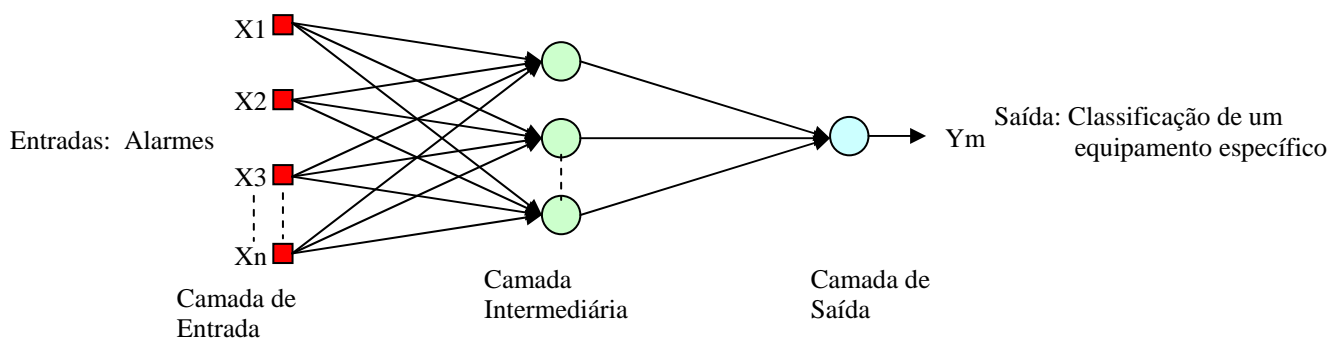


Figura 5.3 – RN individual

As variáveis de entrada, bem como o conjunto de treinamento a ser apresentado a cada RN, são os mesmos descritos na Seção 5.2.

Assim como para as redes completas da Seção 5.2, foram consideradas também duas possibilidades de obtenção de classificações através das redes independentes. No primeiro caso considera-se que, para um dado padrão de alarme, apenas uma RN deverá apresentar saída desejada igual a 1 (aquela responsável por classificar o equipamento que está sob defeito), enquanto os valores de saída das demais redes serão iguais a 0. A exceção se dará para a ocorrência dos defeitos simultâneos citados na Seção 5.2, onde duas RNs podem apresentar saída igual a 1.

No segundo caso considera-se que cada RN somente apresentará saída igual a 1 quando o defeito envolver apenas o equipamento por ela monitorado. Neste caso é criada uma RN adicional (denominada DS), a qual possui duas saídas, para a classificação dos defeitos simultâneos (alimentador + transformador e banco de capacitores + transformador). Os dois casos serão testados neste trabalho.

A Tabela 5.4 descreve as RNs individuais utilizadas.

Tabela 5.4 – RNs individuais

REDE	EQUIPAMENTOS SUPERVISIONADOS
B138	Barramento de 138kV
TR	Transformador
B13	Barramento 13,8kV
ALIM	Alimentadores
BCAP	Bancos de Capacitores
DS	Defeitos Simultâneos (alimentador + transformador e banco de capacitores + transformador)

5.4 Treinamento

As variáveis de entrada descritas na tabela 5.1 são os alarmes decorrentes da operação das proteções e dos disjuntores. É através destas informações que se buscará identificar o equipamento defeituoso. Logo, os padrões a serem utilizados no processo de treinamento das RNs são compostos pelas informações sobre alarmes de proteção e estados de disjuntores para diferentes defeitos, envolvendo cada tipo de equipamento. O número de neurônios na camada de saída de cada rede neural corresponde ao número de equipamentos sendo supervisionados. A saída y_k de cada neurônio da última camada da rede detecta ou rejeita a ocorrência de um defeito em um equipamento específico. Logo, durante a fase de treinamento as seguintes saídas desejadas (y_d) são utilizadas:

- $yd_k = 0,1$, se o defeito não envolveu o equipamento k ; ou
- $yd_k = 0,9$, se o defeito envolveu o equipamento k .

Os valores 0,1 e 0,9 foram utilizados para representar as saídas binárias no lugar de 0,0 e 1,0 para evitar as regiões de saturação da função de ativação sigmóide utilizada neste trabalho.

Cada RN é treinada *offline* uma única vez, considerando no conjunto de treinamento vários padrões associados às ocorrências de defeitos envolvendo os equipamentos supervisionados.

5.5 Classificação em Tempo-Real

Após o treinamento as RNs podem realizar diagnósticos em tempo-real de defeitos ocorridos na subestação. As ações a serem tomadas, quando um conjunto de alarmes é recebido no Centro de Operação, podem ser resumidas como se segue:

- (i) Com base nos alarmes recebidos, ativar as correspondentes entradas da RN (ou RNs, no caso das RNs individuais), as quais assumem valores iguais a 1;
- (ii) Executar a RN (ou RNs, no caso das RNs individuais) e obter as classificações para cada equipamento;
- (iii) Produzir um diagnóstico final baseado na análise das classificações obtidas para cada tipo de equipamento;
- (iv) Uma vez conhecido o tipo de componente que apresenta defeito, identificá-lo a partir da análise das informações recebidas do SCADA.

Os diagramas das Figuras 5.4 e 5.5 ilustram a seqüência descrita acima quando se considera a utilização de uma rede completa ou de redes individuais.

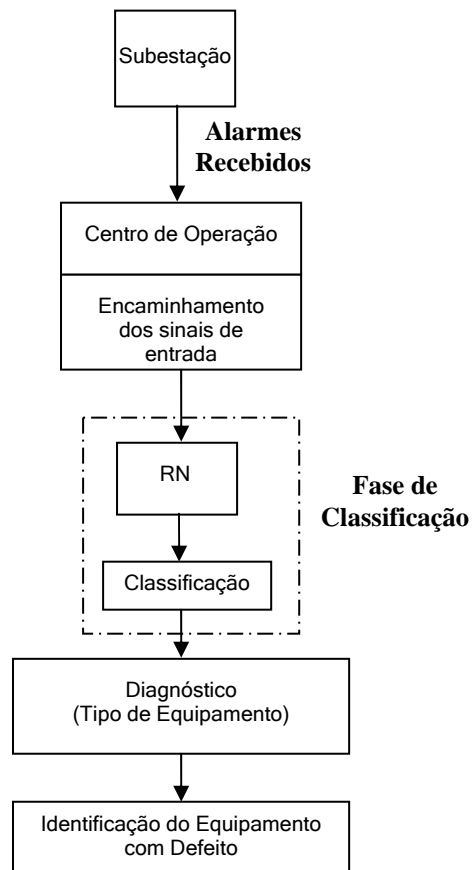


Figura 5.4 – Utilização de uma única RN

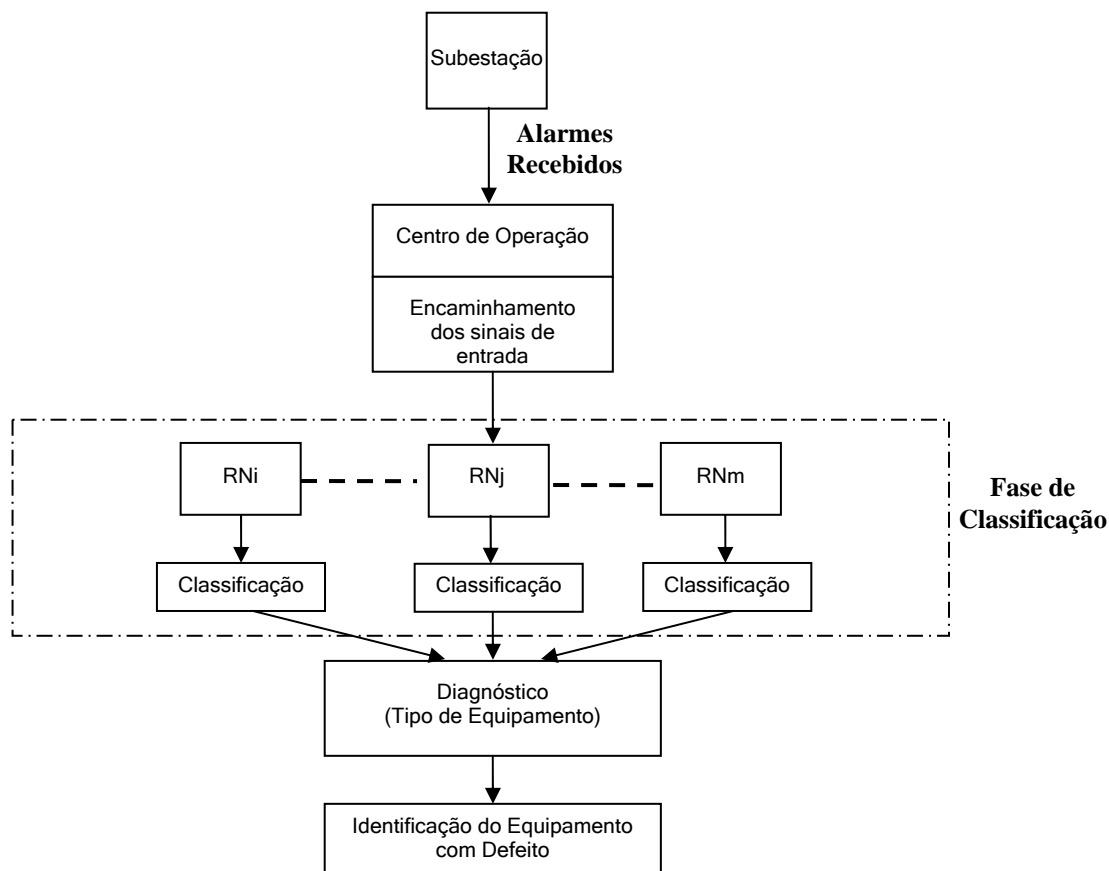


Figura 5.5 – Utilização de RNs individuais

Durante o processo de diagnóstico, a seguinte classificação é assumida para cada equipamento, após a análise da saída produzida pelo neurônio correspondente:

- $a_1 \leq y_k \leq a_2 \rightarrow$ o componente k não está defeituoso
- $b_1 \leq y_k \leq b_2 \rightarrow$ o componente k está defeituoso
- $a_2 < y_k < b_1 \rightarrow$ classificação indeterminada

As faixas acima são utilizadas porque as saídas obtidas não serão exatamente as saídas desejadas utilizadas durante a fase de treinamento. Os valores adequados para a_1 , a_2 , b_1 e b_2 devem ser obtidos por teste e observação durante as simulações com as redes treinadas, sendo que:

- $a_1 \leq 0,1 \leq a_2$
- $b_1 \leq 0,9 \leq b_2$

5.6 Obtenção do Diagnóstico Final

O diagnóstico final será obtido através da análise das classificações obtidas pelas RNs. Neste trabalho, os seguintes critérios foram definidos para a obtenção do diagnóstico final:

- (i) Se *apenas um equipamento* for classificado como *defeituoso*, assume-se que este é, de fato, aquele que apresenta defeito.
- (ii) Se *apenas um equipamento* for classificado como *defeituoso*, porém *um ou mais equipamentos* apresentam *classificação indeterminada*, assume-se que o equipamento defeituoso é aquele que foi classificado como tal.
- (iii) Se *mais de um equipamento* for classificado como *defeituoso* (existindo ou não outros com classificação indeterminada), o diagnóstico final será indeterminado, porém com a ressalva de que o equipamento defeituoso provavelmente estará entre aqueles apontados como defeituosos.

(iv) Se *um ou mais equipamentos* apresentarem *classificação indeterminada* (sem que nenhum outro tenha sido classificado como defeituoso), o diagnóstico final será indeterminado, porém com a ressalva de que provavelmente o equipamento defeituoso estará entre aqueles com classificação indeterminada.

Esses critérios foram adotados visando minimizar o risco de diagnósticos incorretos. O critério (iii) está, na maioria dos casos, associado a eventos para os quais ocorrem falhas no sistema de proteção, o que acarreta em geral a seleção de mais de uma RN. O critério (iv) está associado a eventos onde ocorrem falhas no sistema de proteção que levam a padrões de alarme difíceis de serem classificados pelas RNs. Em alguns destes casos, principalmente quando algumas informações estão indisponíveis, os padrões de alarme gerados não possibilitam um diagnóstico nem através da análise dos especialistas mais experientes. Nestas situações é necessária uma análise mais detalhada do problema e o diagnóstico indeterminado fornecido pelos classificadores é o melhor resultado que pode ser obtido. Isto é particularmente interessante porque o diagnóstico produz como subproduto uma lista de equipamentos suspeitos (com classificação indeterminada).

Os critérios (i) e (ii) são óbvios, já que houve um equipamento identificado como defeituoso, independente do fato de existirem outros componentes com classificação indeterminada. Neste caso prevalece a classificação do componente defeituoso, já que é considerado que tal classe está associada a um padrão de alarme bem definido, enquanto a classificação indeterminada está em geral associada a uma situação na qual os padrões não possuem uma característica bem definida a ponto de indicar uma das duas classes (defeituoso ou não defeituoso).

5.7 Índices de Desempenho

O método proposto pode ser avaliado através dos índices de desempenho apresentados a seguir:

- *Diagnóstico correto (%)* – casos nos quais o equipamento defeituoso foi identificado corretamente.

$$DC (\%) = \frac{NDC}{NC} \times 100 \quad (5.1)$$

onde:

DC(%) – percentual de diagnósticos corretos

NDC – número total de diagnósticos corretos

NC – número total de casos testados

- *Diagnóstico incorreto (%)* - casos nos quais a identificação do equipamento defeituoso não foi correta.

$$DI (\%) = \frac{NDI}{NC} \times 100 \quad (5.2)$$

onde:

DI(%) – percentual de diagnósticos incorretos

NCI – número total diagnósticos incorretos

- *Diagnóstico indeterminado (%)* - casos nos quais houve dúvida quanto à identificação do equipamento defeituoso.

$$DIND (\%) = \frac{NDIND}{NC} \times 100 \quad (5.3)$$

onde:

DIND(%) – percentual de diagnósticos indeterminados

NDIND – número total de diagnósticos indeterminados observados

5.8 Conclusões

Foi apresentada neste capítulo uma metodologia para o processamento de alarmes em subestações de energia elétrica através da utilização de redes neurais, segundo duas estratégias: o emprego de uma única rede neural para monitorar a ocorrência de defeitos em equipamentos de uma subestação e também o emprego de RNs individuais, específicas para cada equipamento. O conceito de representação de uma subestação através de seus componentes típicos e utilização das RNs para realizar classificações para a ocorrência de defeitos em tipos de equipamentos também foi apresentado, assim como critérios para a obtenção de diagnósticos a partir das classificações realizadas. O próximo capítulo descreve a realização de simulações com a aplicação da metodologia em uma subestação típica, os resultados obtidos e a avaliação dos indicadores de desempenho apresentados neste capítulo.

CAPÍTULO 6

TESTES E RESULTADOS

6.1 Descrição da Simulação

A metodologia proposta no capítulo anterior foi aplicada a uma subestação Normal/Reserva típica da LIGHT, descrita no Apêndice A.

As variáveis de entrada das redes neurais são binárias, assumindo o valor 0 (zero) sob condições normais de operação (alarme correspondente não foi recebido) e o valor 1 (um) caso o alarme correspondente tenha sido recebido.

O número de neurônios da camada de saída de cada rede neural corresponde ao número de equipamentos por ela supervisionados.

6.1.1 Treinamento

O conjunto de treinamento utilizado para as redes neurais apresentadas neste trabalho é composto por padrões de alarme associados a diferentes defeitos, envolvendo diferentes equipamentos, incluindo situações onde existe falha de atuação do sistema de proteção. Esses padrões de alarmes foram obtidos com o auxílio de especialistas em proteção de sistemas elétricos.

Os neurônios de saída das redes neurais indicam o estado defeituoso ou não-defeituoso do equipamento sob supervisão. As seguintes saídas-alvo foram consideradas no treinamento das RNs:

- $yd_k = 0,1$, se o equipamento k não está com defeito; ou
- $yd_k = 0,9$, se o equipamento k está com defeito.

Foi utilizado um único conjunto de treinamento para todas as redes neurais apresentadas neste trabalho. Este conjunto é constituído por 129 padrões. Os padrões de treinamento estão descritos no Apêndice B.

Foram utilizadas RNs Perceptron de Múltiplas Camadas, construídas utilizando o Toolbox de Redes Neurais do programa Matlab, versão 6.5.0.180913a, Release 13.

As camadas de entrada e de saída de cada RN foram definidas em função dos números de variáveis de entrada e dos componentes supervisionados, tendo sido utilizada também uma camada intermediária. A Tabela 6.1 descreve as arquiteturas utilizadas para cada RN neste trabalho, tendo sido aquelas que apresentaram melhor desempenho dentre as testadas durante as simulações:

Tabela 6.1 – Arquiteturas das RNs

REDE	Nº. DE ENTRADAS	Nº. DE NEURÔNIOS NA CAMADA INTERMEDIÁRIA.	Nº. DE SAÍDAS
C1	129	10	5
C2	129	20	7
ALIM1	129	10	1
ALIM2	129	15	1
BCAP1	129	10	1
BCAP2	129	20	1
B13	129	20	1
B138	129	15	1
TR	129	20	1
DS	129	15	2

A legenda a seguir identifica cada uma das redes utilizadas nos testes:

LEGENDA	
REDE	DESCRIÇÃO
C1	Rede Completa com sinalização de defeitos simultâneos nas duas saídas referentes aos elementos envolvidos do defeito.
C2	Rede Completa com duas saídas adicionais para a identificação de defeitos simultâneos (alimentadores ou bancos de capacitores + transformadores).
ALIM1	Rede Individual para Alimentadores, sem a identificação de defeitos simultâneos.
ALIM2	Rede Individual para Alimentadores, com a identificação de defeitos simultâneos.
BCAP1	Rede Individual para Bancos de Capacitores, sem a identificação de defeitos simultâneos.
BCAP2	Rede Individual para Bancos de Capacitores, com a identificação de defeitos simultâneos.
B13	Rede Individual para Barras de 13,8 kV.
B138	Rede Individual para Barras de 138 kV.
TR	Rede Individual para Transformadores.
DS	Rede para identificação de Defeitos Simultâneos (Alimentadores ou Bancos de Capacitores + Transformadores).

O algoritmo de treinamento utilizado foi o da retropropagação de erros (*Backpropagation*), tendo sido utilizada uma taxa de aprendizado adaptativa. A função de ativação utilizada nos neurônios da camada intermediária foi a **logsigmóide**. O erro alvo foi de 0,0001, tendo sido alcançado nas configurações de rede completa após 30000 *epochs* em média, e 25000 *epochs* em média nas configurações de redes individuais, sendo uma *epoch* um lote de padrões (cujo tamanho é pré-definido) extraído aleatoriamente do conjunto de treinamento. Durante o treinamento não foi utilizado o termo de momento.

6.1.2 Classificação em tempo real

Após a etapa de treinamento, as redes neurais foram testadas com os seguintes conjuntos de dados:

- Conjunto de treinamento completo visando a validação do treinamento;
- Conjunto de 26 padrões extraídos do conjunto de treinamento, porém simulando a indisponibilidade de 1 dos sinais integrantes de cada padrão;
- Conjunto de 26 padrões extraídos do conjunto de treinamento, porém simulando a indisponibilidade de 2 dos sinais integrantes de cada padrão;
- Conjunto de outros padrões, também corrompidos e diferentes daqueles contidos no conjunto de treinamento.

Estes padrões foram apresentados às redes neurais e as saídas resultantes foram classificadas de acordo com o seguinte critério:

- $0,0 \leq y_k \leq 0,3 \rightarrow$ componente k não está defeituoso
- $0,7 \leq y_k \leq 1,0 \rightarrow$ componente k está defeituoso
- $0,3 < y_k < 0,7 \rightarrow$ classificação indeterminada

onde os valores apresentados se mostraram satisfatórios para os limites a_1 , a_2 , b_1 e b_2 discutidos na seção 5.5.

6.1.3 Testes com a Subestação Normal/Reserva Padrão

A metodologia apresentada foi aplicada à uma subestação de configuração Normal/Reserva padrão da LIGHT. O algoritmo proposto foi testado para 129 padrões de

alarme e alguns desses testes são agora apresentados para ilustrar a metodologia empregada. Os testes apresentados a seguir foram escolhidos de modo a ilustrar algumas situações descritas no processo de obtenção de diagnósticos apresentado na Seção 5.6. São analisados os comportamentos da rede completa 1 (C1) e das redes individuais.

Caso 1: Defeito em um Alimentador com falha de disjuntor

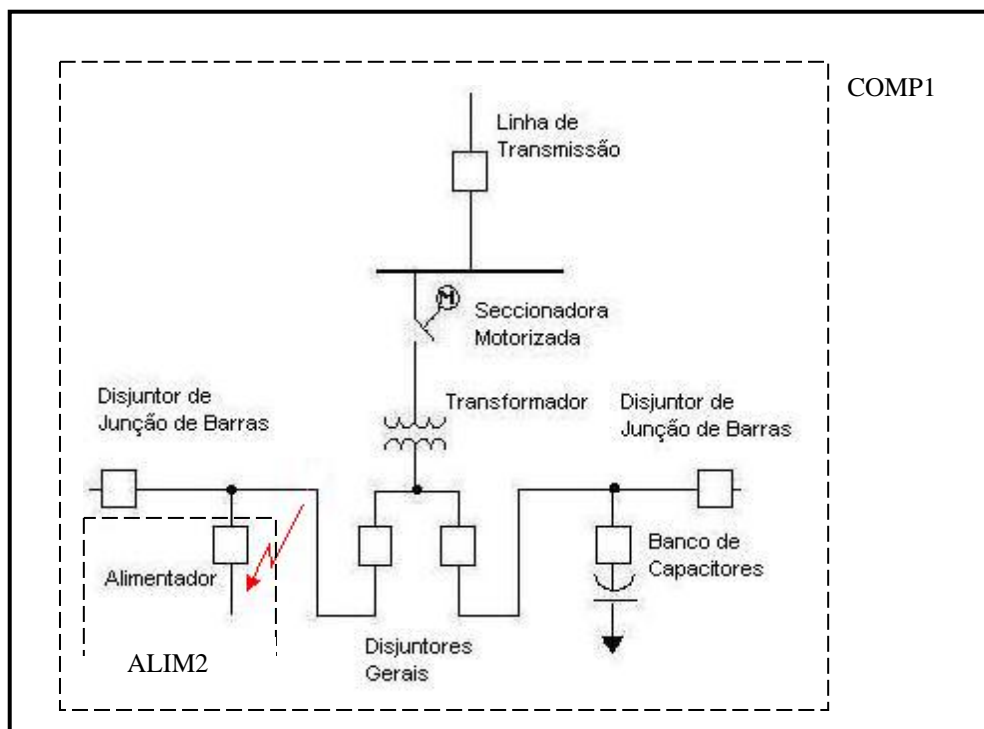


Figura 6.1 – Defeito em um Alimentador

Alarmes ativados:

- Relé 62BF

É interessante notar que o alarme relativo ao relé instantâneo de sobrecorrente (função ANSI 50) não foi recebido e que o disjuntor do alimentador não mudou de estado, obviamente por causa da falha de disjuntor. Na Tabela 6.2 é possível observar os resultados obtidos pela rede completa e pela rede individual. As demais RNs individuais não acusaram a ocorrência de defeito nos respectivos equipamentos supervisionados.

Tabela 6.2 – Classificações obtidas (Caso 1)

Rede C1					Rede ALIM2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)
Transformadores	Barra 138kV	Barra 13,8kV	Bancos de Capacitores	Alimentadores	Alimentadores
0,2795	0,0945	0,1140	0,0881	0,7243	0,7460

Os resultados obtidos mostram que, de acordo com os critérios adotados na Seção 5.6, o diagnóstico final será a identificação do defeito no alimentador, já que foi rejeitada a ocorrência de defeito em qualquer outro equipamento. Isto ocorreria independente da estratégia utilizada (RN única ou RNs individuais).

Caso 2: Defeito em um Transformador

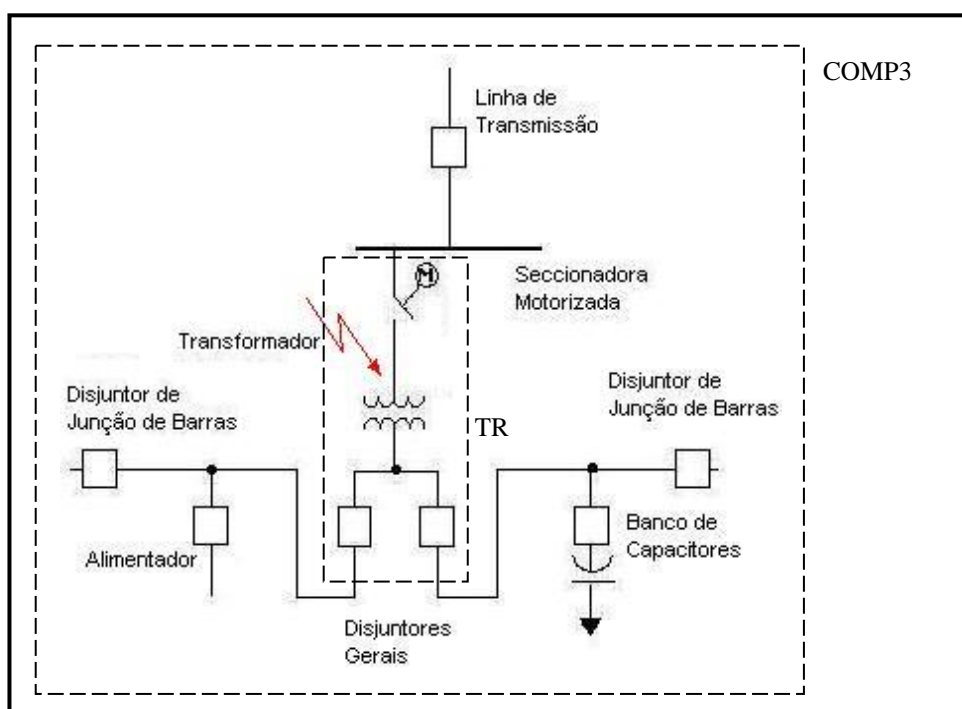


Figura 6.2 – Defeito em Transformador

Alarmes ativados:

- Abertura do Disjuntor Geral à direita do transformador
- Abertura do Disjuntor Geral à esquerda do transformador
- Abertura do Disjuntor de Entrada (Linha de Transmissão)

Neste caso observa-se que houve uma falha na abertura da chave seccionadora motorizada e que o sinal referente à atuação do relé de gás (função ANSI 63) não foi recebido. Na Tabela 6.3 pode-se observar os resultados obtidos pela rede completa e pela rede individual. As demais RNs individuais não acusaram a ocorrência de defeito nos respectivos equipamentos supervisionados.

Tabela 6.3 – Classificações obtidas (Caso 2)

Rede C2							Rede TR
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(1)
Transformadores	Barra 138kV	Barra 13,8kV	Bancos de Capacitores	Alimentadores	Alim. + Def. Sim.	B.Cap. + Def. Sim.	Transformadores
0,8548	0,1207	0,0892	0,0866	0,3643	0,0013	0,0171	0,1619

Neste caso, é possível perceber que a saída 1 classificou o defeito em um transformador na rede completa, o que, segundo o critério de diagnóstico adotado, significa que o equipamento apontado como defeito é aceito como tal, apesar da indeterminação da saída 5. No caso da rede individual, esta não foi capaz de identificar o defeito e, caso esta estratégia fosse utilizada, o diagnóstico seria incorreto para este caso.

Diversos testes foram realizados, para diversos padrões de alarmes, onde classificações e diagnósticos foram produzidos. Nas tabelas a seguir serão apresentados os desempenhos globais de todas as redes neurais utilizadas neste trabalho, considerando-se a validação da rede com o conjunto de treinamento e com padrões que não fizeram parte deste.

A Tabela 6.4 apresenta o desempenho global da abordagem utilizando uma única RN (redes C1 e C2) e utilizando as RNs individuais, quando se avaliou os padrões contidos no conjunto de treinamento. A coluna referente às redes individuais sem utilizar a RN DS refere-se ao emprego das RNs ALIM2, BCAP2, B13, B138 e TR da tabela 6.1, onde padrões de defeitos simultâneos devem ser classificados por saídas iguais a 1 em duas RNs (ALIM2 e TR ou BCAP2 e TR).

A coluna referente a utilização da RN DS corresponde à utilização das RNs ALIM1, BCAP1, B13, B138, TR e DS, onde apenas a RN DS deve apresentar uma saída igual a 1 (no neurônio correspondente aos equipamentos defeituosos) para defeitos simultâneos.

Tabela 6.4 – Desempenho global para o conjunto de treinamento

Número de Padrões Testados =129	RN C1	RN C2	RNI (s/ RN DS)	RNI (c/ RN DS)
Diagnósticos Corretos - DC	100%	100%	100%	100%
Diagnósticos Incorretos - DI	0%	0%	0%	0%
Diagnósticos Indeterminados - DIND	0%	0%	0%	0%

Pode-se observar da Tabela 6.4 que foi possível identificar corretamente componentes com defeito para os padrões de alarme contidos no conjunto de treinamento.

As Tabelas 6.5 e 6.6 apresentam o desempenho das mesmas redes para situações onde existe ausência de um sinal de entrada e ausência de 2 sinais de entrada, respectivamente (sinais associados a dispositivos de proteção que atuaram, mas tais informações não foram recebidas do sistema SCADA).

Tabela 6.5 – Desempenho global – ausência de 1 sinal de entrada

Número de Padrões Testados =26	RN C1	RN C2	RNI (s/ RN DS)	RNI (c/ RN DS)
DC	76,92%	73,08%	69,23%	61,54%
DI	7,69%	0%	0%	7,69%
DIND	15,38%	26,92%	30,77%	30,77%

Tabela 6.6 – Desempenho global – ausência de 2 sinais de entrada

Número de Padrões Testados =26	RN C1	RN C2	RNI (s/ RN DS)	RNI (c/ RN DS)
DC	46,15%	42,31%	42,31%	30,77%
DI	19,23%	15,38%	19,23%	30,77%
DIND	34,62%	42,31%	38,46%	38,46%

Os casos constantes das tabelas 6.5 e 6.6 foram extraídos do conjunto de treinamento com a ressalva de que foram retirados 1 e 2 sinais respectivamente de cada padrão testado, objetivando simular a ocorrência de uma falha de comunicação e observar o comportamento das RNs para tais situações. As indeterminações e incorreções observadas são devidas aos ruídos introduzidos nos padrões. Pode-se tentar melhorar o desempenho das RNs incluindo-se tais padrões no conjunto de treinamento.

A Tabela 6.7 apresenta os resultados para a observação de padrões com sinais espúrios, indevidamente recebidos do sistema de aquisição de dados, em situações de operação normal do sistema elétrico (sem defeito).

Tabela 6.7 – Desempenho global – sinais espúrios

Número de Padrões Testados =18	RN C1	RN C2	RNI (s/ RN DS)	RNI (c/ RN DS)
DC	0%	0%	16,67%	11,11%
DI	38,89%	33,33%	27,78%	22,22%
DIND	50%	66,67	55,56%	66,67%

6.2 Conclusões

Os testes realizados mostraram que a metodologia proposta apresentou as seguintes características:

- independente da abordagem via RN única ou RNs independentes foi possível obter diagnósticos corretos para todos os padrões de alarme contidos no conjunto

de treinamento, incluindo situações onde o sistema de proteção atua corretamente e também situações onde existe falha na sua atuação.

- através da RN única C2, assim como da estratégia de RNs individuais sem uma RN específica para a detecção de defeitos simultâneos, não se obteve diagnósticos incorretos quando se considerou a indisponibilidade de um sinal de alarme, sendo que a taxa de diagnósticos indeterminados ficou em torno de 30%.
- os casos onde se considerou a ausência de 2 sinais e de sinais espúrios correspondem a padrões de alarme muito corrompidos e cuja ocorrência é mais improvável. Para as situações com ausência de 2 sinais a RN C2 apresentou melhor desempenho que as demais, enquanto para a ocorrência de sinais espúrios a estratégia de RNs individuais (sem a RN DS) foi melhor que as demais.
- nos padrões para os quais se obteve diagnóstico indeterminado, o equipamento defeituoso está sempre relacionado entre os classificados como tal.

Considerando que as situações para as quais os resultados são apresentados nas Tabelas 6.4 e 6.5 são aquelas de ocorrência mais provável e haja vista que não se pode incluir no conjunto de treinamento de uma RN todas as possíveis situações (mesmo as mais improváveis), os resultados mostram um excelente desempenho em ambas as estratégias investigadas, notadamente com a utilização da RN C2 e sem utilizar a RN DS na estratégia de RNs individuais.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

7.1 Conclusões

No problema de processamento de alarmes em sistemas de potência é comum a ocorrência de uma ou mais das seguintes situações associadas às informações disponibilizadas pelo sistema de aquisição de dados após a ocorrência de um distúrbio ou defeito no sistema:

- disponibilidade de um grande volume de informações, maior que o necessário para o processamento que se deseja realizar (com muitas informações irrelevantes).
- disponibilidade de um conjunto de informações insuficiente para o processamento que se deseja realizar (devido a razões econômicas ou operacionais).
- indisponibilidade, por falha na aquisição de dados, de informações sobre dispositivos de operação que atuaram na ocorrência de um defeito.

No que diz respeito à atuação dos sistemas de proteção, os alarmes recebidos do sistema de aquisição de dados podem também corresponder a uma das seguintes situações:

- operação correta do sistema de proteção, atendendo aos requisitos de seletividade para os quais foram ajustados.
- ocorrência de falhas no sistema de proteção, levando a perda de seletividade e desligamento de mais equipamentos.
- operação incorreta do sistema de proteção, com atuação indevida de dispositivos, levando a desligamentos desnecessários.

- falha na atuação de disjuntores, os quais não atuam corretamente em resposta a comandos enviados a partir da operação de relés de proteção.
- ocorrência de defeitos simultâneos correlacionados, onde a ocorrência de um defeito primário leva a ocorrência de um segundo defeito.

As situações citadas, relacionadas à aquisição de dados e à operação do sistema de proteção, podem estar associadas a padrões de alarme a partir dos quais a correta identificação do defeito ocorrido pode se dar com maior ou menor facilidade, ou mesmo não ser possível.

Este trabalho apresentou uma técnica para avaliação das informações disponíveis para processamento, visando o problema de processamento de alarmes, com potencial aplicação para a filtragem de informações coletadas pelo sistema de aquisição de dados e avaliação do investimento em aquisição de novos dados. Além disso, foi proposta uma metodologia para a obtenção de diagnósticos a partir da resposta de classificadores responsáveis por identificar equipamentos com defeito em subestação de energia elétrica, considerando as diferentes situações de operação do sistema de proteção, conforme anteriormente citadas.

As principais contribuições do trabalho foram:

- proposição de uma técnica para a análise da qualidade das informações disponíveis, baseada na utilização da distância de Hamming e na visualização das frequências de ocorrência das distâncias entre pares de classes distintas.
- investigação de diferentes estratégias baseadas na utilização de redes neurais do tipo Perceptron de múltiplas camadas para a classificação de defeitos em subestações. As estratégias investigadas consistiram basicamente do emprego de uma rede neural única para classificar equipamentos em uma subestação e o emprego de redes neurais específicas por equipamento.
- desenvolvimento de metodologia para o diagnóstico de defeitos em subestações a partir das classificações realizadas pelas redes neurais.

- definição de variáveis de entrada de acordo com a representação da subestação através dos componentes típicos e de variáveis de saída que classificam a ocorrência de defeitos em tipos de equipamento. Esta estratégia permite reduzir o número de variáveis de entrada, de saída, o número de redes neurais empregadas e a complexidade do problema tratado. Além disso, permite utilização das RNs propostas, independente da configuração topológica da subestação.

A metodologia desenvolvida foi testada para uma subestação real e avaliada segundo indicadores de desempenho descritos neste trabalho. Foram simuladas diferentes situações de defeito, de atuação do sistema de proteção e do sistema de aquisição de dados. Os resultados obtidos mostraram o excelente desempenho das estratégias utilizadas, em particular quando se considerou a utilização de uma única rede neural com saídas adicionais para representar a ocorrência de defeitos simultâneos e a utilização de redes neurais individuais onde a indicação de defeitos simultâneos se dá através da classificação simultânea dos respectivos defeitos através das redes correspondentes, sem a necessidade de utilizar uma rede neural dedicada à identificação de um defeito simultâneo.

7.2 Propostas para Trabalhos Futuros

Como propostas para a continuação deste trabalho pode-se citar:

- investigação da aplicação de lógica fuzzy em conjunto com as redes neurais utilizadas, visando melhorar também o diagnóstico de situações de ocorrência menos provável, associadas a falhas no sistema de comunicação em conjunto com falhas no sistema de proteção.
- desenvolvimento de sistemas híbridos baseados na utilização de sistemas especialistas em conjunto com as redes neurais para automatizar a seleção das variáveis de entrada (a partir dos alarmes recebidos) e a identificação do

equipamento defeituoso (a partir de estratégias de consulta a base de dados atualizada pelo sistema SCADA).

- proposição de novas métricas para a avaliação de custo-benefício da aquisição de dados para processamento de alarmes em subestação e no sistema de potência como um todo.

REFERÊNCIAS

- [A66] I. Aleksander, "*Self-adaptative universal logic circuits*", *Electronic Letters*, 2:231, 1966.
- [AG94] R. Andrews, S. Geva, "*Rule extraction from a constrained error backpropagation MLP*", In *Proceeding of the 5th Australian Conference on Neural Networks*, pages 9-12, Brisbane, Australia, 1994.
- [AIS95] A.P. Alves da Silva, A.H.F. Insfran, P.M. da Silveira, G. Lambert-Torres, "*Neural networks for fault location on substations*", 1995 IEEE, PES Summer Meeting, July 23-27, 1995, Portland, OR.
- [Anderb73] M.R. Anderberg, *Cluster Analysis for Applications*, Academic Press, New York, 1973.
- [ASCD02] C.A.S Araújo, F.C. de Souza, J.R.R Cândido, M.P.Dias, "*Proteção de Sistemas Elétricos*", Interciência, 2002.
- [BSA83] A.G. Barto, R.S. Sutton, C.W. Anderson, "*Neuronlike adaptative elements that can solve difficult learning problems*", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13:834-846, 1983.
- [C77] A.C. Caminha, "*Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*", Edgard Blücher, 1977.
- [C89] E.H.P. Chan, "*Application of neural networks computing in intelligent alarm processing*", *Proceedings of the IEEE Power Industry Computer Application Conference*, Seattle, WA, 1989, pp. 246-251.
- [C89b] G. Cybenko, "*Approximation by superposition of a sigmoid function*", *Mathematics of Control, Signal and Systems*, 2:303-314, 1989.

[CAT98] A.C. Carvalho, P.B. Antônio, B.L. Teresa, *"Fundamentos de Redes Neurais Artificiais"*, 11^a Escola de Computação, 1998.

[CD91] CIGRE TF 38-06-02, Convener - T. Dillon, *"Survey on expert systems in alarm handling"*, *Electra*, N° 139, pp. 133-147, 1991.

[CG88] G. A. Carpenter, S. Grossberg, *"The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network"*, *Computer*, 21:77-88, 1988.

[CP97] H. Chow, J.K. Park, *"An Expert System for Fault Section Diagnosis of Power Systems Using Fuzzy Relations"*, *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 12, N° 1, February 1997.

[CS96] M. Craven, J. Shavlik, *"Extracting tree-structured representations of trained networks"*. In D.S. Touretzky, M.C. Mozer, and M.E. Hasselmo, editors, *Advances in Neural Information Processing Systems*, pages 37-45. MIT Press. Denver, 1996.

[F75] K. Fukushima, *"Cognitron: a self-organizing multilayered neural network"*, *Biol. Cybern.*, 23:121-134, 1975.

[F84] S.J. Farlow, *"Self-organizing Methods in Modelling"*, Maral Dekker, 1984.

[G76] S. Grossberg, *"Adaptative pattern clasification and universal recoding: II. feedback, expectation, olfaction, illusions "*, *Biol. Cybern.*, 23:187-202, 1976.

[H49] D.O. Hebb, *"The Organization of Behavior"*, Wiley, 1949.

[H82] J.J. Hopfield, *"Neural networks and physical systems with emergent collective properties"*, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 79:2554-8, 1982.

[H94] S. Haykin, *"Neural Networks - A Comprehensive Foundation"*, Prentice-Hall, 1994.

[HKH94] E. Handschin, D. Kuhlmann, W. Hoffmann, "*Fault diagnosis in electrical energy systems using device-specific artificial neural networks*", Engineering Intelligent Systems, Vol. 2, December, 1994, pp. 255-262.

[JDS91] A.G. Jongepier, H.E. Dijk, L. van der Sluis, "*Neural networks applied to alarm processing*", Proceedings of the Third Symposium on Expert Systems application to Power Systems, 1991, Tokyo-Kobe, Japan, pp. 615-621.

[K74] T. Kohonen, "*An adaptative associative memory principle*", IEEE Transactions on Computers, C-23: 444-445, 1974.

[K89] T. Kohonen, "*Self-Organization and Associate Memory*", Springer-Verlag, Berlin, 3 edition, 1989.

[KK91] R. Karunakaran, G.G. Karady, "*Artificial neural networks as a dispatcher's aid in alarm processing*", Proceedings of the Third International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems, Seattle, W.A., July 23-26, 1991, pp. 169-173.

[Kosko92] B. Kosko, "*Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical systems Approach to Machine Intelligence*". Prentice-Hall Inc., 1992.

[KP91] K. Kim, J. Park, "*Application of Hierarchical neural networks to fault diagnosis of power systems*", Proceedings of the Third Symposium on Expert Systems application to Power Systems, 1991, Tokyo-Kobe, Japan, pp. 323-327.

[KW92] D.S. Kirschen, B.F. Wollenberg, "*Intelligent alarm processing in power systems*", Proceedings of IEEE, vol. 80, N° 5, May 1992, pp. 663-672.

[L88] R. Linsker, "*Self-organization in perceptual network*", Computer 21(3):105-117, 1988.

[LT87] C.C. Liu, K.L. Tomsovic, "*An expert system as a dispatchers aid for the isolation of line section faults*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-2, N° 3, July 1987.

- [M01] E.B.M. Meza, "*Localização de Defeitos em Sistemas de Potência Utilizando um Modelo Neural-Fuzzy*", Dissertação de mestrado, CAA-UFF, Junho de 2001.
- [M61] M.L. Minsky, "*Steps towards artificial intelligence*", In proc. of the Institute of radio Engineers 49, pp. 8-32, 1961.
- [Mao95] J. Mao and A.K. Jain, "Artificial neural networks for feature extraction and data projection", *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol.6, No.2, pp.296-317, March 1995.
- [MP43] W.S. McCulloch, W. Pitts, "*A logical calculus of the ideas immament in nervous activity*", *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115-133, 1943.
- [MP69] M. Minsky, S. Papert, "*Perceptrons: na introduction to computacional geometry*", MIT Press, Massachusetts, 1969.
- [MSSC01] M. M. Meza, J.C. S. Souza, M. Th. Schilling, M.B. Do Coutto Filho, "*Exploring Fuzzy Relations For Alarm Processing And Fault Location In Electrical Power Systems*", *Proceeding do IEEE Porto PowerTech 2001*. Porto, Portugal.
- [P81] Power Protection, The Electricity Council, Peter Peregrinus Ltd., UK, 1981.
- [P98] A.G. Phadke, J.S. Thorp, "*Computer relaying for power systems*", Research Studies Press Ltd., Somerset, England, 1998.
- [PB91] M. Pfau-Wagenbauer, H. Brugger, "*Model and rule based intelligent alarm processing*", *Proceedings of the Third Symposium on Expert Systems Aplication to Poer Systems*, April 1-5, 1991, Tokyo-Kobe, Japan, pp. 27-32.
- [PG92] L. Pau, T. Gotzche, "*Explanation facility for neural networks*". *Journal of Intelligent and robotic Systems*", 5:193-206, 1992.
- [R58] F. Rosenblatt, "*The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain*", *Psychol. Ver.*, 65:386-408, 1958.

[R62] F. Rosenblatt, *"Principles of Neurodynamics: Perceptrons and the theory of brain mechanisms"*, Spartan Books, New York, 1962.

[R95] S. Rementeria, et al, *"Expert systems & Neural networks in power grid fault diagnosis: an empirical comparison"*, Engineering Intelligent system, vol. 3, N° 1, pp. 33-44, March 1995.

[R99] M.A.P. Rodrigues, *"Localização de defeitos em sistemas de potência utilizando redes neurais "*, Dissertação de mestrado, CAA-UFF, Maio 1999.

[RHW86] D.E. Rumelhart, G.E. Hinton, R.J. Williams, *"Learning representations by back-propagating errors"*, Nature, 323:533-536, 1986.

[RSSC99] M. A. P. Rodrigues, J.C. S. Souza, M. Th. Schilling, M.B. Do Coutto Filho, *"Fault Diagnosis in Electrical Power Systems using Artificial Neural Networks"*, Proceeding do IEEE Budapest PowerTech, BPT99-79-23, Budapest, Hungria, Agosto de 1999.

[S88] R.S. Sutton, *"Learning to predict by the method of temporal differences"*, Machine Learning, 3:9-44, 1988.

[Souz97] J.C.S. Souza, A.M. Leite da Silva, A.P. Alves da Silva, "Data Visualisation and Identification of Anomalies in Power system State Estimation Using Artificial Neural Networks", *IEE Proceedings Gener. Transm. Distrib.*, Vol. 144, No. 5, pp. 445-455, September 1997.

[SRSC01] J.C.S. Souza, M.A.P. Rodrigues, M. Th. Schilling, M.B. Do Coutto Filho, *"Fault Location in Electrical Power Systems Using Intelligent Systems Techniques"*, IEEE Transactions on Power Delivery, N° 1, January 2001, pp. 59-67.

[W74] P. Werbos, *"Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences"*, PhD Thesis, Harvard University, 1974.

[Weh98] Louis A. Wehenkel, *Automatic Learning Techniques in Power Systems*, Kluwer Academic Publishers, 1998.

[WH60] B. Widrow, M.E. Hoff, "*Adaptative switching circuits*", Institute of Radio Engineers, Western Electronic Show and Convention, 1960.

Apêndice A

SUBESTAÇÃO NORMAL/RESERVA

A.1 Descrição

Uma subestação normal/reserva, na filosofia da LIGHT, é uma subestação dotada de dupla alimentação, sendo que apenas uma das linhas de transmissão supre a referida subestação (Figura A.1). Quando da ocorrência de um desligamento desta linha, um automatismo é acionado de forma que a linha reserva passe a suprir a SE, assumindo a carga. Quando a linha defeituosa é normalizada, a alimentação retorna para ela restabelecendo a condição de operação anterior. As subestações do tipo normal/reserva possuem barramento simples seccionado apenas para efeito de manutenção. Estas subestações são dotadas de três transformadores sem disjuntor do lado de alta tensão, estando conectados ao barramento através de chaves seccionadoras motorizadas. Quando ocorre um defeito no transformador, a proteção desliga os disjuntores do lado de baixa tensão e o disjuntor de entrada da subestação, para que o transformador possa ser isolado, através da abertura da chave seccionadora motorizada. A abertura do disjuntor da linha de transmissão (entrada da SE) faz-se necessária, uma vez que chaves seccionadoras não podem ser abertas com carga. Após o isolamento do transformador, a linha de transmissão é religada. Fica evidente que, durante alguns momentos (cerca de 30 segundos) a subestação ficará desenergizada.

No setor de 13.8kV, existem três transformadores, cada um com 2 disjuntores do lado de baixa tensão (os chamados disjuntores gerais), cada um associado a uma seção de barramento de 13.8kV. Cada seção de barra possui 4 alimentadores e a cada transformador está associado um banco de capacitores. Esta subestação possui um automatismo que, quando da perda de um transformador, um disjuntor de junção de barras é fechado, possibilitando que as cargas do transformador que está fora de operação sejam assumidas pelos outros transformadores. Seguem nas próximas seções os diagramas unifilares de uma subestação normal/reserva típica da LIGHT.

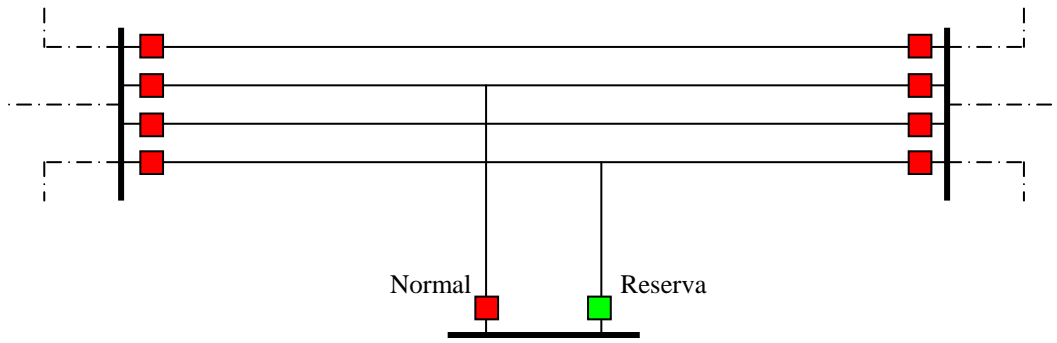


Figura A.1 – Ligação típica de uma Subestação Normal/Reserva ao Sistema.

A.2 Diagramas Unifilares

A.2.1 Setor de 138kV

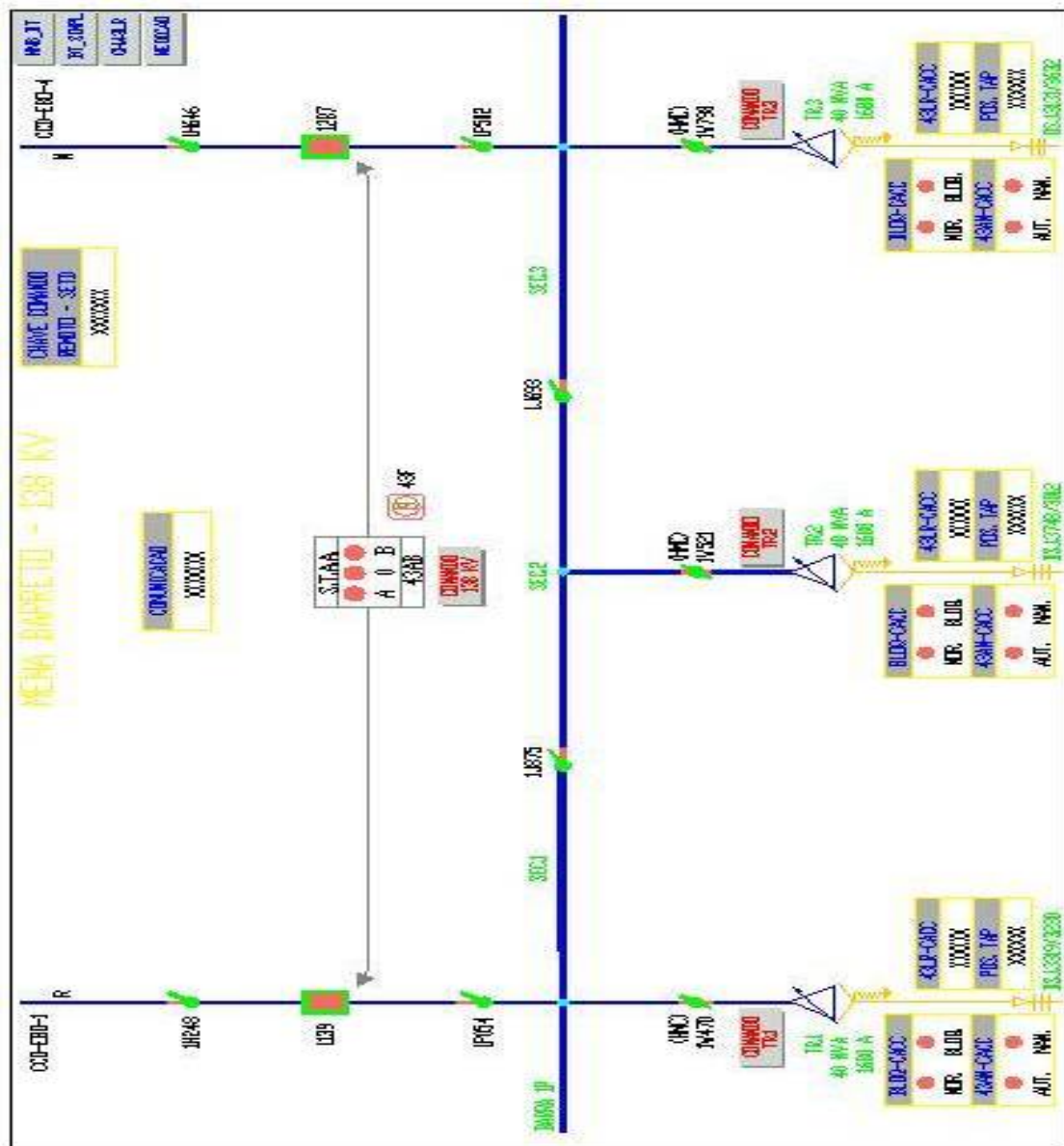


Figura A.2 – Setor 138kV

A.2.2 Setor de 13.8kV

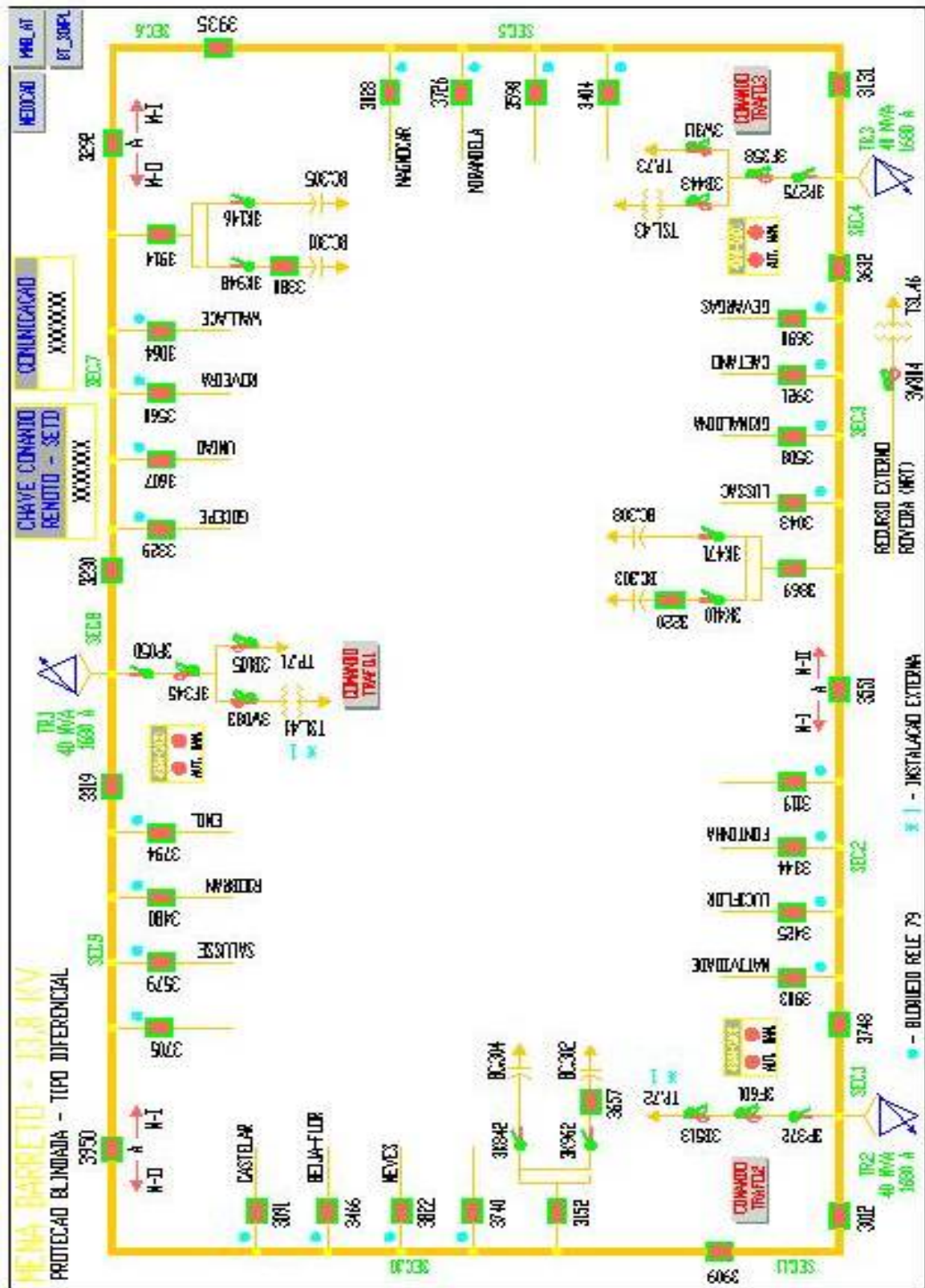


Figura A.3 – Setor 13.8kV

Apêndice B

PADRÕES DE ALARME

B.1 Descrição

Neste apêndice estão listadas as informações assumidas disponíveis no Centro de Operação. Tais informações referem-se a possíveis atuações do sistema de proteção, informações estas que foram utilizadas para a construção dos conjuntos de treinamento utilizado s neste trabalho, englobando os equipamentos listados abaixo.

1. Transformadores
2. Barra de 138kV
3. Barra de 13,8kV
4. Bancos de Capacitores
5. Linhas de Distribuição

B.2 Listagem dos defeitos por tipo de equipamento.

B.2.1. Defeitos nos Transformadores

1. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87
2. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87 + Falha na Abertura de 1W470
3. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87 + Falha na Abertura de DG1
4. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87 + Falha na Abertura de DG2
5. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87 + Falha no Fechamento de DJunção 3292
6. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 87 + Falha no Fechamento do DJunção 3950
7. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63
8. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de 1W470
9. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG1
10. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG2
11. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha no Fechamento de DJunção à Esq.
12. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha no Fechamento do DJunção à Dir.
13. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG1 + Atuação 87B
14. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG1 + Atuação 87BN
15. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG2 + Atuação 87B
16. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DG2 + Atuação 87BN

17. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DJ Junção 3292 + Atuação 87B
18. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura de DJ Junção 3292 + Atuação 87BN
19. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura do DJ Junção 3950 + Atuação 87B
20. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63 + Falha na Abertura do DJ Junção 3950 + Atuação 87BN
21. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC
22. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de 1W470
23. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG1
24. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG2
25. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha no Fechamento de DJunção 3292
26. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha no Fechamento do DJunção 3950
27. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG1 + Atuação 87B
28. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG1 + Atuação 87BN
29. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG2 + Atuação 87B
30. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DG2 + Atuação 87BN
31. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DJ Junção 3292 + Atuação 87B
32. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura de DJ Junção 3292 + Atuação 87BN
33. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura do DJ Junção 3950 + Atuação 87B
34. Defeito no Trafo #1: Atuação do relé 63CACC + Falha na Abertura do DJ Junção 3950 + Atuação 87BN
35. Defeito no Trafo #1: Atuação da 2ª linha, relé 51H
36. Defeito no Trafo #1: Atuação da 2ª linha, relé 51G
37. Defeito na AT do Trafo #1:c/ atuação simultânea da prot. de entrada de linha, relé 50
38. Defeito na AT do Trafo #1:c/ atuação simultânea da prot. de entrada de linha, relé 50 + falha DJ Junção 3950
39. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de entrada de linha, relé 50 + falha DJ Junção 3292
40. Defeito na AT do Trafo #1:c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50 + falha DJ Geral I

41. Defeito na AT do Trafo #1:(c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50 + falha DJ Geral II
42. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50 + falha DJ Entrada
43. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50 + falha chave Mot. At Trafo
44. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N
45. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha DJ Junção 3292.
46. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha DJ Junção 3950.
47. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha DJ Geral I
48. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha DJ Geral II
49. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha DJ Entrada
50. Defeito na AT do Trafo #1: c/ atuação simultânea da prot. de Entrada, relé 50N + falha chave Mot. At Trafo

B.2.2 Defeitos na Barra de 138kV

51. Defeito na Barra de 138kV: Atuação do relé 50
52. Defeito na Barra de 138kV: Atuação do relé 50 + falha na abertura do DJ entrada de linha
53. Defeito na Barra de 138kV: Atuação do relé 50N
54. Defeito na Barra de 138kV: Atuação do relé 50N + falha na abertura do DJ entrada

B.2.3 Defeitos na Barra de 13,8kV

55. Defeito da Barra de 13,8kV: Atuação do relé 87B
56. Defeito da Barra de 13,8kV: Atuação do relé 87B + Falha DJ Geral I
57. Defeito da Barra de 13,8kV: Atuação do relé 87BN
58. Defeito da Barra de 13,8kV: Atuação do relé 87BN+ Falha DJ Geral I
59. Defeito da Barra de 13,8kV: C/ desl. Do trafo #1 + At. relés 87 e 87B

B.2.4 Defeitos nos Bancos de Capacitores

60. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 50
61. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 50N

62. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 51
63. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 51N
64. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 59
65. Defeito no Bco Capacitores: Atuação do relé 61N
66. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 50
67. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 50N
68. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 51
69. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 51N
70. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 59
71. Defeito no Bco Capacitores: falha do disjuntor + Atuação do relé 61N
72. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63
73. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63 + Falha DJ Geral I
74. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63 + Falha DJ Geral II
75. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63 + Falha DJ Junção 3292.
76. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63 + Falha DJ Junção 3950.
77. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo + relé 50 + 63 + Falha Chave Mot. AT Trafo.
78. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do, relé 50N e relé 63
79. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63 + Falha DJ Geral I
80. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63 + Falha DJ Geral II
81. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, + relé 50N + 63 + Falha DJ Junção 3292.
82. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63 + Falha DJ Junção 3950.
83. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63 + Falha Chave Mot. AT Trafo.
84. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC
85. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC + Falha DJ Geral I
86. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC + Falha DJ Geral II
87. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC + Falha DJ Junção 3292.

88. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC + Falha DJ Junção 3950.
89. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50 e relé 63CACC + Falha Chave Mot. AT Trafo.
90. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC
91. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC + Falha DJ Geral I
92. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC + Falha DJ Geral II
93. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC + Falha DJ Junção 3292.
94. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC + Falha DJ Junção 3950.
95. Defeito no Bco Capacitores: atuação da proteção do Trafo, relé 50N e relé 63CACC + Falha Chave Mot. AT Trafo.

B.2.5 Defeitos nas Linhas de Distribuição

96. Defeito na LDA Rio Branco: Atuação do relé 50
97. Defeito na LDA Rio Branco: Atuação do relé 50N
98. Defeito na LDA Rio Branco: Atuação do relé 51
99. Defeito na LDA Rio Branco: Atuação do relé 51N
100. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha do disjuntor: Atuação dos relés 50 e 62BF
101. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha do disjuntor: Atuação dos relés 50N e 62BF
102. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha do disjuntor: Atuação dos relés 51 e 62BF
103. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha do disjuntor: Atuação dos relés 51N e 62BF
104. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha da proteção: Atuação do relé 51H do Trafo
105. Defeito na LDA Rio Branco c/ falha da proteção: Atuação do relé 51G do Trafo
106. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63
107. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63 + Falha DJ Geral I
108. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63 + Falha DJ Geral II
109. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63 + Falha DJ Junção 3292.
110. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63 + Falha DJ Junção 3950.
111. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63 + Falha Chave Mot. AT Trafo.
112. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63

113. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63 + Falha DJ Geral I
114. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63 + Falha DJ Geral II
115. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63 + Falha DJ Junção Dir.
116. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63 + Falha DJ Junção Esq.
117. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63 + Falha Chave Mot. AT Trafo.
118. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC
119. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC + Falha DJ Geral I
120. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC + Falha DJ Geral II
121. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC + Falha DJ Junção Dir.
122. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC + Falha DJ Junção Esq.
123. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50 e 63CACC + Falha Chave Mot. AT Trafo.
124. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63CACC
125. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63CACC + Falha DJ Geral I
126. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo : relés 50N e 63CACC + Falha DJ Geral II
127. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63CACC + Falha DJ Junção Dir.
128. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63CACC + Falha DJ Junção Esq.
129. Defeito na LDA Rio Branco c/ atuação da proteção do Trafo: relés 50N e 63CACC + Falha Chave Mot. AT Trafo.

Apêndice C

DADOS EM TEMPO REAL

C.1 Objetivo

O objetivo deste apêndice é a apresentação de como os dados em tempo real são adquiridos em um sistema SCADA

C.2 Descrição

O sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) é responsável pela aquisição, processamento e apresentação das informações sobre o estado do sistema monitorado. A partir do sistema SCADA, os operadores podem supervisionar as mudanças no estado operativo dos equipamentos monitorados.

Em termos de equipamentos o sistema SCADA é composto basicamente pelos seguintes elementos:

- Computadores (2 máquinas em arquitetura “hot-standby”);
- Consoles de Operadores, desenvolvimento e manutenção;
- Equipamentos de Comunicação;
- Unidades Terminais Remotas (UTRs) e Relés Digitais; e
- Equipamentos de comunicação entre centros de operação.

Em um sistema com múltiplos sítios, um sítio é comumente designado como principal enquanto os demais como remotos. O sítio principal é usualmente o recipiente dos dados transferidos pelos sítios remotos. Cada sítio SCADA se comunica com suas UTRs ou Relés Digitais através de linha telefônica, microondas ou cabos de fibra ótica.

Comunicação Computador x UTR (ou Relé Digital)

O equipamento de comunicação e o software que conectam as UTRs e os relés digitais são chamados conjuntamente de CFE (Communications Front End). O software que comunica os servidores SCADA e o CFE é chamado de TFE (Telemetry Front End).

No sistema SCADA onde existem dois computadores (Principal e Reserva) em arquitetura “Hot-Standby”, existem dois TFEs redundantes, os quais estarão em comunicação com o SCADA. No caso de uma falha no computador principal, o TFE que não estiver conectado ao computador falhado continua se comunicando, não havendo perda de dados. Pode ocorrer também que o computador principal faça uma troca de um caminho para outro alternativo que esteja em outro CFE ou TFE sem que tenha havido falha do computador principal.

Funções do Sistema SCADA

De uma forma geral, as diversas funções SCADA estão agrupadas em 3 categorias:

- Aquisição de Dados: As UTRs e os Relés Digitais são varridos a uma determinada taxa de varredura para a base de dados do SCADA. As UTRs e os Relés Digitais enviam os dados que recebem para os CFEs, os quais realizam conversões e verificações nos dados antes de enviá-los aos TFEs e depois ao servidor principal;
- Controle: É a funcionalidade do SCADA que permite que os operadores enviem comandos para as UTRs e os Relés Digitais a partir do Centro de Operação; e
- Controle do Sistema: Se refere à funcionalidade que permite aos operadores modificar a maneira como o SCADA processa e apresenta os dados. Por exemplo, um operador pode entrar um valor para um equipamento cuja medida esteja indisponível no campo.

Estas funções estão descritas com mais detalhes a seguir.

Aquisição de Dados

O SCADA realiza as seguintes funções para aquisitar os dados no sistema monitorado:

- Varredura do sistema monitorado e recebimento dos dados das UTRs e Relés Digitais via CFEs;
- Conversão e verificação do dado para torná-lo utilizável para apresentação aos operadores;
- Cálculos para outras aplicações do sistema;
- Determina a qualidade dos dados e marca aqueles que não são confiáveis; e
- Permite aos operadores solicitar a varredura de grupos individuais de varredura.

O SCADA obtém dados fazendo a varredura de UTRs e Relés Digitais. Estes equipamentos aquisitam os dados do campo (analógicos, estados, contadores, etc). Os dados a serem obtidos em uma varredura dependem de quais grupos de varredura estão sendo varridos naquele momento.

Um grupo de varredura é um conjunto de dados varridos em uma única solicitação. Usualmente, os dados mais importantes são definidos como um grupo de varredura e são varridos a cada 2 segundos. Medidas menos importantes podem ser configuradas em um grupo de varredura diferente sendo varridas com menor frequência, por exemplo, a cada 10 segundos.

O SCADA pode varrer o sistema monitorado de quatro formas diferentes:

- Varredura de Integridade: Todas as UTRs, Relés Digitais e Grupos de Varredura são aquisitados de forma a obter todos os dados do sistema monitorado. A varredura de integridade é realizada toda vez que o SCADA é inicializado pela primeira vez, após a ocorrência de determinadas falhas nos computadores e sistemas de comunicação e ocasionalmente durante operações normais;

- Varredura Periódica: Cada grupo de varredura em uma UTR é varrido à uma determinada taxa em segundos na base de dados SCADA. O SCADA recebe do frontal de comunicação apenas os dados dos grupos de varredura que estão sendo adquiridos, e somente se algum dado variou de estado ou valor desde a última varredura. Os grupos de varredura de dados analógicos mais importantes e estados são varridos com a maior frequência possível, de forma que as mudanças ocorridas no campo sejam visualizadas o mais rápido possível;
- Varredura Individual: Grupos de varredura específicos são varridos coletivamente à uma taxa especificada na base de dados SCADA. Isto permite que determinados tipos de medidas, tais como contadores, sejam adquiridas coletivamente à uma mesma taxa. A varredura individual também permite que certas medidas sejam adquiridas à uma taxa menor que a normal durante um longo período de tempo, ou mais rápida que a normal durante um período de tempo curto; e
- Varredura por Demanda: Um ou mais grupos de varredura podem ser varridos por solicitação do operador. A varredura por demanda pode ser solicitada tantas vezes quanto se queira.

O SCADA pode adquirir, processar e apresentar dados de três tipos de equipamentos no sistema monitorado. Estes equipamentos são:

- Equipamentos de estado variável, os quais possuem medições numéricas configuráveis no SCADA como pontos analógicos;
- Equipamentos de estados discretos, tais como disjuntores e seccionadoras, os quais possuem medições de estado configuráveis no SCADA como pontos de estado; e
- Equipamentos de acumuladores de pulso, configuráveis no SCADA como pontos de contadores.

Controle

A função de Controle do SCADA permite que os operadores efetuem telecomandos nos equipamentos supervisionados do sistema. Estes telecomandos são efetuados a partir do Centro de Operação, permitindo que sejam efetuados abertura e fechamento de disjuntores, chaves seccionadoras, rearme de relés de disparo e bloqueio tais como o relé 86-2, etc.

Podem ser efetuadas também ações de controle por aplicativos específicos. Um exemplo disto é o aplicativo inserção e retirada de bancos de capacitores. O sistema possui uma programação horária que envia telecomandos para inserir e retirar os bancos de capacitores em horários específicos visando o controle de tensão.

Controle do Sistema

O controle do sistema permite que os operadores modifiquem a maneira como o SCADA processa e apresenta os dados. Estão listados abaixo exemplos de operações de controle do sistema:

- Retirar um ponto de serviço. Esta operação desabilita a varredura de um ponto selecionado do sistema;
 - Colocar um ponto em serviço. Esta operação habilita a varredura de um ponto selecionado do sistema;
 - Equipamentos cujas medidas não são aquisitadas via UTR, podem ter suas medidas colocadas no sistema de forma manual;
 - Os valores telemedidos podem ser sobrescritos por valores de entrada manual;
 - É possível entrar manualmente os limites de equipamentos de estado variável. Também é possível ignorar limites para equipamentos específicos;
 - Inibição e ativação das atividades associadas a eventos alarmados e anormais;
- e

- Controle da configuração do sistema de comunicação através da remoção de UTRs de serviço, grupos de varredura e linhas de comunicação.

Como o SCADA aquisita e processa os dados

O SCADA recebe dados de diversas fontes, incluindo UTRs, Relés Digitais, sítios SCADA remotos, etc. O processamento dos dados envolve a conversão do dado recebido das UTRs e Relés Digitais para uma forma interna e utilizável para cálculos e apresentação nas telas gráficas e, para armazenamento na base de dados do SCADA.

Fontes dos Dados

Cada dado que o SCADA aquisita possui uma fonte da qual ele é normalmente aquisitado. A fonte normal da maioria dos dados são as UTRs e os Relés Digitais. Todavia, o SCADA pode também receber dados de outro sítio SCADA, tais como: cálculos, entrada manual de operador, estimador de estados, etc.

Mesmo que o valor de um ponto seja aquisitado normalmente através da UTR ou outra fonte qualquer, o ponto pode ser removido de serviço pelo operador. Remover um ponto de serviço significa que o SCADA não poderá atualizar o valor do mesmo a partir de sua fonte normal de dados.

Apesar do SCADA não atualizar pontos fora de serviço com valores de suas fontes normais, ele pode lançar mão de uma fonte secundária de dados.

Base de Dados

O sistema SCADA utiliza uma base de dados hierárquica chamada SCADAMOM que é modelada através de uma aplicação denominada SCADAMD, que permite a criação e edição de bases de dados utilizadas no sistema SCADA.

A base de dados SCADAMOM contém o modelo do sistema monitorado, incluindo tanto o modelo físico do sistema de potência quanto o modelo do sistema de recuperação

dos dados. No sistema da LIGHT, por exemplo, a base SCADAMOM mantém três tipos básicos de dados:

- Estados: Aberto/fechado, ligado/desligado, operado/normalizado;
- Analógicos: Variáveis do processo adquiridas pelas UTRs; e
- Acumuladores de Pulsos: Usualmente, Energias.

A base SCADAMOM está dividida em duas partes principais: a parte em Tempo-Real, a qual mantém os dados recebidos do campo e os parâmetros de processamento, e a parte de modelagem, a qual mantém os modelos das estruturas repetitivas que simplificam o processo de construção e modificação da parte em Tempo-Real.

As informações supervisionadas pelo sistema estão organizadas na base de dados em Tempo-Real sob a forma de árvores. Abaixo segue um exemplo dos campos componentes desta estrutura e suas descrições:

- SUBSTN: Define a subestação que contém as informações referenciadas nos campos hierarquicamente subordinados.
- RTU: Define a configuração do sistema de recuperação dos dados
- FUNC: Define todos os cálculos a serem realizados utilizados os dados do sistema SCADA.
- CONV: Define as curvas de conversão a serem aplicadas para conversão dos dados da UTR para unidades de engenharia.
- SRTMEZ: Define as grandezas que serão utilizadas nos cálculos.
- ALTTYP: Define os tipos de limites alternativos.
- COMM: Modela a configuração do sistema de comunicação do SCADA. Especificamente, são mostradas as principais conexões indiretas do sistema entre o computador e os equipamentos de aquisição de dados tais como UTRs, interfaces locais e outros computadores.
- DISPLAY: Define o agrupamento de medições para propósito de apresentação dos dados.

Sub-árvore SUBSTN

Esta sub-árvore é o modelo do sistema de potência monitorado e é composta de registros tais como, subestação, equipamentos, estados, analógicos, acumuladores, limites, etc.

No topo desta hierarquia estão os campos SUBSTN, DEVTYP e DEVICE que representam o modelo físico da estrutura do sistema de potência. Subordinados a estes registros são filhos do registro tipo MEAS, cujo propósito é modelar as medições dos diversos tipos equipamentos. Na Figura C.1 está a estrutura básica para a configuração de uma subestação na base de dados do sistema SCADA.

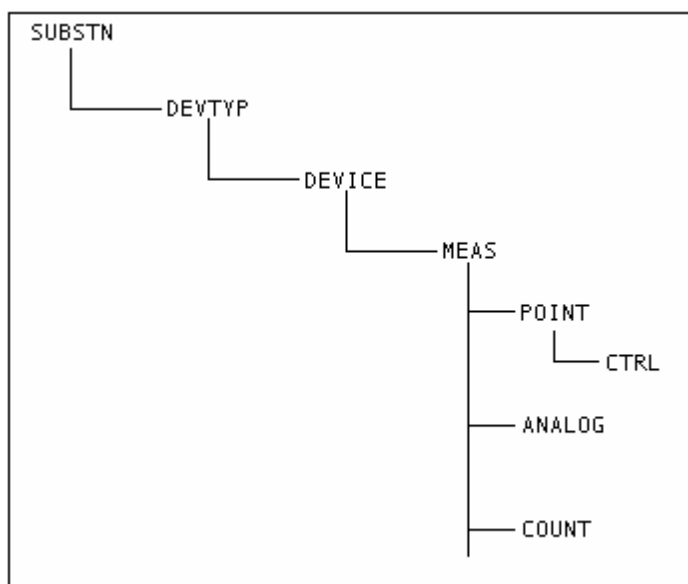


Figura C.1 – Estrutura de uma Subestação

Através do registro POINT são obtidos os estados dos equipamentos, o registro CTRL permite a execução de telecomandos, o registro ANALOG é utilizado para os dados analógicos e o registro COUNT para contadores. A cada registro desta base está associado um identificador que permite o acesso a estes pontos por aplicativos do sistema ou aplicativos externos.

Segue um exemplo da estrutura dos dados de um alimentador:

SUBSTN: PDG

DEVTYP:LDA

DEVICE:CARIBU

MEAS:MLDA

ANALOG: IFA
ANALOG: IFB
ANALOG: IFC
ANALOG: KVAB
ANALOG: KVBC
ANALOG: KVCA
ANALOG: MWA
ANALOG: MWB
ANALOG: MWC
ANALOG: MW
ANALOG: VARA
ANALOG: VARB
ANALOG: VARC
ANALOG: MVAR
ANALOG: FP
COUNT: MWH
COUNT: VARH
COUNT: VAHC

DEVTYP: DJ

DEVICE: 3244

MEAS: DISJ

POINT: R50A
POINT: R50B
POINT: R50C
POINT: R51N
POINT: R51A
POINT: R51B
POINT: R51C
POINT: R51N
POINT: 62BF
POINT: FREL
POINT: FCOM
POINT: 79CO
POINT: KOUT
POINT: 79
CTRL:DESBLOQUEIA
CTRL: BLOQUEIA
POINT:SBAB
POINT: INSE
POINT: LRCH
POINT: EST
CTRL: ABRIR
CTRL: FECHAR
POINT: RESET
CTRL:REARME
ANALOG: INTA

ANALOG: INTB
ANALOG: INTC
COUNT: NOPE

No exemplo pode-se observar que sob o registro MEAS MLDA estão configuradas grandezas analógicas relativas ao alimentador Caribu. As grandezas são as seguintes: correntes (IFA, IFB e IFC), tensões (KVAB, KVBC e KVCA), potências (MWA, MWB, MWC, MW, VARA, VARB, VARC e MVAR), fator de potência (FP) e energias (MWH, VARH e VAHC). Sob o registro MEAS DISJ estão os pontos relativos às proteções do alimentador (por exemplo, R50A, R51N, 62BF, etc), pontos indicativos de bloqueios de equipamentos (79CO), falhas de comunicação (FCOM), pontos telecomandáveis (79 – bloqueio do religamento, LRCH – chave Local/Remoto e RESET – reset remoto do equipamento de supervisão, controle e proteção), além de outros dados analógicos.

Apêndice D

FUNÇÕES DE PROTEÇÃO (NUMERAÇÃO ANSI)

Tabela D.1 – Numeração ANSI

Função ANSI	Descrição
2	Temporizador
21	Proteção de Distância
25	Verificação de Sincronismo
27	Proteção de Subtensão
30	Anunciador de Alarmes
32	Proteção Direcional de Potência
37	Proteção de Subcorrente ou Subpotência
38	Proteção de temperatura de enrolamentos
40	Proteção dos enrolamentos de Campo
46	Proteção de Sequência Negativa
47	Proteção de Sequência de Fase de Tensão
49	Proteção de Temperatura
50	Proteção de Sobrecorrente Instantânea
51	Proteção de Sobrecorrente Temporizada
59	Proteção de Sobretensão
60	Proteção de desbalanço de tensão ou corrente
63	Proteção de Gás (Buchholz)
64	Proteção de Terra
67	Proteção de Sobrecorrente Direcional
68	Bloqueio de Disparo (Teleproteção)
69	Dispositivo de controle permissivo
74	Alarme
76	Proteção de sobrecorrente contínua
79	Religamento
81	Proteção de Frequência
85	Teleproteção
86	Relé de Disparo e Bloqueio
87	Proteção Diferencial
94	Relé auxiliar de Disparo