

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE CAMPINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTIMAÇÃO ESTÁTICA DE ESTADO EM
SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Ariovaldo Verandio Garcia

42 / 80

Orientador: Alcir José Monticelli

Tese de Doutorado apresentada a
Faculdade de Engenharia de Campi-
nas - UNICAMP. Janeiro/81.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

DEDICATÓRIA

A Arlete

Janaina

Lucila

AGRADECIMENTOS

A Alcir José Monticelli pelo incentivo e orientação,

aos colegas do Grupo de Sistemas de Energia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Campinas pelo apoio,

aos pesquisadores do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - (CEPEL) pelas sugestões e discussões e

as Sras. Olga Regina S.S. Morales e Maria Júlia Dini Fray pelo trabalho datilográfico,

desejo expressar meus agradecimentos.

R E S U M O

Neste trabalho estudam-se diversos tópicos em estimção estática de estado. São apresentadas duas categorias de estimador por mínimos quadrados ponderados: clássico e desacoplado (4 versões). Os tópicos estudados são: processamento (detecção, identificação e supressão) de medidas com erros grosseiros; estimação dos taps (derivações de transformadores) controlados automaticamente; combinação de sistemas separadamente observáveis; processamento de informações exatas (determinísticas); compensação de ligações com baixas relações X/R (para os estimadores desacoplados).

São apresentados resultados obtidos com diversas redes-teste e com a rede FURNAS-66.

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio técnico e financeiro do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (DPST).

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO	001
----------------------	-----

CAPÍTULO 2

2 - ESTIMAÇÃO ESTÁTICA DE ESTADO POR MÍNIMOS QUADRADOS ..	004
2.1 - Método dos mínimos quadrados ponderados - clássi co (WLS)	005
2.2 - Detecção e identificação de medidas com erros grosseiros	007
2.2.1 - Detecção de medidas com erros grossei ros	007
2.2.2 - Identificação de medidas com erros gros seiros	009
2.3 - Estimadores desacoplados rápidos	016
2.4 - Detecção e identificação desacopladas	028
2.5 - Comentários sobre a linearização	029
2.5.1 - Testes e resultados	033

CAPÍTULO 3

3 - TRATAMENTO PÓS-IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS	036
3.1 - Recuperação de medidas	037
3.1.1 - Cálculo das pseudo-medidas	037
3.1.2 - Comentários sobre a implementação	039
3.1.3 - Testes	041

CAPÍTULO 4

4 - ESTIMAÇÃO DE TAPS	045
4.1 - Estimação dos taps controlados automaticamente.	046
4.2 - Testes e resultados	050

CAPÍTULO 5

5 - COMBINAÇÃO DE SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS	060
5.1 - Ilhas observáveis e não-observáveis	060
5.2 - Sistemas separadamente observáveis	061
5.3 - Medidas de tensão e observabilidade	065
5.4 - Condições suficientes de observabilidade	067
5.5 - Combinação de sistemas separadamente observáveis	068
5.6 - Sistemas com várias medidas de tensão	072
5.7 - Exemplo - Sistema FURNAS-66	076

CAPÍTULO 6

6 - PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES EXATAS	084
6.1 - Pseudo-medidas de injeção	084
6.2 - Método das restrições de igualdade	085
6.3 - Método das ponderações moderadamente elevadas ...	086
6.4 - Testes e resultados	087
6.4.1 - Teste com o sistema IEEE-14	087
6.4.2 - Teste com o sistema FURNAS-66	091

CAPÍTULO 7

7 - COMPENSAÇÃO DE LIGAÇÕES COM BAIXAS RELAÇÕES X/R	094
---	-----

7.1 - Efeito das relações X/R das ligações sobre a <u>con</u> vergência de estimadores desacoplados	094
7.2 - Método de compensação	095
7.3 - Teste com o sistema IEEE-14	097

CAPÍTULO 8

8 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	103
------------------------------------	-----

REFERÊNCIAS	106
-------------------	-----

APÊNDICE A

A - ANÁLISE LINEARIZADA	110
A.1 - Introdução	110
A.2 - Erro de estimação	111
A.3 - Resíduo de estimação	113
A.4 - Índice $J(\hat{x})$	114
A.5 - Diferença entre o valor medido e o estimado ...	115

APÊNDICE B

B - SAÍDA DO PROGRAMA PARA UM TESTE COM O SISTEMA FURNAS- 66	117
---	-----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A realização de funções avançadas de controle em tempo real em sistemas de energia elétrica, através de um centro de controle, está condicionada à formação de um banco de dados que contenha informações sobre a configuração, sobre os parâmetros e sobre o estado (magnitudes e ângulos das tensões nodais) atual do sistema. Os parâmetros, que são as resistências, as reatâncias, as capacitâncias e os taps (derivações) fixos de transformadores, são conhecidos de antemão ao passo que a configuração, que depende de informações lógicas (ligado/desligado), e o estado do sistema podem variar de instante a instante. É essencial, portanto, a existência de algoritmos que determinem a configuração (configurador) e o estado (estimador) do sistema.

Neste trabalho estudam-se diversos tópicos em estimação de estado, abordando a solução do problema de mínimos quadrados ponderados pelo método clássico e pelo método desacoplado, o processamento de erros grosseiros (detecção, identificação e eliminação de medidas com erros grosseiros), a estimação de taps controlados automaticamente, a combinação de sistemas separadamente observáveis em um único sistema observável, o processamento de informações (medidas) exatas (determinísticas). É discutido ainda um problema relacionado com os estimadores desacoplados, que é a compensação de ligações com baixas relações X/R.

No capítulo 2 apresenta-se a solução do problema de mínimos quadrados ponderados pelos métodos clássico, desacoplado no modelo (2 versões) e desacoplado no algoritmo (2 versões). Apresenta-se ainda a detecção e identificação de medidas com erros grosseiros e comenta-se a linearização a ser utilizada nas versões desacopladas.

No Capítulo 3 é apresentado um procedimento para eliminarem-se as medidas com erros grosseiros, através da geração de pseudo-medidas (recuperação de medidas).

No Capítulo 4 trata-se do problema da estimação de taps controlados automaticamente.

No Capítulo 5 apresenta-se uma maneira de se combinarem sistemas separadamente observáveis para formar um único sistema observável e estuda-se, ainda, a influência das medidas de tensão (magnitude) na observabilidade.

No Capítulo 6 é apresentado um procedimento para que as informações exatas sejam processadas, através do uso de ponderações elevadas.

No Capítulo 7 adapta-se o método de compensação de ligações com baixas relações X/R, desenvolvido inicialmente para o cálculo de fluxo de carga pelo método desacoplado, para a estimação de estado.

No Apêndice A são obtidas as relações entre os diversos vetores aleatórios envolvidos no processo de estimação como também suas matrizes de covariância.

No Apêndice B está mostrada a saída completa de uma versão (desacoplado no modelo) do programa de estimação de estado, para um teste com erros grosseiros realizado com o sistema FURNAS 66.

Todos os cálculos foram efetuados num computador PDP-10, do Centro de Computação da UNICAMP.

CAPÍTULO 2

ESTIMAÇÃO ESTÁTICA DE ESTADO POR MÍNIMOS QUADRADOS

A supervisão e o controle em tempo-real de sistemas elétricos de potência necessitam do conhecimento de diversas grandezas do sistema como, por exemplo, fluxos de potência ativa e reativa em linhas, magnitude e ângulo das tensões nas barras, etc.... Algumas destas grandezas não são medidas diretamente no sistema, e mesmo as que o são podem conter erros inaceitáveis, comumente chamados de erros grosseiros. Nos sistemas de medição atualmente instalados ou em instalação, a situação mais comum é o número de medidas ser maior que o mínimo necessário para se determinar o estado do sistema (magnitude e ângulo das tensões das barras), o que sugere um processo de filtragem para se determinar o estado mais provável (estimativa). A redundância existente pode permitir, ainda, a detecção e a identificação de medidas com erros grosseiros. Assim sendo, as grandezas calculadas com o estado estimado (estimativa), são mais confiáveis, inclusive, que os valores medidos.

Usualmente as medidas realizadas são: fluxos de potência em linhas (ativa e reativa), injeção de potência ativa e reativa em barras, tensões (magnitudes) nas barras. O algoritmo do estimador de estado tem por objetivo determinar as magnitudes das tensões bem como os ângulos nas barras, a partir de um conjunto de medidas realizadas na parte observável do sistema.

Conhecido o estado, todas as demais grandezas de interesse podem ser determinadas.

2.1 - Método dos Mínimos Quadrados Ponderados - Clássico (WLS) |1|

O conjunto de medidas, o estado verdadeiro, e os erros de medição estão relacionados através de uma expressão não linear do tipo:

$$\underline{z} = \underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} \quad (2.1)$$

onde:

- \underline{z} - vetor de medidas (mx1)
- $\underline{h}(\)$ - vetor de funções não lineares (mx1)
- \underline{x}_v - vetor do estado verdadeiro (nx1)
- \underline{w} - vetor dos erros de medidas (mx1)
- m - número de medidas
- n - número de variáveis de estado

É bom frisar que \underline{w} representa apenas os erros de medição. Não estão sendo considerados, neste estágio, erros nos parâmetros do modelo do sistema de potência.

O estado estimado (\hat{x}) é determinado de tal forma a minimizar a função:

$$J(\underline{x}) = [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x})]^t W [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x})] \quad (2.2)$$

onde W é uma matriz de ponderações dada pela inversa da matriz covariância dos erros de medidas:

$$W = E [\underline{w} \underline{w}^t]^{-1} \quad , \quad (2.3)$$

e ainda t indica transposição e $E [\]$ é a esperança matemática.

O processo de obtenção de $\underline{\hat{x}}$ é baseado na recorrência:

$$G(\underline{x}^k) \underline{x}^{k+1} = [H^t(\underline{x}^k) W] [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x}^k)] \quad (2.4)$$

de onde se obtém a correção

$$\underline{x}^{k+1} = \underline{x}^k + \Delta \underline{x}^{k+1} \quad (2.5)$$

para $k=1,2,3, \dots$ até que seja obtida a convergência. Nesta expressão, a matriz jacobiana H e a matriz ganho G são:

$$H(\underline{x}^k) = \left. \frac{\partial \underline{h}}{\partial \underline{x}} \right|_{\underline{x}=\underline{x}^k} \quad (2.6)$$

e

$$G(\underline{x}^k) = H^t(\underline{x}^k) W H(\underline{x}^k) \quad (2.7)$$

A equação (2.4) normalmente é resolvida pela fatoração triangular da matriz G , utilizando-se técnicas de esparsidade. Em testes com sistemas reais verifica-se que a matriz G varia pouco durante o processo iterativo, o que torna possível a utilização dos mesmos fatores triangulares durante duas ou mais iterações reduzindo-se desta forma o trabalho de construção e fatoração da matriz G .

2.2 Detecção e Identificação de Medidas com Erros Grosseiros [1]

A principal vantagem que se pode obter com a utilização da estimação de estado é melhorar a confiabilidade das estimativas, e isto só é possível através do processamento de medidas com erros grosseiros. Este processamento é feito em três etapas: detecção, identificação e eliminação do efeito de medidas com erros grosseiros. As duas primeiras serão estudadas nesta seção. A última será analisada no Capítulo 3.

2.2.1 Detecção de Medidas com Erros Grosseiros

Se os erros de medida \underline{w} forem não correlatos, o que em geral é válido (hipótese esta geralmente feita) a matriz de ponderações W é diagonal:

$$W = E [\underline{w} \underline{w}^t]^{-1} = \text{diag} [1/\sigma_1^2, 1/\sigma_2^2 \dots 1/\sigma_m^2] \quad (2.8)$$

onde σ_i^2 é a variância da medida i . Logo, a função $J(\underline{x})$, que passará a ser chamada de índice $J(\underline{x})$, pode ser escrita como:

$$J(\underline{x}) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{z_i - h_i(\underline{x})}{\sigma_i} \right)^2 \quad (2.9)$$

onde z_i e $h_i(\underline{x})$ são as componentes i dos vetores \underline{z} e $\underline{h}(\underline{x})$.

É possível mostrar (ver apêndice A) que se a média dos erros de medida for nula, o que significa dizer que se não exis

tirem medidas com erros grosseiros, o índice $J(\underline{x})$ calculado para o estado estimado $\hat{\underline{x}}$ é uma variável aleatória com distribuição aproximadamente igual à distribuição χ^2 (qui-quadrado) com número de graus de liberdade igual à diferença entre o número de medidas (m) e o número de variáveis de estado (n). Chamando de G_ℓ esta diferença, tem-se

$$G_\ell = m - n. \quad (2.10)$$

Como se sabe, uma distribuição χ^2 com G_ℓ graus de liberdade tem média igual a G_ℓ e variância igual a $2 G_\ell$. Se G_ℓ assume valores maiores que 30, a distribuição χ^2 se aproxima de uma distribuição normal da mesma média e variância. Em sistemas de potência é comum o caso em que $G_\ell > 30$.

Anteriormente foi mencionado que se não existirem erros grosseiros então $J(\hat{\underline{x}})$ tem distribuição χ^2 com G_ℓ graus de liberdade. A detecção de medidas com erros grosseiros será feita testando esta hipótese. Após a convergência do processo iterativo, que fornece o estado estimado $\hat{\underline{x}}$, calcula-se $J(\hat{\underline{x}})$ segundo (2.2) ou (2.9). Compara-se este valor com um parâmetro λ , previamente calculado, baseado na distribuição χ^2 com G_ℓ graus de liberdade. Dependendo do resultado desta comparação, a hipótese é aceita ou rejeitada. Se,

$$J(\hat{\underline{x}}) > \lambda \quad \text{rejeita-se a hipótese,}$$

e se

$J(\hat{x}) < \lambda$ aceita-se a hipótese.

O valor de λ é determinado fixando-se a probabilidade p de se tomar a seguinte decisão errada: rejeitar a hipótese e ela ser válida.

Por exemplo, na figura 2.1, mostra-se uma distribuição χ^2 com $G_\ell = 50$ e o valor de λ para $p = 2,3\%$, o que dá $\lambda \approx 70$. A probabilidade p é a probabilidade de uma variável aleatória distribuída segundo χ^2 com 50 graus de liberdade tomar valores maiores que 70.

A probabilidade de se tomar outro tipo de decisão errada, ou seja, aceitar a hipótese sendo ela não válida, não é de cálculo simples, pois envolve a probabilidade de ocorrerem erros grosseiros e também os tipos de erros que podem ocorrer.

Dependendo do resultado da detecção, dois caminhos podem ser seguidos: se não existirem erros grosseiros, o processo de estimação de estado está encerrado; se existirem, estes devem ser identificados e eliminados do conjunto de medidas para finalmente se estimar o estado na ausência de erros grosseiros, como será visto a seguir.

2.2.2 Identificação de Medidas com Erros Grosseiros

O algoritmo desenvolvido para identificar as medidas

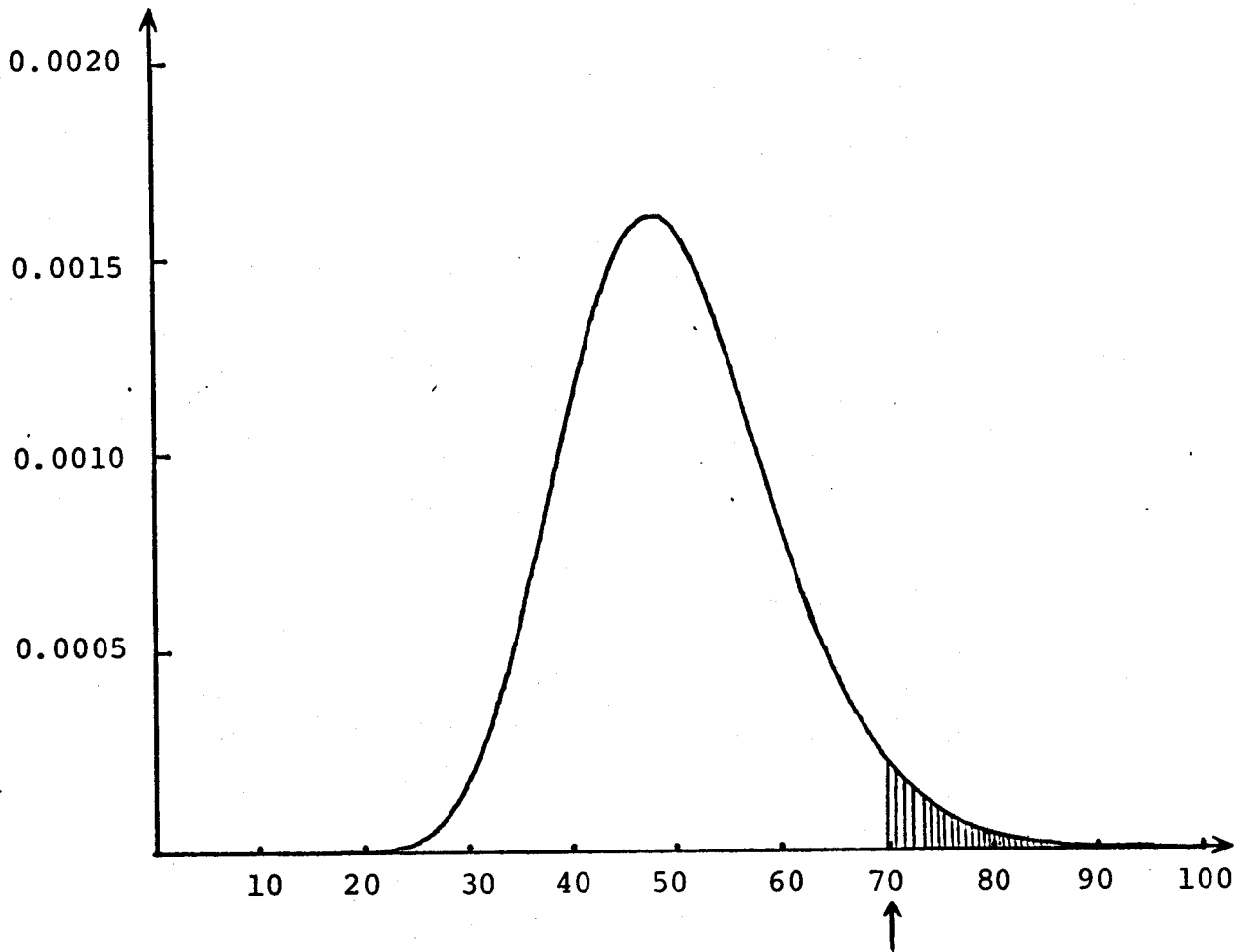


Figura 2.1 : Distribuição χ^2 com 50 graus de liberdade.

com erros grosseiros é baseado nos resíduos normalizados. Estes resíduos estão definidos no apêndice A. O algoritmo identifica uma medida com erro grosseiro por vez. Se houver mais de um erro, o processo de detecção e identificação é repetido até a obtenção do estado estimado sem medidas com erros grosseiros.

Quando existirem erros grosseiros nas medidas, pode-se colocar a equação (2.1) na forma:

$$\underline{z} = \underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} + \underline{b} \quad (2.11)$$

onde \underline{w} continua com o mesmo significado e o vetor \underline{b} , determinístico, representa os erros grosseiros. Considere-se que exista somente uma medida com erro grosseiro por exemplo, a medida j . O vetor \underline{b} neste caso será:

$$\underline{b} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ \beta_j \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \leftarrow \text{linha } j \quad (2.12)$$

onde β_j é a magnitude do erro grosseiro na medida j .

No Apêndice A definiu-se o vetor resíduo de estimação \underline{r} como a diferença entre o valor medido e o valor estimado das medidas, e mostrou-se que:

$$\begin{aligned} \underline{r} &= \underline{z} - \underline{h}(\hat{\underline{x}}) \\ &= \Gamma \underline{w} \end{aligned} \quad (2.13)$$

onde

$$\Gamma = \mathbb{1} - H \text{cov}(\Delta \underline{x}) H^T W \quad (2.14)$$

e ainda $\mathbb{1}$ é a matriz identidade.

Logo, o valor médio de \underline{r} , representado por $\bar{\underline{r}}$, será:

$$\bar{\underline{r}} = \Gamma (\bar{\underline{w}} + \underline{b}) \quad (2.15)$$

que é igual a:

$$\bar{\underline{r}} = \Gamma \underline{b} \quad (2.16)$$

pois $\bar{\underline{w}} = \underline{0}$, por hipótese.

Como as componentes do vetor \underline{b} são nulas à exceção da linha j , o valor médio $\bar{\underline{r}}$ será:

$$\begin{aligned} \bar{\underline{r}} &= \beta_j \cdot \begin{bmatrix} \text{coluna } j \text{ da matriz} \\ \Gamma \end{bmatrix} \\ &= \beta_j \cdot \begin{bmatrix} \gamma_{1j} \\ \gamma_{2j} \\ \vdots \\ \gamma_{mj} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.17)$$

No apêndice A foi obtida, ainda, a matriz covariância dos resíduos de estimação, denominada R ($R = W^{-1} - H \text{cov} \Delta \underline{x} H^t$). Desta matriz apenas os elementos da diagonal $\begin{pmatrix} 2 \\ \rho_{ii} \end{pmatrix}$, que são as variâncias, são calculados e são utilizados para norma-

lizar os resíduos. Mostra-se |2|, |3|, que o cálculo da diagonal de R pode ser feito de uma maneira muito eficiente se for utilizada a técnica Z_{Barra}-esparsa. Dividindo cada r_i pelo seu desvio padrão ρ_{ii} e chamando esta nova variável aleatória de resíduo normalizado (r_i^N) tem-se:

$$r_i^N = \frac{r_i}{\rho_{ii}} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.18)$$

Os resíduos normalizados \underline{r}^N tem variância unitária e média igual a (ver equação 2.17):

$$\bar{r}_i^N = \frac{\gamma_{ij}}{\rho_{ii}} \cdot \beta_j \quad (2.19)$$

É fácil verificar (Apêndice A) que as matrizes Γ e R estão relacionadas por:

$$\Gamma = R.W, \quad (2.20)$$

Como W é diagonal, tem-se:

$$\rho_{ii}^2 = \sigma_i^2 \cdot \gamma_{ii} \quad (2.21)$$

logo, a expressão (2.19) fica

$$\bar{r}_i^N = \frac{\gamma_{ij} \cdot \beta_j}{\sqrt{\gamma_{ii}} \cdot \sigma_i} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.22)$$

Este resultado é importante para a identificação de medidas com erros grosseiros. Como as variâncias dos resíduos

normalizados são todas iguais e unitárias, suas distribuições de probabilidade diferem apenas no que se refere às médias. Na figura 2.2 estão mostradas diversas distribuições normais com mesma variância e médias diferentes.

É fácil verificar ainda |2| que se houver redundância suficiente, os termos da diagonal de Γ são dominantes, ou seja:

$$| \gamma_{ii} | > | \gamma_{ij} | \quad ; \quad j \neq i \quad (2.23)$$

logo, na equação (2.22), verifica-se que devido ao fato do erro grosseiro estar na medida j , a média \bar{r}_j^N será maior que as de mais, e valerá:

$$\bar{r}_j^N = \sqrt{\gamma_{jj}} \cdot \frac{\beta_j}{\sigma_j} ; \quad (2.24)$$

ou ainda se forem normalizados todos os resíduos, aquele que tiver o maior valor, em módulo, tem grande possibilidade de ser o resíduo normalizado da medida com erro grosseiro. Uma abordagem mais detalhada deste procedimento está na referência |2| .

Após a identificação , é necessário eliminar o efeito da medida com erro grosseiro, o que será apresentado no Capítulo 3 deste trabalho.

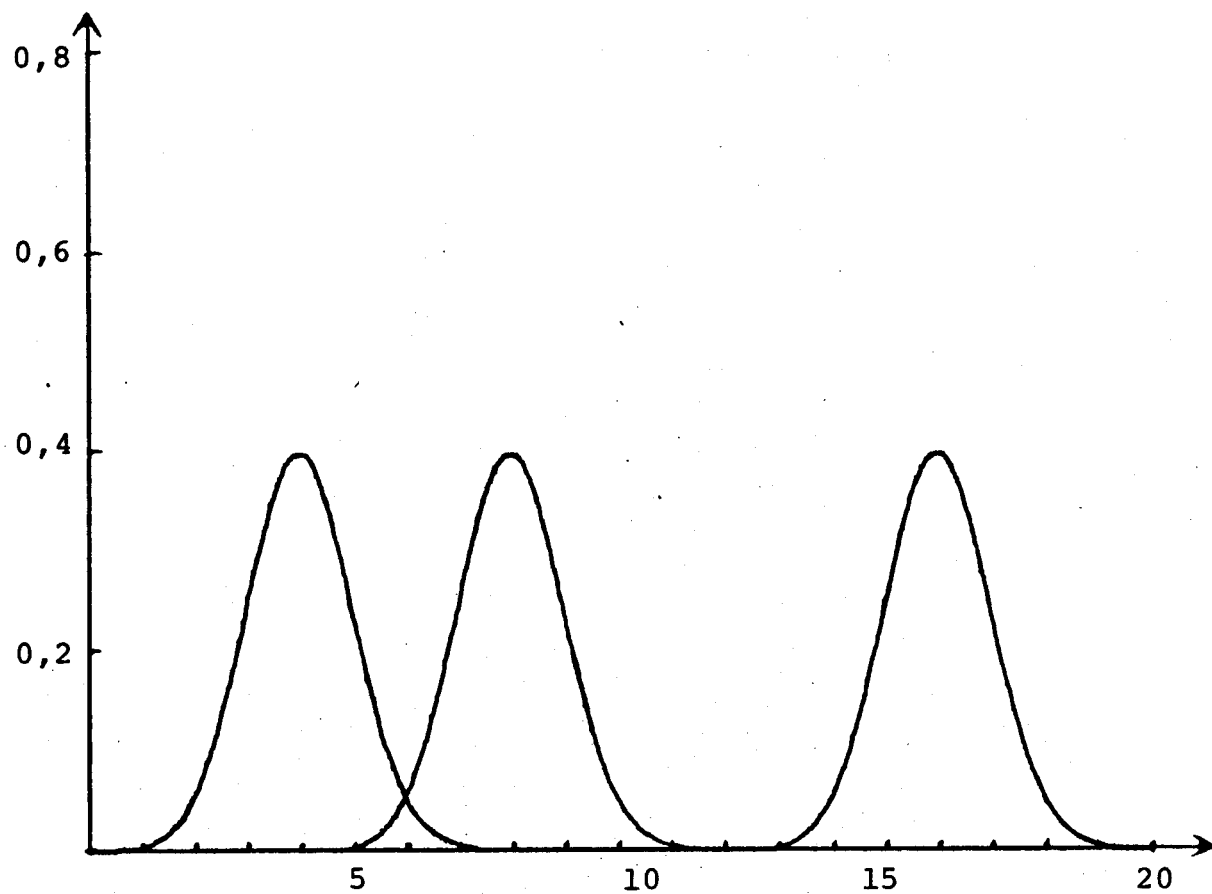


Figura 2.2 : Distribuições normais com mesma variância (unitária) e médias diferentes. As médias são: 4; 8 e 16.

2.3 Estimadores Desacoplados Rápidos | 1 |

Os estimadores desacoplados rápidos são obtidos introduzindo-se na recorrência (2.4) as mesmas aproximações feitas na obtenção do fluxo de carga desacoplado rápido. Estes estimadores apresentam algumas versões que são mais rápidas, mais simples e tão confiáveis quanto o estimador convencional por mínimos quadrados, apresentado na seção anterior. As duas principais características dos estimadores desacoplados rápidos são:

- desacoplamento ativo/reativo;
- uso de matrizes constantes (G e/ou H) ,

que são funções apenas das admitâncias dos circuitos.

Na recorrência (2.4), podem ser feitas aproximações tanto no lado direito (matriz ganho-G) quanto do lado esquerdo (matriz jacobiana H). Aproximações em G, afetam apenas a convergência do processo iterativo, sem alterar o ponto final de solução. Aproximações em H provocam alterações no ponto final da solução, alterações estas que podem ser desprezíveis se o nível de tensão do sistema em que se está trabalhando for alto (EAT e UAT por exemplo). Note-se que normalmente o estimador de estado é projetado para trabalhar na parte de alta tensão do sistema.

O vetor de estado \underline{x} é definido como segue:

$$\underline{x} = \begin{array}{|c|} \hline \underline{\theta} \\ \hline \underline{v} \\ \hline \end{array} \quad (2.25)$$

sendo $\underline{\theta}$ o vetor dos ângulos das tensões das barras e \underline{V} o vetor das magnitudes das mesmas. Este vetor \underline{x} pode ser estendido para incluir parâmetros como, por exemplo, relações de transformações de transformadores para os quais estas variáveis são ajustadas automaticamente durante a operação do sistema. Isto será apresentado em um capítulo posterior.

O vetor de medidas \underline{z} pode ser colocado na forma:

$$\underline{z} = \begin{bmatrix} \underline{T}^{\text{med}} \\ \underline{P}^{\text{med}} \\ \underline{U}^{\text{med}} \\ \underline{Q}^{\text{med}} \\ \underline{V}^{\text{med}} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

onde "med" significa medida e as componentes são

$\underline{T}_i^{\text{med}} = P_{k\ell}$: fluxo de potência ativa da barra k para ℓ ;

$\underline{P}_i^{\text{med}}$: injeção de potência ativa na barra k;

$\underline{U}_i^{\text{med}} = Q_{k\ell}$: fluxo de potência reativa da barra k para ℓ ;

$\underline{Q}_i^{\text{med}}$: injeção de potência reativa na barra k;

$\underline{V}_i^{\text{med}}$: magnitude da tensão na barra k.

O vetor \underline{z} pode ser alterado para introduzir outras medidas como, por exemplo, derivações de transformadores.

Considerando-se as definições de \underline{x} e \underline{z} dadas pelas equações (2.25) e (2.26) a matriz jacobiana (2.6) pode ser posta na forma:

$$H(\underline{\theta}, \underline{V}) = \begin{array}{|c|c|} \hline H_{11} & H_{12} \\ \hline H_{21} & H_{22} \\ \hline \end{array} \quad (2.27)$$

onde tem-se:

H_{11} - derivadas das variáveis correspondentes às medidas "ativas" (T e P) em relação a $\underline{\theta}$;

H_{21} - derivadas das variáveis correspondentes às medidas "reativas" (U, Q e V) em relação a $\underline{\theta}$;

H_{12} - derivadas das variáveis correspondentes às medidas "ativas" em relação a \underline{V} ;

H_{22} - derivadas das variáveis correspondentes às medidas "reativas" em relação a \underline{V} .

As expressões detalhadas dos elementos das submatrizes H_{11} , H_{12} , H_{21} e H_{22} podem ser encontradas na referência [2] .

A matriz de ponderações W pode ser decomposta da maneira que segue, explicitando-se as ponderações W_1 e W_2 que correspondem, respectivamente, às medidas "ativas" e "reativas":

$$W = \begin{array}{|c|c|} \hline W_1 & 0 \\ \hline 0 & W_2 \\ \hline \end{array} \quad (2.28)$$

A matriz ganho, definida pela expressão (2.7) pode ser posta na forma:

$$G(\underline{\theta}, \underline{V}) = \begin{array}{|c|c|} \hline G_{P\theta} & G_{PV} \\ \hline G_{Q\theta} & G_{QV} \\ \hline \end{array} \quad (2.29)$$

onde

$$\begin{aligned} G_{P\theta} &= H_{11}^t W_1 H_{11} + H_{21}^t W_2 H_{21} \\ G_{PV} &= H_{11}^t W_1 H_{12} + H_{21}^t W_2 H_{22} \\ G_{Q\theta} &= H_{12}^t W_1 H_{11} + H_{22}^t W_2 H_{21} \\ G_{QV} &= H_{12}^t W_1 H_{12} + H_{22}^t W_2 H_{22} \end{aligned} \quad (2.30)$$

Existem duas categorias principais de estimadores desacoplados que são obtidos conforme o desacoplamento seja aplicado somente na matriz ganho G , ou também na matriz Jacobiana H . No primeiro caso, altera-se somente o lado esquerdo da equação (2.4) que é repetida aqui;

$$G(\underline{x}^k) \Delta \underline{x}^{k+1} = H^t(\underline{x}^k) W [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x}^k)] \quad (2.4)$$

sendo que no segundo, altera-se também o lado direito de (2.4).

Em ambos os casos a matriz ganho G será do tipo:

$$G = \begin{array}{|c|c|} \hline G_{P\theta} & 0 \\ \hline 0 & G_{QV} \\ \hline \end{array} \quad (2.31)$$

Introduzindo esta matriz ganho na equação (2.4) e, ainda, forçando que as correções $\Delta \underline{V}^{k+1}$ sejam obtidas com os valores atualizados dos ângulos ($\underline{\theta}^{k+1}$) tem-se o algoritmo para os estimadores desacoplados:

$$G_{P\theta} \cdot \Delta \underline{\theta}^{k+1} = \Delta \underline{A}(\underline{\theta}^k, \underline{V}^k) \quad (2.32.a)$$

$$G_{QV} \cdot \Delta \underline{V}^{k+1} = \Delta \underline{R}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{V}^k) \quad (2.32.b)$$

onde $\Delta \underline{A}$ e $\Delta \underline{R}$ são vetores obtidos a partir do lado direito da equação (2.4).

As aproximações que podem ser realizadas na matriz G para a obtenção do estimador desacoplado são:

1. fazer $V=1$ pu e $\theta=0^\circ$ e desprezar as resistências do circuito no cálculo de H_{21} e H_{12} ;
2. fazer apenas $V=1$ pu e $\theta = 0^\circ$.

Em ambos os casos as matrizes G_{PV} e $G_{Q\theta}$ definidas em (2.30) são nulas. Porém, para o primeiro caso, as matrizes $G_{P\theta}$ e G_{QV} são dadas por:

$$G_{P\theta} = H_{11}^t W_1 H_{11} \quad (2.33.a)$$

$$G_{QV} = H_{22}^t W_2 H_{22}, \quad (2.33.b)$$

e no segundo caso:

$$G_{P\theta} = H_{11}^t W_1 H_{11} + H_{21}^t W_2 H_{21} \quad (2.34.a)$$

$$G_{QV} = H_{12}^t W_1 H_{12} + H_{22}^t W_2 H_{22} \quad (2.34.b)$$

sendo H_{ij} calculados para $V = 1$ pu e $\theta = 0^\circ$.

Portanto, quanto ao tipo de aproximação efetuada na matriz G , tem-se dois estimadores desacoplados distintos.

Quanto ao lado direito das equações (2.32) os vetores $\underline{\Delta A}$ e $\underline{\Delta R}$ são dados por:

$$\underline{\Delta A} = \begin{bmatrix} H_{11}^t & H_{21}^t \end{bmatrix} W [\underline{z} - \underline{h}(\underline{\theta}^k, \underline{v}^k)] \quad (2.35)$$

$$\underline{\Delta R} = \begin{bmatrix} H_{12}^t & H_{22}^t \end{bmatrix} W [\underline{z} - \underline{h}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{v}^k)]$$

As aproximações nestes vetores $\underline{\Delta A}$ e $\underline{\Delta R}$ são efetuadas nas matrizes H_{11} , H_{12} , H_{21} e H_{22} . Tem-se dois casos:

- 1 - não são feitas aproximações nestas matrizes e elas são recalculadas a cada passo;

2 - calculam-se as matrizes para $V = 1$ e $\theta = 0^\circ$, desprezando-se as resistências do circuito e estas matrizes são mantidas constantes durante todo o processo iterativo.

No segundo caso, as matrizes H_{12} e H_{21} se tornam nulas e, portanto, os vetores $\Delta \underline{A}$ e $\Delta \underline{R}$ ficam sendo dados por:

$$\Delta \underline{A} = \begin{bmatrix} H_{11}^t \end{bmatrix} \cdot W_1 \cdot \begin{bmatrix} \underline{T}^{\text{med}} - \underline{T}(\underline{\theta}^k, \underline{v}^k) \\ \underline{P}^{\text{med}} - \underline{P}(\underline{\theta}^k, \underline{v}^k) \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

$$\Delta \underline{R} = \begin{bmatrix} H_{22}^t \end{bmatrix} \cdot W_2 \cdot \begin{bmatrix} \underline{U}^{\text{med}} - \underline{U}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{v}^k) \\ \underline{Q}^{\text{med}} - \underline{Q}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{v}^k) \\ \underline{v}^{\text{med}} - \underline{v}^k \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Com relação a aproximação em $\Delta \underline{A}$ e $\Delta \underline{R}$ tem-se também dois tipos de estimadores desacoplados. No todo, considerando as aproximações em G , tem-se quatro versões de estimadores desacoplados. Em diversos testes realizados, verifica-se que duas destas quatro versões se sobressaem e que serão chamadas aqui de versão desacoplado no modelo e versão desacoplado no algoritmo.

A versão desacoplado no modelo é obtida fazendo-se $V = 1$ e $\theta = 0^\circ$ e desprezando-se as resistências no cálculo de H_{12} e H_{21} em ambos os lados da equação (2.4).

A versão desacoplado no algoritmo é obtida fazendo-se $V=1$ e $\theta = 0^{\circ}$ na matriz G e não se alterando os vetores $\Delta\underline{A}$ e $\Delta\underline{R}$.

As recorrências para cada versão são apresentadas a seguir:

Recorrência da versão desacoplado no modelo

$$\left. \begin{array}{l} \text{meia} \\ \text{iteração} \\ \text{P-}\theta \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \boxed{G_{P\theta}} \cdot \underline{\Delta\theta}^{k+1} = \boxed{H_{11}^t} \cdot W_1 \cdot \begin{array}{l} \underline{T}^{\text{med}} - \underline{T}(\theta^k, \underline{V}^k) \\ \underline{P}^{\text{med}} - \underline{P}(\theta^k, \underline{V}^k) \end{array} \\ \\ \underline{\theta}^{k+1} = \underline{\theta}^k + \underline{\Delta\theta}^{k+1} \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{meia} \\ \text{iteração} \\ \text{Q-V} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \boxed{G_{QV}} \cdot \underline{\Delta V}^{k+1} = \boxed{H_{22}^t} \cdot W_2 \cdot \begin{array}{l} \underline{U}^{\text{med}} - \underline{U}(\theta^{k+1}, \underline{V}^k) \\ \underline{Q}^{\text{med}} - \underline{Q}(\theta^{k+1}, \underline{V}^k) \\ \underline{V}^{\text{med}} - \underline{V}^k \end{array} \\ \\ \underline{V}^{k+1} = \underline{V}^k + \underline{\Delta V}^{k+1} \end{array} \right.$$

com $G_{P\theta} = H_{11}^t \cdot W_1 \cdot H_{11}$

$G_{QV} = H_{22}^t \cdot W_2 \cdot H_{22}$

e H_{11} e H_{22} calculadas no início do processo iterativo, para $V=1$ pu e $\theta = 0^\circ$ e desprezando-se as resistências nestes cálculos.

Recorrência da versão desacoplado no algoritmo

$$\boxed{G_{P\theta}} \cdot \Delta \underline{\theta}^{k+1} = \begin{bmatrix} H_{11}^t(\underline{\theta}^k, \underline{V}^k) & H_{21}^t(\underline{\theta}^k, \underline{V}^k) \end{bmatrix} \cdot W \cdot \boxed{\underline{z} - \underline{h}(\underline{\theta}^k, \underline{V}^k)}$$

$$\underline{\theta}^{k+1} = \underline{\theta}^k + \Delta \underline{\theta}^{k+1}$$

$$\boxed{G_{QV}} \cdot \Delta \underline{V}^{k+1} = \begin{bmatrix} H_{12}^t(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{V}^k) & H_{22}^t(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{V}^k) \end{bmatrix} \cdot W \cdot \boxed{\underline{z} - \underline{h}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{V}^k)}$$

$$\underline{V}^{k+1} = \underline{V}^k + \Delta \underline{V}^{k+1}$$

com $G_{P\theta} = H_{11}^t W_1 H_{11} + H_{21}^t W_2 H_{21}$

$$G_{QV} = H_{12}^t W_1 H_{12} + H_{22}^t W_2 H_{22}$$

e H_{11} , H_{12} , H_{21} e H_{22} calculadas para $V = 1$ pu e $\theta = 0^\circ$, para a obtenção de $G_{P\theta}$ e G_{QV} . Notar que no lado direito desta recorrência, as matrizes H_{ij} são recalculadas para cada iteração.

Os resultados das versões desacopladas no modelo e no algoritmo são praticamente iguais aos do estimador clássico, no que se refere a solução final. Quando se compara as duas versões desacopladas, verifica-se que para tolerâncias de até 10^{-4} pu em ΔV e 10^{-4} radianos em $\Delta \theta$, o número de iterações necessárias para a obtenção da solução nas duas versões são também praticamente iguais. Para tolerâncias menores que 10^{-4} a versão desacoplado no algoritmo apresenta um desempenho melhor. Entretanto, como na prática não se exigem tolerâncias menores que 10^{-4} , a versão desacoplado no modelo deve ser preferida, devido à sua simplicidade. A tabela 2.1 mostra o número de iterações necessárias para a obtenção de solução para as três versões (modelo, algoritmo e clássico). Os resultados foram obtidos com um sistema teste de 5 barras e 7 linhas da referência |4|, com medidas de fluxo em todos os extremos das linhas, injeções e tensões (magnitudes) em todas as barras.

Os resultados da tabela 2.1 foram obtidos com as versões tais como foram apresentadas anteriormente. Em um item posterior neste capítulo, serão abordadas diversas linearizações possíveis para os estimadores desacoplados, quando então se verifica que para a versão desacoplado no modelo a presente linearização não é a que fornece melhores resultados, quanto ao número de iterações.

TOLERÂNCIA	VERSÃO		
	WLS	ALGORITMO	MODELO
10^{-2}	2,0	2,5	2,5
10^{-3}	3,0	3,5	3,5
10^{-4}	3,0	4,5	4,5
10^{-5}	4,0	5,0	6,0
10^{-6}	4,0	6,0	7,5

Tabela 2.1 : Número de iterações X tolerância para três versões: desacoplado no modelo, desacoplado no algoritmo e clássico (WLS).

2.4 - Detecção e Identificação Desacopladas |1,2|

O índice $J(\hat{\underline{x}})$, dado pela equação (2.2) pode ser separado em duas partes:

$$J(\hat{\underline{x}}) = J_A(\hat{\underline{x}}) + J_R(\hat{\underline{x}}) \quad (2.38)$$

onde $J_A(\hat{\underline{x}})$ é calculado para as variáveis "ativas" e $J_R(\hat{\underline{x}})$ é calculado para as variáveis "reativas".

Quando da realização do teste de hipótese descrito no item 2.2, se a conclusão for a de que existem erros grosseiros, pode-se fazer a comparação entre os valores de $J_A(\hat{\underline{x}})$ e $J_R(\hat{\underline{x}})$, da qual resultam três casos:

- 1 - $J_A(\hat{\underline{x}})$ é sensivelmente maior que $J_R(\hat{\underline{x}})$;
- 2 - $J_R(\hat{\underline{x}})$ é sensivelmente maior que $J_A(\hat{\underline{x}})$;
- 3 - $J_A(\hat{\underline{x}})$ e $J_R(\hat{\underline{x}})$ têm aproximadamente o mesmo valor.

No caso 1, a identificação deverá ser levada a efeito no conjunto de medidas "ativas". Note-se que isto não quer dizer que existam erros grosseiros somente na parte ativa. Uma vez identificada e eliminada uma medida com erros grosseiros, o pro

cesso de detecção será novamente ativado, com novos valores para $J_A(\hat{\underline{x}})$ e $J_R(\hat{\underline{x}})$.

No caso 2, vale o que foi dito para o caso 1, só que para a parte reativa.

No caso 3, não se pode precisar de imediato em que conjunto de medidas deve ser realizada a identificação. Todavia, um procedimento razoável é identificar no conjunto cujo índice seja maior.

A vantagem da detecção e identificação desacopladas reside no fato de, quando se estiver procurando o maior resíduo normalizado, esta busca ser feita somente para uma parte do conjunto de medidas, reduzindo o trabalho necessário para se identificar a medida com erros grosseiros.

Os resultados com detecção e identificação de medidas com erros grosseiros serão apresentados no Capítulo 3, que trata do problema da supressão das medidas com erros grosseiros.

2.5 - Comentários Sobre a Linearização | 5 |

Como foi mencionado anteriormente, diversas versões do estimador desacoplado podem ser obtidas conforme o tipo de aproximação realizada, pois pode-se considerar $V=1$ pu e $\theta = 0^\circ$ no

cálculo da matriz jacobiana H e, no cálculo da matriz ganho - (G = H^t W H), pode-se considerar ou não as resistências. Foi mencionado ainda que duas versões se sobressaíram, e foram chamadas de versão desacoplado no modelo e versão desacoplado no algoritmo.

Nesta seção serão discutidas três maneiras diferentes de se formar a matriz Jacobiana H e a matriz ganho G. Os três tipos de linearização são apresentados para o fluxo de potência ativa em linhas. Entretanto, o raciocínio pode ser estendido para injeções de potência ativa.

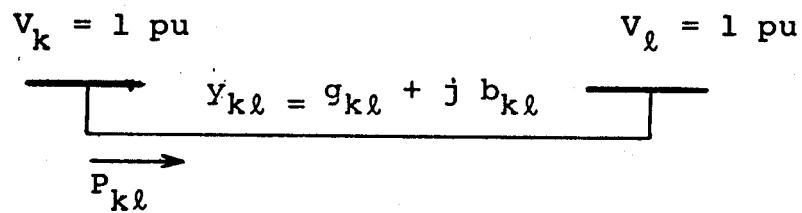
Na figura 2.3.b tem-se o fluxo P_{kl} em função de θ_{kl}, ou seja o fluxo de potência ativa em função da diferença angular na linha de transmissão, cujos parâmetros são indicados na figura 2.3.a. O fluxo P_{kl} em função de θ_{kl}, fazendo-se V_k=V_l=1 pu é :

$$P_{kl} = g_{kl} - g_{kl} \cos \theta_{kl} - b_{kl} \sin \theta_{kl} \quad (2.39)$$

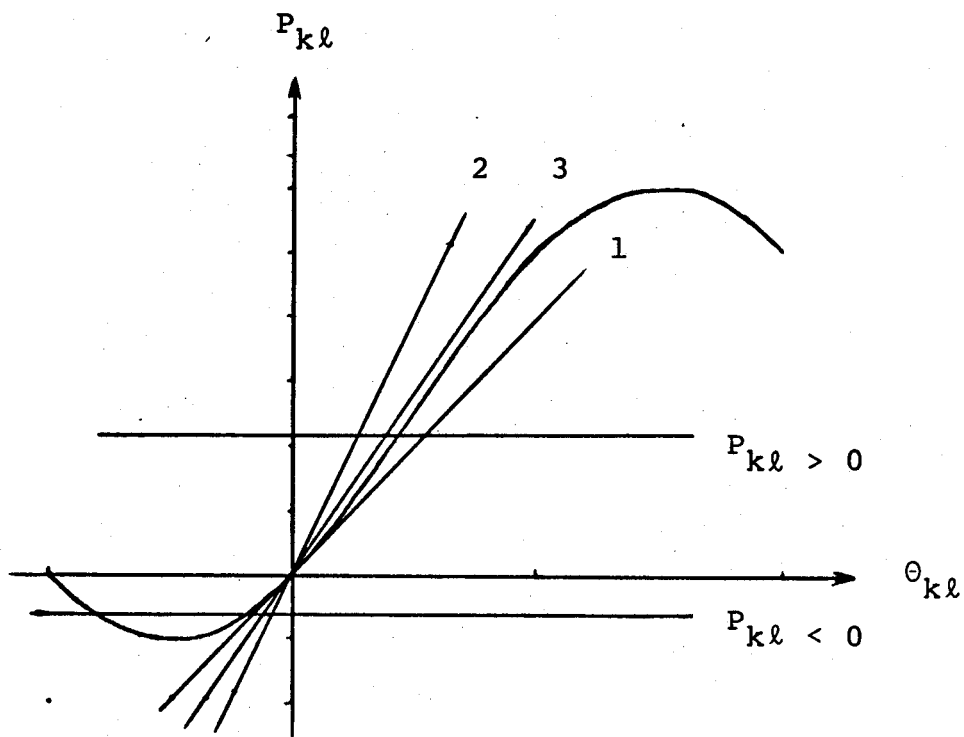
Podem ser considerados três tipos de linearização:

Linearização - 1

é obtida fazendo-se θ_{kl} = 0 na expressão de $\frac{\partial P_{kl}}{\partial \theta_{kl}}$:



(a)



(b)

Figura 2.3 : Diferentes maneiras de se realizar a linearização na obtenção da matriz Jacobiana (H).

$$P_{kl} = g_{kl} (1 - \cos \theta_{kl}) - b_{kl} \text{ sen } \theta_{kl}$$

$$\left. \frac{\partial P_{kl}}{\partial \theta_{kl}} \right|_{\theta_{kl}=0} = -b_{kl} = \frac{x_{kl}}{r_{kl}^2 + x_{kl}^2} \quad (2.40)$$

Linearização - 2

é obtida fazendo-se $r_{kl} = 0$ na expressão (2.40)

$$\left. \frac{\partial P_{kl}}{\partial \theta_{kl}} \right|_{\substack{\theta_{kl} = 0 \\ r_{kl} = 0}} = \frac{1}{x_{kl}} \quad (2.41)$$

Linearização - 3

é obtida calculando-se a inclinação no ponto de inflexão da curva $P_{kl}(\theta_{kl})$:

$$\left. \frac{\partial P_{kl}}{\partial \theta_{kl}} \right|_{\text{pto inflexão}} = \left| y_{kl} \right| = \frac{1}{\sqrt{r_{kl}^2 + x_{kl}^2}} \quad (2.42)$$

As vantagens relativas dos três tipos de aproximações lineares dependem de vários fatores, como pode ser observado na figura 2.3.b. Se a resistência r_{kl} da ligação for nula (ou então muito pequena em relação à reatância x_{kl}) as três lineariza

ções se equivalem. Se a resistência for considerável, a linearização-1 dará melhores resultados se $P_{k\ell}$ for negativo (valor especificado), mas será pouco confiável se $P_{k\ell}$ for positivo e poderá inclusive, apresentar problemas de convergência. A linearização - 2 evita os problemas que podem surgir com a linearização-1, no caso de $P_{k\ell}$ positivo, e é preferida em relação a esta no cálculo do fluxo de carga desacoplado rápido, como apresentado na referência | 6 | . A linearização-3 dá uma inclinação intermediária entre a linearização-1 e a linearização-2, como mostrado na figura 2.3.b.

Dependendo do tipo de linearização adotado, as matrizes H_{11} e G_{p0} , definidas no item 2.3 assumem valores distintos. Os testes efetuados com as três linearizações, para as duas versões do estimador desacoplado e para a versão clássica (WLS) são apresentados a seguir.

2.5.1 - Testes e Resultados

Para os testes, foram utilizadas 5 redes, que são denominadas:

- STAGG : rede de 5 barras e 7 linhas da referência | 4 | ;
- WHALE : rede de 6 barras e 7 linhas/transformadores da referência | 7 | ;
- IEEE14 : sistema teste de 14 barras e 20 linhas/transformadores | 8 | ;

IEEE 30 : sistema teste de 30 barras e 41 linhas /
transformadores | 8 | ;

FURNAS 66 : parte do sistema de FURNAS, com 66 barras
e 94 linhas/transformadores.

Na tabela 2.2 está mostrado o número de iterações para cada rede, para tolerância 10^{-3} em $\Delta\theta$ e ΔV , onde as linearizações 1, 2 e 3 são representadas por $-B$, $1/X$ e $|Y|$, respectivamente. Na versão modelo, as linearizações são realizadas em H_{11} equação (2.36) e $G_{p\theta}$ - equação (2.33.a) e na versão algoritmo as linearizações são realizadas somente em $G_{p\theta}$, dada pela equação (2.34.a).

Na tabela 2.2 verifica-se que a versão desacoplado no modelo com as linearizações 2 e 3 tem melhor desempenho que com a linearização 1, principalmente para os sistemas IEEE 14 e IEEE 30, que são sistemas de baixa relação X/R. Na versão desacoplado no algoritmo não se pode afirmar qual é a melhor linearização com estes testes.

VERSÃO							
REDE	WLS	MODELO			ALGORITMO		
		-B	1/X	Y	-B	1/X	Y
STAGG	3,0	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,0
WHALE	3,0	3,5	4,5	4,5	4,5	6,5	5,5
IEEE 14	3,0	4,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
IEEE 30	3,0	4,5	3,5	3,5	3,5	4,5	3,5
FURNAS 66	4,0	4,5	4,0	4,0	5,5	4,5	4,5

Tabela 2.2 : Número de iterações

precisão 10^{-3} em $\Delta\theta(\text{rad.})$ e $\Delta V(\text{pu})$.

CAPÍTULO 3

TRATAMENTO PÓS-IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

Após a identificação das medidas com erros grosseiros, há a necessidade de eliminá-las do conjunto de medidas ou então eliminar o seu efeito sobre o estado estimado. A primeira hipótese acarreta alterações na estrutura do vetor de medidas, o que irá forçar uma nova formação e triangularização da matriz ganho (G) utilizada no processo iterativo, e obviamente exige um grande esforço computacional. A segunda hipótese, eliminar o efeito das medidas com erros grosseiros, sem eliminá-las do conjunto de medidas, se baseia no fato de que a redundância de medidas que torna possível identificar uma medida com erros grosseiros, permite também que se estime o valor correto dessa medida. Este fato pode ser aproveitado no desenvolvimento de um método que, em vez de eliminar uma medida grosseira, recupera o valor correto (estimativa) que então a substitui. Desta forma, evita-se o inconveniente de se alterar o conjunto de medidas, o que é muito importante para os estimadores que utilizam matrizes ganho constantes [1, 9]. Este método será apresentado a seguir, e devido a sua simplicidade e eficiência, mesmo nos estimadores em que a matriz ganho é recalculada (e retriangularizada) a cada iteração, sua utilização é vantajosa. Nos estimadores desacoplados que utilizam matrizes ganho constantes não há termos de comparação entre recuperar uma medida ou eliminá-la do conjunto de

medidas. Potencialmente ao menos, o único inconveniente do método de recuperação seria a confiabilidade. No entanto, testes realizados mostraram que o método é confiável mesmo em situações críticas.

3.1 - Recuperação de Medidas | 1 , 9 |

O método da recuperação consiste em gerar uma pseudo-medida segundo a equação (3.1):

$$z_j^{\text{nov}} = z_j^{\text{med}} - \frac{\sigma_j^2}{\rho_{jj}^2} (z_j^{\text{med}} - \hat{z}_j) \quad (3.1)$$

onde z_j^{nov} é a pseudo-medida gerada, z_j^{med} é o valor medido (com erros grosseiros), \hat{z}_j é o valor estimado (calculado com estado estimado), σ_j^2 é a variância da medida z_j e ρ_{jj}^2 é a variância do resíduo correspondente à medida z_j , ou seja, ρ_{jj}^2 é a diagonal da matriz covariância dos resíduos de estimação, definida no capítulo 2 e Apêndice A.

O valor z_j^{nov} é uma estimativa do valor verdadeiro da grandeza z_j , conforme a dedução apresentada a seguir.

3.1.1 - Cálculo das Pseudo-Medidas

No apêndice A, equação (A.29), foi obtida a diferença entre o valor verdadeiro e o valor estimado do vetor de medidas:

$$\Delta \underline{z}^v = - H \text{ cov} (\Delta \underline{x}) H^t W \underline{w} \quad (3.2)$$

Logo, como $G^{-1} = \text{cov}(\Delta \underline{x})$, tem-se

$$\Delta \underline{z}^v = - H G^{-1} H^t W \underline{w} \quad (3.3)$$

onde

- H - matriz jacobiana
- G - matriz ganho
- W - matriz de ponderações dadas pelos inversos das variâncias (σ_i^2) das medidas.
- \underline{w} - vetor dos erros aleatórios.

A matriz covariância dos resíduos de estimação é da da por (Apêndice A):

$$R = W^{-1} - H G^{-1} H^t. \quad (3.4)$$

Logo

$$\Delta \underline{z}^v = (R - W^{-1}) W \underline{w}. \quad (3.5)$$

Substituindo $\Delta \underline{z}^v$ por $\underline{z}^v - \hat{\underline{z}}$, ou seja, pelo valor verdadeiro menos o valor estimado das medidas e substituindo ainda \underline{w} por $\underline{z}^{\text{med}} - \underline{z}^v$ (equação 2.1), tem-se:

$$\underline{z}^v - \hat{\underline{z}} = (R - W^{-1}) W (\underline{z}^{\text{med}} - \underline{z}^v) \quad (3.6)$$

Supondo que há um erro grosseiro na medida j e que a magnitude deste erro é muito maior que os erros aleatórios nas demais medidas, pode-se escrever:

$$\underline{z}^v - \underline{\hat{z}} \cong \left\{ \text{coluna } j \text{ de } \left[[R-W^{-1}] W \right] \right\} (z_j^{\text{med}} - z_j^v). \quad (3.7)$$

Logo, para a medida j , tem-se:

$$z_j^v - \hat{z}_j \cong \left(\frac{\rho_{jj}^2 - \sigma_j^2}{\sigma_j^2} \right) \cdot (z_j^{\text{med}} - z_j^v) \quad (3.8)$$

onde ρ_{jj}^2 é o elemento (j,j) da matriz R e $1/\sigma_j^2$ é o elemento (j,j) de W . Pode-se portanto, obter uma estimativa para o valor verdadeiro da medida j :

$$z_j^v \cong z_j^{\text{med}} - \frac{\sigma_j^2}{\rho_{jj}^2} (z_j^{\text{med}} - \hat{z}_j). \quad (3.9)$$

Chamando de $z_j^{\text{nov}}o$ esta estimativa de z_j^v obtém-se a equação (3.1).

3.1.2 - Comentários Sobre a Implementação

Na implementação deste método, algumas vantagens computacionais podem ser obtidas se forem seguidas algumas idéias básicas:

- 1) Como é de se esperar que a ocorrência de erros gros

seiros não se dê com muita frequência, o cálculo da diagonal da matriz covariância dos resíduos (R), cálculo este efetuado com a técnica Z-esparso, deve ser efetuado somente quando for detectada a presença de erros grosseiros;

- 2) O processo de detecção/identificação/recuperação de medidas com erros grosseiros pode ser realizado para uma convergência parcial do processo iterativo, para, se for detectada/identificada/recuperada uma medida com erros grosseiros, voltar-se novamente ao processo iterativo até que não existam mais erros grosseiros e a solução final ser obtida. A convergência parcial pode ser feita, por exemplo, para uma tolerância dez vezes maior que a especificada inicialmente. Após o processamento de todos os erros grosseiros, volta-se à tolerância inicial e obtém-se a solução final.
- 3) Para o caso de mais de um erro grosseiro, melhores resultados na recuperação de medidas podem ser obtidos se, antes da obtenção da solução final (após as convergências parciais), forem recalculados os valores das pseudo-medidas. Isto se deve ao fato de que nas primeiras pseudo-medidas geradas foi utilizado um valor do estado estimado perturbado pelos demais erros grosseiros |10| .

A seguir são apresentados alguns resultados obtidos

com este método de pseudo-geração de medidas, e todos os resultados foram obtidos com o estimador desacoplado no modelo (1/X).

3.1.3 - Testes

A condição mais crítica para o método da recuperação de medidas é quando se tem mais de um erro grosseiro e todos estão localizados numa mesma região (por exemplo, vizinhança de uma barra). Foram introduzidos erros grosseiros localizados em uma única barra, simulando-se um problema de possível ocorrência no sistema real, pois se um aparelho de medição, do qual dependa mais de uma medida, apresentar defeito, diversas medidas realizadas em um mesmo local poderão ser afetadas. Um medidor de tensão é um aparelho deste tipo.

O sistema usado para este teste é formado por parte da rede de FURNAS e é mostrado na Fig. 3.1, com 66 barras e 94 linhas/transformadores. O conjunto de medidas é composto de:

- fluxo de potência ativa e reativa em todas as extremidades das linhas (2 medidas de fluxo de potência ativa e 2 medidas de fluxo de potência reativa por linha) ;
- magnitude de tensão em todas as barras;
- injeção de potência ativa e reativa nas barras: 113, 117, 118, 120, 122, 131, 140, 142 (estas barras têm injeções nulas) .

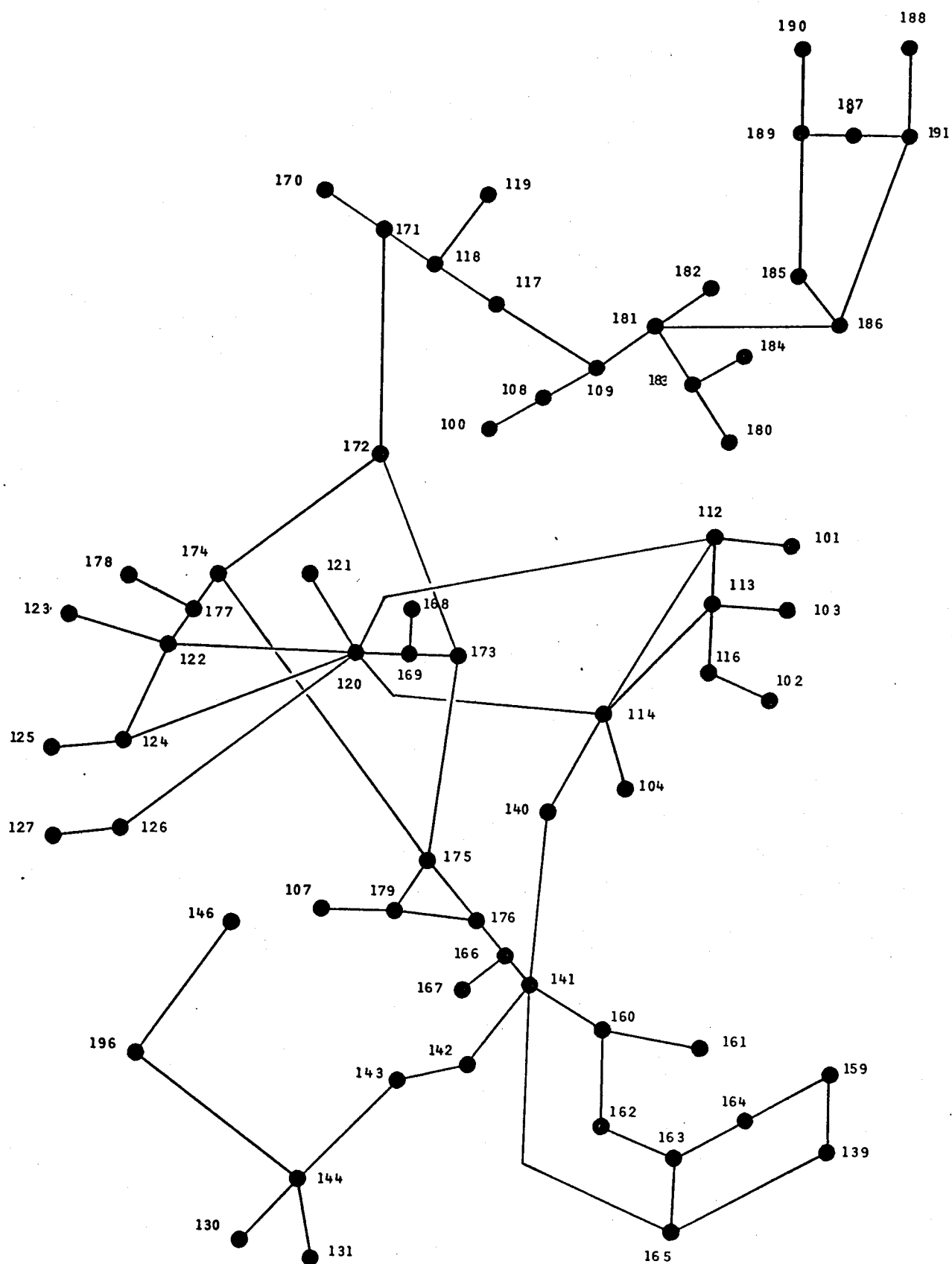


Figura 3.1 : Sistema FURNAS-66 usado no teste sobre recuperação de medidas

Foram introduzidos erros aleatórios normalmente distribuídos com médias zero e desvios padrões (σ):

- nas medidas de potência ativa e reativa (fluxos e injeções): $\sigma = 1/30$ pu
- nas medidas de tensões (magnitudes):
 $\sigma = 1/300$ pu

A tolerância exigida foi de 10^{-3} pu em ΔV e 10^{-3} rad. em $\Delta \theta$. A convergência parcial foi para 10^{-2} em ΔV e $\Delta \theta$.

Para simular os erros grosseiros, foi adicionado às medidas discriminadas abaixo, um valor igual a 20σ (vinte vezes o desvio padrão da medida). As medidas foram:

- fluxo de potência ativa na linha 113-112, do lado da barra 113;
- injeção de potência reativa na barra 113;
- tensão (magnitude) da barra 113.

A Tabela 3.1 mostra um resumo do processamento de erros grosseiros deste teste. No Apêndice B mostra-se a saída completa do programa para estas condições.

TOLERÂNCIA	ITERAÇÃO	DETECÇÃO				ERROS GR.?	IDENTIFICAÇÃO	GERAÇÃO PSEUDO-MEDIDAS		
		J _A	J _R	J	VALOR MEDIDO			VALOR GERADO	VALOR VERDADEIRO	
10 ⁻²	2.5	322,3	729,6	1051,9	SIM	tensão: V ₁₁₃	1,098	1,028	1,026	
	3.5	322,6	313,6	636,2	SIM	fluxo : P ₁₁₃₋₁₁₂	0,196	-0,483	-0,494	
	4.5	58,5	316,0	374,6	SIM	injeção: Q ₁₁₃	0,680	-0,003	0,000	
10 ⁻³	5.5	58,2	143,4	201,7	NÃO	-	-	-	-	
	6.5	58,2	143,3	201,6	-	-	-	-	-	

Tabela 3.1 - Resumo do processamento de erros grosseiros

- Sistema FURNAS-66

- Graus de liberdade = 327

- Lambda (teste de hipótese-deteccão) = 369,2

CAPÍTULO 4

ESTIMAÇÃO DE TAPS |11|

Os taps (derivação de transformadores) se dividem em dois tipos: taps controlados automaticamente (TCA) e taps fixos.

Os TCA variam continuamente, de instante a instante, dependendo dos requisitos de operação do sistema e, por esta razão, devem ser reestimados cada vez que é rodado o estimador de estado, pois, caso contrário, poderão introduzir erros grosseiros na modelagem da rede e assim prejudicar o desempenho do estimador de estado. Para que os TCA possam ser estimados corretamente, deve existir um nível de redundância local adequado. Não se trata de dizer simplesmente que se houver redundância local os TCA poderão ser estimados. Pelo contrário, trata-se de uma restrição do projeto do sistema de telemedição que haja redundância local suficiente para estimação dos TCA, sob pena de se por em risco a própria confiabilidade do processo de estimação.

Os taps fixos têm seu valor constante durante um certo período, após o qual pode ou não ser alterado manualmente. Este tipo de tap é considerado um parâmetro do sistema, assim como as resistências, reatâncias, etc. A estimação destes taps pode ser também realizada, mas com um método de estimação de parâmetros |12, 13, 14|, que normalmente utiliza uma sequência de con

juntos de medidas para este fim. Neste trabalho, somente será a bordado o problema de estimação dos TCA, que é um problema mais crítico. O mesmo algoritmo, no entanto, pode ser aplicado, caso se queira estimar algum tap fixo.

4.1 - Estimação dos Taps Controlados Automaticamente

Uma solução para o problema da estimação dos TCA consiste em |12 , 15 |:

- . incluir estes TCA's no vetor de estado x;
- . quando disponíveis, ou seja, se estes valores forem medidos, incluí-los também no vetor de medidas z.

Com estas modificações, os vetores de estado e de medidias ficam sendo dados por:

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} \theta \\ \underline{v} \\ \underline{a} \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

e

$$\underline{z} = \begin{pmatrix} \underline{T}^{\text{med}} \\ \underline{P}^{\text{med}} \\ \underline{U}^{\text{med}} \\ \underline{Q}^{\text{med}} \\ \underline{V}^{\text{med}} \\ \underline{a}^{\text{med}} \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

onde \underline{a} é um vetor que contém todos os TCA e $\underline{a}^{\text{med}}$ contém aqueles cujos valores são medidos. Os demais vetores de estado e medidas foram definidos no Capítulo 2. O vetor $\underline{a}^{\text{med}}$ entra no rol das medidas chamadas anteriormente de "reativas".

As modificações no estimador de estado para introduzir os TCA são mostradas a seguir.

A nova matriz jacobiana (H) deve incluir as novas derivadas em relação aos TCA's (\underline{a}).

$$H = \begin{array}{cc} & \text{NB} & \text{NB+NT} \\ & \begin{array}{|c|c|} \hline H_{11} & H_{12} \\ \hline H_{21} & H_{22} \\ \hline \end{array} & \end{array} \quad (4.3)$$

onde NB = número de barras;
NT = número de TCA's

e

$$H_{11} = \begin{array}{|c|} \hline \partial \underline{T} / \partial \underline{\theta} \\ \hline \partial \underline{P} / \partial \underline{\theta} \\ \hline \end{array}$$

$$H_{12} = \begin{array}{cc} \partial \underline{T} / \partial \underline{V} & \partial \underline{T} / \partial \underline{a} \\ \partial \underline{P} / \partial \underline{V} & \partial \underline{P} / \partial \underline{a} \end{array} \quad (4.4)$$

$$H_{21} = \begin{array}{|c|} \hline \partial \underline{U} / \partial \underline{\theta} \\ \hline \partial \underline{Q} / \partial \underline{\theta} \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \end{array}$$

$$H_{22} = \begin{array}{|c|c|} \hline \partial \underline{U} / \partial \underline{v} & \partial \underline{U} / \partial \underline{a} \\ \hline \partial \underline{Q} / \partial \underline{v} & \partial \underline{Q} / \partial \underline{a} \\ \hline \mathbb{1} & \\ \hline & \mathbb{1} \\ \hline \end{array}$$

A matriz de ponderações W é a mesma definida anteriormente, ou seja,

$$W = \begin{array}{|c|c|} \hline w_1 & \\ \hline & w_2 \\ \hline \end{array} \quad (4.5)$$

com a ressalva que as ponderações das medidas $\underline{a}^{\text{med}}$ devem estar

na matriz W_2 (\underline{a} é uma medida "reativa").

Com estas modificações, os estimadores clássico e desacoplado ficam:

. Estimador clássico (WLS)

$$G(\underline{x}^k) \Delta \underline{x}^{k+1} = H^t(\underline{x}^k) W \left[\underline{z} - \underline{h}(\underline{x}^k) \right] \quad (4.6)$$

$$\underline{x}^{k+1} = \underline{x}^k + \Delta \underline{x}^{k+1}$$

com

$$\underline{x} = \begin{array}{|c|} \hline \underline{\theta} \\ \hline \underline{v} \\ \hline \underline{a} \\ \hline \end{array}$$

$$G = H^t(\underline{x}^k) W H(\underline{x}^k)$$

e H definida segundo as equações (4.3) e (4.4)

. Estimador desacoplado

$$G_{p\theta} \Delta \underline{\theta}^{k+1} = \Delta \underline{A}(\underline{\theta}^k, \underline{v}^k, \underline{a}^k)$$

$$\underline{\theta}^{k+1} = \underline{\theta}^k + \Delta \underline{\theta}^{k+1}$$

$$G_{PV} \begin{array}{|c|} \hline \underline{\Delta V}^{k+1} \\ \hline \underline{\Delta a}^{k+1} \\ \hline \end{array} = \Delta \underline{R}(\underline{\theta}^{k+1}, \underline{V}^k, \underline{a}^k)$$

$$\begin{array}{|c|} \hline \underline{V}^{k+1} \\ \hline \underline{a}^{k+1} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \underline{V}^k \\ \hline \underline{a}^k \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \underline{\Delta V}^{k+1} \\ \hline \underline{\Delta a}^{k+1} \\ \hline \end{array} \quad (4.7)$$

Tanto na versão desacoplado no modelo quanto na versão desacoplado no algoritmo, onde se faz $\underline{V}=1$ pu, deve-se fazer $\underline{a} = 1$. Os vetores $\underline{\Delta A}$ e $\underline{\Delta R}$ são calculados da maneira apresentada no capítulo 2, dependendo do tipo de desacoplamento, com o cuidado de se considerarem os novos vetores de medida e estado.

4.2 - Testes e Resultados

Os testes foram efetuados com o estimador desacoplado no modelo. Foram utilizadas duas redes para os testes, que são apresentadas a seguir:

Rede 1: rede IEEE30, com 30 barras, 37 linhas e 4 transformadores com TCA - Fig. 4.1 e Tabela 4.1.

Rede 2: rede de FURNAS, com 66 barras, 60 linhas, 7 transformadores com TCA e 27 transformadores com taps-fixos - Fig. 4.2 e Tabela 4.2.

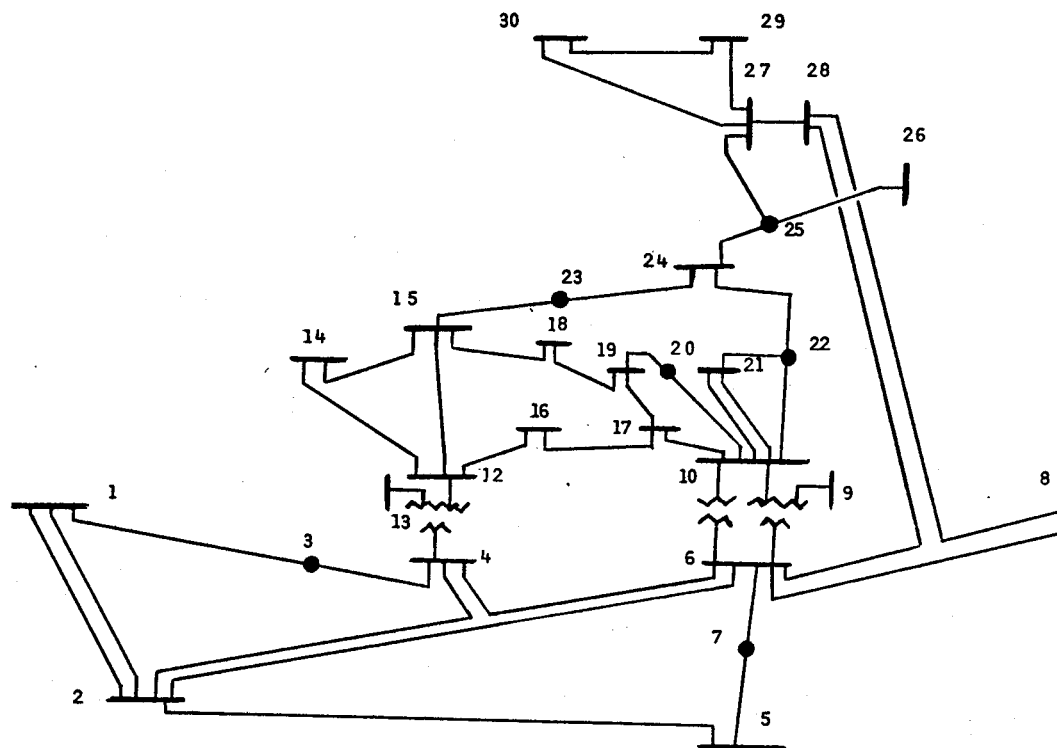


Figura 4.1 : Diagrama unifilar da Rede - 1 (IEEE 30)

Linha		R(pu)	X(pu)	Y(pu)	a ^{nom}
k	l				
1	2	0,0192	0,0557	0,0528	
1	3	0,0452	0,1852	0,0408	
2	4	0,0570	0,1737	0,0368	
3	4	0,0132	0,0379	0,0084	
2	5	0,0472	0,1983	0,0418	
2	6	0,0581	0,1763	0,0374	
5	7	0,0460	0,1160	0,0204	
6	7	0,0267	0,0820	0,0170	
6	8	0,0120	0,0420	0,0090	
8	28	0,0636	0,2000	0,0428	
6	9	0,0000	0,2080	0,0000	0,978
6	10	0,0000	0,5560	0,0000	0,968
9	11	0,0000	0,2080	0,0000	
9	10	0,0000	0,1100	0,0000	
4	12	0,0000	0,2560	0,0000	0,932
12	13	0,0000	0,1400	0,0000	
28	27	0,0000	0,3960	0,0000	0,968
4	6	0,0119	0,0414	0,0045	
6	28	0,0169	0,0599	0,0130	
12	14	0,1231	0,2559	0,0000	
12	15	0,0662	0,1304	0,0000	
12	16	0,0945	0,1987	0,0000	
14	15	0,2210	0,1997	0,0000	
16	17	0,0824	0,1923	0,0000	
15	18	0,1070	0,2185	0,0000	
18	19	0,0639	0,1292	0,0000	
19	20	0,0340	0,0680	0,0000	
10	20	0,0936	0,2090	0,0000	
10	17	0,0324	0,0845	0,0000	
10	21	0,0348	0,0749	0,0000	
10	22	0,0727	0,1499	0,0000	
21	22	0,0116	0,0236	0,0000	
15	23	0,1000	0,2020	0,0000	
22	24	0,1150	0,1790	0,0000	
23	24	0,1320	0,2700	0,0000	
24	25	0,1885	0,3292	0,0000	
25	26	0,2544	0,3800	0,0000	
25	27	0,1093	0,2087	0,0000	
27	29	0,2198	0,4153	0,0000	
27	30	0,3200	0,6027	0,0000	
29	30	0,2399	0,4533	0,0000	

Tabela 4.1 - Parâmetros das linhas e transformadores da Rede 2. Todos os taps são TCA.

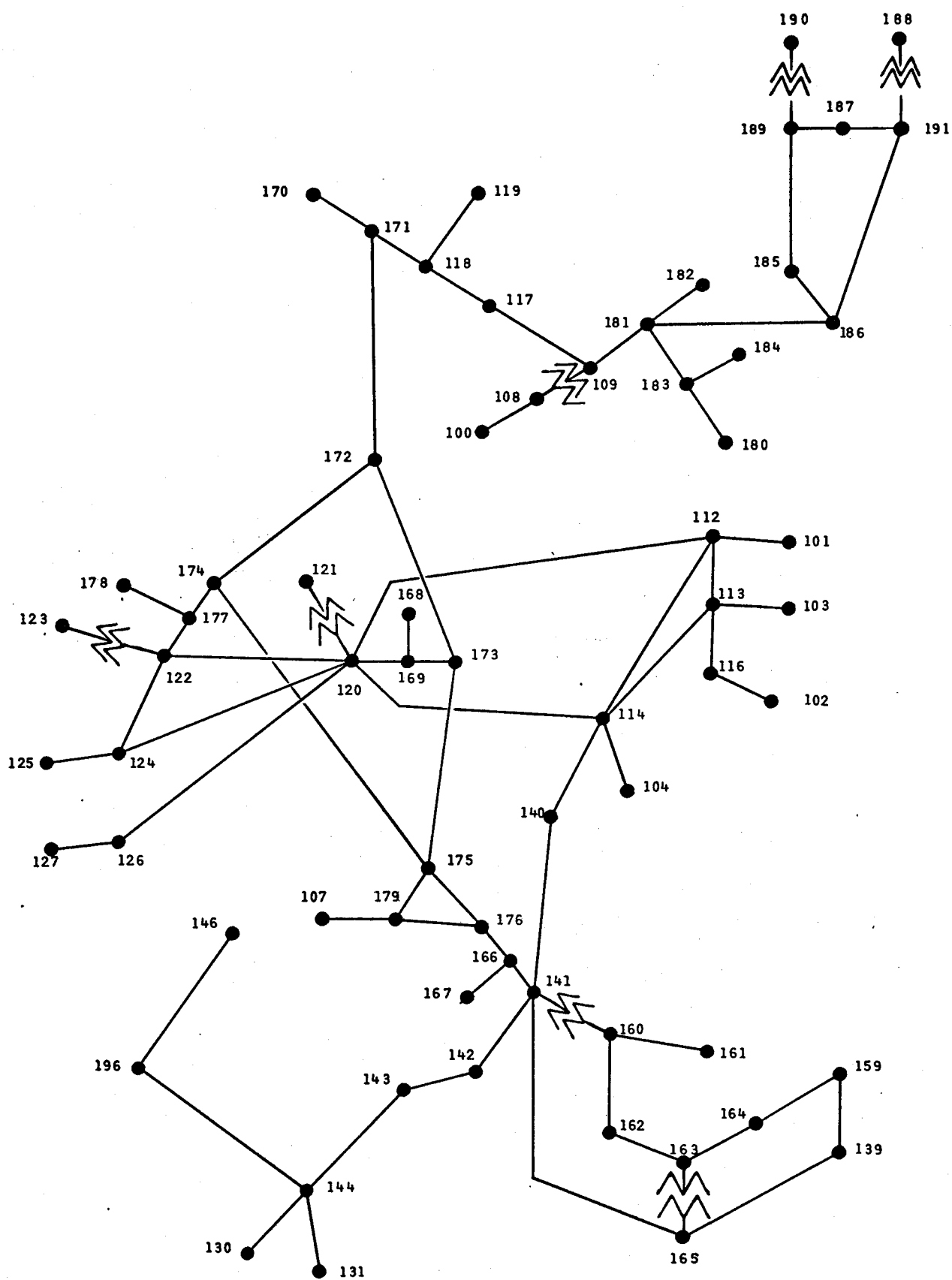


Figura 4.2: Diagrama unifilar da Rede-2 (FURNAS-66)

Linha		R(pu)	X(pu)	Y(pu)	a ^{nom}	Linha		R(pu)	X(pu)	Y(pu)	a ^{nom}
k	ℓ					k	ℓ				
108	100	0,0000	0,0341	0,0000	1,000	143	144	0,0157	0,0899	0,0271	
112	101	0,0000	0,0089	0,0000	0,999	143	144	0,0157	0,0899	0,0271	
116	102	0,0000	0,0639	0,0000	1,075	143	144	0,0157	0,0899	0,0271	
113	103	0,0000	0,0411	0,0000	1,000	143	144	0,0157	0,0899	0,0271	
114	104	0,0000	0,0096	0,0000	1,000	144	146	0,0355	0,2034	0,0613	
179	107	0,0000	0,0197	0,0000	1,000	146	196	0,0439	0,1381	0,0348	
109	108	0,0000	0,0331	0,0000	0,982(*)	160	161	0,0083	0,0473	0,0142	
109	117	0,0022	0,0245	0,4122		160	161	0,0083	0,0473	0,0142	
109	181	0,0056	0,0626	0,0672		160	161	0,0083	0,0473	0,0142	
112	113	0,0009	0,0104	0,1743		160	162	0,0900	0,3773	0,1076	
112	114	0,0038	0,0414	0,6986		160	162	0,0900	0,3773	0,1076	
112	120	0,0055	0,0617	0,0492		162	163	0,0639	0,2669	0,0758	
112	120	0,0055	0,0614	0,0439		162	163	0,0639	0,2669	0,0758	
113	114	0,0034	0,0343	0,5242		163	164	0,0616	0,2573	0,0730	
116	113	0,0000	0,0653	0,0000	1,000	163	164	0,0616	0,2573	0,0730	
114	120	0,0043	0,0431	0,6618		165	163	0,0000	0,0386	0,0000	1,017(*)
114	120	0,0043	0,0431	0,6618		167	166	0,0000	0,1800	0,0000	
114	140	0,0064	0,0645	0,9977		176	177	0,0000	0,0420	0,0000	1,050
114	140	0,0056	0,0620	0,0446		169	160	0,0000	0,1800	0,0000	
117	118	0,0000	-0,0180	0,0000	1,050	173	169	0,0000	0,0420	0,0000	1,050
119	118	0,0000	0,1800	0,0000		171	170	0,0000	0,0079	0,0000	1,000
171	118	0,0000	0,0420	0,0000	1,050	171	172	0,0017	0,0289	2,1657	
120	121	0,0000	0,0243	0,0000	0,877(*)	171	172	0,0017	0,0292	2,1883	
121	122	0,0036	0,0395	0,6667		172	173	0,0016	0,0264	1,9742	
120	124	0,0060	0,0603	0,9317		172	174	0,0015	0,0258	1,9292	
120	124	0,0059	0,0597	0,9214		173	175	0,0018	0,0286	2,1432	
120	126	0,0057	0,0635	0,0834		174	175	0,0019	0,0327	2,4597	
120	169	0,0000	-0,0180	0,0000	0,970	174	177	0,0000	0,0420	0,0000	1,050
122	123	0,0000	0,0300	0,0000	0,905(*)	175	176	0,0015	0,0254	1,8955	
122	124	0,0025	0,0277	0,4651		175	176	0,0015	0,0254	1,8955	
122	177	0,0000	-0,0180	0,0000	0,970	175	179	0,0009	0,0150	1,1120	
124	125	0,0000	0,0110	0,0000	0,898	176	179	0,0010	0,0173	1,2794	
126	127	0,0000	0,0149	0,0000	0,898	178	177	0,0000	0,1800	0,0000	
144	130	0,0000	0,2010	0,0000	1,045	180	183	0,0000	0,0420	0,0000	1,050
144	131	0,0000	0,0580	0,0000	1,025	181	182	0,0000	0,0133	0,0000	0,950
139	159	0,0000	0,0227	0,0000	0,988	181	183	0,0000	-0,0180	0,0000	1,000
139	165	0,0060	0,0668	0,1404		181	186	0,0049	0,0546	0,9262	
139	165	0,0060	0,0668	0,1404		181	186	0,0051	0,0562	0,9629	
140	141	0,0064	0,0648	1,0028		184	183	0,0000	0,1800	0,0000	
140	141	0,0055	0,0617	1,0492		186	185	0,0000	0,0365	0,0000	0,956
141	142	0,0010	0,0113	0,1898		185	189	0,0436	0,2115	0,4082	
141	142	0,0013	0,0126	0,1914		186	191	0,0047	0,0525	0,8889	
141	160	0,0000	0,0195	0,0000	0,964(*)	186	191	0,0047	0,0525	0,8889	
141	165	0,0074	0,0833	1,4375		187	189	0,0030	0,0141	0,0199	
141	165	0,0074	0,0833	1,4375		191	187	0,0000	0,0365	0,0000	0,956
141	166	0,0000	-0,0180	0,0000	1,050	191	188	0,0000	0,0345	0,0000	0,920(*)
142	143	0,0000	0,0134	0,0000	1,017	189	190	0,0000	0,0788	0,0000	0,997(*)

Tabela 4.2 - Parâmetros das linhas e transformadores da Rede - 3. Os taps com um asterisco (*) são taps variáveis e os demais são fixos.

As precisões exigidas para a convergência, nos dois testes, foram de 10^{-3} pu em ΔV , 10^{-3} rad em $\Delta \theta$ e 10^{-3} no valor de $\Delta a(\text{tap})$.

As medidas, geradas por um fluxo de carga, foram:

- magnitude de tensões, em todas as barras;
- fluxo de potência ativa e reativa em ambos os lados de todas as linhas;
- todos os TCA.

Não foram introduzidos erros aleatórios, mas para efeito de ponderações (matriz W) foram considerados os seguintes valores para os desvios padrões:

- medidas de fluxo : $\sigma = 1/30$ pu
- medidas de tensão: $\sigma = 1/300$ pu
- medidas de TCA : $\sigma = 1/300$

Nas tabelas 4.3 e 4.4 estão mostrados os resultados para a Rede 1 e Rede 2, respectivamente.

TAP		ITERAÇÃO			
k	ℓ	0	1	2	3
6	9	1,000	0,978	0,978	0,978
6	10	1,000	0,969	0,969	0,969
4	12	1,000	0,932	0,932	0,932
28	27	1,000	0,968	0,968	0,968

Tabela 4.3 - Evolução dos TCA no teste com
a Rede 1

TAP		ITERAÇÃO			
k	ℓ	0	1	2	3
109	108	1,000	0,982	0,982	0,982
121	121	1,000	0,873	0,877	0,877
122	123	1,000	0,901	0,905	0,905
141	160	1,000	0,965	0,964	0,964
165	163	1,000	1,018	1,017	1,017
191	188	1,000	0,917	0,920	0,920
189	190	1,000	0,997	0,997	0,997

Tabela 4.4 - Evolução dos TCA no teste com a
Rede 2

Destes resultados pode-se deduzir que a estimação de taps controlados automaticamente é um problema de solução muito simples. Para os métodos desacoplados surge um problema adicional que reside no fato das estruturas das matrizes ganho $G_{P\theta}$ e G_{QV} , quando se incluem os taps, serem diferentes. No problema sem taps, as estruturas eram iguais, economizando alguns apontadores. Contudo, mesmo com a necessidade de se construírem duas estruturas diferentes para $G_{P\theta}$ e G_{QV} , o esforço computacional exigido pelo estimador desacoplado continua a ser muito menor que o do estimador clássico.

Como o número de TCA's normalmente é pequeno, comparado com o número de nós, é mais vantajoso, ao invés de criarem-se estruturas diferentes para $G_{P\theta}$ e G_{QV} , alterar-se a estrutura de $G_{P\theta}$ para que se torne igual à estrutura de G_{QV} . Isto pode ser feito criando-se NT (número de TCA's) novas linhas e colunas na matriz $G_{P\theta}$ e as únicas posições que terão valores diferentes de zero serão aquelas correspondentes às diagonais e deverão ser iguais à unidade, como indicado na equação (4.8).

$$G_{P\theta}^{\text{nov}} = \begin{array}{c} \left. \begin{array}{|c|c|} \hline \text{NB} & \text{NT} \\ \hline G_{P\theta} & 0 \\ \hline 0 & \mathbb{1} \\ \hline \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{NB} \\ \text{NT} \end{array} \end{array} \quad (4.8)$$

onde $G_{P\theta}^{\text{nov}}$ é a nova matriz $G_{P\theta}$ e $\mathbb{1}$ é a matriz identidade. É fácil verificar que a inversa de $G_{P\theta}$ é dada por:

$$\begin{bmatrix} G_{P\theta}^{\text{nov}} \\ P\theta \end{bmatrix}^{-1} = \begin{array}{|c|c|} \hline G_{P\theta}^{-1} & \\ \hline & 1 \\ \hline \end{array} \quad (4.9)$$

e, portanto, a solução $\Delta\theta^{k+1}$ não é alterada.

CAPÍTULO 5

COMBINAÇÃO DE SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS |16|

Neste capítulo é discutida a possibilidade de se transformarem sistemas separadamente observáveis em um único sistema observável, através da introdução de pseudo-medidas. É analisado também o papel das medidas de tensão na observabilidade. O método proposto foi testado com sucesso no sistema FURNAS-66.

5.1. Ilhas Observáveis e Não-Observáveis

As ilhas observáveis (IO) são conjuntos de nós entre os quais o fluxo em qualquer ligação pode ser determinado, ou seja, o fluxo em qualquer linha ou transformador ligado entre estes nós pode ser calculado.

As ilhas não observáveis (INO) são conjuntos de nós entre os quais os fluxos nas ligações não podem ser determinados.

Nós de fronteiras pertencem simultaneamente a ilhas observáveis e ilhas não observáveis.

Nós internos a áreas não observáveis pertencem somente a ilhas não observáveis, ou seja, são os nós da ilha não-observável que não estão na fronteira.

Nas Figuras 5.1 e 5.2 são apresentados dois exemplos ilustrando as definições precedentes. A diferença fundamental entre os dois casos é que na Figura 5.2 a ilha não observável não contém nenhum nó interno.

5.2. Sistemas Separadamente Observáveis

A perda de um conjunto de telemidas pode provocar a perda parcial de observabilidade de um sistema, subdividindo - o em dois ou mais subsistemas observáveis. Estas ilhas observáveis já foram definidas anteriormente e estão ilustradas nas Figuras 5.1 e 5.2.

Este tipo de situação pode ocorrer de duas maneiras distintas:

- (i) Há perda de medidas em uma parte do sistema (perda de comunicação com o centro de controle), tornando uma região não-observável e subdividindo o sistema original em ilhas observáveis.
- (ii) Em um sistema hierárquico do tipo ilustrado na Figura 5.3, no qual em um nível inferior existem vários centros de operação regionais e em um nível superior opera um centro de coordenação, pode ocorrer perda de canais de comunicação isolando temporariamente um dos centros regionais do

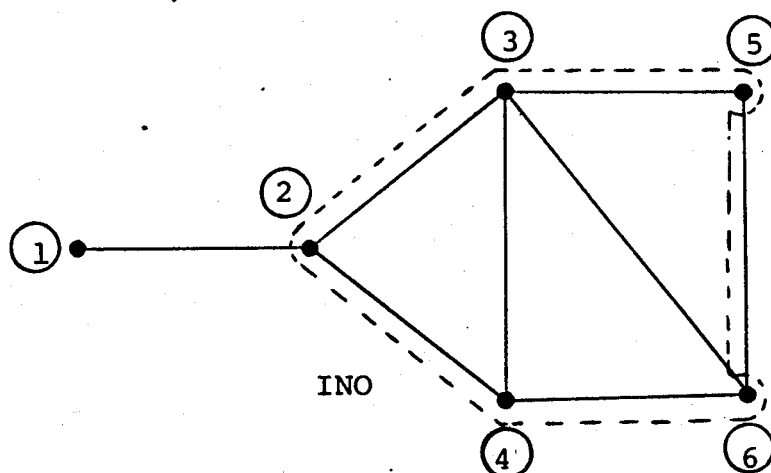
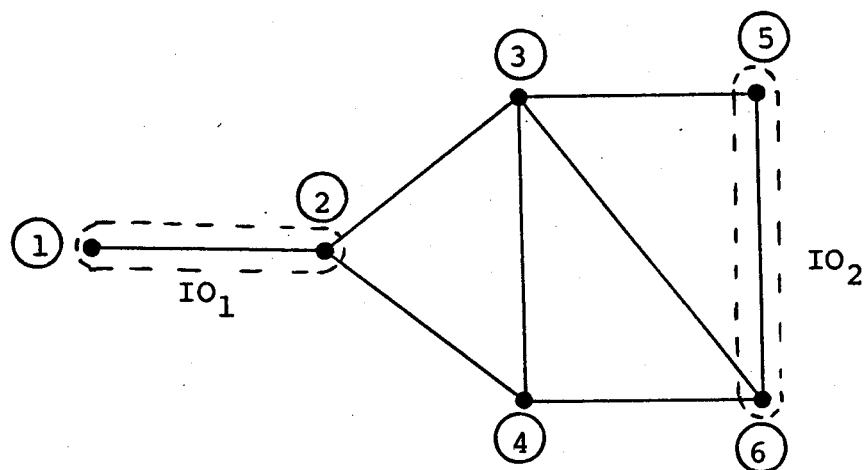
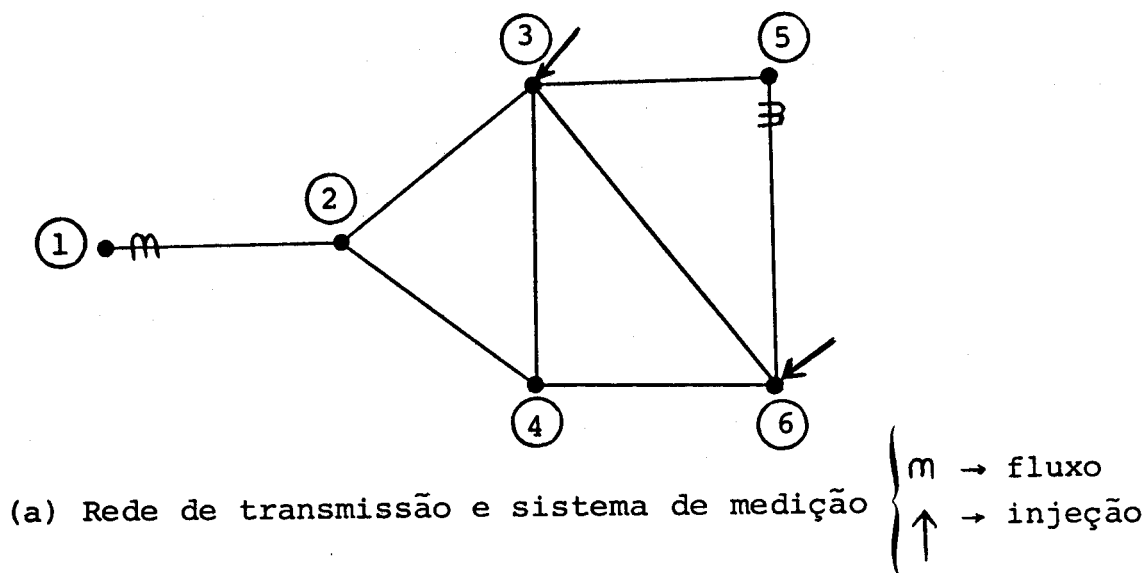
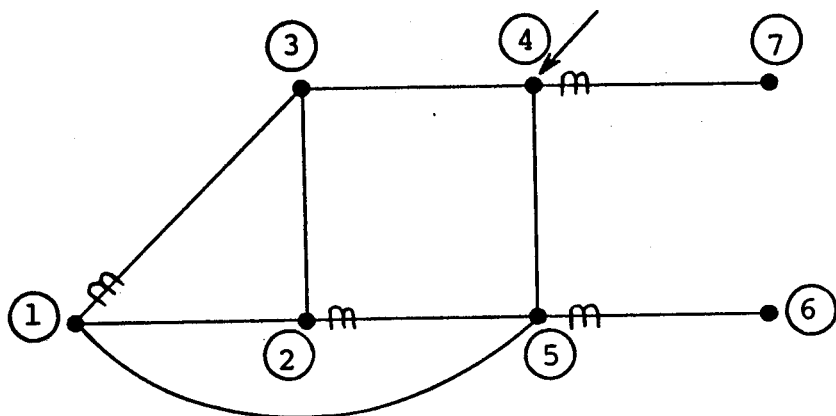
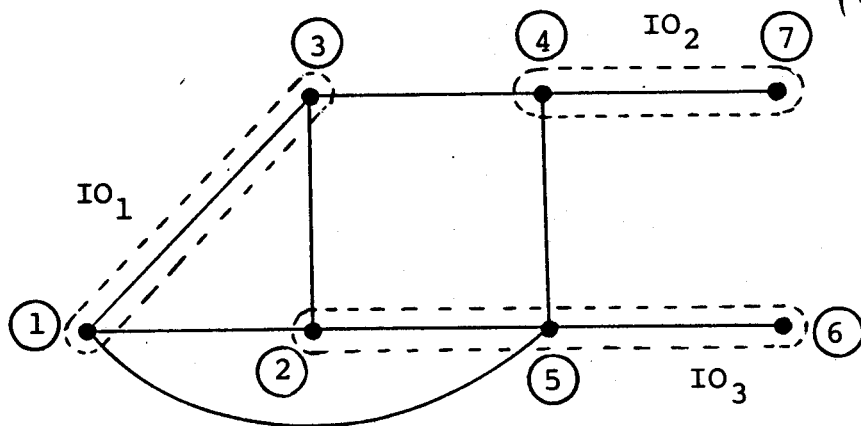


FIGURA. 5.1: SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS

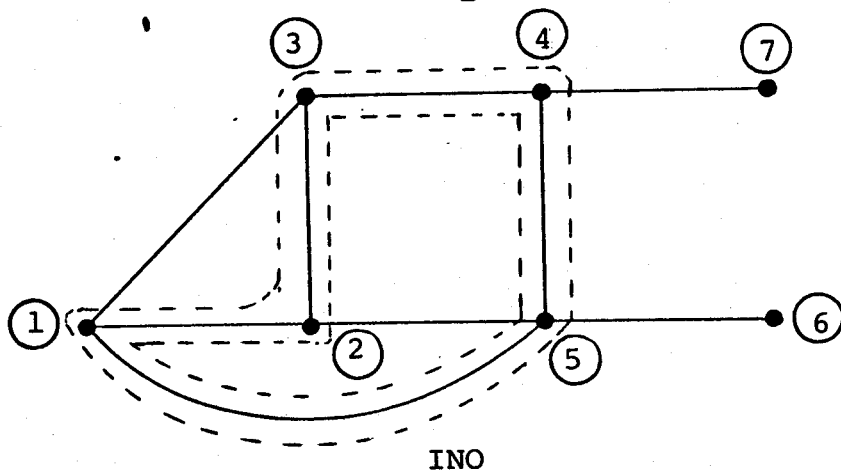


(a) Rede de transmissão e sistema de medição

$m \rightarrow$ fluxo
 \uparrow \rightarrow injeção



(b) Ilhas observáveis (IO_1 , IO_2 e IO_3)



(c) Ilha não-observável

FIGURA 5.2: SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS

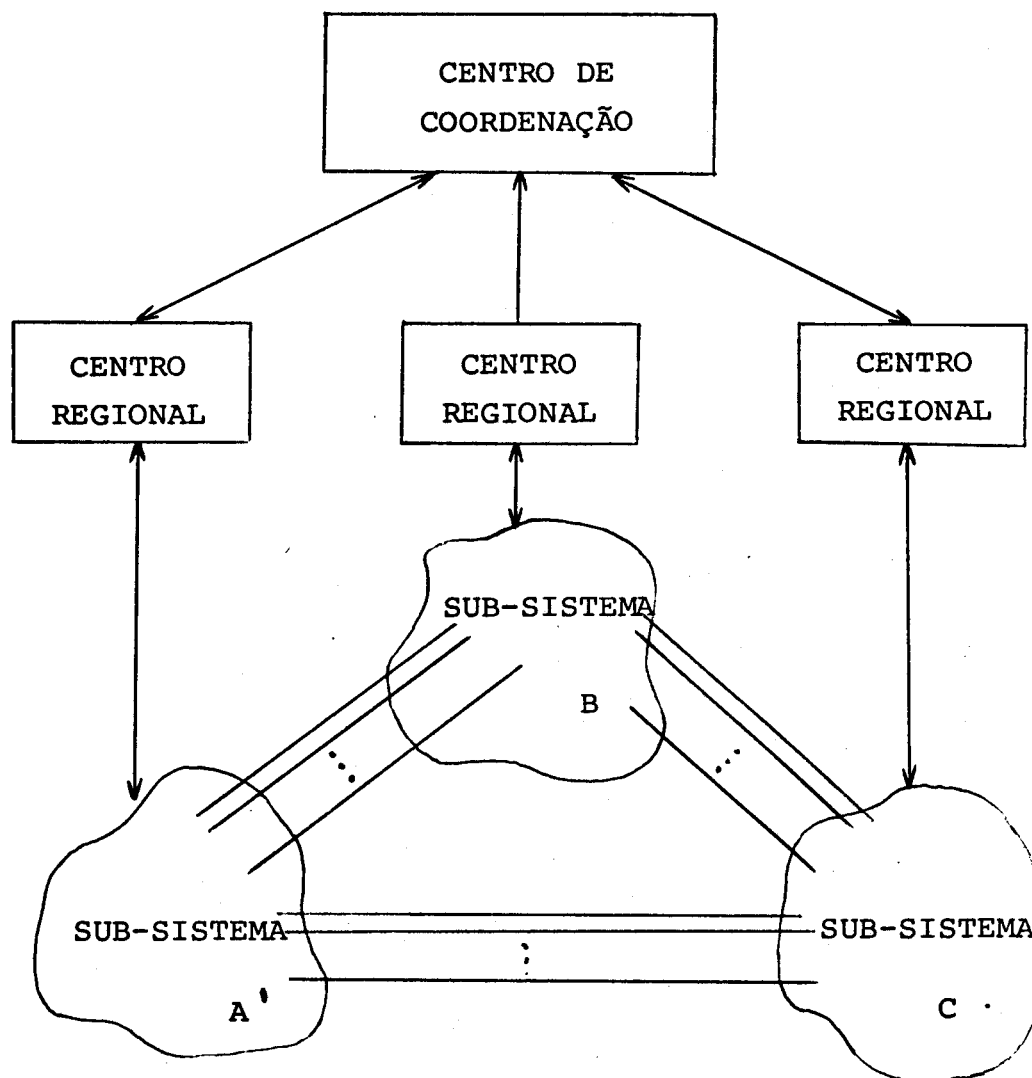


FIGURA 5.3 : SISTEMA HIERÁRQUICO

do centro de coordenação, separando o sistema original em ilhas observáveis.

O problema é então estimar o estado das ilhas observáveis.

5.3. Medidas de Tensão e Observabilidade

Os algoritmos de determinação de observabilidade [17 , 18 , 19] em geral tratam as medidas de fluxo e de injeção aos pares (P,Q), e ignoram o papel das medidas de tensão. Isto pode levar a conclusões erradas sobre a observabilidade de sistemas com medidas de tensão, classificando-se como não-observáveis sistemas que de fato são observáveis. Além disso, a consideração das medidas de tensão é fundamental na combinação de sistemas separadamente observáveis através da geração de pseudo-medidas nas ilhas não-observáveis. Nestes casos, o tratamento das medidas ativas e reativas deve ser distinto, devido à existência de medidas de tensão nas ilhas observáveis.

Inicialmente será analisado o papel das medidas de tensão na observabilidade. A Figura 5.4 mostra uma variante de um exemplo da Ref. [19] , no qual considerou-se que as medidas de fluxo são do tipo (P,Q) e as medidas de injeção são do tipo (P). Existem também três medidas de tensão (V), e uma medida de ângulo (θ). Este sistema, que é observável, seria declarado não observável pelo próprio algoritmo da Ref. [19], devido a não consi

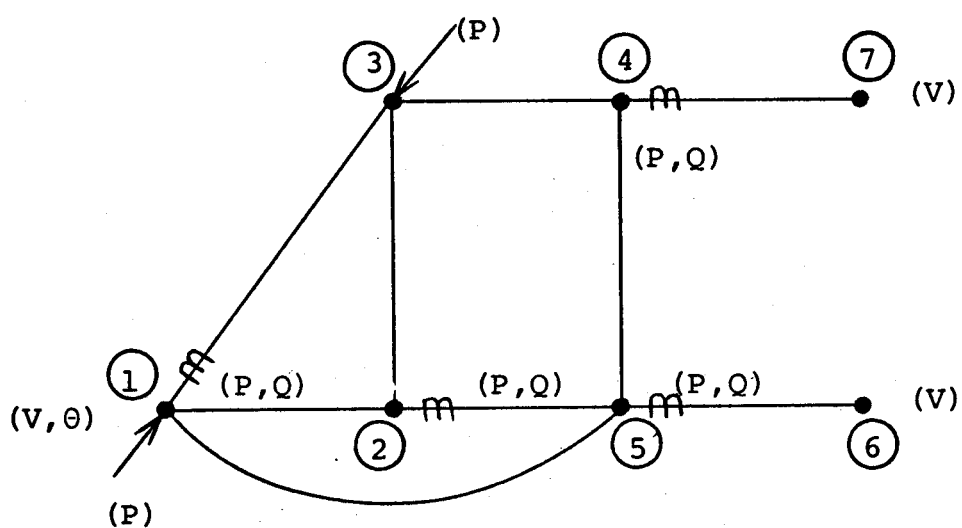


FIGURA 5.4: SISTEMA OBSERVÁVEL, COM MEDIDAS DE TENSÃO

deração das medidas de tensão. Este mesmo exemplo será retomado mais adiante na discussão sobre combinação de sistemas separadamente observáveis.

A combinação de sistemas separadamente observáveis em um único sistema observável será analisada nos itens que seguem. Para facilitar a apresentação, inicialmente serão tratados sistemas com uma única medida de tensão. Sistemas com várias medidas de tensão distribuídas pelas ilhas observáveis serão considerados posteriormente.

5.4. Condições Suficientes de Observabilidade

Este item e o próximo se referem a sistemas com medidas de tensão em uma única ilha observável. Considere-se uma situação na qual, após terem sido processadas todas as medidas possíveis através de um algoritmo de observabilidade [17, 18, 19], restem várias ilhas observáveis. Considere-se também que todas as medidas não utilizadas sejam descartadas, pelo menos temporariamente, pois elas poderão ser utilizadas como pseudo-medidas no que segue. As condições suficientes apresentadas a seguir dão duas maneiras de se gerarem pseudo-medidas de injeção de tal forma a tornar o sistema globalmente observável, sem corromper as medidas previamente processadas pelo algoritmo de observabilidade. Este método é uma generalização do fluxo de carga equivalente [20, 21], sendo as injeções de fronteira ajustadas automaticamente pelo estimador de estado.

Condição A: Seja uma ilha não-observável ligada a N_f ilhas observáveis adjacentes (Fig. 5.5). Se existir somente uma medida de injeção em cada uma das N_f fronteiras e se existirem medidas de injeção em $N_i - 1$ nós internos da ilha não-observável (N_i = número de nós internos), então o sistema se tornará observável e este conjunto de pseudo-medidas na ilha não-observável não alterará a redundância das barras que eram previamente observáveis.

Condição B: Nas mesmas condições precedentes (Figura 5.5), se todas as N_i barras internas tiverem medidas de injeção, e se existir somente uma medida de injeção por fronteira em $N_f - 1$ fronteiras (N_f = número de fronteiras), então o sistema se tornará observável e este conjunto de pseudo-medidas na ilha não-observável não alterará a redundância das barras que eram previamente observáveis.

5.5. Combinação de Sistemas Separadamente Observáveis

As condições suficientes de observabilidade descritas anteriormente podem ser utilizadas na geração de pseudo-medidas que combinem sistemas separadamente observáveis em um único sistema observável.

Considere-se o exemplo dado pela Figura 5.1. Através

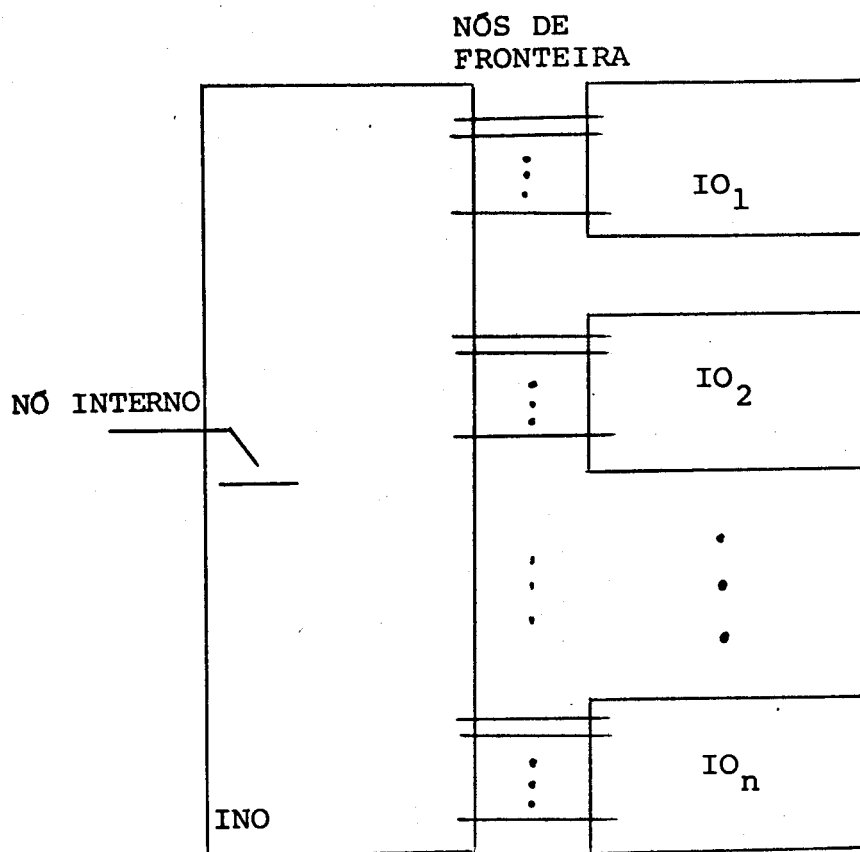
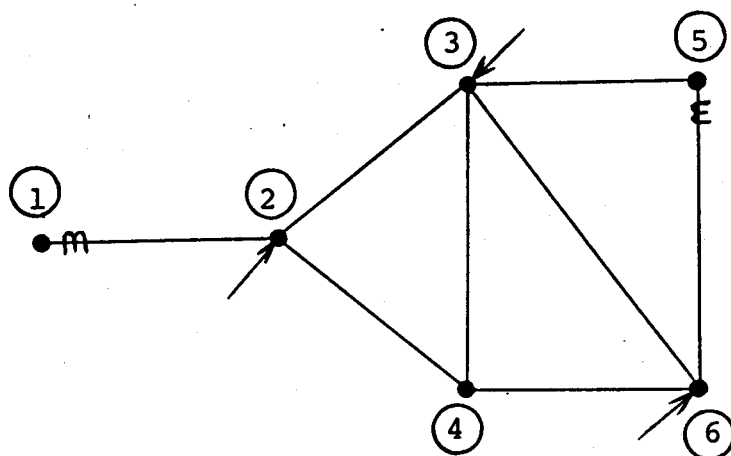


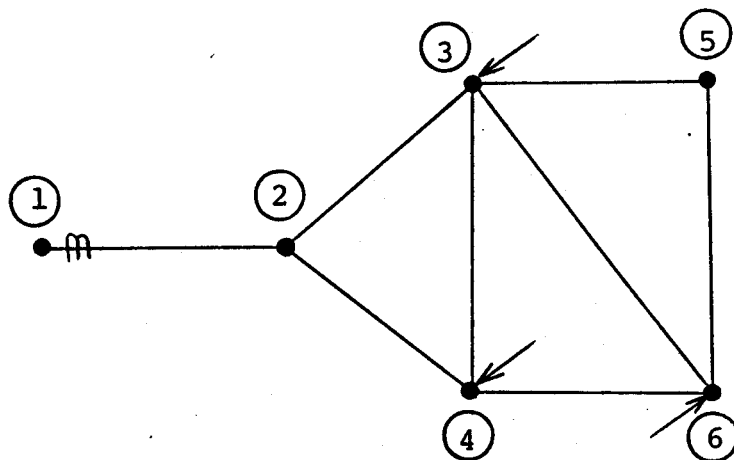
FIGURA 5.5: SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS

das medidas de fluxo 1-2 e 5-6 podem ser construídas as ilhas observáveis IO_1 e IO_2 . As medidas de injeção nos nós 3 e 6 não permitem a expansão dessas ilhas não-observáveis, e portanto essas medidas são temporariamente descartadas. O próximo passo consiste em se introduzirem pseudo-medidas de injeção na ilha não-observável. Duas dessas pseudo-medidas podem ser as próprias medidas de injeção nas barras 3 e 6, que tinham sido descartadas pelo algoritmo de observabilidade. Notar que se existisse uma fronteira com mais do que uma medida de injeção, então somente uma delas poderia ser utilizada nesta fase. Mantendo-se as medidas de injeção nas barras 3 e 6, agora como pseudo-medidas, existem duas maneiras de tornar o sistema observável como mostram as Figuras 5.6 (a) e (b). Em ambos os casos o número de pseudo-medidas é o mínimo que garante a observabilidade do sistema, ou seja, as pseudo-medidas não afetam os fluxos que podiam ser previamente estimados nas ilhas observáveis IO_1 e IO_2 .

Considere-se agora o exemplo da Figura 5.2. Através das medidas de fluxo 1-3, 2-5, 5-6 e 4-7 podem ser construídas as ilhas observáveis IO_1 , IO_2 e IO_3 . A medida de injeção no nó 4 não permite a expansão dessas ilhas observáveis, e portanto essa medida é temporariamente descartada. Como a ilha não-observável não contém nenhum nó interno, somente a Condição-B se aplica a este caso, pois o número de medidas de injeção em nós internos é igual ao número de nós internos, ou seja, $N_i = 0$. O próximo passo consiste em introduzir medidas de injeção na ilha não observável. Uma dessas medidas pode ser a própria medi



(a) Condição - A



(b) Condição - B

FIGURA 5.6: COMBINAÇÃO DE SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS (EXEMPLO DA FIG. 5.1)

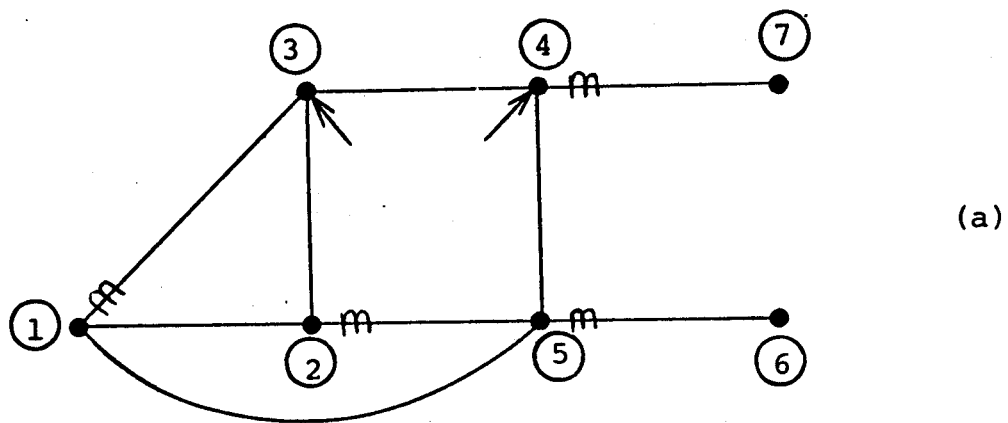
da de injeção no nó 4. Como existem três fronteiras, basta que seja medida mais uma injeção em um dos nós de uma das outras duas fronteiras, como mostra a Figura 5.7.

Note-se que existem muitas maneiras de se tornar um sistema observável com mínima redundância na ilha não-observável, e basta escolher uma delas. Por isso não é importante que se gerem todas as possibilidades, pois basta uma delas e esta pode ser gerada utilizando-se as condições suficientes A ou B.

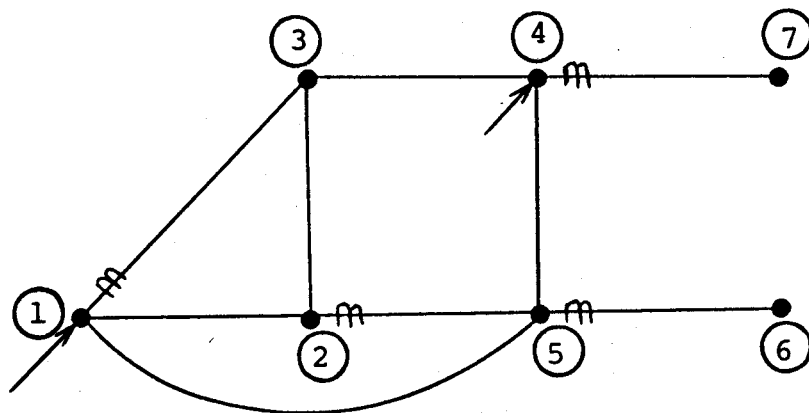
5.6. Sistemas com Várias Medidas de Tensão

Considere-se novamente a situação representada na Figura 5.5. Se existirem medidas de tensão em mais do que uma ilha observável, as condições apresentadas anteriormente não mais poderão ser utilizadas, pois nestes casos o tratamento dado às pseudo-medidas de injeções ativas e reativas deve ser diferenciado.

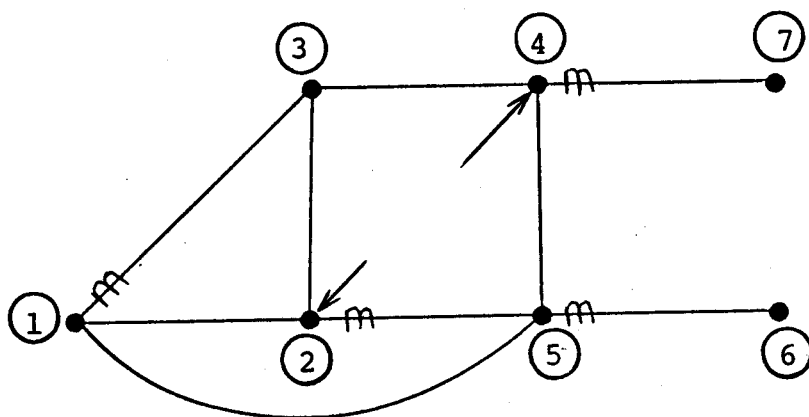
Para ilustrar melhor o que ocorre considere-se o exemplo da Figura 5.8 (a). Segundo os critérios apresentados anteriormente, para tornar este sistema observável seria suficiente que se introduzissem, por exemplo, pseudo-medidas de injeção nas barras 2 e 3 (de fronteira e interna, respectivamente). Estas pseudo-medidas, no entanto, irão afetar as medidas normais, principalmente na parte reativa, pois elas não formam um conjunto não-redundante, devido à existência de medidas de tensão em am



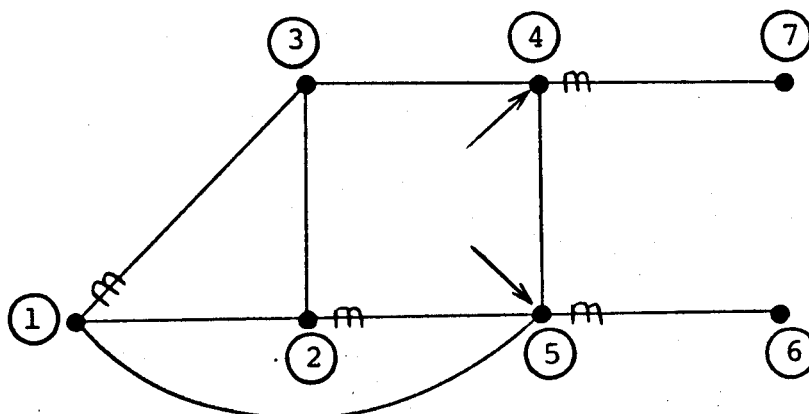
(a)



(b)

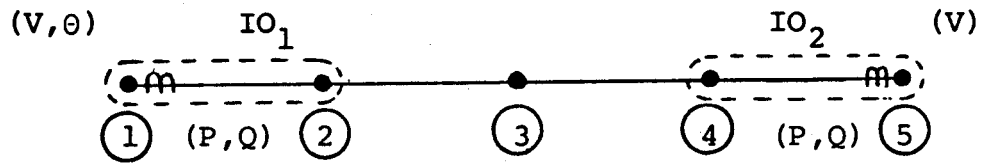


(c)

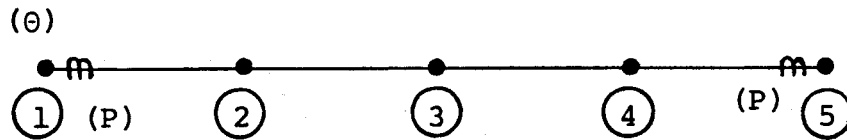
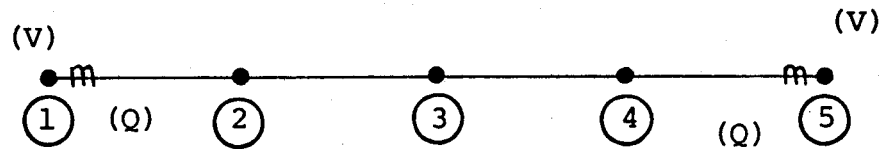
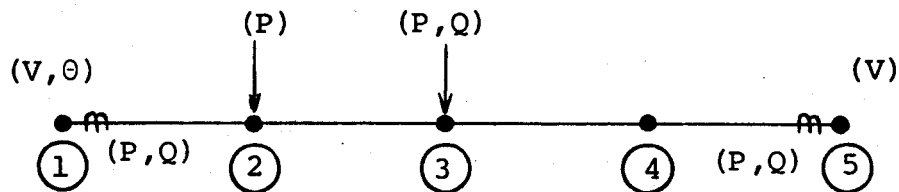


(d)

FIGURA 5.7: COMBINAÇÃO DE SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS
(EXEMPLO DA FIG. 5.2)



(a) Sistema de medição (não-observável)

(b) Medidas "ativas" ($P\theta$)(c) Medidas "reativas" (QV)

(d) Pseudo-medidas de injeção que tornam o sistema minimamente observável.

FIGURA 5.8: MEDIDAS DE TENSÃO NA COMBINAÇÃO DE ILHAS OBSERVÁVEIS

bas as ilhas. Utilizando-se um modelo de observabilidade desacoplado [18] do tipo representado nas partes (b) e (c) da Figura 5.8, pode-se ver que enquanto existe uma só referência angular na barra 1 da IO_1 , existem duas referências de tensão dadas pelas medidas na barra 1 (IO_1) e na barra 5 (IO_2). Assim, se forem introduzidas medidas de injeção de potência reativa nas barras 2 e 3, o conjunto de medidas reativas passará a ser redundante e as pseudo-medidas deteriorarão as medidas normais.

Do que foi discutido anteriormente poder-se-ia concluir que se existissem medidas de tensão em uma única ilha observável não haveria maiores dificuldades, podendo-se aplicar diretamente os procedimentos sugeridos nos itens (5.4) e (5.5). Acontece, porém, que nestes casos os valores estimados das tensões nas ilhas observáveis que não tivessem medidas de tensão seriam muito imprecisos, apesar da parte ativa ser estimada com boa precisão. Isto se deve ao fato de que essas ilhas não teriam referência de tensão. Então é desejável que existam sempre medidas de tensão em todas as ilhas observáveis, e se elas não existirem é recomendável introduzi-las na forma de pseudo-medidas (pelo menos uma por ilha observável). Assim sendo, sempre haverá medidas de tensão (pseudo ou normais) nas ilhas observáveis, e isto exige a reformulação das condições de observabilidade para as medidas "reativas" (as condições do item 5.4 continuam válidas para as medidas ativas):

Seja uma ilha não-observável ligada a N_f ilhas obser-

váveis adjacentes, todas elas contendo pelo menos uma medida de tensão (pseudo ou normal). Se existirem medidas de injeção de potência reativa em todas as barras internas da ilha não observável (ou, alternativamente, medidas de tensão), o sistema será observável do ponto de vista das medidas "reativas", e este conjunto de pseudo-medidas não alterará a redundância das barras que eram previamente observáveis.

Considere-se como ilustração o sistema da Figura 5.9 (a). Este sistema se tornará observável, por exemplo, com uma medida de tensão na barra 6 e medidas de injeção de potência ativa nas barras 3 e 4, como mostra a Figura 5.9 (b). Neste caso cada uma das ilhas observáveis teria uma medida de tensão. Uma outra alternativa, em geral menos precisa, é a apresentada na Figura 5.9 (c), na qual em lugar da pseudo-medida de tensão na barra 6, introduziu-se uma medida de injeção de potência reativa na barra 3.

5.7. Exemplo - Sistema FURNAS-66

A seguir são apresentados os resultados obtidos com o sistema FURNAS-66. Na Figura 5.10 estão mostradas a rede de medição, as ilhas observáveis e a ilha não-observável. Na figura 5.11 estão indicadas as pseudo-medidas colocadas no sistema de medição para torná-lo observável. Na tabela 5.1 mostram-se as tensões e os ângulos obtidos e os valores corretos, ou seja, o

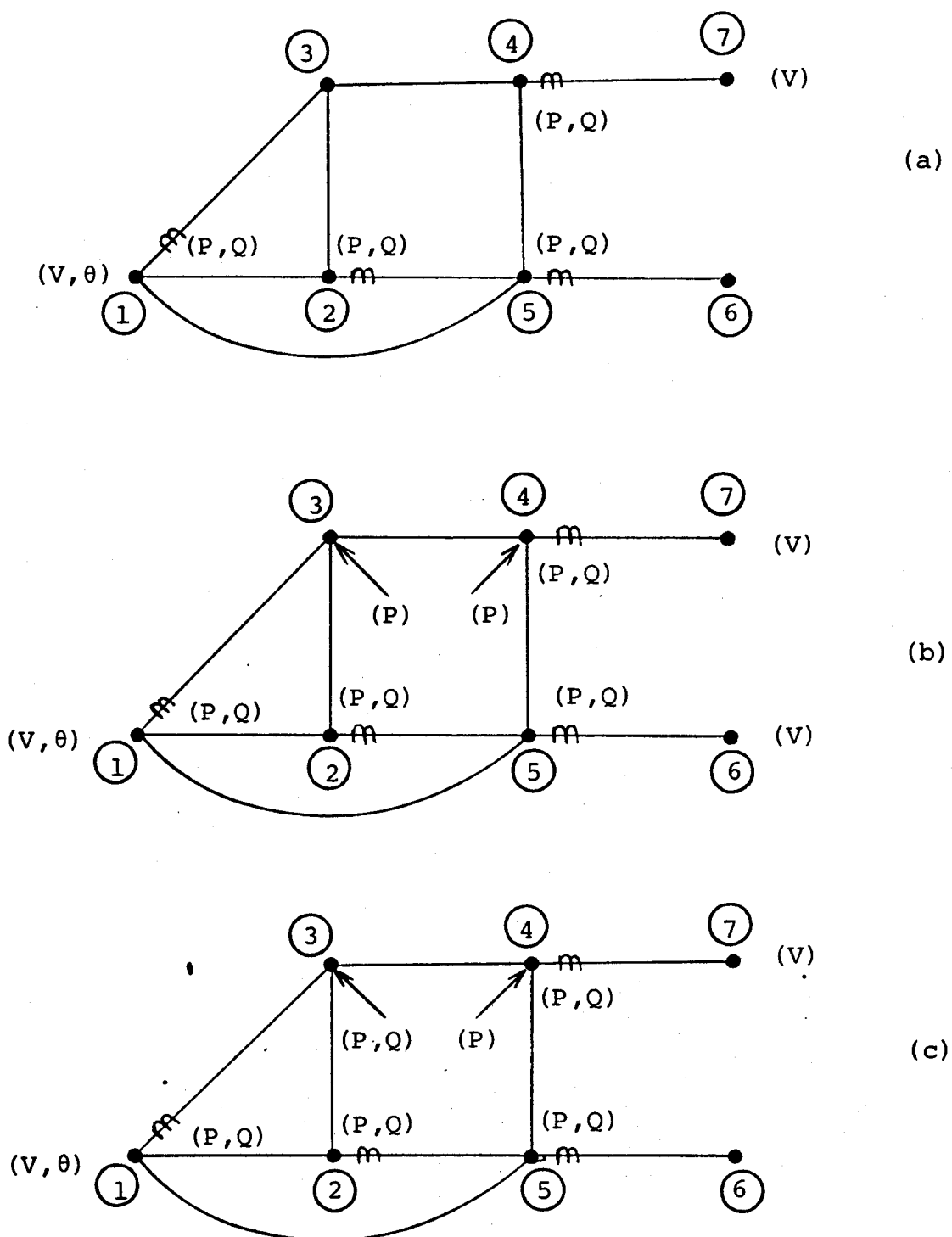


FIGURA 5.9: COMBINAÇÃO DE SISTEMAS SEPARADAMENTE OBSERVÁVEIS CONSIDERANDO-SE MEDIDAS DE TENSÃO

estado obtido com o sistema de medição completo, sem ilhamento. Verifica-se que os ângulos dos nós da ilha observável 2 (IO_2) são alterados. Porém as diferenças angulares entre os nós desta ilha são idênticos aos obtidos com o sistema de medição completo, e portanto os fluxos serão estimados corretamente. Os resultados foram obtidos com o estimador desacoplado no modelo.

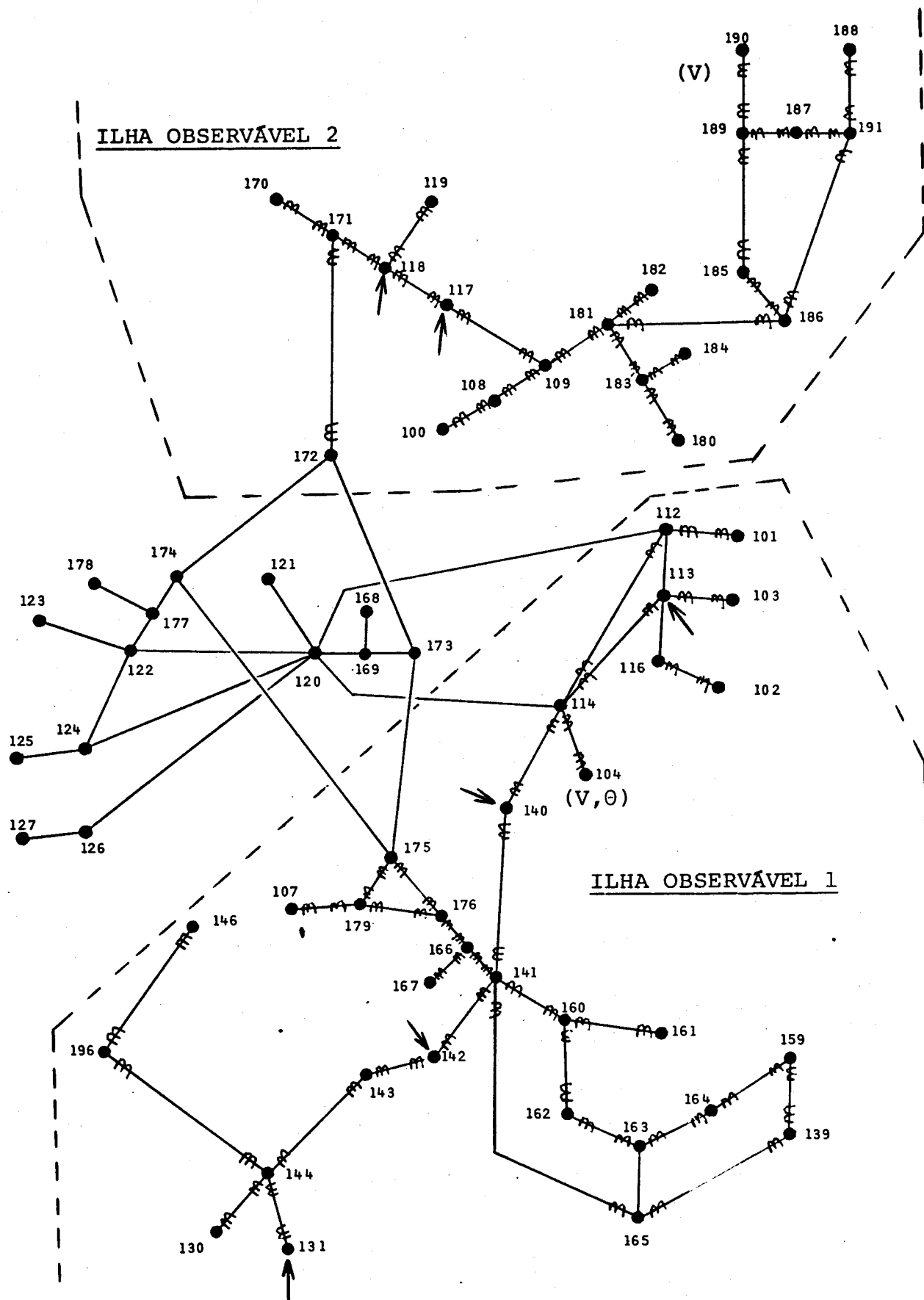


FIGURA 5.10: SISTEMA DE MEDIDAS E ILHAS OBSERVÁVEIS
(FURNAS-66)

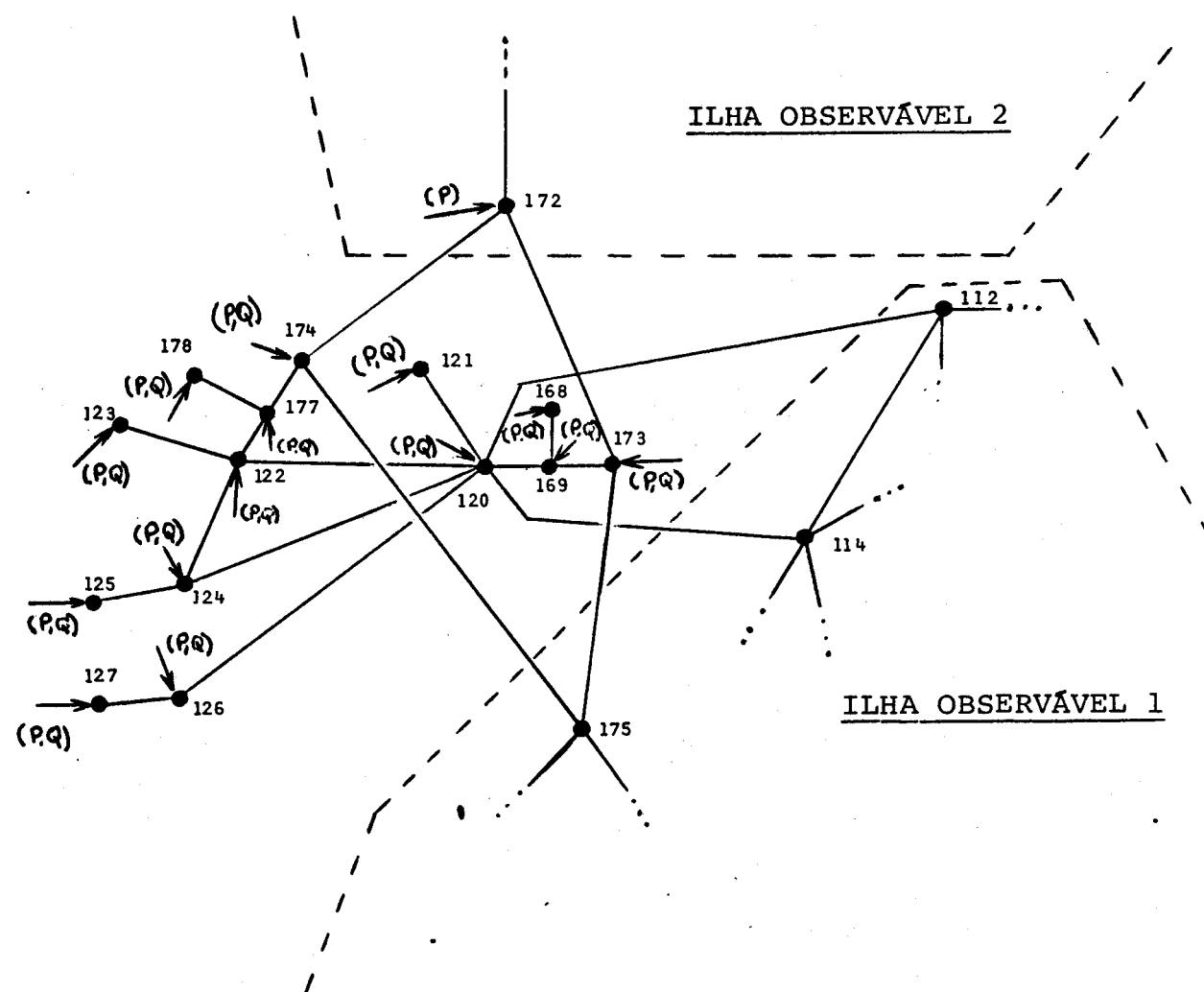


FIGURA 5.11: ILHA NÃO-OBSERVÁVEL INDICANDO-SE AS PSEUDO-MEDIDAS NA FRONTEIRA E NÓS INTERNOS (FURNAS-66)

Área	Barra	TENSÃO (PU)		ÂNGULO (GRAUS)	
		Correto	Estimado	Correto	Estimado
IO ₁	104	1,030	1,030	0,0	0,0
IO ₁	101	1,020	1,020	5,1	5,1
IO ₁	102	0,995	0,995	4,8	4,8
IO ₁	103	1,035	1,035	6,1	6,1
IO ₁	107	1,025	1,025	-19,0	-19,0
IO ₁	113	1,026	1,026	- 0,6	- 0,6
IO ₁	116	1,043	1,043	- 1,7	- 1,7
IO ₁	130	1,010	1,010	-43,7	-43,7
IO ₁	131	0,975	0,975	-43,7	-43,7
IO ₁	139	1,022	1,022	-46,8	-46,8
IO ₁	140	1,015	1,015	-21,4	-21,4
IO ₁	141	1,012	1,012	-36,0	-36,0
IO ₁	142	1,009	1,009	-37,9	-37,9
IO ₁	143	0,996	0,996	-42,3	-42,3
IO ₁	144	1,000	1,000	-43,7	-43,7
IO ₁	146	1,007	1,007	-44,8	-44,8
IO ₁	159	1,030	1,030	-49,3	-49,3
IO ₁	160	1,047	1,047	-39,8	-39,8
IO ₁	161	1,035	1,035	-41,8	-41,8
IO ₁	162	1,040	1,040	-44,3	-44,3
IO ₁	163	1,026	1,026	-44,9	-44,9
IO ₁	164	1,016	1,016	-48,9	-48,9
IO ₁	165	1,040	1,040	-43,0	-43,0
IO ₁	166	0,985	0,985	-40,8	-40,8
IO ₁	167	0,835	0,835	-40,8	-40,8

Tabela 5.1 (cont. ...)

Tabela 5.1 (Cont....)

Área	Barra	TENSÃO (PU)		ÂNGULO (GRAUS)	
		Correto	Estimado	Correto	Estimado
IO ₁	176	1,029	1,029	-29,8	-29,8
IO ₁	179	1,039	1,039	-24,3	-24,3
IO ₁	196	1,007	1,007	-44,4	-44,4
F	112	1,020	1,020	- 0,2	- 0,2
F	114	1,020	1,020	- 6,5	- 6,5
F	175	1,043	1,043	-23,5	-23,5
INO	120	0,958	0,997	-14,9	- 6,3
INO	121	1,064	1,123	-18,6	- 6,3
INO	122	0,924	0,972	-20,4	- 7,6
INO	123	1,004	1,074	-24,0	- 7,6
INO	124	0,927	1,001	-26,8	- 7,1
INO	125	1,030	1,114	-30,4	- 7,1
INO	126	0,952	0,963	-29,7	- 6,1
INO	127	1,045	1,058	-31,7	- 6,1
INO	168	0,863	0,920	-15,4	- 4,2
INO	169	1,018	1,085	-15,4	- 4,2
INO	173	1,033	1,042	-14,2	- 9,2
INO	174	1,023	1,041	-15,7	- 9,1
INO	177	0,966	1,039	-24,1	- 6,6
INO	178	0,818	0,881	-24,1	- 6,6
F	172	1,013	1,013	- 4,5	1,2
IO ₂	100	1,040	1,040	11,6	17,2
IO ₂	108	1,037	1,037	5,8	11,4
IO ₂	109	1,021	1,021	4,0	9,6
IO ₂	117	1,006	1,006	5,7	11,3
IO ₂	118	0,976	0,976	4,4	10,0

Área	Barra	TENSÃO (PU)		ÂNGULO (GRAUS)	
		Correto	Estimado	Correto	Estimado
IO ₂	119	0,827	0,827	4,4	10,0
IO ₂	170	1,000	1,000	13,7	19,3
IO ₂	171	1,018	1,018	7,4	13,0
IO ₂	180	1,073	1,073	5,2	10,9
IO ₂	181	1,014	1,014	3,0	8,7
IO ₂	182	1,062	1,062	3,7	9,4
IO ₂	183	1,010	1,010	1,4	7,1
IO ₂	184	1,010	1,010	1,4	7,1
IO ₂	185	1,020	1,020	-3,4	2,3
IO ₂	186	0,999	0,999	-1,4	4,2
IO ₂	187	1,033	1,033	-5,4	0,2
IO ₂	188	1,058	1,058	-6,4	0,7
IO ₂	189	1,029	1,028	-5,9	-0,2
IO ₂	190	1,010	1,010	-9,4	-3,7
IO ₂	191	0,993	0,993	-4,2	1,4

Tabela 5.1: Resultados obtidos com o sistema FURNAS-66

IO₁ - ilha observável 1

IO₂ - ilha observável 2

F - Fronteira

INO - ilha não observável

CAPÍTULO 6

PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES EXATAS |16|

Neste capítulo são apresentados resultados obtidos em testes realizados utilizando-se ponderações elevadas para pseudo-medidas de injeção em barras de transição de linhas seccionadas, e em barras fictícias de transformadores com três enrolamentos. São discutidos os problemas relativos à convergência e às tolerâncias na estimação do estado quando existem ponderações elevadas. O procedimento estudado foi testado com sucesso nos sistemas IEEE-14 e FURNAS-66, em várias situações distintas, e uma amostra dos resultados obtidos é apresentada.

6.1 - Pseudo-Medidas de Injeção

Em redes de transmissão é comum a existência de linhas seccionadas em pontos onde a carga/geração são nulas. Por outro lado, o circuito equivalente de transformadores com três enrolamentos tem um nó fictício (interno) onde a injeção de potência é nula.

Este tipo de informação pode ser utilizado pelo estimador de estado, e além disso deve-se levar em conta que, diferentemente das medidas normais, esta informação é exata, determinística, ou seja, não está afetada por erros aleatórios e er

ros grosseiros.

O fato dessas pseudo-medidas serem exatas e, portanto, terem variâncias nulas ($\sigma_i^2=0$), sugere que suas ponderações no método dos mínimos quadrados ponderados sejam infinitas, ou então, o maior valor possível dadas as limitações do computador. Dessa forma os resíduos de estimação seriam nulos, ou praticamente nulos, ou seja, os valores estimados das grandezas correspondentes seriam praticamente iguais aos valores introduzidos na forma de pseudo-medidas.

Por outro lado, deve-se considerar que a precisão com que o estado da rede é estimado está limitada pelo truncamento do processo iterativo quando as correções no estado estimado ($\Delta V, \Delta \theta$) têm magnitudes menores do que certas tolerâncias pré-fixadas (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , etc). Assim sendo, de nada adianta introduzir um valor extremamente elevado nas ponderações das pseudo-medidas de injeção, se os valores estimados dessas grandezas nunca poderão ser iguais aos valores das pseudo-medidas devido ao truncamento do processo iterativo. Além disso, o uso de ponderações excessivamente elevadas provoca problemas de convergência no estimador de estado, como de resto ocorre com os métodos tipo penalidades de uma maneira geral.

6.2 - Método das Restrições de Igualdade

Este método, sugerido na referência |22|, resolve o

problema das informações exatas sem mexer nas ponderações. As pseudo-medidas de injeção nulas são consideradas como restrições de igualdade, e o problema da estimação de estado passa a ser formulado da seguinte maneira:

Minimizar:

$$J(\underline{x}) = [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x})]^t W [\underline{z} - \underline{h}(\underline{x})] \quad (6.1)$$

Sujeito a

$$\underline{g}(\underline{x}) = \underline{0} \quad (6.2)$$

onde $\underline{g}(\underline{x}) = \underline{0}$ representa o conjunto de restrições nulas.

As vantagens do método são as de que não é afetada a convergência e as pseudo-medidas são tratadas de maneira exata. A principal desvantagem, que praticamente inviabiliza o método, é a complexidade. Este fator é mais grave ainda quando se trata de estimadores desacoplados, cuja maior característica é a simplicidade de programação.

6.3 - Método das Ponderações Moderadamente Elevadas

Este método parte da constatação de que não há sentido prático em se exigir que os valores estimados das pseudo-medidas de injeção em barras de transição e em barras fictícias de transformadores de três enrolamentos sejam exatamente iguais

a zero. Interessa, isto sim, é que elas estejam próximas de zero com uma precisão pré-fixada. Então, o que é preciso saber é quanto as ponderações dessas pseudo-medidas devem ser maiores que as demais para que seus resíduos de estimação estejam dentro das precisões especificadas. Os diversos testes realizados mostraram que se as ponderações das pseudo-medidas de injeção nulas forem 100 vezes maiores que as ponderações das medidas normais, e se for utilizada uma tolerância de 10^{-4} na correção do estado em cada iteração, então os resíduos de estimação das pseudo-medidas serão menores do que 10^{-3} pu, o que para efeitos práticos parece ser uma precisão satisfatória. Nessas condições não foram observados problemas de convergência e nem dificuldades no processamento de erros grosseiros. A seguir são apresentados alguns resultados obtidos com os sistemas IEEE-14 e FURNAS-66.

6.4 - Testes e Resultados

6.4.1 - Teste com o Sistema IEEE-14

As condições particulares deste teste foram:

- i) Medidas de tensão em todos os nós;
- ii) Medidas de fluxo de ativos e reativos em todas as linhas;
- iii) Pseudo-medidas de injeção (P,Q) no nó 7 (ver Figura 6.1);
- iv) Erros aleatórios com distribuição normal e média

nula em todas as medidas, exceto nas pseudo - medidas.

Os desvios padrões das medidas foram:

- potência ativa e reativa: $\sigma = 1/30pu$
- tensão : $\sigma = 1/300pu$

Os resultados estão mostrados na Tabela 6.1.

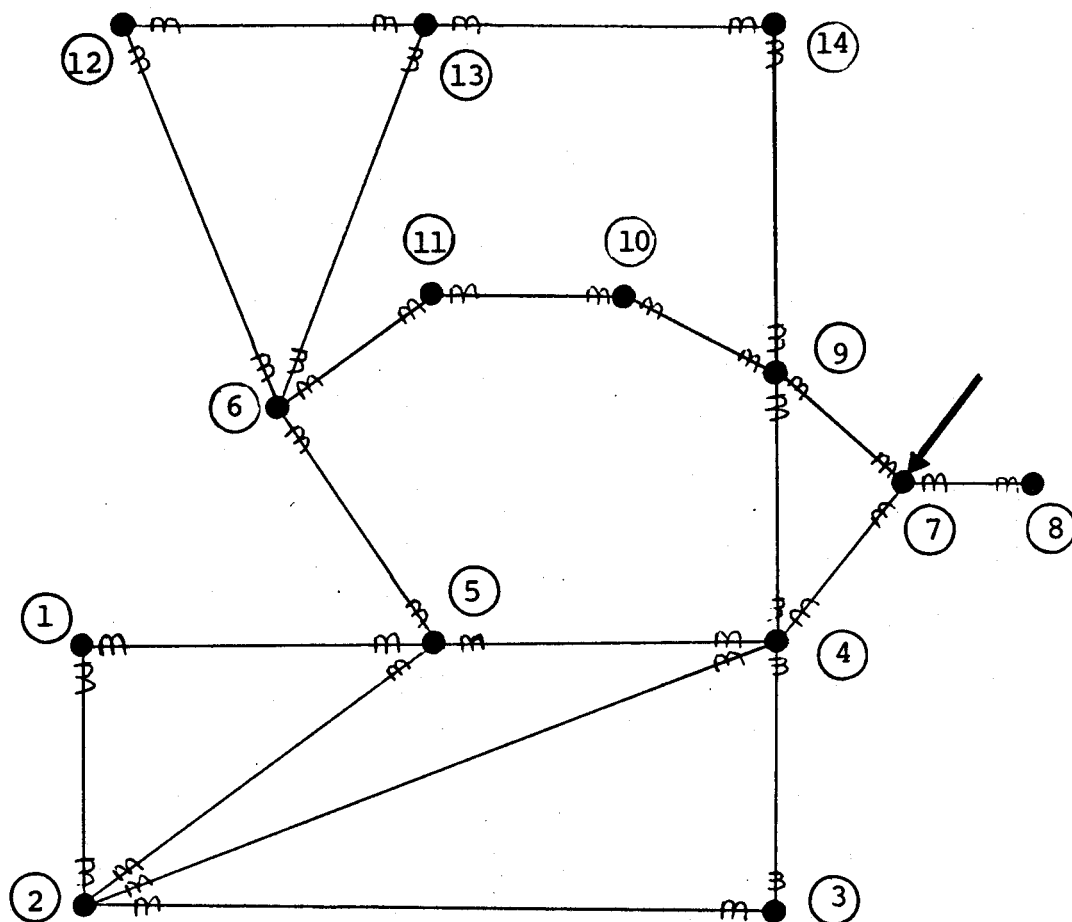


Figura 6.1 - Rede IEEE-14

Pseudo-medida de injeção no nó 7

BARRA	TIPO DE MEDIDA	VALOR EXATO	VALORES ESTIMADOS		
			$\frac{w_i}{w_j} = 1$	$\frac{w_i}{w_j} = 10$	$\frac{w_i}{w_j} = 100$
7	P	0	-2,7	-0,4	0
	Q	0	2,6	0,5	0

Tabela 6.1 - Resultados IEEE-14

- P em MW

- Q em MVar

- $\frac{w_i}{w_j}$ é a razão entre as ponderações nas pseudo-medidas e as demais medidas (P,Q)

6.4.2 - Teste com o Sistema FURNAS-66

As condições particulares deste teste foram:

- i) Medidas de tensão em todos os nós;
- ii) Medidas de fluxo dos ativos e reativos em todas as linhas;
- iii) Pseudo-medidas de injeção (P,Q) nos nós: 113, 117, 118, 120, 122, 131, 140 e 142 - ver Figura 6.2;
- iv) Erros aleatórios com distribuição normal e média nula em todas as medidas, exceto nas pseudo - medidas. Os desvios padrões das medidas foram:
 - potência ativa e reativa: $\sigma = 1/30pu$
 - tensão : $\sigma = 1/300pu$

Os resultados estão mostrados na Tabela 6.2.

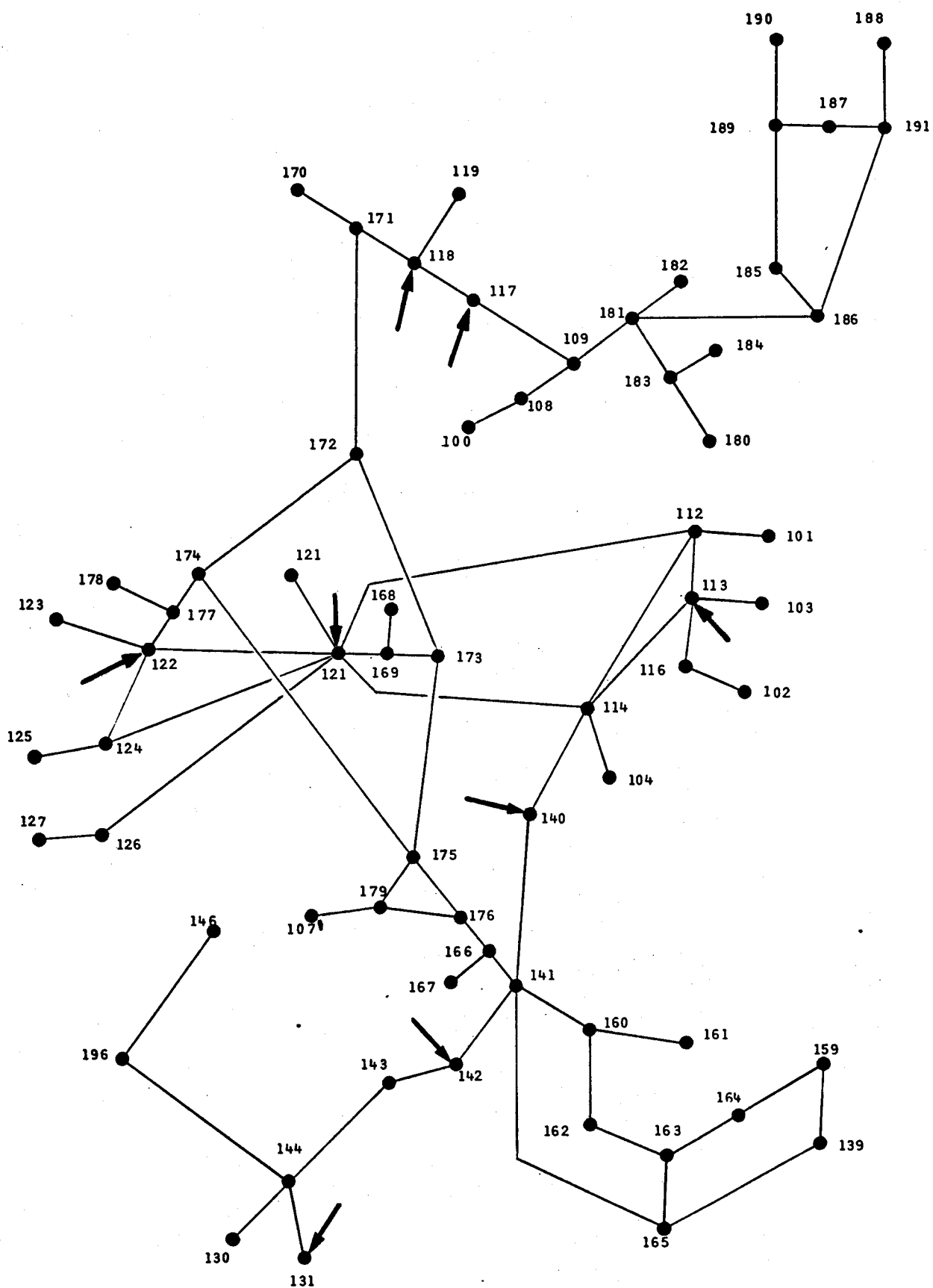


Figura 6.2 - Rede FURNAS-66

Pseudo-medidas de injeção nos nós
113, 117, 118, 120, 122, 131, 140 e 142

BARRA	TIPO DE MEDIDA	VALOR EXATO	VALORES ESTIMADOS		
			$\frac{w_i}{w_j} = 1$	$\frac{w_i}{w_j} = 10$	$\frac{w_i}{w_j} = 100$
113	P	0	1,5	0,2	0,0
	Q	0	-1,6	-0,2	0,0
117	P	0	-2,8	-0,6	0,1
	Q	0	-3,6	0,7	0,1
118	P	0	-1,0	-0,3	0,0
	Q	0	-0,4	0,0	0,0
120	P	0	-2,0	-0,3	-0,1
	Q	0	-0,1	0,0	0,0
122	P	0	-0,8	-0,1	0,0
	Q	0	1,0	0,2	0,0
131	P	0	2,5	0,6	0,1
	Q	0	-2,4	-0,6	0,1
140	P	0	-1,8	-0,3	-0,1
	Q	0	-2,1	0,3	-0,1
142	P	0	-0,1	0,0	0,0
	Q	0	-1,4	-0,2	0,0

Tabela 6.2 - Resultados FURNAS-66

- P em MW

- Q em MVar

- $\frac{w_i}{w_j}$ é a razão entre as ponderações nas pseudo-medidas e as demais medidas

(P,Q)

CAPÍTULO 7

COMPENSAÇÃO DE LIGAÇÕES COM BAIXAS RELAÇÕES X/R |16|

Ligações com baixas relações X/R podem prejudicar ou mesmo impedir a convergência de estimadores desacoplados. Neste capítulo é discutido um método de compensação para evitar este tipo de problema. São apresentados testes realizados com o sistema IEEE-14 que comprovam a eficiência do método apresentado.

7.1 Efeito das Relações X/R das Ligações sobre a Convergência de Estimadores Desacoplados

Problemas de convergência do tipo verificado no método desacoplado rápido de cálculo de fluxo de carga em sistemas contendo ligações com baixa relação X/R, podem aparecer também na utilização de estimadores desacoplados. A diferença entre o fluxo de carga e o estimador desacoplado é que no estimador as dificuldades podem aparecer ou não, dependendo do sistema de medição e do tipo de linearização adotado, enquanto que no problema de fluxo de carga a convergência depende basicamente das próprias ligações. Por exemplo, se o estado de duas barras, entre as quais existe uma ligação com baixa relação X/R, for determinado por outros caminhos, é razoável pensar que a convergência do estimador não será afetada. Contudo, se medidas realizadas em ligações com baixa relação X/R forem fundamentais na determinação do estado de algumas barras, problemas graves de convergência podem ocorrer -

rer.

Estes problemas de convergência se devem ao fato de que o acoplamento entre os fluxos de potência ativa e reativa em uma ligação depende basicamente da dimensão relativa da resistência dessa ligação. Relações X/R menores ou iguais a um são encontradas freqüentemente em sistemas de baixa tensão, e os testes realizados mostraram que mesmo ligações com relações da ordem de 1:1 podem provocar sérios problemas de convergência.

7.2 Método de Compensação

O método de compensação sugerido por Dy Liacco [23] para transformar ligações com baixas relações X/R, apresentado inicialmente para resolver problemas de convergência do fluxo de carga desacoplado rápido, pode ser estendido para estimadores de desacoplados.

A figura 7.1 ilustra uma ligação com baixa relação X/R (a) e o circuito transformado correspondente (b). O valor de X_f é escolhido de tal forma que a relação $(X + X_f)/R$ tenha valores normais (maiores que 5 já é suficiente). Ao nó fictício f é associada uma medida (pseudo) de injeção nula, e a ponderação desta medida deve ser maior que as medidas normais, como o apresentado no capítulo 6. Se na ligação original existirem medidas de fluxo, elas aparecerão nas linhas fictícias nos mesmos terminais onde estavam originalmente, como mostra a figura 7.1 (b).

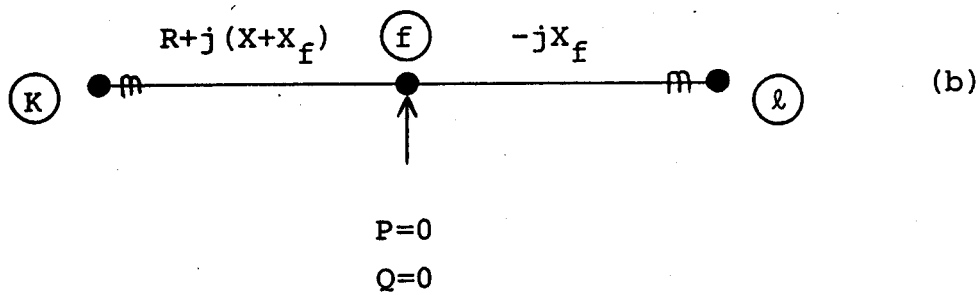
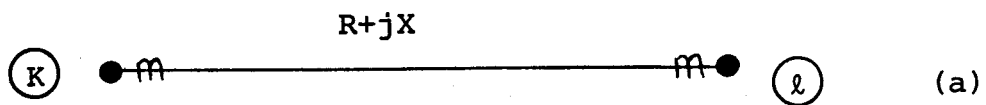


Figura 7.1 : Método de Compensação de Ligações com baixa relação X/R

m - medida de fluxo

↑ - medida de injeção

7.3 Teste com o Sistema IEEE-14

Como foi dito no item 7.1, quando as medidas em ramos com baixas relações X/R são fundamentais na determinação do estado de alguma barra, podem haver problemas de convergência. Em testes com o sistema IEEE-14, que tem uma parte de baixa tensão, estes problemas foram verificados para o conjunto de medidas mostrado na figura 7.2. A relação X/R da ligação 12-13 é da ordem de 0,9 ($R=0,2209$ pu e $X = 0,1999$ pu), e as medidas realizadas nesta ligação são essenciais para se determinar o estado no nó 12, como mostra a figura 7.2. Deve-se ressaltar que os problemas de convergência neste teste foram graves para um tipo de linearização, ou seja, a linearização-1, apresentada no capítulo 2.

A compensação realizada está indicada na figura 7.3 e escolheu-se para X_f o valor $9X$, ou seja, a reatância da ligação 12-f (nó fictício) se tornou dez vezes maior e a ligação f-13 ficou com uma reatância $X_{f-13} = -9X$. Esta compensação está mostrada com maiores detalhes na figura 7.4.a e 7.4.b.

Na tabela 7.1 mostram-se as iterações necessárias para a obtenção da solução para o sistema sem compensação e com compensação para as três versões do estimador desacoplado no modelo, tal como definido no capítulo 2.

Como pode ser notado, a linearização denominada 1/X quase não foi afetada pela existência da ligação com baixa relação X/R, ao passo que a linearização (-B) apresentou graves proble-

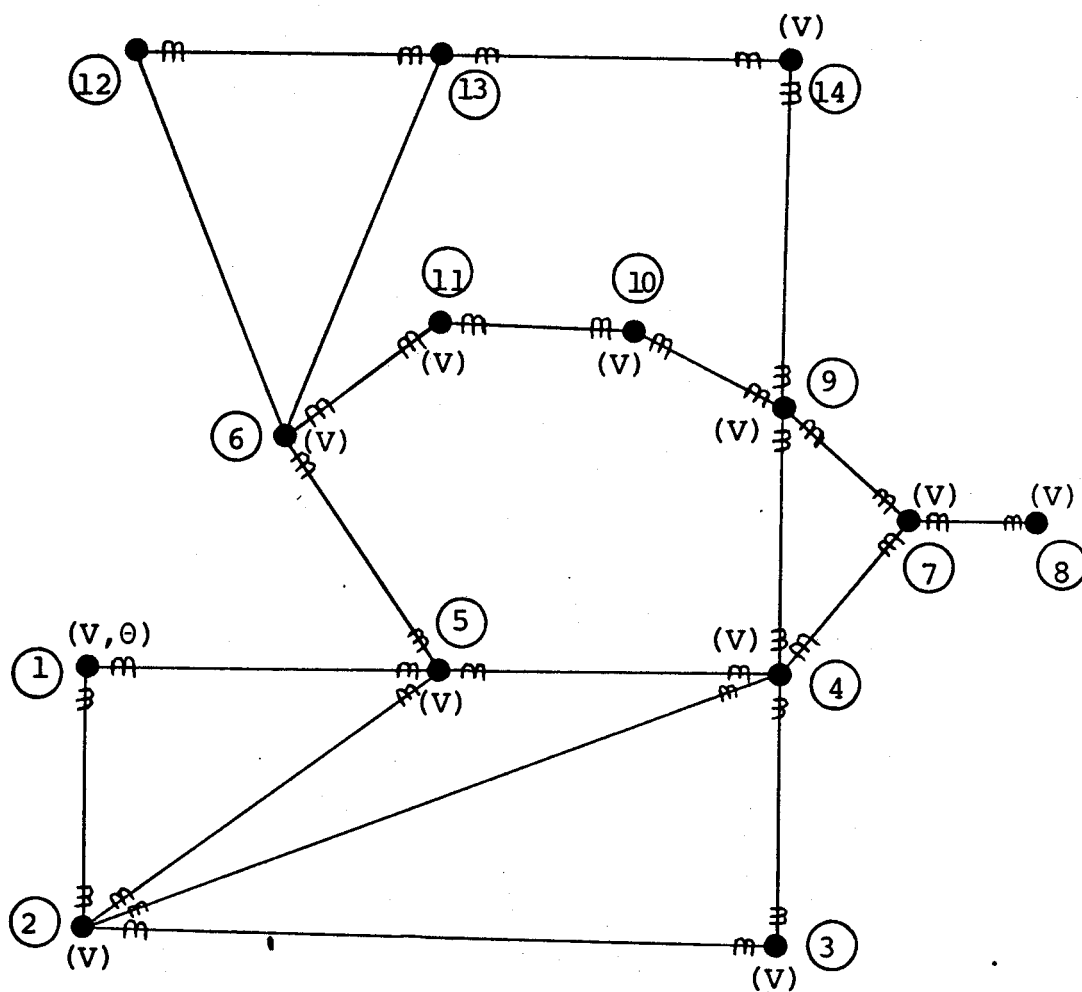


Figura 7.2: Sistema IEEE-14

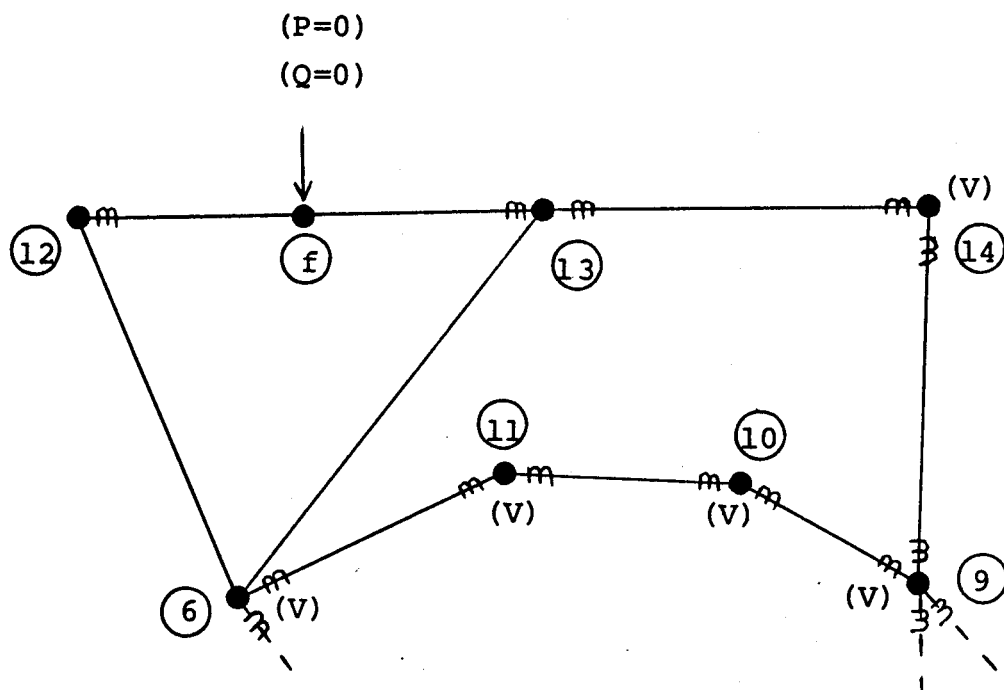


Figura 7.3: Detalhe da Rede IEEE-14 mostrando a compensação realizada no Ramo 12-13

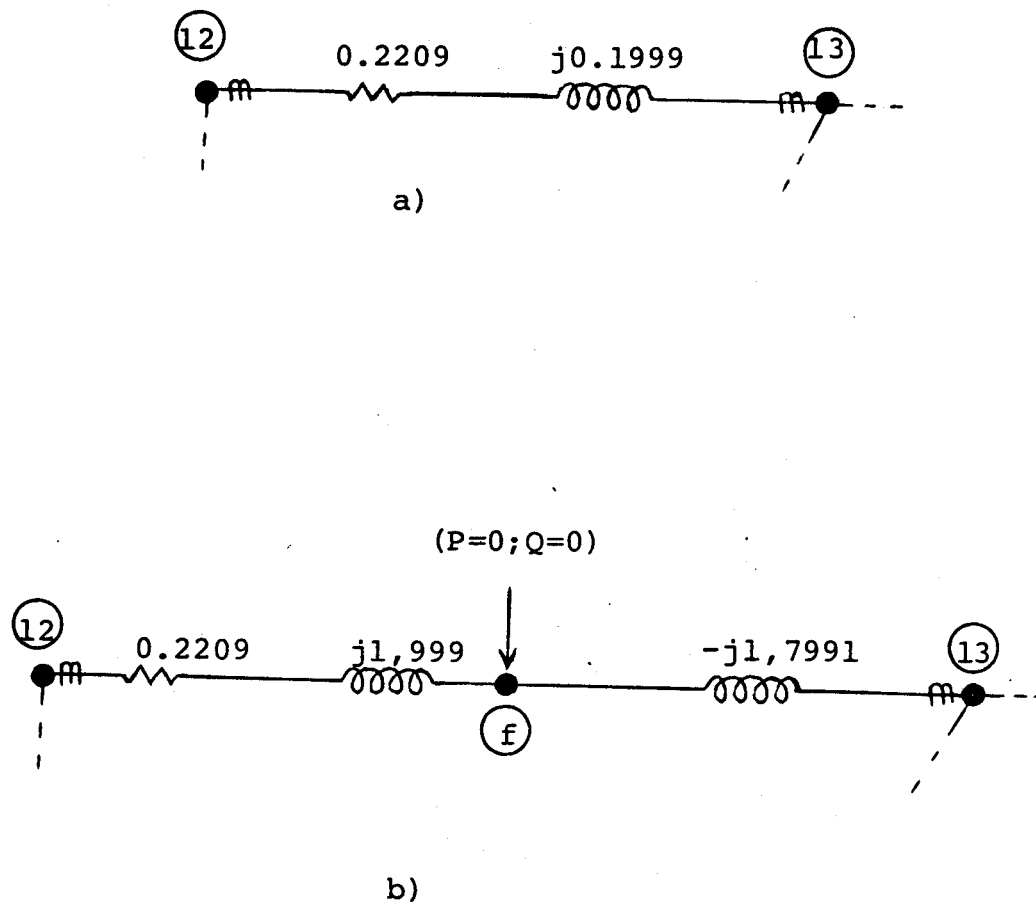


Figura 7.4: Detalhe da compensação realizada na ligação 12-13 do sistema IEEE-14.

a) sem compensação

b) com compensação

	VERSÃO		
	- B	1/X	Y
Sem Compensação	Diverge	4,0	7,0
Com Compensação	4,5	3,5	4,0

Tabela 7.1: Desempenho (nº iterações)
das 3 versões do estimador desacoplado
no modelo para o sistema IEEE-14 com o
conjunto de medidas indicado na figura
7.2 e 7.3 (com compensação).

mas de convergência.

O desempenho verificado com a versão l/X para este caso foi, de certa forma, surpreendente, e não se pode afirmar que para outras redes que tenham relações X/R críticas o desempenho desta linearização seja o mesmo.

CAPÍTULO 8

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a estimação estática de estado em sistemas de energia elétrica, incluindo o algoritmo básico do método iterativo de solução do processo de estimação e também assuntos mais específicos como a estimação de taps controlados automaticamente, processamento de informações exatas (determinísticas) e combinação de sistemas separadamente observáveis.

Sobre o método iterativo de solução verificou-se que os métodos desacoplados são tão confiáveis quanto o método clássico e, como são de programação bem mais simples, mais rápidos e ainda exigem um esforço computacional menor que o método clássico, devem ser preferidos em relação a este.

Sobre a confiabilidade da identificação/recuperação de medidas com erros grosseiros utilizando-se matrizes covariâncias aproximadas (desacoplamento P- θ , Q-V), o que se verificou foi que mesmo em condições críticas o processamento de erros grosseiros funcionou a contento e, nos casos em que houve problemas, estes apareceram devido a existência de redundância insuficiente no sistema de medição e mesmo o método clássico falharia.

O problema da estimação de taps controlados automaticamente foi resolvido de maneira muito simples, considerando-os como variáveis de estado. A única ressalva é que o sistema de medição deve ser tal que a redundância existente permita a estimação destes taps.

No estudo sobre a combinação de sistemas separadamente observáveis para torná-los um só sistema observável, desenvolveu-se uma sistemática de geração de pseudo-medidas para as partes não-observáveis que além de torná-los um só sistema observável, ainda garante que as pseudo-medidas geradas não interfiram nos valores estimados das partes observáveis, ou seja, o resultado da estimação de estado para o sistema como um todo é igual ao que seria obtido se o estimador fosse aplicado a cada sub-sistema observável em separado. Ainda neste tópico, o importante papel das medidas de magnitudes de tensões, ignorado na bibliografia consultada pelo autor, foi considerado, e verifica-se que conclusões erradas sobre a observabilidade de sistema podem ser obtidas se tal consideração não for feita.

O processamento de informações exatas foi feito simplesmente ponderando-se mais estas medidas e verifica-se que se estas ponderações não forem exageradamente elevadas (mostra-se que isto é desnecessário), os valores estimados para estas medidas são praticamente iguais aos valores medidos e não foram detectados problemas de convergência.

Como o enfoque principal deste trabalho foi para os es

timadores desacoplados e, prevendo possíveis problemas de convergência quando o método fosse aplicado a sistemas de baixa tensão (abaixo de 69 KV), um método de compensação de ligações com baixas relações X/R foi desenvolvido. Este procedimento é uma adaptação do método desenvolvido para o cálculo de fluxo de carga pelo método desacoplado.

Alguns tópicos importantes em estimação de estado e que não foram abordados neste trabalho são:

- Configuração de sistemas;
- Determinação de observabilidade de sistemas;
- Planejamento do sistema de telemedição e sua confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] - A.GARCIA, A.MONTICELLI and P.ABREU, "Fast decoupled state estimation and bad data processing", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, 1645-1652, Sept./Oct., 1979.
- [2] - A.GARCIA, "Estimação estática de estado em sistemas de potência utilizando método desacoplado", Tese de Mestrado, UNICAMP, Maio, 1977.
- [3] - F.BROUSSOLLE, "State estimation in power systems: detecting bad data through the sparse inverse matrix method", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, pp.678-682, May/Jun., 1978.
- [4] - G.STAGG and A.H.El-ABIAD, "Computer methods in power system analysis", Mc-Graw-Hill, New York, 1968.
- [5] - A.J.MONTICELLI, "Análise estática de contingências em sistemas de energia elétrica", Tese de Livre Docência, UNICAMP, Dezembro/1980.
- [6] - B.STOTT and O.ALSAÇ, "Fast decoupled load flow", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-93, pp. 859-867, May/June, 1974.

- |7| - J.B.WARD e H.W.HALE, "Digital computer solution of power-flow problems", Transactions AIEE, Vol.75, pt.III , pp. 398-404, 1956.
- |8| - L.L.FRERIS et alii, "Investigation of the load flow problem", Proceedings IEE, Vol.115, No.10, October, 1968.
- |9| - P.A.L.DE ALMEIDA, "Processamento de erros grosseiros em estimação do estado de sistemas de energia elétrica", Tese de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, Agosto, 1979.
- |10| - O.ALSAÇ, Comunicação oral, 1980.
- |11| - A.MONTICELLI e A.V.GARCIA, "Estimação de estado em sistemas de energia elétrica, incluindo taps de transformadores", Relatório nº 1, Convênio CEPTEL/UNICAMP sobre Tópicos Especiais em Estimação Estática de Estado em Sistemas de Energia Elétrica, Publicação FEC 29/79, Campinas Agosto, 1979.
- |12| - A.S.DEBS, "Estimation of steady-state power system model parameters", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, pp. 1260-1268, Sept./Oct., 1974.
- |13| - F.C.SCHWEPPE e E.J.HANDSCHIN, "Static state estimation in electric power systems", Proceedings IEEE, Vol. 62, nº 7, July, 1974.

- [14] - Discussão da referência [12] .
- [15] - G.H.COUCH, A.C.SULLIVAN e J.A.DEMBECKI, "A state estimator oriented to a semi-isolated 5GW power system", Paper C74 346-3, IEEE PES Summer Meeting, Anaheim, California, July, 1975.
- [16] - A.V.GARCIA e A.MONTICELLI, "Alguns tópicos especiais em estimadores desacoplados rápidos", Relatório nº 2, Convênio CEPEL/UNICAMP sobre Tópicos Especiais em Estimação Estática de Estado em Sistemas de Energia Elétrica, Publicação FEC 02/80, Campinas, Fevereiro 1980.
- [17] - K.A.CLEMENTS e B.F.WOLLENBERG; "An algorithm for observability determination in power system state estimation", IEEE PES Summer Meeting, San Francisco, California, Julho, 1975.
- [18] - J.S.NORTON e R.D.MASIELLO, "On-line decoupled observability processing", IEEE PES Summer Meeting, Mexico City, Mexico, Julho, 1977.
- [19] - J.J.ALLEMONG, G.D.IRISARRI e A.M.SASSON, "An examination of solvability for state estimation algorithms", IEEE PES Winter Meeting, New York, N.Y., 1980.

- |20| - A.PIZZOLANTE, A.MONTICELLI e S.DECKMANN, "Execução de funções avançadas de controle de tempo-real em sistemas parcialmente observáveis", 5ª SNPTEE, Recife, Brasil, Nov., 1979.
- |21| - S.DECKMANN, A.PIZZOLANTE, A.MONTICELLI, B.STOTT e O.ALSAÇ, "Studies on power system load-flow equivalencing", IEEE PES Winter Meeting, New York, N.Y., Jan., 1980.
- |22| - F.C.ASCHMONEIT, N.M.PETERSON e E.C.ADRIAN, "State estimation with equality constraints", Power Industry Computer Applications Conference (PICA), 1977.
- |23| - T.E.DY LIACCO and K.A.RAMARAO, discussão do trabalho: F.F.WU, "Theoretical study of the convergence of the fast decoupled load-flow", IEEE Transactions on Power App. Systems, Vol. PAS-96, pp. 268-275, Jan.,Feb., 1977.
- |24| - E.HANDSCHIN, F.C.SCHWEPPE, J.KOHLAS and A.FIECHTER, "Bad data analysis for power systems state estimation", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-93, pp. 859-869, March/April, 1975.
- |25| - F.C.SCHWEPPE, Uncertain dynamic systems, Englewood Cliffs, N. Jersey, Prentice-Hall, 1973.

APÊNDICE AANÁLISE LINEARIZADA | 2,24 |A.1 Introdução

Neste apêndice são apresentadas as relações entre os vetores erro de estimação, resíduo de estimação e diferença entre o valor verdadeiro e o estimado das grandezas e o vetor erro de medidas. São obtidas ainda as relações entre as matrizes de covariâncias destes diversos vetores aleatórios.

Inicialmente, para facilitar as deduções subseqüentes, apresenta-se a relação entre as matrizes covariâncias de dois vetores aleatórios quando entre eles existe uma relação linear do tipo $\underline{y} = A \underline{u}$, sendo A determinística.

Sejam \underline{y} e \underline{u} dois vetores aleatórios relacionados entre si como indicado na equação (A.1).

$$\underline{y} = A \underline{u} \quad (A.1)$$

As médias e covariâncias de \underline{y} e \underline{u} são representadas respectivamente, por $\bar{\underline{y}}$, $\bar{\underline{u}}$, Y e U. Se a matriz A for determinística então as relações entre $\bar{\underline{y}}$ e $\bar{\underline{u}}$ e entre Y e U são facilmente obtidas:

$$\bar{\underline{y}} \triangleq E\{\underline{y}\} = E\{A \underline{u}\} = A.E\{\underline{u}\} = A \bar{\underline{u}} \quad (A.2)$$

$$\begin{aligned}
 Y = \text{cov}(\underline{y}) &\triangleq E\{(\underline{y} - \bar{\underline{y}})(\underline{y} - \bar{\underline{y}})^t\} = E\{A(\underline{u} - \bar{\underline{u}})(\underline{u} - \bar{\underline{u}})^t \cdot A^t\} = \\
 &= A U A^t
 \end{aligned}$$

Estas relações serão usadas com frequência no que se segue.

A.2 Erro de Estimação

Define-se erro de estimação de estado como sendo a diferença entre o valor verdadeiro (\underline{x}_v) e o valor estimado ($\hat{\underline{x}}$) do estado:

$$\Delta \underline{x} \triangleq \underline{x}_v - \hat{\underline{x}} \quad (\text{A.4})$$

Quando as medidas são afetadas por erros aleatórios (sem erros grosseiros) $\hat{\underline{x}} \approx \underline{x}_v$, ou seja, a diferença entre o estado verdadeiro e o estado estimado é pequena. A análise linearizada desenvolvida a seguir está baseada nesta hipótese.

O valor verdadeiro das grandezas medidas $\underline{h}(\underline{x}_v)$, pode ser aproximado por :

$$\underline{h}(\underline{x}_v) \approx \underline{h}(\hat{\underline{x}}) + H \cdot \Delta \underline{x} \quad (\text{A.5})$$

onde H é a matriz jacobiana calculada no ponto $\underline{x} = \hat{\underline{x}}$ e, por facilidade de notação, é representada desta maneira.

No ponto solução ($\hat{\underline{x}}$) tem-se:

$$H^t W [\underline{z} - \underline{h}(\hat{\underline{x}})] = \underline{0} \quad (\text{A.6})$$

onde \underline{z} é o valor medido e é igual a: $\underline{z} = \underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} \rightarrow$ equação (2.1).

Logo tem-se:

$$\underline{H}^t \underline{W} [\underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} - \underline{h}(\hat{\underline{x}})] = \underline{0} \quad (\text{A.7})$$

ou, pela equação (A.5),

$$\underline{H}^t \underline{W} [\underline{H} \cdot \underline{\Delta x} + \underline{w}] = \underline{0} . \quad (\text{A.8})$$

Assim a relação entre o erro de estimação $\underline{\Delta x}$ e o vetor erro de medidas \underline{w} é:

$$\underline{\Delta x} = - [\underline{H}^t \underline{W} \underline{H}]^{-1} \underline{H}^t \underline{W} \cdot \underline{w} \quad (\text{A.9})$$

Os vetores $\underline{\Delta x}$ e \underline{w} são vetores aleatórios, a matriz $[\underline{H}^t \underline{W} \underline{H}]^{-1} \underline{H}^t \underline{W}$ é determinística e ainda a matriz \underline{W}^{-1} é a matriz covariância de \underline{w} . Logo, pelas relações (A.2) e (A.3), tem-se que o valor médio do vetor erro de estimação será:

$$\underline{\Delta \bar{x}} = - [\underline{H}^t \underline{W} \underline{H}]^{-1} \underline{H}^t \underline{W} \underline{\bar{w}} \quad (\text{A.10})$$

e a matriz covariância de $\underline{\Delta x}$ será dada por:

$$\begin{aligned} \text{COV}(\underline{\Delta x}) &= [(\underline{H}^t \underline{W} \underline{H})^{-1} \underline{H}^t \underline{W}] \cdot \underline{W}^{-1} [(\underline{H}^t \underline{W} \underline{H})^{-1} \underline{H}^t \underline{W}]^t \\ &= [\underline{H}^t \underline{W} \underline{H}]^{-1} . \end{aligned} \quad (\text{A.11})$$

Assim a matriz covariância do vetor erro de estimação é dada por:

$$\text{COV}(\Delta \underline{x}) = [H^t W H]^{-1} = G^{-1} \quad (\text{A.12})$$

onde G é a matriz ganho definida no capítulo 2 e calculada no ponto $\underline{x} = \hat{\underline{x}}$. As equações (A.9) e (A.10) podem ser reescritas como:

$$\Delta \underline{x} = - \text{COV}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t W \underline{w} \quad (\text{A.13})$$

$$\Delta \bar{\underline{x}} = - \text{COV}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t W \bar{\underline{w}} \quad (\text{A.14})$$

Se \underline{w} tiver média nula, ou seja, $\bar{\underline{w}} = \underline{0}$, o vetor erro de estimação também terá média nula (estimador não polarizado).

A.3 Resíduo de Estimação

O vetor resíduo de estimação é definido como a diferença entre o valor medido e o valor estimado das grandezas medidas:

$$\begin{aligned} \underline{r} &= \underline{z} - h(\hat{\underline{x}}) \\ &= \underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} - \underline{h}(\hat{\underline{x}}) \end{aligned} \quad (\text{A.15})$$

Substituindo o obtido em (A.13) e ainda substituindo o vetor $\Delta \underline{x}$ pelo obtido em (A.9) tem-se que:

$$\underline{r} = H \cdot \Delta \underline{x} + \underline{w} = -H \text{COV}(\Delta \underline{x}) H^t W \underline{w} + \underline{w} \quad (\text{A.16})$$

ou

$$\underline{r} = [1 - H \text{COV}(\Delta \underline{x}) H^t W] \underline{w} \quad (\text{A.17})$$

onde $\mathbf{1}$ representa a matriz identidade. Chamando de Γ a matriz $[\mathbf{1} - H \text{COV}(\Delta \underline{x}) H^t W]$ tem-se:

$$\underline{r} = \Gamma \underline{w} \quad (\text{A.18})$$

Novamente \underline{r} e \underline{w} são vetores aleatórios e Γ é determinística. Logo:

$$\bar{\underline{r}} = \underline{\Gamma} \bar{\underline{w}} \quad (\text{A.19})$$

e

$$\text{COV}(\underline{r}) \triangleq R = \underline{\Gamma} W^{-1} \Gamma^t \quad (\text{A.20})$$

Manipulando-se a equação (A.20), chega-se a

$$R = W^{-1} - H \text{COV}(\Delta \underline{x}) H^t \quad (\text{A.21})$$

que é a matriz covariância do vetor resíduo de estimação. Pode-se verificar, comparando a equação (A.21) com a expressão que define Γ , que:

$$\underline{\Gamma} = R W \quad (\text{A.22})$$

A.4 Índice $J(\hat{\underline{x}})$

Se a equação (A.18) for substituída na expressão (2.2) que dá o índice $J(\hat{\underline{x}})$ tem-se:

$$J(\hat{\underline{x}}) = (\Gamma \underline{w})^t W (\Gamma \underline{w}) \quad (\text{A.23})$$

ou

$$J(\hat{\underline{x}}) = \underline{w}^t \Gamma^t W \Gamma \underline{w} \quad (\text{A.24})$$

A matriz $\Gamma^t W \Gamma$ pode ser simplificada para

$$\Gamma^t W \Gamma = W \Gamma \quad (\text{A.25})$$

e, portanto, o índice $J(\hat{\underline{x}})$ será dado por:

$$J(\hat{\underline{x}}) = \underline{w}^t W \Gamma \underline{w} \quad (\text{A.26})$$

Se \underline{w} tiver distribuição normal, $J(\hat{\underline{x}})$ dado pela equação (A.26) terá distribuição Qui-Quadrado (χ^2) com número de graus de liberdade igual ao "rank" da matriz $W \Gamma$, como pode ser visto na referência|25|. O "rank" de $W \Gamma$ é igual à diferença entre o número de medidas (m) e o número de variáveis de estado (n). Logo o índice $J(\hat{\underline{x}})$ terá distribuição χ^2 com m-n graus de liberdade.

A.5 Diferença entre o valor medido e estimado

A diferença entre o valor verdadeiro e o valor estimado das grandezas medidas,

$$\Delta \underline{z}_V \triangleq \underline{h}(\underline{x}_V) - \underline{h}(\hat{\underline{x}}) \quad (\text{A.27})$$

pode ser obtida substituindo as equações (A.13) e (A.9) em (A.27):

$$\Delta \underline{z}_v = -H \text{COV}(\Delta \underline{x}) H^t \underline{w} \underline{w} \quad (\text{A.28})$$

APÊNDICE BSAÍDA DO PROGRAMA PARA UM TESTE COM OSISTEMA FURNAS-66

Neste apêndice mostra-se a saída completa do estimador de estado, versão desacoplado no modelo, para o sistema FURNAS-66. A linearização adotada foi a linearização-2 (1/X), definida no Capítulo 2.

A saída está dividida em diversos relatórios:

Relatório 1 - Opções e parâmetros do programa.

Relatório 2 - Dados dos nós (no caso do estimador estes dados se compõem somente dos reatores/capacitores das barras).

Relatório 3 - Dados dos ramos (linhas/transformadores)

Relatório 4 - Valores medidos e estimados

Este relatório contém os valores de entrada (verdadeiros, sem erros aleatórios), valores medidos, valores estimados, resíduos de estimação e magnitude dos resíduos normalizados para fluxos (P,Q) injeções (P,Q) e tensões (V)

Relatório 5 - Valores estimados de barra

Neste relatório estão mostrados o estado estimado das barras, bem como as injeções de potência ativa e reativa estimadas.

Relatório 6 - Valores estimados - linhas/transformadores

Neste relatório estão mostrados os fluxos de potência ativa e reativa em todas as linhas e transformadores da rede, mesmo para aquelas que não tem medidas, se for o caso.

Relatório 7 - Resumo do processamento de erros grosseiros

Neste relatório apresenta-se um histórico da detecção e identificação de medidas com erros grosseiros, bem como a geração de pseudo-medidas (recuperação de medidas).

RELAT. #1 - OPCOES E PARAMETROS DO PROGRAMA

VERSÃO DESACOPLADO NO MODELO

GER. ERROS ALEATORIOS ** ATIVADA

RASE NVA : 100.0

NO.DE BARRAS : 66

NO. DE RAMOS : 94

MEDIDAS DE FLUXOS(ATIVO E REATIVO) : 188

MEDIDAS DE INJECAO(ATIVO E REATIVO) : 8

MEDIDAS DE TENSÃO : 66

NUMERO MAXIMO DE ITERACOES : 30.0

NUMERO MAXIMO DE DETEC./IDENT. : 6

TOLERANCIAS(TENSÃO E ANGULO) : 0.00100 0.00100

RELAT. SELEC. #1 OPCOES E PARAMETROS DO PROGRAMA

#2 DADOS DE BARRA

#3 DADOS DE RAMOS(LINHA/TRAFQ)

#4 VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS

#5 VALORES ESTIMADOS - BARRA

#6 VALORES ESTIMADOS - RAMOS(LINHA/TRAFQ)

#7 RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS

***** CONVERGENCIA OBTIDA EM 6.5 ITERACOES

ENTRADA-ERROS GROSSEIROS

RAMO NUMERO	BARRA NUMERO	TIPO	NUMERO DE DESVIOS PADORES
10	113	1	20.0
	113	5	20.0
	113	4	20.0

** RELAT. #3 - DADOS DAS LINHAS/TRAFOS **

NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	TIPO	R (PU)	X (PU)	Y (PU)	TAP	ANGULO (PH.SHIFT.)
1	108	120		0.0000	0.0341	0.0000		
2	112	101	1	0.0000	0.0089	0.0000	0.999	
3	116	102	1	0.0000	0.0639	0.0000	1.075	
4	113	103		0.0000	0.0411	0.0000		
5	114	104		0.0000	0.0096	0.0000		
6	179	107		0.0000	0.0197	0.0000		
7	109	108	1	0.0000	0.0331	0.0000	0.982	
8	109	117		0.0022	0.0245	0.4122		
9	109	181		0.0056	0.0626	1.0672		
10	112	113		0.0009	0.0104	0.1743		
11	112	114		0.0038	0.0414	0.6986		
12	112	120		0.0055	0.0617	1.0492		
13	112	120		0.0055	0.0614	1.0439		
14	113	114		0.0034	0.0343	0.5242		
15	116	113		0.0000	0.0653	0.0000		
16	114	120		0.0043	0.0431	0.6618		
17	114	120		0.0043	0.0431	0.6618		
18	114	140		0.0064	0.0645	0.9977		
19	114	140		0.0056	0.0620	1.0446		
20	117	118	1	0.0000	-0.0180	0.0000	1.050	
21	119	118		0.0000	0.1800	0.0000		
22	171	118	1	0.0000	0.0420	0.0000	1.050	
23	120	121	1	0.0000	0.0243	0.0000	0.877	
24	120	122		0.0036	0.0395	0.6667		
25	120	124		0.0060	0.0603	0.9317		
26	120	124		0.0059	0.0597	0.9214		
27	120	126		0.0057	0.0635	1.0834		
28	120	163	1	0.0000	-0.0180	0.0000	0.970	
29	122	123	1	0.0000	0.0300	0.0000	0.905	
30	122	124		0.0025	0.0277	0.4651		
31	122	177	1	0.0000	-0.0180	0.0000	0.970	
32	124	125	1	0.0000	0.0110	0.0000	0.898	
33	126	127	1	0.0000	0.0149	0.0000	0.898	
34	144	130	1	0.0000	0.2010	0.0000	1.045	
35	144	131	1	0.0000	0.0580	0.0000	1.025	
36	139	159	1	0.0000	0.0227	0.0000	0.988	
37	139	165		0.0060	0.0668	1.1404		
38	139	165		0.0060	0.0668	1.1404		
39	140	141		0.0064	0.0648	1.0028		
40	140	141		0.0055	0.0617	1.0492		
41	141	142		0.0010	0.0113	0.1898		
42	141	142		0.0013	0.0126	0.0126		
43	141	160	1	0.0000	0.0195	0.1914	0.964	
44	141	165		0.0074	0.0833	1.4375		

PAGE

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #3 - DADOS DAS LINHAS/TRAÇOS **

NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	TIPO	R (PU)	X (PU)	Y (PU)	TAP	ANGULO (PH.SHIPT.)
45	141	165		0.0074	0.0833	1.4375		
46	141	166	1	0.0000	-0.0180		1.050	
47	142	143	1	0.0000	0.0134		1.017	
48	143	144		0.0157	0.0899	0.0271		
49	143	144		0.0157	0.0899	0.0271		
50	143	144		0.0157	0.0899	0.0271		
51	143	144		0.0157	0.0899	0.0271		
52	144	146		0.0355	0.2034	0.0613		
53	146	196		0.0439	0.1381	0.0348		
54	160	161		0.0083	0.0473	0.0142		
55	160	161		0.0083	0.0473	0.0142		
56	160	161		0.0083	0.0473	0.0142		
57	160	162		0.0900	0.3773	0.1076		
58	160	162		0.0900	0.3773	0.1076		
59	162	163	1	0.0639	0.2669	0.0758		
60	162	163		0.0639	0.2669	0.0758		
61	163	164		0.0616	0.2573	0.0730		
62	163	164		0.0616	0.2573	0.0730	1.017	
63	165	163		0.0000	0.0386			
64	167	166	1	0.0000	0.1400	0.0000	1.050	
65	176	166	1	0.0000	0.0420	0.0000	1.050	
66	168	169		0.0000	0.1800			
67	173	169	1	0.0000	0.0420			
68	171	170		0.0000	0.0079	0.0000		
69	171	172		0.0017	0.0789	2.1657		
70	171	172		0.0017	0.0789	2.1883		
71	172	173		0.0016	0.0264	1.9742		
72	172	174		0.0015	0.0258	1.9292		
73	173	175		0.0017	0.0286	2.1432		
74	174	175		0.0019	0.0327	2.4597		
75	174	177	1	0.0000	0.0420		1.050	
76	175	176		0.0015	0.0254	1.8955		
77	175	176		0.0015	0.0254	1.8955		
78	175	179		0.0009	0.0150	1.1120		
79	176	179		0.0010	0.0173	1.2794		
80	178	177		0.0000	0.1800	0.0000		
81	180	183	1	0.0000	0.0420		1.050	
82	181	182	1	0.0000	0.0133		0.950	
83	181	183		0.0000	-0.0180	0.0000		
84	181	186		0.0049	0.0546	0.9262		
85	181	186		0.0051	0.0562	0.9629		
86	184	183		0.0000	0.1800	0.0000		
87	186	185	1	0.0000	0.0365		0.956	
88	185	189		0.0436	0.2115	0.4082		

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #3 - DADOS DAS LINHAS/TRAFOS **

MUMERU	DA BARRA	PARA BARRA	TIPO	R (PU)	X (PU)	Y (PU)	TAP	ANGULO (PH.SHIFT.)
89	186	191		0.0047	0.0525	0.8889		
90	186	191		0.0047	0.0525	0.8889		
91	187	189		0.0030	0.0141	0.0199		
92	191	187	1	0.0000	0.0365		0.956	
93	191	188	1	0.0000	0.0345		0.920	
94	189	190	1	0.0000	0.0778		0.997	

** PFLAT. #2 - DADOS DE BARRA **

BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)	BARRA	BK(PU)
104	0.000	100	0.000	101	0.000	102	0.000	103	0.000	107	0.000	108	0.000	109	0.000	109	0.000	109	0.000	109	0.000	109	0.000	109	0.000
112	0.000	113	0.000	114	0.000	116	0.000	117	0.000	118	0.000	119	0.000	120	-1.000	119	0.000	120	-1.000	119	0.000	120	-1.000	119	0.000
141	-0.500	122	0.000	123	0.000	124	-0.000	125	0.000	126	0.000	127	0.000	130	-0.900	127	0.000	130	-0.900	127	0.000	130	-0.900	127	0.000
131	-0.000	139	0.000	140	0.000	141	-0.600	142	0.000	143	0.000	144	0.000	146	-0.000	144	0.000	146	-0.000	144	0.000	146	-0.000	144	0.000
159	0.000	160	0.400	161	0.000	162	0.000	163	0.000	164	0.000	165	0.000	166	-1.200	165	0.000	166	-1.200	165	0.000	166	-1.200	165	0.000
167	-1.000	168	-1.000	169	-1.000	170	0.000	171	0.000	172	0.000	173	-2.920	174	-1.360	173	0.000	174	-1.360	173	0.000	174	-1.360	173	0.000
175	-1.360	176	-1.360	177	-1.360	178	-1.000	179	-1.000	180	0.000	181	-1.000	182	-0.960	181	0.000	182	-0.960	181	0.000	182	-0.960	181	0.000
183	0.000	184	0.000	185	0.000	186	-0.250	187	-1.200	188	0.000	189	0.000	190	0.000	188	0.000	189	0.000	188	0.000	189	0.000	188	0.000
191	-0.000	196	0.140																						

** RELAT. 14 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NÚMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / HVAR)	VALOR MEDIDO (MW / HVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / HVAR)	RESIDUO (MW / HVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
1	109	100	-320.0	-320.3	-319.5	-0.8	0.353
			7.4	12.8	11.4	1.4	0.568
1	100	108	320.0	318.7	319.5	-0.8	0.354
			25.1	22.7	21.0	1.7	0.704
2	112	101	-1100.0	-1096.3	-1095.5	-0.8	0.354
			69.0	69.4	68.0	1.4	0.594
2	101	112	1100.0	1094.7	1095.5	-0.8	0.353
			34.6	35.9	34.9	1.0	0.440
3	116	102	-170.0	-167.7	-168.7	1.0	0.434
			-27.5	-31.1	-31.5	0.3	0.128
3	102	116	170.0	169.7	169.7	1.0	0.415
			47.6	52.9	51.5	1.5	0.569
4	113	103	-300.0	-301.3	-304.1	2.7	1.066
			-4.1	-6.4	-3.1	-3.3	1.243
4	103	113	300.0	303.7	304.1	-0.4	0.152
			39.2	39.5	39.3	0.3	0.102
5	114	104	-1244.4	-1249.7	-1248.2	-1.5	0.633
			-37.4	-36.1	-34.4	-1.7	0.714
5	104	114	1244.4	1246.7	1248.2	-1.5	0.639
			180.5	176.8	178.5	-1.6	0.694
6	179	107	-500.0	-500.3	-499.5	-0.8	0.356
			95.8	101.2	99.5	1.6	0.680
6	107	179	500.0	498.7	499.5	-0.8	0.351
			-48.5	-50.8	-52.3	1.5	0.620
7	109	108	-100.8	-97.1	-96.3	-0.8	0.351
			10.6	10.9	9.7	1.2	0.488
7	108	109	100.8	95.5	96.3	-0.8	0.356
			-7.4	-6.1	-6.8	0.7	0.306
8	109	117	-117.4	-115.0	-118.1	3.0	1.141
			55.3	51.6	52.6	-1.0	0.374

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. 14 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
8	117	109	117.8	117.4	118.5	-1.0	0.389
			-93.0	-87.6	-90.4	2.7	1.011
9	109	181	27.7	26.3	25.2	1.2	0.495
			-46.8	-49.2	-47.0	-2.2	0.768
9	181	109	-27.6	-23.9	-25.1	1.2	0.492
			-63.2	-62.9	-63.1	0.2	0.077
10	112	113	49.5	44.1	48.6	-4.5	1.684
			-71.0	-69.7	-69.0	-0.7	0.275
10	113	112	-49.4	-48.3	-48.6	0.3	0.114
			53.4	49.7	51.3	-1.6	0.596
11	112	114	274.4	274.1	273.2	0.9	0.289
			-44.8	-39.4	-44.7	5.2	1.706
11	114	112	-271.7	-273.0	-270.5	-2.5	0.828
			2.0	-0.3	1.7	-2.0	0.666
12	112	120	410.6	414.2	411.4	2.8	0.887
			63.5	63.9	63.7	0.2	0.063
12	120	112	-400.9	-406.3	-401.7	-4.5	1.423
			-58.2	-56.8	-57.7	0.9	0.274
13	112	120	412.6	415.0	413.5	1.5	0.469
			64.2	60.5	64.3	-3.8	1.183
13	120	112	-402.9	-403.2	-403.7	0.5	0.145
			-57.8	-52.5	-57.3	4.9	1.521
14	113	114	318.0	316.7	316.7	-0.0	0.016
			-22.9	-25.2	-23.3	-1.9	0.629
14	114	113	-314.8	-311.1	-313.5	2.4	0.811
			1.0	1.3	1.2	0.1	0.017
15	116	113	-31.4	-36.7	-33.7	-3.1	1.206
			27.5	28.8	27.9	0.9	0.343
15	113	116	31.4	33.7	33.7	0.1	0.031
			-26.4	-30.1	-26.7	-3.4	1.228

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RFLAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
16	114	120	342.3	342.0	344.6	-2.6	0.834
			101.8	107.1	101.7	5.4	1.719
16	120	114	-336.7	-338.1	-338.9	0.9	0.279
			-110.3	-112.6	-109.5	-3.1	0.999
17	114	120	342.3	346.0	344.6	1.4	0.443
			101.8	102.1	101.7	0.4	0.129
17	120	114	-336.7	-342.1	-338.9	-3.1	0.998
			-110.3	-108.9	-109.5	0.5	0.168
18	114	140	413.8	416.2	412.2	3.9	1.247
			-31.6	-35.3	-32.4	-2.9	0.918
18	140	114	-403.3	-403.6	-401.7	-1.9	0.591
			34.8	40.2	34.9	5.3	1.661
19	114	140	430.7	429.4	429.0	0.3	0.106
			-29.4	-31.8	-30.2	-1.5	0.487
19	140	114	-420.7	-417.0	-419.1	2.1	0.659
			32.3	32.6	32.3	0.3	0.087
20	117	118	-117.8	-123.1	-120.2	-2.9	1.064
			93.0	94.3	91.8	2.5	0.895
20	118	117	117.8	120.1	120.2	-0.1	0.024
			-97.4	-101.1	-96.3	-4.7	1.711
21	119	118	0.0	-0.3	-0.1	-0.2	0.096
			-68.4	-63.0	-68.8	5.8	1.919
21	118	119	0.0	-1.3	0.1	-1.4	0.547
			80.7	78.3	81.4	-3.0	0.996
22	171	118	117.8	121.4	121.7	-0.3	0.107
			-10.5	-10.2	-10.8	0.6	0.211
22	118	171	-117.8	-123.1	-121.7	-1.4	0.536
			16.7	18.1	17.4	0.6	0.228
23	120	121	313.6	315.9	315.9	0.0	0.005
			139.5	135.9	134.6	1.3	0.548

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSIROS

** RELAT. 14 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA HARRA	PARA HARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
23	121	120	-313.6	-313.9	-315.9	2.0	0.807
			-115.6	-110.2	-110.6	0.4	0.153
24	120	122	224.0	222.7	221.7	1.0	0.315
			43.0	40.6	44.1	-3.5	1.128
24	122	120	-221.8	-218.2	-219.6	1.4	0.467
			-74.1	-77.7	-79.5	1.7	0.565
25	120	124	309.0	303.7	306.8	-3.1	0.990
			6.7	8.0	8.2	-0.2	0.050
25	124	120	-302.6	-300.3	-300.5	0.2	0.064
			-25.1	-24.8	-27.2	-1.6	0.499
26	120	124	312.1	311.8	309.9	1.9	0.598
			7.9	13.2	9.4	3.8	1.210
26	124	120	-305.7	-307.0	-303.5	-3.5	1.104
			-24.8	-27.1	-26.9	-0.2	0.073
27	120	126	368.8	372.4	374.3	-1.9	0.748
			-26.0	-25.7	-25.6	-0.1	0.035
27	126	120	-360.3	-365.6	-365.5	-0.1	0.031
			21.8	23.1	24.3	-1.2	0.442
28	120	169	-50.3	-47.9	-48.5	0.5	0.220
			165.5	161.8	161.6	0.2	0.088
28	169	120	50.3	49.9	48.5	1.5	0.582
			-171.0	-165.7	-166.9	1.2	0.473
29	122	123	212.8	211.5	211.4	0.0	0.008
			67.2	59.8	60.1	-0.3	0.117
29	123	122	-212.8	-209.1	-211.4	2.3	0.902
			-18.0	-47.7	-46.2	-1.5	0.595
30	122	121	339.4	334.1	337.9	-3.8	1.367
			-14.5	-43.2	-42.5	-0.7	0.245
30	124	122	-336.0	-333.7	-334.5	0.8	0.304
			42.3	38.6	40.1	-1.5	0.520

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE HOUVE ERRO GROSSIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / HVAR)	VALOR MEDIDO (MW / HVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / HVAR)	RESIDUO (MW / HVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
31	122	177	-330.4	-330.7	-328.2	-2.5	0.979
			60.4	65.8	63.2	2.6	1.007
31	177	122	330.4	329.0	328.0	0.8	0.330
			-82.8	-85.2	-85.4	0.2	0.090
32	124	125	612.0	615.7	616.5	-0.8	0.335
			45.6	45.9	45.5	0.4	0.220
32	125	124	-612.0	-617.3	-616.5	-0.9	0.372
			-6.8	-5.4	-6.0	0.5	0.260
33	126	127	265.4	267.7	266.8	1.0	0.404
			109.2	105.6	104.6	1.0	0.478
33	127	126	-265.4	-265.7	-266.8	1.0	0.444
			-98.3	-93.0	-93.7	0.7	0.375
34	144	130	0.0	-1.3	-2.5	1.2	0.492
			-25.3	-27.7	-26.1	-1.6	0.525
34	130	144	0.0	3.7	2.5	1.2	0.498
			26.7	27.1	27.6	-0.5	0.164
35	144	131	0.0	-5.3	-0.7	-4.6	1.688
			0.0	1.3	1.9	-0.6	0.216
35	131	144	0.0	2.3	0.7	1.6	0.586
			0.0	-3.7	-1.9	-1.7	0.616
36	139	159	208.8	208.5	209.3	-0.8	0.352
			22.4	27.7	25.8	1.9	0.814
36	159	139	-208.8	-210.1	-209.3	-0.8	0.355
			-13.0	-15.3	-16.3	1.0	0.418
37	139	165	-104.4	-100.7	-101.5	0.8	0.265
			-73.8	-73.5	-75.5	2.0	0.683
37	165	139	105.0	99.7	102.1	-2.4	0.829
			-40.2	-38.9	-39.0	0.1	0.019
38	139	165	-104.4	-102.1	-101.5	-0.6	0.196
			-73.8	-77.5	-75.5	-2.0	0.682

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
38	165	139	105.0	104.7	102.1	2.6	0.899
			-40.2	-34.9	-39.0	4.1	1.384
39	140	141	401.8	400.4	400.2	0.3	0.090
			-34.8	-37.1	-35.0	-2.2	0.681
39	141	140	-391.7	-388.1	-390.2	2.1	0.672
			33.5	33.9	32.9	1.0	0.299
40	140	141	422.2	416.8	420.5	-3.6	1.156
			-32.3	-31.0	-32.5	1.5	0.479
40	141	140	-412.6	-410.3	-411.0	0.7	0.225
			31.6	27.9	30.9	-3.0	0.955
41	141	142	299.5	299.1	302.0	-2.9	0.944
			-10.1	-4.8	-10.0	5.2	1.716
41	142	141	-298.6	-299.9	-301.1	1.2	0.390
			0.6	-1.7	0.7	-2.4	0.789
42	141	142	208.2	271.8	270.5	1.4	0.445
			-14.1	-13.7	-14.0	0.3	0.087
42	142	141	-267.3	-272.6	-269.5	-3.1	0.988
			3.4	4.7	3.5	1.2	0.398
43	141	160	371.9	374.2	373.2	1.1	0.451
			23.1	19.4	14.4	5.0	0.005
43	160	141	-371.9	-372.2	-373.2	0.9	0.396
			1.5	6.8	5.3	1.5	0.637
44	141	165	150.9	149.6	147.9	1.7	0.579
			-111.4	-113.7	-112.3	1.4	0.448
44	165	141	-149.2	-145.5	-146.2	0.7	0.244
			-20.2	-19.8	-19.9	0.1	0.035
45	141	165	150.9	145.6	147.9	-2.3	0.796
			-111.4	-110.0	-112.3	2.3	0.759
45	165	141	-149.2	-146.8	-146.2	-0.6	0.215
			-20.2	-23.0	-19.9	-3.9	1.283

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RFLAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
46	141	166	-437.1	-437.4	-436.7	-0.7	0.279
			97.3	102.7	100.9	1.8	0.738
46	166	141	437.1	435.7	436.7	-1.0	0.414
			-136.2	-138.6	-139.8	1.3	0.515
47	142	113	565.9	569.5	570.4	-0.8	0.318
			-4.0	-3.7	-2.5	-1.2	0.475
47	143	142	-565.9	-571.2	-570.4	-0.8	0.327
			47.6	48.9	46.7	2.2	0.840
48	143	144	24.3	26.7	23.2	3.5	1.107
			-9.6	-13.3	-9.0	-4.4	1.378
48	144	143	-24.2	-24.5	-23.1	-1.5	0.463
			7.6	12.9	6.8	6.1	1.923
49	143	144	24.3	23.0	23.2	-0.2	0.064
			-9.6	-12.0	-9.0	-3.0	0.956
49	144	143	-24.2	-20.5	-23.1	2.5	0.814
			7.6	7.9	6.8	1.1	0.340
50	143	144	24.3	19.0	23.2	-4.2	1.342
			-9.6	-8.3	-9.0	0.6	0.205
50	144	143	-24.2	-21.9	-23.1	1.2	0.388
			7.6	3.9	6.8	-2.9	0.926
51	143	144	24.3	24.0	23.2	0.8	0.255
			-9.6	-4.3	-9.0	4.6	1.471
51	144	143	-24.2	-25.5	-23.1	-2.5	0.783
			7.6	5.2	6.8	-1.6	0.504
52	144	146	9.0	12.7	13.6	-0.8	0.350
			-7.9	-7.5	-7.7	0.2	0.053
52	146	144	-9.0	-14.3	-13.5	-0.9	0.351
			1.9	3.2	2.0	1.3	0.411
53	146	196	-5.0	-2.7	-3.7	1.0	0.391
			-0.7	-4.4	-4.4	0.0	0.011

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
53	196	146	5.0	4.7	3.7	1.0	0.393
			-2.8	2.5	0.9	1.6	0.589
54	160	161	80.4	79.1	78.5	0.6	0.203
			14.0	11.7	16.1	-4.4	1.434
54	161	160	-79.9	-76.2	-78.0	1.7	0.567
			-12.7	-12.3	-14.8	2.5	0.814
55	160	161	80.4	75.1	78.5	-3.4	1.104
			14.0	15.3	16.1	-0.7	0.233
55	161	160	-79.9	-77.6	-78.0	0.4	0.132
			-12.7	-16.3	-14.8	-1.5	0.496
56	160	161	80.4	80.1	78.5	1.6	0.529
			14.0	19.3	16.1	3.3	1.077
56	161	160	-79.9	-81.2	-78.0	-3.3	1.066
			-12.7	-15.0	-14.8	-0.2	0.059
57	160	162	22.0	25.7	24.1	1.5	0.484
			-8.3	-8.0	-9.1	1.1	0.332
57	162	160	-21.6	-26.9	-23.6	-3.3	1.032
			-1.7	-0.4	-0.7	0.3	0.082
58	160	162	22.0	24.3	24.1	0.2	0.066
			-8.3	-12.0	-9.1	-2.9	0.893
58	162	160	-21.6	-21.9	-23.6	1.7	0.533
			-1.7	3.6	-0.7	4.3	1.306
59	162	163	5.3	4.0	1.6	2.4	0.789
			0.2	-2.1	1.0	-3.1	0.977
59	163	162	-5.3	-1.7	-1.6	-0.1	0.027
			-8.2	-7.9	-9.1	1.2	0.378
60	162	163	5.3	0.0	1.6	-1.6	0.515
			0.2	1.6	1.0	0.5	0.171
60	163	162	-5.3	-3.0	-1.6	-1.4	0.462
			-8.2	-11.9	-9.1	-2.8	0.875

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. 14 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO:	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
61	163	161	27.9	27.6	30.5	-2.9	0.981
			-5.7	-0.4	-3.7	3.3	1.049
61	164	163	-27.5	-28.8	-29.9	1.1	0.386
			0.0	-2.3	-1.7	-0.7	0.213
62	163	164	27.9	31.6	30.5	1.1	0.381
			-5.7	-5.4	-3.7	-1.7	0.530
62	164	163	-27.5	-32.8	-29.9	-2.9	0.976
			0.0	1.3	-1.7	3.0	0.945
63	165	163	88.3	90.6	89.8	0.8	0.351
			-8.9	-12.6	-13.4	0.8	0.317
63	163	165	-88.3	-88.6	-89.8	1.2	0.492
			11.8	17.1	16.4	0.8	0.304
64	167	166	0.0	-1.3	-2.4	1.1	0.453
			-69.7	-72.0	-70.5	-1.5	0.494
64	166	167	0.0	3.7	2.4	1.3	0.536
			82.2	82.6	83.5	-0.9	0.299
65	176	166	437.1	431.7	432.9	-1.1	0.433
			30.0	31.3	30.0	1.3	0.475
65	166	176	-437.1	-434.7	-432.9	-1.9	0.719
			54.0	50.3	52.2	-1.9	0.683
66	168	169	0.0	-0.3	0.4	-0.8	0.325
			-74.4	-69.1	-73.3	4.3	1.432
66	169	168	0.0	-1.3	-0.4	-0.9	0.382
			87.8	85.5	86.3	-0.9	0.286
67	173	169	50.3	53.9	53.5	0.5	0.162
			-79.4	-79.1	-78.4	-0.7	0.232
67	169	173	-50.3	-55.6	-53.5	-2.1	0.754
			83.2	84.6	82.3	2.3	0.775
68	171	179	-1415.0	-1412.7	-1413.7	1.0	0.428
			313.1	309.4	308.3	1.1	0.461

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SF NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
68	170	171	1415.0	1414.7	1413.7	1.0	0.420
			-153.0	-147.7	-148.8	1.1	0.449
69	171	172	734.9	733.6	731.7	1.9	0.652
			-59.7	-62.0	-60.7	-1.3	0.459
69	172	171	-726.0	-722.3	-722.9	0.5	0.183
			-12.3	-12.0	-12.6	0.6	0.217
70	171	172	727.3	722.0	724.2	-2.1	0.741
			-60.9	-59.6	-61.9	2.3	0.801
70	172	171	-718.6	-716.3	-715.5	-0.8	0.269
			-14.9	-18.6	-15.2	-3.4	1.160
71	172	173	664.8	664.5	664.4	0.1	0.022
			-162.4	-157.1	-159.4	2.4	0.889
71	173	172	-657.9	-659.2	-657.5	-1.7	0.644
			70.6	68.3	67.6	0.7	0.276
72	172	174	779.8	783.5	785.2	-1.7	0.660
			-109.7	-109.4	-109.8	0.4	0.160
72	174	172	-770.9	-776.2	-776.2	-0.0	0.018
			62.9	64.2	65.0	-0.8	0.306
73	173	175	607.6	610.0	608.9	1.1	0.404
			-136.3	-140.0	-142.0	2.0	0.744
73	175	173	-601.7	-602.1	-602.9	0.9	0.326
			4.6	10.0	10.9	-0.9	0.344
74	174	175	440.5	439.2	437.8	1.4	0.489
			-184.7	-187.0	-187.1	0.1	0.037
74	175	174	-436.9	-433.3	-434.3	1.0	0.366
			-16.2	-15.9	-14.8	-1.1	0.402
75	174	177	330.4	325.0	328.2	-3.2	1.153
			15.4	46.7	46.4	0.2	0.085
75	177	174	-330.4	-328.0	-328.2	0.2	0.073
			3.8	0.1	2.1	-2.0	0.691

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

PARA DA	PARA	VALOR DE ENTRADA	VALOR MEDIDO	VALOR ESTIMADO	RESIDUO	MAGNITUDE DO
NUMERO	ARRA	(MW / MVAR)	(MW / MVAR)	(MW / MVAR)	(MW / MVAR)	RESIDUO NORMALIZADO
76	175	469.2	468.8	471.5	-2.7	0.872
		-48.7	-43.3	-48.6	5.5	1.787
76	176	-466.1	-467.4	-468.4	1.0	0.322
		-102.6	-104.9	-102.4	-2.5	0.823
77	175	469.2	472.8	471.5	1.3	0.430
		-49.7	-48.3	-48.8	0.5	0.157
77	176	-466.1	-471.4	-468.4	-3.0	0.980
		-102.6	-101.2	-102.4	1.1	0.372
78	175	100.4	102.7	101.8	0.9	0.352
		-38.9	-42.5	-42.5	-0.0	0.013
78	179	-100.3	-100.6	-101.7	1.1	0.396
		-80.1	-74.8	-76.7	2.0	0.737
79	179	-596.9	-598.3	-599.5	1.2	0.444
		-62.8	-65.1	-65.5	0.4	0.145
79	176	600.3	604.0	602.9	1.1	0.398
		-15.7	-15.4	-12.9	-2.5	0.899
80	177	0.0	-5.3	-4.0	-1.4	0.584
		-67.0	-65.6	-66.7	1.1	0.371
80	178	0.0	2.3	4.0	-1.6	0.689
		79.0	75.3	78.7	-3.4	1.140
81	180	164.7	164.4	165.2	-0.9	0.364
		33.9	39.3	37.7	1.5	0.630
81	183	-164.7	-166.0	-165.2	-0.8	0.343
		-22.5	-24.9	-26.2	1.3	0.547
82	181	-96.3	-92.6	-91.8	-0.8	0.345
		46.5	46.9	45.9	0.9	0.408
82	182	96.3	91.0	91.8	-0.9	0.362
		-45.2	-43.9	-44.7	0.8	0.371
83	181	-164.7	-162.4	-163.4	1.0	0.425
		-27.4	-31.1	-32.0	0.9	0.363

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SF NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

** RELAT. #4 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / MVAR)	RESIDUO (MW / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
83	183	181	164.7	164.4	163.4	1.0	0.423
			22.5	27.9	27.1	0.8	0.321
84	181	186	146.4	145.0	143.2	1.9	0.655
			-26.0	-28.4	-25.8	-2.5	0.854
84	186	181	-145.3	-141.7	-142.2	0.5	0.170
			-56.2	-55.9	-56.9	1.0	0.333
85	181	186	142.2	136.9	139.1	-2.2	0.755
			-28.7	-27.3	-28.5	1.2	0.387
85	186	181	-141.2	-138.9	-138.1	-0.8	0.259
			-57.6	-61.3	-58.3	-3.0	1.018
86	181	183	0.0	0.0	0.5	-0.8	0.354
			0.0	5.3	0.5	4.8	1.622
86	183	181	0.0	-1.3	-0.5	-0.8	0.353
			0.0	-2.3	-0.5	-1.8	0.614
87	186	185	99.1	102.8	103.3	-0.5	0.210
			73.3	74.2	74.2	0.0	0.007
87	185	186	-99.1	-104.4	-103.3	-1.2	0.489
			-68.8	-67.4	-68.8	1.4	0.562
88	185	189	20.2	22.5	19.5	3.0	0.916
			-29.2	-32.9	-29.1	-3.8	1.167
88	189	185	-20.0	-20.3	-19.4	-1.0	0.300
			-12.6	-7.3	-12.8	5.5	1.683
89	186	191	93.7	92.4	90.8	1.6	0.551
			-39.9	-42.2	-39.2	-3.0	1.009
89	191	186	-93.3	-89.6	-90.4	0.8	0.258
			-43.7	-43.3	-44.6	1.2	0.411
90	186	191	93.7	88.4	90.8	-2.4	0.825
			-39.9	-38.5	-39.2	0.7	0.231
90	191	186	-93.3	-91.0	-90.4	-0.6	0.200
			-43.7	-47.3	-44.6	-2.8	0.943

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** HFLAT. 14 - VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - FLUXOS **

RAMO NUMERO	DA BARRA	PARA BARRA	VALOR DE ENTRADA (MW / HVAR)	VALOR MEDIDO (MW / HVAR)	VALOR ESTIMADO (MW / HVAR)	RESIDUO (MW / HVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
91	187	189	61.6	61.3	62.3	-1.0	0.394
			16.9	22.3	20.2	2.1	0.886
91	189	187	-61.5	-62.8	-62.1	-0.7	0.284
			-18.5	-20.8	-21.7	0.9	0.364
92	191	187	61.6	65.3	66.4	-1.1	0.479
			18.3	18.7	16.7	2.0	0.792
92	187	191	-61.6	-67.0	-66.4	-0.5	0.220
			-16.9	-15.6	-15.1	-0.5	0.195
93	191	188	125.0	127.3	126.4	1.0	0.411
			69.0	65.4	65.1	0.2	0.097
93	188	191	-125.0	-125.3	-126.4	1.0	0.438
			-63.0	-57.7	-59.2	1.5	0.643
94	189	190	81.5	80.2	79.0	1.2	0.499
			31.1	28.8	29.7	-0.9	0.361
94	190	189	-81.5	-77.8	-79.0	1.2	0.491
			-25.5	-25.2	-24.5	-0.7	0.273

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO. GROSSEIRO ESTA NAO E-CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #4 VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - INJEÇÕES **

BARRA	VALOR DE ENTRADA (HM / MVAR)	VALOR MEDIDO (MW / MVAR)	VALOR ESTIMADO (HM / MVAR)	RESIDUO (HM / MVAR)	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
113	0.0	-5.3	-2.2	-3.1	1.565
	0.0	-0.3	-1.9	1.6	0.807
117	0.0	2.3	-1.7	4.0	1.663
	0.0	-3.7	1.5	-5.1	2.060
118	0.0	-0.3	-1.5	1.1	0.506
	0.0	5.3	2.4	2.9	1.217
120	0.0	-1.3	-3.1	1.8	1.244
	0.0	-2.3	-1.8	-0.6	0.390
122	0.0	3.7	1.6	2.1	1.056
	0.0	0.3	1.3	-1.0	0.481
131	0.0	-5.3	0.7	-6.1	2.260
	0.0	1.3	-1.9	3.3	1.176
140	0.0	2.3	-0.2	2.5	1.225
	0.0	-3.7	-0.3	-3.4	1.821
142	0.0	-0.3	-0.3	-0.0	0.017
	0.0	5.3	1.7	3.6	1.707

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

BARRA	VALOR DE ENTRADA	VALOR MEDIDO	VALOR ESTIMADO	RESIDUO	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
101	1.030	1.029	1.029	-0.001	0.205
10J	1.040	1.038	1.039	-0.001	0.300
101	1.020	1.024	1.020	0.004	1.239
102	0.995	0.995	0.997	-0.002	0.652
103	1.035	1.030	1.034	-0.005	1.462
107	1.025	1.026	1.026	0.001	0.186
108	1.037	1.039	1.037	0.002	0.742
109	1.021	1.017	1.021	-0.004	1.119
112	1.020	1.020	1.020	-0.000	0.128
113	1.026	1.028	1.026	0.002	0.721
111	1.020	1.019	1.019	0.001	0.212
116	1.043	1.041	1.043	-0.002	0.772
117	1.006	1.010	1.006	0.004	1.098
118	0.976	0.976	0.976	0.001	0.185
119	0.827	0.822	0.826	-0.004	1.843
120	0.958	0.959	0.958	0.002	0.537
121	1.064	1.066	1.064	0.002	0.652
122	0.924	0.920	0.923	-0.002	0.733
123	1.004	1.004	1.004	-0.000	0.046
124	0.927	0.932	0.926	0.006	1.955
125	1.030	1.029	1.028	0.000	0.067
126	0.952	0.950	0.952	-0.002	0.729
127	1.045	1.049	1.046	0.003	0.905
130	1.010	1.010	1.011	-0.001	0.278
131	0.975	0.970	0.974	-0.004	1.300
139	1.022	1.023	1.022	0.002	0.540
140	1.015	1.017	1.015	0.002	0.744
141	1.012	1.008	1.012	-0.003	0.992
142	1.009	1.009	1.009	-0.000	0.154
143	0.996	1.001	0.996	0.006	1.770
141	1.000	0.999	0.999	-0.000	0.133
146	1.007	1.005	1.004	0.001	0.232
153	1.030	1.034	1.029	0.004	1.402
160	1.047	1.047	1.048	-0.001	0.213
161	1.035	1.030	1.035	-0.005	1.616
162	1.041	1.041	1.043	-0.001	0.552
163	1.026	1.028	1.028	-0.000	0.017
164	1.016	1.012	1.013	-0.000	0.125
165	1.040	1.040	1.040	-0.001	0.163
166	0.985	0.990	0.986	0.005	1.456
167	0.835	0.834	0.833	0.000	0.235
168	0.863	0.861	0.864	-0.003	1.577
169	1.018	1.022	1.017	0.005	1.522
170	1.000	1.000	1.000	0.000	0.027

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSIRO ESTA NAO E CALCULADA(NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS
 ** RELAT. 14 VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS - TENSORES **

BARRA	VALOR DE ENTRADA	VALOR MEDIDO	VALOR ESTIMADO	RESIDUO	MAGNITUDE DO RESIDUO NORMALIZADO
171	1.018	1.013	1.018	-0.005	1.689
172	1.013	1.014	1.013	0.002	0.527
173	1.033	1.035	1.032	0.003	0.997
174	1.023	1.019	1.024	-0.004	1.296
175	1.043	1.043	1.044	-0.001	0.283
176	1.029	1.034	1.030	0.004	1.367
177	0.966	0.965	0.965	-0.001	0.165
178	0.818	0.816	0.818	-0.003	1.331
179	1.039	1.043	1.040	0.002	0.755
180	1.073	1.073	1.073	-0.000	0.032
181	1.014	1.009	1.014	-0.006	1.785
182	1.062	1.063	1.062	0.001	0.398
183	1.010	1.012	1.009	0.003	1.021
184	1.010	1.006	1.010	-0.004	1.812
185	1.020	1.020	1.019	0.000	0.131
186	0.999	1.004	0.999	0.006	1.814
187	1.033	1.032	1.033	-0.001	0.383
188	1.058	1.056	1.059	-0.003	1.107
189	1.029	1.033	1.028	0.004	1.456
190	1.010	1.010	1.011	-0.000	0.099
191	0.993	0.988	0.993	-0.005	1.620
196	1.007	1.008	1.009	-0.001	0.530

(*) - INDICA QUE A VARIANCIA DO RESIDUO E ZERO. SE NAO HOUVE ERRO GROSSEIRO ESTA NAO E CALCULADA (NAO HA NORMALIZAC. DO RESIDUO)

**RELAT. #5 - VALORES ESTIMADOS DE BARRA **

HARRA	TENSAO (PU)	ANGULO (GRAUS)	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)
104	1.029	-0.0	1248.2	178.5
109	1.039	11.4	319.5	21.0
101	1.020	5.1	1095.5	34.9
102	0.997	4.6	168.7	51.5
103	1.034	6.2	304.1	39.3
107	1.026	-19.0	499.5	-52.3
108	1.037	5.5	-223.2	4.5
109	1.021	3.8	-189.2	15.3
112	1.020	-0.3	51.2	82.4
113	1.026	-0.6	-2.2	-1.9
114	1.019	-6.6	-301.7	109.3
116	1.043	-1.8	-202.3	-3.6
117	1.006	5.6	-1.7	1.5
118	0.976	4.2	-1.5	2.4
119	0.826	4.2	-0.1	-0.7
120	0.958	-15.0	-3.1	-1.8
121	1.064	-18.8	-315.9	-53.9
122	0.923	-20.5	1.6	1.3
123	1.004	-24.0	-211.4	-46.2
124	0.926	-26.8	-322.1	31.5
125	1.028	-30.5	-616.5	-6.0
126	0.952	-30.0	-98.8	128.9
127	1.046	-32.0	-266.8	4.7
130	1.011	-43.3	2.5	27.6
131	0.974	-43.5	0.7	-1.9
139	1.022	-46.4	6.3	0.0
140	1.015	-21.4	-0.2	-0.3
141	1.012	-35.9	3.6	-3.2
142	1.009	-37.9	-0.3	1.7
143	0.996	-42.3	-477.6	10.9
144	0.999	-43.6	-82.0	-4.6
146	1.004	-45.2	-17.1	-18.6
159	1.029	-49.0	-209.3	-16.3
160	1.048	-39.7	-89.6	-8.6
161	1.035	-41.6	-233.9	-44.5
162	1.043	-44.7	-44.1	0.7
163	1.028	-44.7	-32.0	-9.1
164	1.013	-49.0	-59.8	-3.3
165	1.040	-42.8	1.6	-1.3
166	0.986	-40.7	6.3	-4.1
167	0.833	-41.0	-2.4	-1.1
168	0.864	-15.4	0.4	1.3
169	1.017	-15.5	-5.4	1.7
170	1.000	13.6	1413.7	-148.8

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

**RELAT. #5 - VALORES ESTIMADOS DE BARRA **

BARRA	TENSAO (PU)	ANGULO (GRAUS)	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)
171	1.018	7.3	163.9	175.0
172	1.013	-4.5	11.3	2.3
173	1.032	-14.2	4.8	-7.9
174	1.024	-15.7	-10.1	0.8
175	1.014	-23.5	7.5	4.0
176	1.030	-29.9	-1103.4	-96.1
177	0.905	-24.2	3.9	-4.5
178	0.818	-24.7	-4.0	0.2
179	1.010	-24.3	1.7	9.9
180	1.073	5.2	165.2	153.0
181	1.014	3.0	2.0	-4.7
182	1.062	3.6	91.8	-16.5
183	1.009	1.4	-2.4	0.4
184	1.010	1.4	0.5	0.5
185	1.019	-3.4	-83.7	-71.9
186	0.999	-1.4	4.6	0.3
187	1.033	-5.4	-4.2	5.0
188	1.059	-6.3	-126.4	-59.2
189	1.028	-5.8	-2.5	-4.8
190	1.011	-9.2	-79.0	-14.3
191	0.993	-4.1	12.0	-7.3
196	1.009	-45.0	3.7	-13.4

** RFLAT. #6 - VALORES ESTIMADOS - LINHAS/TRAFOS **

RAMU	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)
1	108	100	-319.5	11.4	100	108	319.5	21.0
2	112	101	-1095.5	68.0	101	112	1095.5	34.9
3	116	102	-168.7	-31.5	102	116	168.7	51.5
4	113	103	-304.1	-3.1	103	113	304.1	39.3
5	114	104	-1248.2	-34.4	104	114	1248.2	178.5
6	179	107	-499.5	99.5	107	179	499.5	-52.3
7	109	108	-36.3	9.7	108	109	36.3	-6.8
8	109	117	-118.1	52.5	117	109	118.5	-90.4
9	109	181	25.2	-47.0	181	109	-25.1	-63.1
10	112	113	48.6	-69.0	113	112	-48.6	51.3
11	112	114	273.2	-44.7	114	112	-270.5	1.7
12	112	120	411.4	63.7	120	112	-401.7	-57.7
13	112	120	413.5	64.3	120	112	-403.7	-57.3
14	113	114	316.7	-23.3	114	113	-313.5	1.2
15	116	113	-33.7	27.9	113	116	33.7	-26.7
16	114	120	344.6	101.7	120	114	-338.9	-109.5
17	114	120	314.6	101.7	120	114	-338.9	-109.5
18	114	140	412.2	-32.4	140	114	-401.7	34.9
19	114	140	429.0	-30.2	140	114	-419.1	32.3
20	117	118	-120.2	91.8	118	117	120.2	-96.3
21	119	118	-0.1	-68.8	118	119	0.1	81.4
22	171	118	121.7	-10.8	118	171	-121.7	17.4
23	120	121	315.9	134.6	121	120	-315.9	-110.6
24	120	122	221.7	44.1	122	120	-219.6	-79.5
25	120	124	306.8	8.2	124	120	-300.5	-27.2
26	120	124	309.9	9.4	124	120	-303.5	-26.9
27	120	126	374.3	-25.6	126	120	-365.5	24.3
28	120	169	-18.5	161.6	169	120	48.5	-166.9
29	122	123	211.4	60.1	123	122	-211.4	-46.2
30	122	124	337.9	-42.5	124	122	-334.5	40.1
31	122	177	-328.2	63.2	177	122	328.2	-85.4
32	124	125	616.5	45.5	125	124	-616.5	-6.0
33	126	127	266.8	104.6	127	126	-266.8	-93.7
34	114	130	-2.5	-26.1	130	144	2.5	27.6
35	144	131	-0.7	1.9	131	144	0.7	-1.9
36	139	159	209.3	25.8	159	139	-209.3	-16.3
37	139	165	-101.5	-75.5	165	139	102.1	-39.0
38	139	165	-101.5	-75.5	165	139	102.1	-39.0
39	140	141	400.2	-35.0	141	140	-390.2	32.9
40	140	141	420.5	-32.5	141	140	-411.0	30.9
41	141	142	302.0	-10.0	142	141	-301.1	0.7
42	141	142	270.5	-14.0	142	141	-269.5	3.5
43	141	160	373.2	19.4	160	141	-373.2	5.3
44	141	165	147.9	-112.3	165	141	-146.2	-19.9

** RELAT. #6 - VALORES ESTIMADOS - LINHAS/TRAÇOS **

RAMO	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)
45	131	165	147.9	-112.3	165	141	-146.2	-19.9
46	141	166	-436.7	100.9	166	141	436.7	-139.8
47	142	143	570.4	-2.5	143	142	-570.4	46.7
48	143	144	23.2	-9.0	144	143	-23.1	6.8
49	143	144	23.2	-9.0	144	143	-23.1	6.8
50	143	144	23.2	-9.0	144	143	-23.1	6.8
51	143	144	23.2	-9.0	144	143	-23.1	6.8
52	144	146	13.6	-7.7	146	144	-13.5	2.0
53	146	196	-3.7	-4.4	196	146	3.7	0.9
54	160	161	78.5	16.1	161	160	-78.0	-14.8
55	160	161	78.5	16.1	161	160	-78.0	-14.8
56	160	161	78.5	16.1	161	160	-78.0	-14.8
57	160	162	24.1	-9.1	162	160	-23.6	-0.7
58	160	162	24.1	-9.1	162	160	-23.6	-0.7
59	162	163	1.6	1.0	163	162	-1.6	-9.1
60	162	163	1.6	1.0	163	162	-1.6	-9.1
61	163	164	30.5	-3.7	164	163	-29.9	-1.7
62	163	164	30.5	-3.7	164	163	-29.9	-1.7
63	165	163	89.8	-13.4	163	165	-89.8	16.4
64	167	166	-2.4	-70.5	166	167	2.4	83.5
65	176	166	432.9	30.0	166	176	-432.9	52.2
66	168	169	0.4	-73.3	169	168	-0.4	86.3
67	173	169	53.5	-78.4	169	173	-53.5	82.3
68	171	170	-1413.7	308.3	170	171	1413.7	-148.8
69	171	172	731.7	-60.7	172	171	-722.9	-12.6
70	171	172	724.2	-61.9	172	171	-715.5	-15.2
71	172	173	664.4	-159.4	173	172	-657.5	67.6
72	172	174	785.2	-109.8	174	172	-776.2	65.0
73	173	175	608.9	-142.0	175	173	-602.9	10.9
74	174	175	437.8	-187.1	175	174	-434.3	-14.8
75	174	177	328.2	46.4	177	174	-328.2	2.1
76	175	176	471.5	-48.8	176	175	-468.4	-102.4
77	175	176	471.5	-48.8	176	175	-468.4	-102.4
78	175	179	101.8	-42.5	179	175	-101.7	-76.7
79	176	173	-599.5	-65.5	173	176	602.9	-12.9
80	178	177	-4.0	-66.7	177	178	4.0	78.7
81	180	183	165.2	37.7	183	180	-165.2	-26.2
82	181	182	-91.8	45.9	182	181	91.8	-44.7
83	183	181	-153.4	-32.0	181	183	163.4	27.1
84	181	186	133.2	-25.8	186	181	-142.2	-56.9
85	181	185	139.1	-24.5	185	181	-138.1	-58.3
86	183	183	0.5	0.5	183	184	-0.5	-0.5
87	185	185	103.3	74.2	185	186	-103.3	-68.8
88	185	183	14.5	-29.1	183	185	-19.4	-12.8

** RELAT. #6 - VALORES ESTIMADOS - LINHAS/TRAFOS **

R.M.U	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)	DA BARRA	PARA BARRA	POT. ATIVA (MW)	POT. REATIVA (MVAR)
89	186	191	90.8	-39.2	191	186	-90.4	-44.6
90	186	191	90.8	-39.2	191	186	-90.4	-44.6
91	187	189	62.3	20.2	189	187	-62.1	-21.7
92	191	187	66.4	16.7	187	191	-66.4	-15.1
93	191	188	126.4	65.1	188	191	-126.4	-59.2
94	189	190	79.0	29.7	190	189	-79.0	-24.5

** RELAT. #7 - RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS **

ITERACAO : GRAUS DE LIBERDADE LAMBDA(QUI-QUADR.)
 2.5 327 369.2

JA - ATIVOS JR - RELATIVOS J (=JA + JR)
 322.28 729.61 1051.90

- HA ERROS GROSSEIROS

- IDENTIFICACAO REALIZADA NO CONJUNTO DE MEDIDAS REATIVAS

B) IDENTIFICACAO : MAIOR RESIDUO NORMALIZADO - TENSAO BARRA RES. NORM.
 113 20.42

C) GERACAO PSEUDO MEDIDA : VALOR C/ ERRO VALOR GERADO
 1.098 1.028

** RELAT. #7 - RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS **

ITERACAO : A) DETECCAO : GRAUS DE LIBERDADE LAMBDA(QUI-OUADR.)

3.5 : 327 : 369.2

JA - ATIVUS JR - REATIVOS J (=JA + JR)

322.60 : 313.63 : 636.22

- HA ERROS GROSSEIROS

- IDENTIFICACAO REALIZADA NO CONJUNTO DE MEDIDAS ATIVAS

B) IDENTIFICACAO : MAIOR RESIDUO NORMALIZADO - FLUXO RAMO BARRA RES. NORM.

10 113 16.22

C) GERACAO PSEUDO MEDIDA : VALOR C/ ERRO VALOR GERADO

0.196 -0.483

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #7 - RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS **

ITERACAO	A) DETECCAO	GRAUS DE LIBERDADE	LAMBDA(QUI-QUADR.)	
4.5		327	369.2	
	JA - ATIVOS	JR - REATIVOS	J (MJA + JR)	
	58.53	316.02	374.55	

- HA ERROS GROSSEIROS

- IDENTIFICACAO REALIZADA NO CONJUNTO DE MEDIDAS REATIVAS

B) IDENTIFICACAO :	MAIOR RESIDUO NORMALIZADO -	INJECAO	BARRA	RES. NORM.
			113	12.23

C) GERACAO PSEUDO MEDIDA :	VALOR C/ ERRO	VALOR GERADO
	0.680	-0.003

** RELAT. #7 - RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS **

ITERACAO	A) DETECCAO	GRAUS DE LIBERDADE	LAMBDA(QUI-QUADR.)	JA - ATIVOS	JR - REATIVOS	J (JA + JR)
5.5		327	369.2	58.23	143.42	201.65

- NAO HA ERROS GROSSEIROS

SISTEMA FURNAS-66 TESTE COM ERROS GROSSEIROS

** RELAT. #7 - RESUMO DO PROCESSAMENTO DE ERROS GROSSEIROS **

ITERACAO	A) DETECCAO	GRAUS DE LIBERDADE	LAMBDA(OUT-QUADR.)	
6.5		327	369.2	
		JA - ATIVOS	JR - REATIVOS	J (=JA + JR)
		58.24	143.40	201.64

- NAO HA ERROS GROSSEIROS