

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

ESTIMAÇÃO ESTATICA DE ESTADO EM SISTEMAS DE
POTÊNCIA UTILIZANDO MÉTODO DESACOPLADO

Autor: Ariovaldo Verandio Garcia

Orientador: Alcir José Monticelli

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
de Campinas - UNICAMP para obtenção do título de Mestra em Ciências.

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e em especial

a Alcir José Monticelli pela preciosa orientação,

a Brian Stott e Leslie Afrânio Terry pelas discussões e sugestões,

ao colega Sigmar Maurer Deckmann pela valiosa colaboração prestada,

aos engenheiros do C.O.S. da CPFL pelo fornecimento dos dados do sistema CPFL-138,

às Srtas. Edelweis M. Gonçalves pelo trabalho datilográfico e Edna Pfeifer pela organização das referências bibliográficas,

desejo expressar meus agradecimentos.

SUMÁRIO

É apresentado um método rápido e desacoplado para estimação estática de estado em sistemas de alta tensão. São analisadas duas versões: desacoplamento do algoritmo; desacoplamento do modelo e algoritmo.

A detecção de medidas com erros grosseiros é feita através do índice J. A identificação utiliza o método dos resíduos normalizados. Tanto a detecção como a identificação são desacopladas.

I N D I C E

Página

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO	1
--------------------------	---

CAPÍTULO 2

2 - ESTIMAÇÃO ESTÁTICA DE ESTADO

2.1 Introdução	3
2.2 Mínimos Quadrados	4
2.2.1 Formulação	4
2.2.2 Solução (linearização)	6
2.2.3 Propriedades do Índice $J(x)$: critérios da convergência	8
2.3 Detecção e Identificação de Medidas com Er- ros Grosseiros	11
2.3.1 Introdução	11
2.3.2 Análise Linearizada	13
2.3.3 Detecção de Medidas com Erros Gros- seiros	17
2.3.4 Identificação de Medidas com Erros Grosseiros	18

CAPÍTULO 3

3 - ESTIMADOR DESACOPLADO

3.1 Introdução	23
3.2 Desacoplamento: Modelo, Algoritmo, Detecção e Identificação	23
3.3 Desacoplamento Pθ-QV: Matriz H	25
3.3.1 Tipos de Grandezas Medidas	25
3.3.2 Modelo do Sistema de Transmissão	26
3.3.3 Transformação de Medidas	28

3.3.4 Desacoplamento	32
3.4 Formação e Bi-fatoração de B_1 e B_2	34
3.5 Desacoplamento P θ -QV: Matriz Ganho	39

CAPÍTULO 4

4 - DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

4.1 Introdução	43
4.2 Detecção de Medidas com Erros Grosseiros. . .	43
4.2.1 Procedimento	43
4.2.2 Nota Sobre a Influência da Redundância na Detecção.	44
4.3 Identificação de Medidas com Erros Grosseiros	45
4.3.1 Análise Linearizada	45
4.3.2 Identificação	47
4.3.3 Nota Sobre a Influência da Redundância na Identificação	48
4.4 Diagrama de Blocos	50
4.5 Detecção e Identificação Desacopladas	51

CAPÍTULO 5

5 - DESEMPENHO DO ESTIMADOR DESACOPLADO

5.1 Introdução	52
5.2 Convergência	55
5.2.1 Sistema A	55
5.2.2 Sistema B	56
5.3 Detecção e Identificação de Medidas com Erros Grosseiros	59
5.3.1 Índice dos Casos Apresentados	60
5.3.2 Variação do Índice $J(\hat{x})$ em Função do Erro Grosseiro β	64
5.4 Influência da Relação X/R	65

CAPÍTULO 6

6 - CONCLUSÕES	97
APÊNDICE A - Exemplo	99
A.1 Newton-Raphson	99
A.2 Método Desacoplado	104
APÊNDICE B - Exemplo - Identificação de Medidas com Erros Grosseiros. - FCDC	106
B.1 Uma Medida com Erros Grosseiros	106
B.2 Mais de Uma Medida com Erros Grosseiros	111
APÊNDICE C - Dados Reais do Sistema CPFL	114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A realização de funções de controle em tempo-real em sistemas elétricos de potência, através de um centro de controle, exige a formação de um banco de dados que contenha informações sobre a configuração, os parâmetros e o estado atual do sistema. As informações colhidas através do sistema de telemedição, contendo medidas lógicas e analógicas, devem ser processadas pelo centro de controle, de tal forma que possam ser utilizadas - tanto pelo operador como em funções de controle em tempo-real. Neste sentido é essencial a existência de algoritmos que determinem a configuração (configurador) e o estado (estimador) do sistema.

Neste trabalho é estudado um método rápido desacoplado (desacoplado e com matrizes constantes) para a realização da estimação de estado. São estudadas e comparadas duas versões do desacoplamento. Na primeira, a mais simples, são desacoplados o modelo e o algoritmo; na segunda é desacoplado apenas o algoritmo. As possibilidades de utilização do desacoplamento são aplicadas também à detecção e identificação de medidas com erros grosseiros. O algoritmo de estimação é do tipo mínimos quadrados ponderados. A detecção é feita através do teste de hipótese J_0 (χ -quadrado). A identificação se baseia na comparação dos resíduos normalizados.

A versão em que se desacoplam modelo e algoritmo é aplicável a sistemas de alta tensão, como é o caso da rede de transmissão da região Sudeste. Nesta região várias empresas já se encontram em fase de implantação de centros de controle com possibilidade de executar funções de controle em tempo-real.

No capítulo 2 apresenta-se o problema da estimação - estática, não linear, de estado, pelo método dos mínimos qua-

drados ponderados. Apresentam-se ainda neste capítulo um método para detectar e outro para identificar medidas com erros grosseiros.

No capítulo 3, as idéias sobre o processo iterativo desenvolvidas no capítulo 2, são adaptadas ao método desacoplado. São apresentadas duas versões. Apresenta-se com detalhes a versão com o desacoplamento no modelo e no algoritmo e, no último item, apresentam-se as modificações necessárias para se desacoplar somente o algoritmo (matriz ganho).

No capítulo 4, aplica-se o desacoplamento $P\theta-QV$, às idéias sobre detecção e identificação de medidas com erros grosseiros desenvolvidas no capítulo 2.

No capítulo 5 mostra-se o desempenho do estimador desacoplado. São apresentados diversos testes realizados, tanto para a convergência como para a detecção e identificação de medidas com erros grosseiros.

No capítulo 6 estão as conclusões.

No apêndice A apresenta-se um caso simples (duas dimensões) de estimação estática, não linear, de estado. É apresentada uma visualização do tipo de função que se minimiza. Resultados com o método de Newton-Raphson e com o desacoplado são apresentados.

No apêndice B apresenta-se um caso linear (FCOC) de identificação de medidas com erros grosseiros.

No apêndice C estão os resultados obtidos com os dados em tempo-real de uma parte do sistema da CPFL em 138 KV.

CAPÍTULO 2

ESTIMAÇÃO ESTATICA DE ESTADO

2.1 - INTRODUÇÃO

A supervisão e o controle em tempo-real de sistemas elétricos de potência exigem o conhecimento das variáveis de interesse para a execução de tais funções. Estas variáveis, entretanto, nem sempre são medidas diretamente, e mesmo quando o são é necessário determinar se estas medidas estão ou não afetadas por erros grosseiros. Nos sistemas de medição atualmente instalados é comum uma situação em que o número de medidas realizadas é maior que o mínimo necessário para a determinação do estado em um dado instante. Assim sendo, esta redundância pode ser utilizada em um processo de filtragem para se determinar a estimativa de estado do sistema. Além disto, a existência da redundância possibilita a detecção e identificação de medidas com erros grosseiros. Conhecido o estado e eliminadas as medidas erradas, variáveis que interessam ao operador (por exemplo : fluxos de potência em linhas; injeção de potência em barras) podem ser calculadas.

Usualmente as medidas realizadas são : fluxo de potência em linhas, injeção de potência e magnitude de tensão em barras. O algoritmo de estimação 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. O algoritmo de estimação utiliza um filtro [1] através do qual é determinado o estado mais provável do sistema, ponderando-se as medidas realizadas.

O processo de filtragem garante uma maior precisão das grandezas estimadas. Entretanto, mais importante do que isto, é o fato de que o estimador fornece um conjunto de grandezas con-

fiáveis, tanto do ponto de vista do operador, como para a realização de outras funções de controle em tempo-real.

O estimador estático de estado pode ser considerado - uma generalização do problema clássico de fluxo de carga [2]. Este trabalho apresentará dois algoritmos de estimação de estado baseados no método desacoplado de cálculo de fluxo de carga [3].

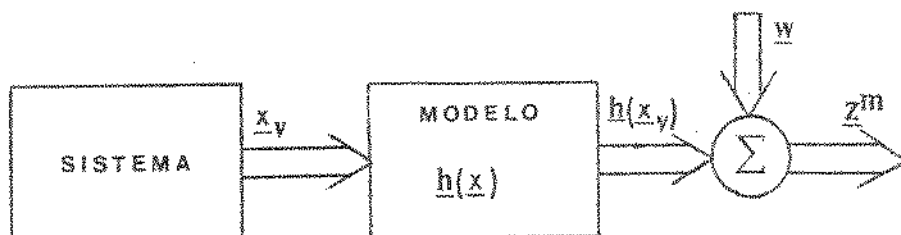
Neste capítulo serão apresentadas idéias gerais sobre estimação estática de estado para o caso não linear. A aplicação destas idéias ao método desacoplado será desenvolvida nos capítulos seguintes.

2.2 - MÍNIMOS QUADRADOS

2.2.1 - Formulação

Estimação de estado é o processo de se calcular, segundo um critério estabelecido, o estado de um sistema, baseando-se em medidas realizadas no próprio sistema. Neste capítulo apresenta-se o problema de estimação estática de estado por mínimos quadrados de uma forma geral, sem se fazer uso das características dos sistemas de potência. Características específicas serão apresentadas em capítulos subseqüentes.

Seja $\underline{x}_v$ o vetor de estado verdadeiro do sistema, $\underline{z}^m$ o vetor de medidas, $\underline{w}$ o vetor dos erros relacionados com as medidas e $\underline{h}(\underline{x})$ o vetor de funções não lineares em $\underline{x}$ que relacionam as grandezas medidas com as variáveis de estado. Por hipótese, o modelo escolhido para representar o sistema é determinístico. No entanto, não está excluída a possibilidade de haver erros grosseiros (configuração e parâmetros) no modelo.



Com relação ao diagrama acima pode-se escrever :

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

onde :

- $\underline{z}^m$: vetor de medidas ($m \times 1$)
- $\underline{h}(\)$: vetor de funções não lineares ($m \times 1$)
- $\underline{x}_v$: estado verdadeiro ($n \times 1$)
- $\underline{w}$: vetor dos erros ($m \times 1$)
- m : número de medidas
- n : número de variáveis de estado.

A teoria de estimação por mínimos quadrados pode ser formulada sem que se façam hipóteses estatísticas sobre $\underline{x}_v$ ou $\underline{w}$. Pode-se dizer simplesmente que uma estimativa de $\underline{x}_v$ pode ser obtida determinando-se o valor de $\underline{x}$ que minimize um dado índice $J(\underline{x})$, dado por :

$$J(\underline{x}) = \underline{w}^t \cdot \underline{W}^{-1} \cdot \underline{w} \quad (2.2)$$

ou

$$J(\underline{x}) = [\underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x})]^t \cdot \underline{W}^{-1} \cdot [\underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x})] \quad (2.3)$$

onde W^{-1} é uma matriz de ponderação definida positiva e escolhida segundo critérios dos mais variados, como experiência prévia ou intuição [1]. Em sistemas de potência utiliza-se a matriz covariância das medidas realizadas, invertida, como matriz de ponderação [4, 5, 6]. Desta forma cada medida é ponderada conforme sua qualidade. A forma de se obter esta matriz covariância, através do conhecimento dos sistemas de medição, está discutida na referência [7].

2.2.2 - Solução (linearização)

A minimização da expressão dada por (2.3) é obtida fazendo-se

$$\frac{\partial J(\underline{x})}{\partial \underline{x}} = \underline{0} \quad (2.4)$$

portanto

$$H^t(\underline{\hat{x}}) \cdot W^{-1} \cdot [\underline{z}^m - \underline{h}(\underline{\hat{x}})] = \underline{0} \quad (2.5)$$

onde

$$H(\underline{\hat{x}}) \triangleq \left. \frac{\partial \underline{h}}{\partial \underline{x}} \right|_{\underline{\hat{x}}} \quad (2.6)$$

A solução de (2.5) fornece o estado estimado $\underline{\hat{x}}$. Em razão das não linearidades de $H(\underline{x})$ e $\underline{h}(\underline{x})$, a solução direta da equação (2.5) não é conveniente, senão impossível de se obter. Pode-se entretanto usar um método iterativo para se obter $\underline{\hat{x}}$.

Linearizando-se $\underline{h}(\underline{x})$ tem-se:

$$\underline{h}(\underline{x}) \approx \underline{h}(\underline{x}^0) + H(\underline{x}^0) \cdot \Delta \underline{x} \quad (2.7)$$

logo

$$\underline{z}^m = \underline{h}(\underline{x}^0) + H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x} + \underline{w} \quad (2.8)$$

ou

$$\underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x}^0) = H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x} + \underline{w} \quad (2.9)$$

Definindo

$$\underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) = \underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x}^0) \quad (2.10)$$

tem-se :

$$\underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) = H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x}^0 + \underline{w} \quad (2.11)$$

A função objetivo passa a ser

$$J(\underline{x}) = [\underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) - H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x}]^t \cdot W^{-1} \cdot [\underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) - H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x}^0] \quad (2.12)$$

cujo mínimo se obtém de

$$H^t(\underline{x}^0) \cdot W^{-1} \cdot [\underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) - H(\underline{x}^0) \cdot \underline{\Delta x}^0] = \underline{0} \quad (2.13)$$

Logo

$$\underline{\Delta x}^0 = [H^t(\underline{x}^0) \cdot W^{-1} \cdot H(\underline{x}^0)]^{-1} \cdot H^t(\underline{x}^0) \cdot W^{-1} \cdot \underline{\Delta Z}(\underline{x}^0) \quad (2.14)$$

e

$$\underline{\bar{x}}^1 = \underline{x}^0 + \underline{\Delta x}^0 \quad (2.15)$$

Este processo é repetido até se obter convergência, recalculando-se H a cada iteração. Em geral :

$$\underline{x}^v = \underline{x}^{v-1} + \Delta \underline{x}^v. \quad (2.16)$$

A estimativa de estado $\hat{\underline{x}}$ é o valor $\underline{x}^v$, para uma iteração v em que se verifica um critério de convergência pré-fixado.

O processo iterativo descrito é do tipo Newton-Raphson e poderia ser obtido diretamente da equação (2.5), linearizando-se $\underline{h}(\underline{x})$ em torno da estimativa inicial $\underline{x}^0$ e considerando-se a matrix jacobiana $H(\underline{x})$ constante para uma correção $\Delta \underline{x}$:

$$H^t(\underline{x}^0 + \Delta \underline{x}) \cdot W^{-1} \{ \underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x}^0 + \Delta \underline{x}) \} = \underline{0}. \quad (2.17)$$

Resolver este sistema equivale a impor que $\underline{x} = \underline{x}^0 + \Delta \underline{x}$ seja solução de (2.5). Considerando

$$\underline{h}(\underline{x}^0 + \Delta \underline{x}) \approx \underline{h}(\underline{x}^0) + H(\underline{x}^0) \cdot \Delta \underline{x} \quad (2.18)$$

e

$$H(\underline{x}^0 + \Delta \underline{x}) \approx H(\underline{x}^0) \quad (2.19)$$

obtem-se o resultado expresso em (2.14).

É importante notar que o processo iterativo descrito fornece a solução exata do problema, através de soluções parciais de problemas linearizados, da mesma maneira que ocorre com o método de Newton-Raphson aplicado ao problema de cálculo de fluxo de carga.

2.2.3 - Propriedades do Índice $J(\underline{x})$: critérios de convergência

Através do estudo das propriedades do índice $J(\underline{x})$, podem-se definir critérios tanto para a convergência do estimador como para a detecção de medidas com erros grosseiros.

Pela equação (2.1) conclui-se que a distribuição de

probabilidades de $\underline{z}^m$ é função unicamente da distribuição de $\underline{w}$ pois, por hipótese, os parâmetros do modelo do sistema são determinísticos e como consequência $\underline{h}(\underline{x}_v)$ também é determinístico. Representando-se a esperança matemática por $E\{\cdot\}$ tem-se :

$$E\{\underline{z}^m\} = E\{\underline{h}(\underline{x}_v)\} + E\{\underline{w}\} \quad (2.20)$$

portanto

$$\bar{\underline{z}}^m = \underline{h}(\underline{x}_v) + \bar{\underline{w}} \quad (2.21)$$

onde $\bar{\underline{z}}^m$ e $\bar{\underline{w}}$ representam, respectivamente, a média de $\underline{z}^m$ e $\underline{w}$. A covariância de $\underline{z}^m$ é dada por :

$$\text{Cov}[\underline{z}^m] = E\{(\underline{z}^m - \bar{\underline{z}}^m) \cdot (\underline{z}^m - \bar{\underline{z}}^m)^t\} \quad (2.22)$$

mas

$$\underline{z}^m - \bar{\underline{z}}^m = \underline{z}^m - \underline{h}(\underline{x}_v) - \bar{\underline{w}} = \underline{w} - \bar{\underline{w}} \quad (2.23)$$

logo

$$\text{Cov}[\underline{z}^m] = E\{(\underline{w} - \bar{\underline{w}}) \cdot (\underline{w} - \bar{\underline{w}})^t\} = \text{Cov}[\underline{w}] = W. \quad (2.24)$$

Supondo-se os erros de medidas normais e não correlatos [4, 5, 6] a matriz covariância W é diagonal e o índice $J(\underline{x})$ pode ser reescrito como :

$$J(\underline{x}) = \sum_{i=1}^m \left[\frac{z_i^m - h_i(\underline{x})}{\sigma_i} \right]^2 \quad (2.25)$$

onde σ_i^2 é o elemento i da diagonal da matriz W . Deve-se notar que se os erros forem correlatos, o que resultaria em uma matriz W não diagonal, ainda seria possível obter-se uma expressão do tipo indicado na equação (2.25) pois através da transformações adequadas pode-se diagonalizar a matriz W .

Se os erros de medida w tiverem médias iguais a zero, mostra-se, através de análise linearizada (item 2.3.2), que a distribuição de probabilidades de $J(\underline{\bar{x}})$ é aproximadamente χ^2 - (Qui-quadrado) com G_ℓ graus de liberdade, G_ℓ dado por

$$G_\ell = m - n. \quad (2.26)$$

Na figura (2.1) estão mostradas algumas curvas da distribuição χ^2 para diversos valores de G_ℓ .

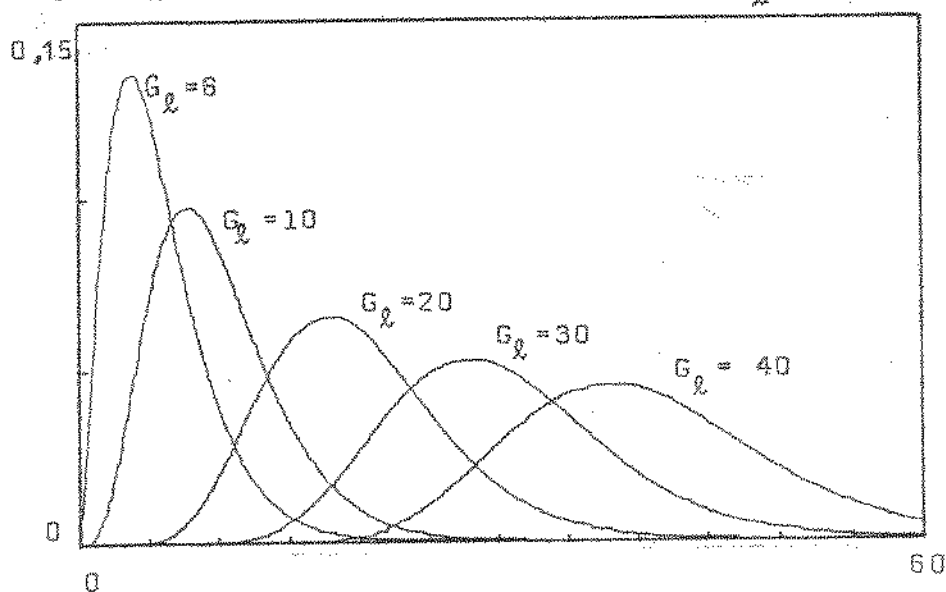


Figura 2.1 : Distribuição χ^2

Como se sabe, uma variável aleatória com distribuição χ^2 com G_ℓ graus de liberdade, tem média igual a G_ℓ e variância igual a $2G_\ell$, ou seja

$$E \{J(\underline{\bar{x}})\} = \bar{J}(\underline{\bar{x}}) = G_\ell \quad (2.27)$$

$$E \{ [J(\underline{\hat{x}}) - \bar{J}(\underline{\hat{x}})]^2 \} = \text{var}[J(\underline{\hat{x}})] = 2 G_2 \quad (2.28)$$

Em sistemas de potência, geralmente ocorre que $G_2 > 30$ e, neste caso, a distribuição χ^2 aproxima-se de uma distribuição normal de mesma média e variância [4].

Como o número de graus de liberdade é conhecido de antemão, podem-se adotar critérios tanto para a convergência do processo iterativo como para verificar se dentre as medidas realizadas existem algumas afetadas por erros grosseiros.

A utilização do índice $J(\underline{\hat{x}})$ para verificar a convergência do processo iterativo somente é aconselhável quando se tem certeza de que todas as medidas são confiáveis, pois, caso contrário, não é válida a hipótese de que $J(\underline{\hat{x}})$ tem distribuição χ^2 com $G_2 = m - n$ graus de liberdade (item 2.3.3). Este procedimento pode ser usado em simulações, para comparações de algoritmos [8].

O critério de convergência utilizado neste trabalho baseia-se nas correções Δx : se a maior correção (em módulo) for menor que uma precisão previamente estabelecida, considera-se que o processo iterativo convergiu.

Uma vez obtida a convergência, as propriedades de $J(\underline{\hat{x}})$ têm fundamental importância na detecção de medidas com erros grosseiros, como será visto no que segue.

2.3 - DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

2.3.1 - Introdução

A realização de uma medida em um sistema de potência envolve diversas etapas desde a medição propriamente dita nas subestações, geralmente situadas a vários quilômetros do centro de operação, até a recepção em sinal analógico ou digital pelo referido centro. A figura 2.2 mostra um esquema simplificado das etapas referidas.

O número de equipamentos envolvidos em uma (tele) medida é muito grande. Como se vê na figura 2.3 uma medida de potência ativa na subestação envolve três transformadores de medição. Para a medida ser utilizada pelo centro de operação, - ainda passa por conversores Analógico/Digitais, transmissores, receptores, etc ...

Todos estes equipamentos estão sujeitos a avarias e, dependendo do tipo do equipamento, sua inutilização pode invalidar uma ou várias medidas. Além disso, algumas medidas podem ter sido tomadas em instantes ou locais sujeitos à perturbações temporárias. O estimador obrigatoriamente deve estar equipado com meios de detectar e identificar estas medidas que, seguramente, apresentarão erros grosseiros.

2.3.2 Análise Linearizada [4]

Para uma melhor seqüência no desenvolvimento das equações que compõem a análise linearizada, é feito um parágrafo - de revisão estatística para relações lineares entre vetores aleatórios.

Sejam $\underline{y}$ e $\underline{u}$ dois vetores aleatórios relacionados - entre si como o indicado na equação (2.29):

$$\underline{y} = A \cdot \underline{u} \quad (2.29)$$

As médias e covariâncias de $\underline{y}$ e $\underline{u}$ são denotadas, 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 da seguinte maneira :

$$\bar{\underline{y}} = E\{\underline{y}\} = E\{A\underline{u}\} = A \cdot E\{\underline{u}\} = A \cdot \bar{\underline{u}} \quad (2.30)$$

$$\begin{aligned} Y = \text{cov} [\underline{y}] &= E\{(\underline{y} - \bar{\underline{y}}) \cdot (\underline{y} - \bar{\underline{y}})^t\} = E\{A(\underline{y} - \bar{\underline{y}}) \cdot (\underline{y} - \bar{\underline{y}})^t \cdot A^t\} = \\ &= A \cdot U \cdot A^t. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Estas equações serão freqüentemente utilizadas a seguir.

Define-se o erro de estimação do estado como :

$$\Delta \underline{x} \triangleq \underline{x}_v - \hat{\underline{x}} \quad (2.32)$$

onde $\underline{x}_v$ e $\hat{\underline{x}}$ são o estado verdadeiro e o estado estimado, respectivamente.

As equações a seguir são obtidas admitindo-se que $\Delta \underline{x}$ seja pequeno. A matriz jacobiana que aparece nestas equações é a calculada no ponto $\underline{x} = \hat{\underline{x}}$ que, por facilidade de notação, será representada por H ,

$$\underline{h}(\underline{x}_v) \approx \underline{h}(\hat{\underline{x}}) + H \cdot \Delta \underline{x} \quad (2.33)$$

Utilizando-se a equação (2.33) e repetindo-se o raciocínio feito para a obtenção das equações do estimador, tem-se :

$$H^t \cdot W^{-1} \cdot [\underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} - \underline{h}(\hat{\underline{x}})] = \underline{0} \quad (2.34)$$

ou

$$H^t \cdot W^{-1} \cdot [H \cdot \Delta \underline{x} + \underline{w}] = \underline{0} \quad (2.35)$$

logo

$$\Delta \underline{x} = -[H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \underline{w} \quad (2.36)$$

Os vetores $\Delta \underline{x}$ e $\underline{w}$ são vetores aleatórios e a matriz $[H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H^t \cdot W^{-1}$ é determinística, logo, através das equações (2.30) e (2.31) obtêm-se

$$\Delta \bar{\underline{x}} = -[H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \bar{\underline{w}} \quad (2.37)$$

$$\text{Cov}(\Delta \underline{x}) = \{ [H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H^t \cdot W^{-1} \} W \{ [H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H^t \cdot W^{-1} \}^t, \quad (2.38)$$

logo a matriz covariância do erro de estimação do estado é dada por :

$$\text{cov}(\Delta \underline{x}) = [H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1}. \quad (2.39)$$

As equações (2.36) e (2.37) podem ser reescritas como :

$$\Delta \underline{x} = - \text{cov}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \underline{w} \quad (2.40)$$

e

$$\Delta \bar{\underline{x}} = - \text{cov}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \bar{\underline{w}}. \quad (2.41)$$

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

O resíduo de estimação pode ser definido de maneira similar ao erro de estimação.

$$\underline{r} \stackrel{\Delta}{=} \underline{z}^m - h(\hat{\underline{x}}) = h(\underline{x}_v) + \underline{w} - h(\hat{\underline{x}}) \quad (2.42)$$

logo

$$\underline{r} = H \cdot \Delta \underline{x} + \underline{w} = -H \cdot \text{cov}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \underline{w} + \underline{w} \quad (2.43)$$

ou

$$\underline{r} = \{ \underline{1} - H \cdot \text{cov}(\Delta \underline{x}) \cdot H^t \cdot W^{-1} \} \cdot \underline{w} \stackrel{\Delta}{=} \Gamma \cdot \underline{w} \quad (2.44)$$

onde $\underline{1}$ representa a matriz identidade. Novamente $\underline{r}$ e $\underline{w}$ são vetores aleatórios e a matriz Γ é determinística. Assim pode-se obter através de (2.30) e (2.31) :

$$\bar{\underline{r}} = \Gamma \cdot \bar{\underline{w}} \quad (2.45)$$

e

$$\text{cov}[\underline{r}] \stackrel{\Delta}{=} R = \Gamma \cdot W \cdot \Gamma^t. \quad (2.46)$$

Logo a matriz covariância do vetor resíduo de estimação é dada por :

$$R = W - H \cdot \text{cov}[\underline{\Delta x}] \cdot H^t. \quad (2.47)$$

Finalmente a diferença entre o valor verdadeiro e o estimado da medida é :

$$\underline{\Delta Z_v} \stackrel{\Delta}{=} \underline{h}(\underline{x_v}) - \underline{h}(\underline{\hat{x}}) = -H \cdot \text{cov}[\underline{\Delta x}] \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \underline{w}. \quad (2.48)$$

Da mesma maneira que nos casos anteriores, obtém-se a média e a covariância de $\underline{\Delta Z_v}$:

$$\underline{\Delta \bar{Z}_v} = -H \cdot \text{cov}[\underline{\Delta x}] \cdot H^t \cdot W^{-1} \cdot \underline{\bar{w}} \quad (2.49)$$

$$\text{cov}[\underline{\Delta Z_v}] = H \cdot \text{cov}[\underline{\Delta x}] \cdot H^t. \quad (2.50)$$

Substituindo o resíduo $\underline{r}$ na equação do índice $J(\underline{x})$ para $\underline{x} = \underline{\hat{x}}$ deduz-se :

$$J(\underline{\hat{x}}) = [\Gamma \cdot \underline{w}]^t \cdot W^{-1} \cdot [\Gamma \cdot \underline{w}] \quad (2.51)$$

ou

$$J(\underline{\hat{x}}) = \underline{w}^t \cdot \Gamma^t \cdot W^{-1} \cdot \Gamma \cdot \underline{w} \quad (2.52)$$

mas

$$\Gamma^t \cdot W^{-1} \cdot \Gamma = W^{-1} \cdot \Gamma \quad (2.53)$$

então

$$J(\underline{\hat{x}}) = \underline{w}^t \cdot W^{-1} \cdot \Gamma \cdot \underline{w} \quad (2.54)$$

Se $\underline{w}$ tiver distribuição normal, $J(\underline{\hat{x}})$ dado pela equação (2.54) terá distribuição χ^2 com $G_{\hat{x}} = m - n$ graus de liberdade. Isto se deve ao fato da matriz $W^{-1} \Gamma$ possuir "rank" igual a $m - n$ [1].

2.3.3 - Detecção de Medidas com Erros Grosseiros [6]

Mostrou-se no item anterior (2.2.2) que sob certas condições o índice $J(\underline{x})$ calculado no ponto $\underline{x} = \underline{\hat{x}}$ tem, aproximadamente, distribuição χ^2 com $m-n$ graus de liberdade. As condições referidas são :

$$i - \underline{\hat{x}} = \underline{x}_v$$

ii - $\underline{w}$ possui distribuição normal e não existem erros grosseiros nas medidas.

A detecção de possíveis erros grosseiros se faz por intermédio de um teste de hipótese. Após a convergência do processo iterativo, que fornece $\underline{\hat{x}}$, calcula-se o valor de $J(\underline{\hat{x}})$. Através da comparação deste valor com o parâmetro λ previamente especificado, função da distribuição χ^2 com $m-n$ graus de liberdade, aceita-se ou rejeita-se a hipótese já referida. Se,

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

e se

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

O valor de λ é determinado fixando-se uma certa probabilidade p de se tomar a decisão errada : rejeitar a hipótese e ela ser válida. Por exemplo, na figura 2.4, mostra-se uma distribuição χ^2 com 50 graus de liberdade e o valor de λ para $p = 2,3\%$, ou seja $\lambda \approx 70$.

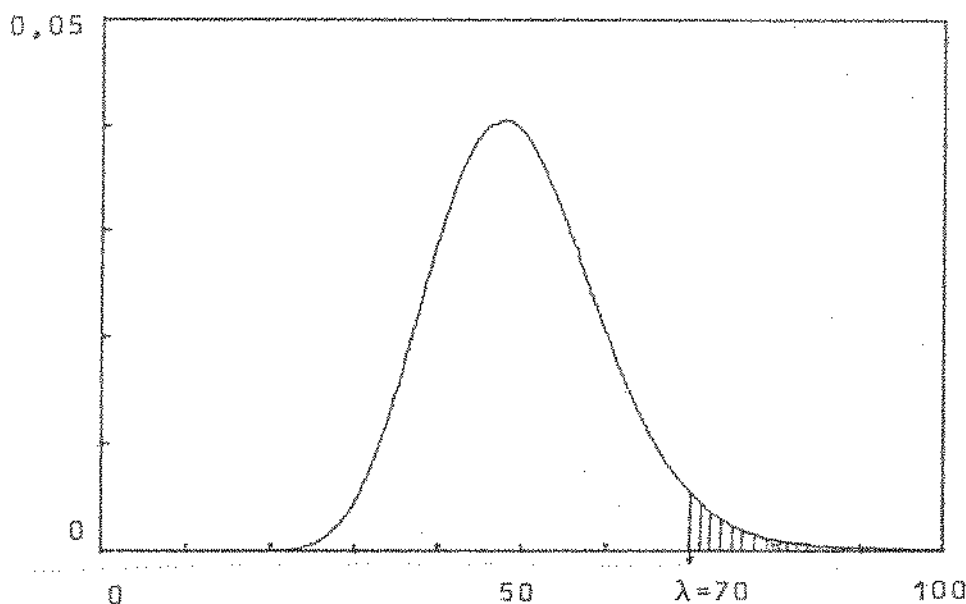


Fig. 2.4. -- Distribuição χ^2 com $G_k = 50$

A probabilidade p é a probabilidade de uma variável aleatória distribuída segundo χ^2 , com 50 graus de liberdade, tomar valores maiores do 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 ocorrer erros grosseiros e também os tipos de erros que podem ocorrer.

Do resultado do teste de hipótese realizado, resultam dois caminhos distintos. Se a hipótese de não existirem erros grosseiros for considerada válida, consideram-se os resultados do estimador confiáveis e o trabalho de estimação do estado chega ao fim. Se por outro lado a hipótese não for considerada válida, torna-se necessário identificar quais as medidas que estão com erros grosseiros, eliminá-las do conjunto de medidas e finalmente estimar o estado. Isto será apresentado a seguir.

2.3.4 - Identificação de Medidas com Erros Grosseiros

Uma vez detectada a existência de medidas com erros grosseiros, torna-se necessário eliminá-las e estimar o estado com as medidas restantes. Para tanto é necessário, inicialmente, identificá-las. O algoritmo desenvolvido identifica uma medida por vez. Quando houver mais de uma medida com erros grosseiros,

o algoritmo identificará e eliminará uma delas e o estado será novamente estimado com as restantes. Se ainda houver alguma medida com erro grosseiro, a identificação será mais uma vez realizada, e assim sucessivamente, até que todas as medidas com erros grosseiros sejam eliminadas. A identificação se baseia na comparação dos resíduos de estimação depois de normalizados.

O vetor resíduo de estimação $\underline{r}$ foi previamente definido, assim como sua média $\bar{\underline{r}}$ e matriz covariância R , pelas equações (2.42), (2.45) e (2.46), respectivamente.

Quando existirem medidas com erros grosseiros, a equação (2.1) pode ser colocada na forma

$$\underline{z}^m = \underline{h}(\underline{x}_v) + \underline{w} + \underline{b} \quad (2.55)$$

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 afetada por erros grosseiros, por exemplo, a medida j , e que todas as restantes tenham média nula, ou seja :

$$\underline{b} = [0 \dots 0 \beta_j 0 \dots 0]^t \quad (2.56)$$

onde β_j é o valor do erro grosseiro da medida j . Neste caso a média do resíduo de estimação passa a ser :

$$\bar{\underline{r}} = \Gamma \underline{b} \quad (2.57)$$

ou

$$\bar{\underline{r}} = \beta_j \begin{bmatrix} Y_{1j} \\ \vdots \\ Y_{jj} \\ \vdots \\ Y_{mj} \end{bmatrix} \quad (2.58)$$

onde γ_{ij} é o elemento (i,j) da matriz Γ dada pela equação (2.44).

Sendo ρ_{ii} o elemento (i,i) da matriz R (covariância dos resíduos), os resíduos normalizados τ_i definidos por

$$\tau_i \triangleq \frac{r_i}{\sqrt{\rho_{ii}}} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.59)$$

têm variâncias unitárias e médias $\bar{\tau}_i$ dadas por

$$\bar{\tau}_i = \frac{\gamma_{ij}}{\sqrt{\rho_{ii}}} \cdot \beta_j \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.60)$$

É fácil verificar que

$$\Gamma = R \cdot W^{-1} \quad (2.61)$$

Supondo W diagonal e igual à matriz covariância das medidas, os valores de γ_{ii} e ρ_{ii} estão relacionados por :

$$\rho_{ii} = \sigma_i^2 \cdot \gamma_{ii} \quad (2.62)$$

onde σ_i^2 foi previamente definido como a variância da medida i (não considerando erros grosseiros).

Assim sendo, a equação (2.60) pode ser reescrita como

$$\bar{\tau}_i = \frac{\gamma_{ij}}{\sqrt{\gamma_{ii}}} \cdot \frac{\beta_j}{\sigma_i} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, m. \quad (2.63)$$

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 somente diferem no que se refere às médias. Na figura 2.5 são mostrados diversas distribuições normais com

mesma variância e médias diferentes.

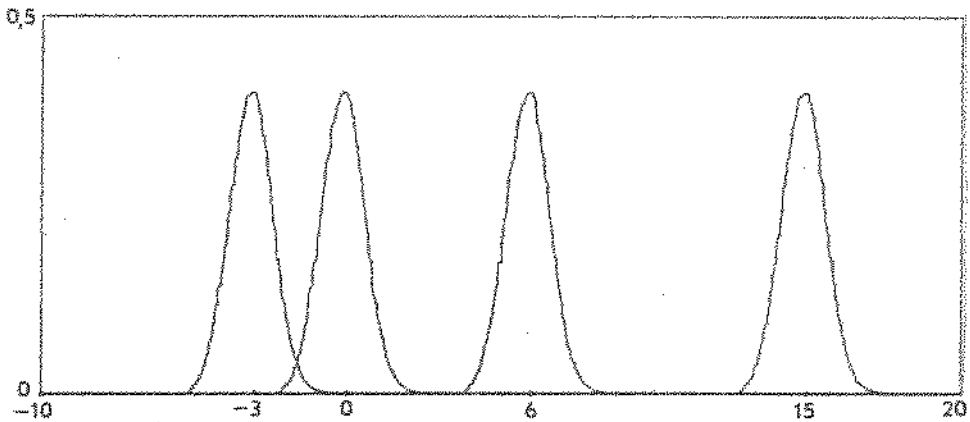


Fig. 2.5 - Distribuições normais com mesma variância e médias diferentes.

A condição necessária para a identificação é que a média do resíduo normalizado correspondente à medida j , $\bar{\tau}_j$, esteja suficientemente distante das demais médias $\bar{\tau}_i$. Se esta condição for satisfeita, basta determinar o maior resíduo normalizado (τ_j) que corresponderá à medida com erro grosseiro. Por exemplo, se

$$\left| |\bar{\tau}_j| - |\bar{\tau}_i| \right| > 6 \quad (2.64)$$

para $i = 1, 2, \dots, m$, $i \neq j$, o resíduo τ_j tomará valores maiores (em módulo) do que os demais (Fig. 2.5).

As condições que tornam possível a identificação são obtidas através das equações (2.63) e (2.64). Para $i \neq j$, pode-se determinar a razão entre as médias $\bar{\tau}_j$ e $\bar{\tau}_i$:

$$\frac{\bar{\tau}_j}{\bar{\tau}_i} = \frac{\sqrt{\gamma_{jj} \cdot \gamma_{ii}}}{\gamma_{ij}} \cdot \frac{\sigma_i}{\sigma_j}, \quad i=1,2,\dots,m. \quad (2.65)$$

Esta razão deve ser a maior possível, o que é obtido quando se tem redundância de medidas suficiente para a identificação.

Para satisfazer a condição dada pela equação (2.64),

não é suficiente ter-se a razão $\bar{\tau}_j/\bar{\tau}_1$ maior do que a unidade. É necessário que sejam impostas condições sobre o valor de $\bar{\tau}_1$ (ou $\bar{\tau}_j$) e desta maneira a amplitude (valor) mínima do erro grosseiro (β_j) para que se tenha identificação, pode ser especificada. Isto pode ser feito através da equação (2.63). No apêndice B, esta situação é ilustrada através de um exemplo linear. No mesmo apêndice é ilustrado o caso em que existem várias medidas com erros grosseiros.

CAPÍTULO 3

ESTIMADOR DESACOPLADO

3.1 - INTRODUÇÃO

Como foi dito anteriormente, a estimação estática do estado em sistemas de potência pode ser considerada como uma generalização do problema de cálculo de fluxo de carga. O objetivo deste trabalho é verificar como o método rápido desacoplado de cálculo de fluxo de carga funciona quanto à convergência do estimador, e quanto à detecção e identificação de medidas com erros grosseiros.

Para a utilização deste método no problema de estimação estática de estado por mínimos quadrados, são feitas duas aproximações no algoritmo desenvolvido no capítulo 2 - equações (2.14) e (2.15). A primeira aproximação é o uso de uma mesma matriz jacobiana ou da mesma matriz ganho, dependendo do tipo de desacoplamento (9), durante todo o processo iterativo. A segunda se refere ao desacoplamento $P - \theta$, $Q - V$. O desacoplamento permite que uma iteração seja decomposta em duas meias iterações: uma em θ e outra em V . Além destas aproximações há uma transformação de medidas, utilizada para melhorar a linearização.

3.2 - DESACOPLAMENTO: MODELO, ALGORITMO, DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO

No algoritmo apresentado no item 2.2.2, a matriz jacobiana é recalculada a cada passo do processo iterativo. Neste capítulo serão analisadas algumas aproximações possíveis no cálculo de H , ou de $[H^t W^{-1} H]$, sem prejuízo da qualidade dos resultados obtidos, visando-se melhorias na velocidade de cálculo e memória utilizada, e mais simplicidade na programação. Os testes realizados estão resumidos no capítulo 5, onde estão indica

das as vantagens e os limites para a aplicação de tal procedimento.

Considere-se a equação (2.14), para uma iteração v :

$$\Delta \underline{x}^v = [H^t(\underline{x}^v) \cdot W^{-1} \cdot H(\underline{x}^v)]^{-1} \cdot H^t(\underline{x}^v) \cdot W^{-1} \cdot \Delta Z(\underline{x}^v).$$

Existem duas possibilidades de se considerar o desacoplamento. Se somente no cálculo da matriz ganho $[H^t(\underline{x}^v) \cdot W^{-1} \cdot H(\underline{x}^v)]^{-1}$ for considerado o desacoplamento, estar-se-á realizando apenas um desacoplamento no algoritmo, e a solução obtida é a mesma que se obtém quando não se introduzem aproximações, alterando-se apenas a convergência do processo. Se, entretanto, for introduzido o desacoplamento na matriz H , então estará sendo realizado um desacoplamento no modelo e no algoritmo. Neste caso o resultado não minimizará a função de mínimos quadrados ponderados, - obtendo-se desta forma um resultado aproximado, pois deixa de ser obedecida a equação (2.5).

Como será verificado através dos testes realizados, - pode-se utilizar o desacoplamento tanto para o modelo como para o algoritmo, com resultados satisfatórios, em redes de alta tensão. Em sistemas de distribuição (baixas relações X/R), recomenda-se apenas o desacoplamento da matriz ganho (mantida constante) recalculando-se H a cada iteração. Entretanto, mesmo em sistemas como o IEEE-30, em que parte da rede opera em 33 KV e existem linhas com relação $X/R < 1$, foram obtidos bons resultados com o desacoplamento completo (H) como pode ser verificado no capítulo 5.

Os processos de detecção e identificação também podem ser realizados de modo desacoplado. O índice $J(\underline{x})$ pode ser decomposto em componentes ativa e reativa. A identificação é desacoplada calculando-se separadamente as matrizes covariâncias para medidas de potência ativa e reativa. Este assunto será tratado no capítulo 4.

Denotando-se a matriz jacobiana desacoplada aproximada por H e a matriz ganho desacoplada por D^{-1} , tem-se :

$$\Delta \underline{x}^{(v)} = D^{-1} \cdot H^t(\underline{x}^{(v)}) \cdot W^{-1} \cdot \Delta \underline{Z}(\underline{x}^{(v)}) \quad (3.1)$$

e

$$\Delta \underline{x}^{(v)} = [H^t \cdot W^{-1} \cdot H]^{-1} \cdot H \cdot W^{-1} \cdot \Delta \underline{Z}(\underline{x}^{(v)}) \quad (3.2)$$

Em (3.1) são introduzidas aproximações apenas na matriz ganho (algoritmo desacoplado). Em (3.2) tem-se o caso de modelo e algoritmo desacoplados. No que segue é estudado o desenvolvimento do método desacoplado considerando-se apenas a relação (3.2). Adaptações para a expressão (3.1) são obtidas com facilidade, como está mostrado no item 3.5.

3.3 - DESACOPLAMENTO P-θ, Q-V : MATRIZ H 10

3.3.1 - Tipos de Grandezas Medidas

Usualmente as seguintes grandezas são medidas nos sistemas de potência :

$P_{kl} \stackrel{\Delta}{=} \text{fluxo de potência ativa em linhas}$

$Q_{kl} \stackrel{\Delta}{=} \text{fluxo de potência reativa em linhas}$

$P_k \stackrel{\Delta}{=} \text{injeção de potência ativa em barras}$

$Q_k \stackrel{\Delta}{=} \text{injeção de potência reativa em barras}$

$V_k \stackrel{\Delta}{=} \text{magnitude da tensão em barras.}$

O relacionamento destas grandezas com o estado (magnitude e ângulo das tensões nas barras) dependerá do modelo es-

lhido.

3.3.2 - Modelo do Sistema de Transmissão

O modelo escolhido para representar as linhas de transmissão do sistema de potência é o circuito π -equivalente, ou seja, uma impedância série conectada entre duas reatâncias para a terra (Fig. 3.1).

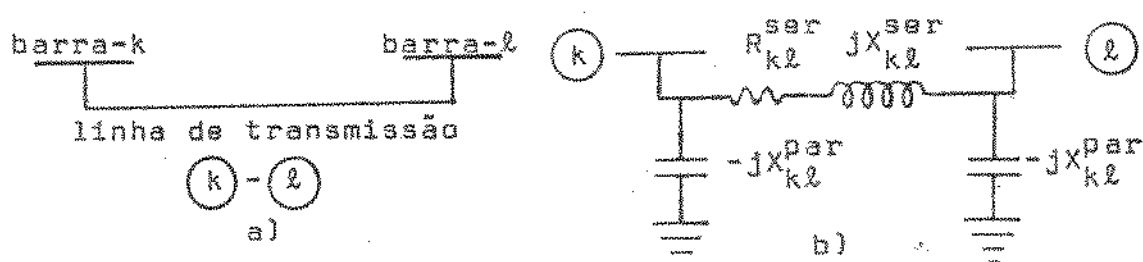


Fig. 3.1 - Modelo do sistema de transmissão

a) Linha de transmissão k - l

b) Circuito π -equivalente

ser - indica série e

par - paralelo

É mais cômodo escrever as equações do modelo quando, em vez de se trabalhar com impedâncias, resistências e reatâncias, se trabalhar com admitâncias, condutâncias e susceptâncias (Fig. 3.2), onde

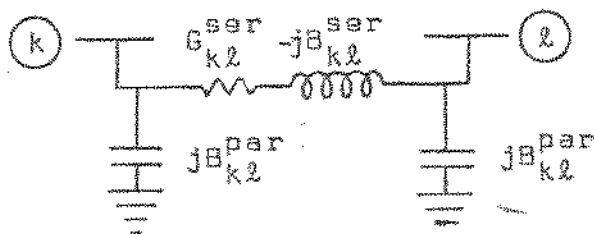


Fig. 3.2 - Circuito equivalente de linha com susceptâncias e condutâncias

$$G_{kl}^{ser} = \frac{R_{kl}^{ser}}{|R_{kl}^{ser} + jX_{kl}^{ser}|^2} ; B_{kl}^{ser} = \frac{X_{kl}^{ser}}{|R_{kl}^{ser} + jX_{kl}^{ser}|^2}$$

$$B_{kl}^{par} = \frac{1}{X_{kl}^{par}} \quad (3.3)$$

Com o estado definido como sendo magnitude e ângulo das barras do sistema, as grandezas medidas (fluxos, injeções, tensões) podem ser escritas a partir do modelo:

a) Fluxos de potência ativa e reativa : P_{kl}^c e Q_{kl}^c

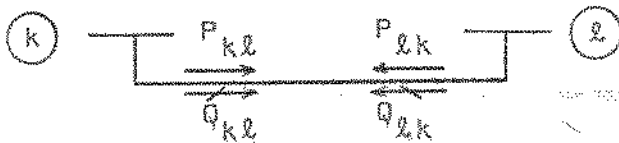


Fig. 3.3 - Fluxos na linha de transmissão

$$P_{kl}^c = V_k^2 G_{kl}^{ser} - V_k V_l G_{kl}^{ser} \cos(\theta_k - \theta_l) + V_k V_l B_{kl}^{ser} \sin(\theta_k - \theta_l)$$

$$Q_{kl}^c = V_k^2 (B_{kl}^{ser} - B_{kl}^{par}) - V_k V_l B_{kl}^{ser} \cos(\theta_k - \theta_l) - V_k V_l G_{kl}^{ser} \sin(\theta_k - \theta_l)$$

(3.4)

onde θ_k e θ_l são os ângulos das tensões nas barras k e l, respectivamente, e o índice c indica calculado.

b) Injeções de potência ativa e reativa : P_k^c e Q_k^c

O cálculo das injeções é feito a partir do cálculo dos fluxos. Somando-se todos os fluxos que saem de uma barra, tem-se o valor da injeção nesta barra.

$$P_k^c = \sum_{l \in \Omega_k} P_{kl}^c \quad (3.5)$$

Ω_k - vizinhança de k

c) Tensões (magnitude) : E_k

A tensão E_k é medida diretamente.

Com a definição do modelo, o vetor de medidas $\underline{Z}^m$ (definido no capítulo 2), pode ser colocado na forma

$$\underline{Z}^m = \left[\dots P_{kl}^m \dots, \dots Q_{kl}^m \dots, \dots P_k^m \dots, \dots Q_k^m \dots, \dots E_k^m \dots \right]^t \quad (3.6)$$

onde os números de medidas de fluxo de potência ativa, fluxo de potência reativa, injeção de potência ativa, injeção de potência reativa e tensões, são, respectivamente, m_1, m_2, m_3, m_4 e m_5 . Obviamente o número total de medidores m é igual à soma dos m_i .

3.3.3 - Transformação de Medidas [a]

Para o uso do método desacoplado, as medidas de fluxo de potência ativa e reativa e injeções de potência ativa e reativa devem ser transformadas, visando uma melhoria na linearização. Chamando de $\underline{Z}_t^m$ o vetor de medidas transformadas tem-se :

$$\underline{Z}_t^m \triangleq \underline{f}(\underline{Z}^m)$$

onde

$$\underline{Z}_t^m = \begin{bmatrix} \underline{I}^m \\ \underline{U}^m \\ \underline{I}^m \\ \underline{K}^m \\ \underline{E}^m \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} T_j^m &= \frac{P_{kj}^m}{V_k} & U_j^m &= \frac{Q_{kj}^m}{V_k} \\ I_j^m &= \frac{P_k^m}{V_k} & K_j^m &= \frac{Q_k^m}{V_k} \end{aligned} \quad (3.8)$$

logo

$$\begin{aligned} T_1^m &= \frac{P_{12}^m}{V_1} ; & T_2^m &= \frac{P_{13}^m}{V_1} ; & T_3^m &= \frac{P_{14}^m}{V_1} \\ T_4^m &= \frac{P_{23}^m}{V_2} ; & T_5^m &= \frac{P_{34}^m}{V_3} \end{aligned}$$

e

$$\begin{aligned} U_1^m &= \frac{Q_{12}^m}{V_1} ; & U_2^m &= \frac{Q_{14}^m}{V_1} ; & (3.9) \\ I_1^m &= \frac{P_1^m}{V_1} ; & I_2^m &= \frac{P_4^m}{V_4} ; \\ K_1^m &= \frac{Q_1^m}{V_1} \end{aligned}$$

logo o vetor de medidas transformadas, para este sistema é

$$\underline{Z}_t^m = \left[T_1^m \ T_2^m \ T_3^m \ T_4^m \ T_5^m ; U_1^m \ U_2^m ; I_1^m \ I_2^m ; K_1^m ; E_1^m \ E_2^{mt} \right]^t \quad (3.10)$$

Usando as expressões para os fluxos no conjunto de equações (3.4) e a transformação de medidas referida acima, as expressões para as grandezas transformadas podem ser escritas :

$$\begin{aligned} T_j^c &= \frac{P_{kl}^c}{V_k} = V_k G_{kl}^{ser} - V_l G_{kl}^{ser} \cos(\theta_k - \theta_l) + V_l B_{kl}^{ser} \sin(\theta_k - \theta_l) \\ U_j^c &= \frac{Q_{kl}^c}{V_k} = V_k (B_{kl}^{ser} - B_{kl}^{par}) - V_l B_{kl}^{ser} \cos(\theta_k - \theta_l) - V_l G_{kl}^{ser} \sin(\theta_k - \theta_l) \end{aligned} \quad (3.11)$$

onde j é o número do medidor de fluxo de ativos e reativos co

locados na linha $k - l$, no lado da barra k , e

$$I_j^c = \frac{1}{V_k} \sum_{l \in \Omega_k} P_{kl}^c \quad (3.12)$$

$$K_j^c = \frac{1}{V_k} \sum_{l \in \Omega_k} Q_{kl}^c .$$

O vetor de funções não lineares em $\underline{x}$ (estado) referido no capítulo 2 passa a se constituir, neste capítulo, no vetor de "grandezas calculadas". Ou seja :

$$\underline{h}(\underline{x}^v) = \begin{bmatrix} \frac{I^c}{-} \\ \frac{U^c}{-} \\ \frac{I^c}{-} \\ \frac{K^c}{-} \\ \frac{V^v}{-} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

logo a diferença entre o valor medido e o valor obtido através do modelo é dado por :

$$\Delta \underline{Z}(\underline{x}^v) = \begin{bmatrix} \frac{I^m - I^c}{-} \\ \frac{U^m - U^c}{-} \\ \frac{I^m - I^c}{-} \\ \frac{K^m - K^c}{-} \\ \frac{E^m - V^v}{-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\Delta I(\underline{x}^v)}{-} \\ \frac{\Delta U(\underline{x}^v)}{-} \\ \frac{\Delta I(\underline{x}^v)}{-} \\ \frac{\Delta K(\underline{x}^v)}{-} \\ \frac{\Delta E(\underline{x}^v)}{-} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

3.3.4 - Desacoplamento

A matriz jacobiana H , definida pela equação (2.6), calculada para as novas variáveis torna-se :

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{\theta}} & \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial \underline{U}^C}{\partial \underline{\theta}} & \frac{\partial \underline{U}^C}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{\theta}} & \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial \underline{K}^C}{\partial \underline{\theta}} & \frac{\partial \underline{K}^C}{\partial \underline{V}} \\ \frac{\partial \underline{E}}{\partial \underline{\theta}} & \frac{\partial \underline{E}}{\partial \underline{V}} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Aplicando o desacoplamento P- θ , Q-V, tem-se

$$\begin{aligned} \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{V}} &= 0, & \frac{\partial \underline{U}^C}{\partial \underline{\theta}} &= 0, \\ \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{V}} &= 0, & \frac{\partial \underline{K}^C}{\partial \underline{\theta}} &= 0, \\ \frac{\partial \underline{E}}{\partial \underline{\theta}} &= 0 \end{aligned} \quad (3.16)$$

e chamando

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{\theta}}, & H_2 &= \frac{\partial \underline{U}^C}{\partial \underline{V}} \\ H_3 &= \frac{\partial \underline{I}^C}{\partial \underline{\theta}}, & H_4 &= \frac{\partial \underline{K}^C}{\partial \underline{V}} \\ H_5 &= \frac{\partial \underline{E}}{\partial \underline{V}} \end{aligned} \quad (3.17)$$

tem-se :

$$H = \begin{bmatrix} H_1 & 0 \\ 0 & H_2 \\ H_3 & 0 \\ 0 & H_4 \\ 0 & H_5 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

A matriz de ponderação W também pode ser particionada como se segue :

$$W = \begin{bmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_5 \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

Substituindo as matrizes H e W , dadas respectivamente pelas equações (3.18) e (3.19), e o vetor $\Delta Z(\underline{x}^v)$ dado pela equação (3.14), na recorrência definida pelas equações (3.1) e (3.2), obtêm-se as equações (3.20) e (3.21) :

$$\Delta \underline{\theta}^v = [H_1^t W_1^{-1} H_1 + H_3^t W_3^{-1} H_3]^{-1} \cdot [H_1^t W_1^{-1} \cdot \Delta I(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) + H_3^t W_3^{-1} \Delta I(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)] \quad (3.20)$$

$$\Delta \underline{v}^v = [H_2^t W_2^{-1} H_2 + H_4^t W_4^{-1} H_4 + H_5^t W_5^{-1} H_5]^{-1} \cdot [H_2^t W_2^{-1} \Delta U(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) + H_4^t W_4^{-1} \Delta K(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) + H_5^t W_5^{-1} \Delta E(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)] \quad (3.21)$$

As equações (3.20) e (3.21) são resolvidas alternadamente, tal como no cálculo do fluxo de carga pelo método desacoplado. Os vetores $\underline{\Delta I}$ e $\underline{\Delta V}$ são obtidos a partir de $\underline{\theta}^v$ e $\underline{V}^v$. Assim, pela equação (3.20), calcula-se $\underline{\Delta \theta}^v$ e atualiza-se $\underline{\theta}$, ou seja, obtem-se $\underline{\theta}^{v+1}$. Pela equação (3.21) calcula-se $\underline{\Delta V}^v$ e, como consequência, $\underline{V}^{v+1}$. Este processo é repetido até se obter convergência. As equações (3.22) e (3.23) são obtidas adaptando-se as equações (3.20) e (3.21) ao método desacoplado :

$$\left. \begin{aligned} \underline{\Delta \theta}^v &= B_1^{-1} \cdot \underline{\Delta A}(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v) \\ \underline{\theta}^{v+1} &= \underline{\theta}^v + \underline{\Delta \theta}^v \end{aligned} \right\} \text{meia iteração: } \theta \quad (3.22)$$

$$\left. \begin{aligned} \underline{\Delta V}^v &= B_2^{-1} \cdot \underline{\Delta R}(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{V}^v) \\ \underline{V}^{v+1} &= \underline{V}^v + \underline{\Delta V}^v \end{aligned} \right\} \text{meia iteração : } V \quad (3.23)$$

onde

$$B_1 \triangleq [H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot H_1 + H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot H_3] ; \quad (3.24)$$

$$B_2 \triangleq [H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot H_2 + H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot H_4 + H_5^t \cdot W_5^{-1} \cdot H_5] ; \quad (3.25)$$

$$\underline{\Delta A}(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v) \triangleq [H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot \underline{\Delta I}(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v) + H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot \underline{\Delta I}(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v)] ; \quad (3.26)$$

$$\underline{\Delta R}(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{V}^v) \triangleq [H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot \underline{\Delta U}(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{V}^v) + H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot \underline{\Delta K}(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{V}^v) + H_5^t \cdot W_5^{-1} \cdot \underline{\Delta E}(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{V}^v)] ; \quad (3.27)$$

3.4 - FORMAÇÃO E BI-FATORAÇÃO DE B_1 e B_2

As matrizes B_1 e B_2 , definidas nas equações (3.23) e (3.25) respectivamente, são formadas por matrizes que dependem dos tipos de medidas, a saber :

B₁ :

$H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot H_1$ - medidas de fluxos de potência ativa

$H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot H_3$ - medidas de injeções de potência reativa

B₂ :

$H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot H_2$ - medidas de fluxos de potência reativa

$H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot H_4$ - medidas de injeções de potência reativa

$H_5^t \cdot W_5^{-1} \cdot H_5$ - medidas de tensões.

As matrizes $H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot H_1$ e $H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot H_2$ possuem estruturas do tipo da matriz admitância de nós da rede definida pelo conjunto de medidores de fluxos de potência ativa e reativa, respectivamente, ilustrado na figura 3.5.

As matrizes $H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot H_3$ e $H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot H_4$ possuem estrutura do tipo da matriz admitância de nós da rede definida pelos nós onde estão situados os medidores de injeção e ligações entre todos os seus respectivos nós vizinhos. Ilustrado na figura 3.6.

A matriz $H_5^t \cdot W_5^{-1} \cdot H_5$ é a própria matriz W_5^{-1} (diagonal) pois $H_5 = \partial E / \partial V = \mathbb{1}$ (identidade). Logo a rede resultante dos medidores de tensão somente possui ligações para a terra - figura 3.7.

As estruturas finais de B_1 e B_2 são obtidas pela superposição das redes de cada matriz que as compõem. Para as ilustrações apresentadas nas figuras 3.5, 3.6 e 3.7, as estruturas finais de B_1 e B_2 são mostradas na figura 3.8.

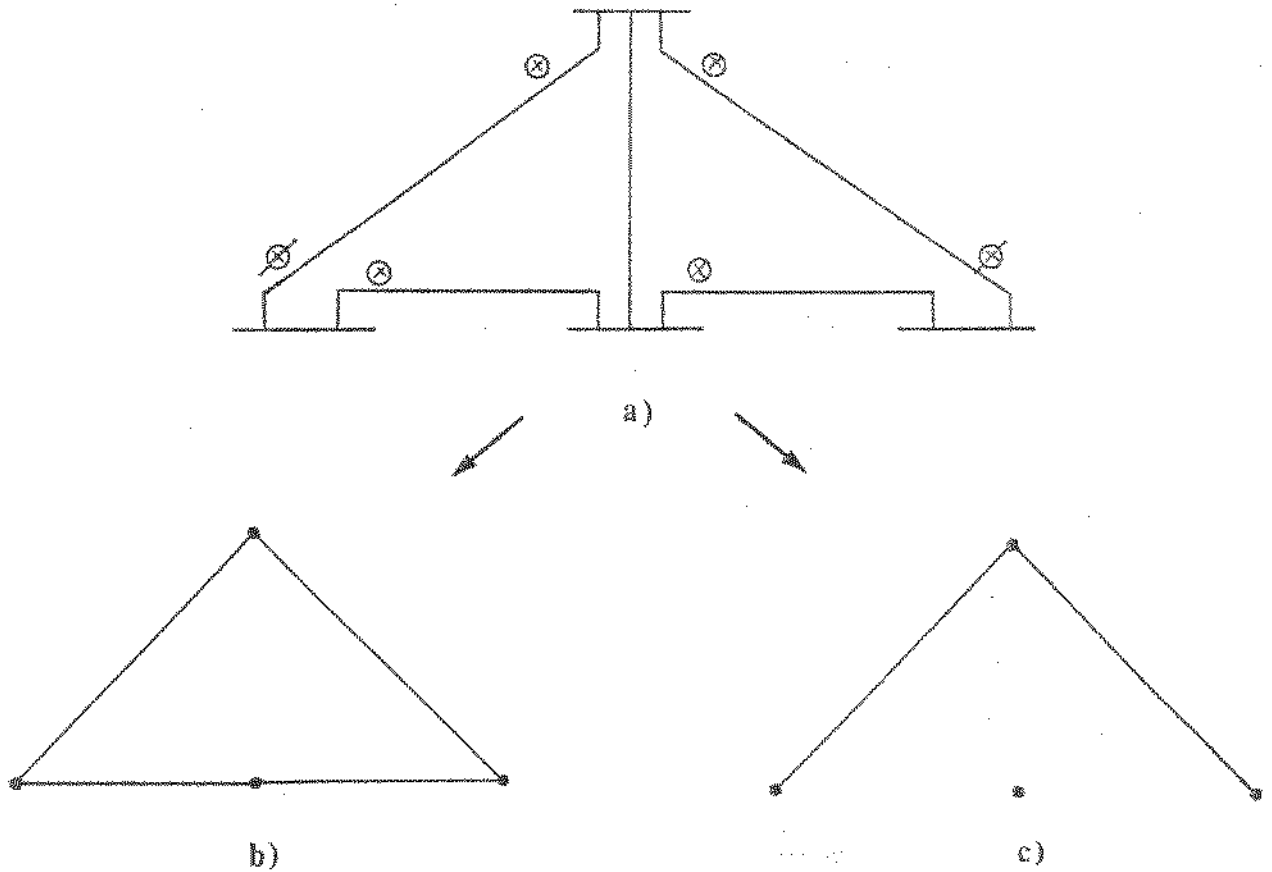


Fig. 3.5 - Ilustração da rede formada pelos medidores de fluxos.

a) rede real, com os medidores indicados

b) rede definida pelos medidores de fluxo de potência ativa - $H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot H_1$

c) rede definida pelos medidores de potência reativa - $H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot H_2$

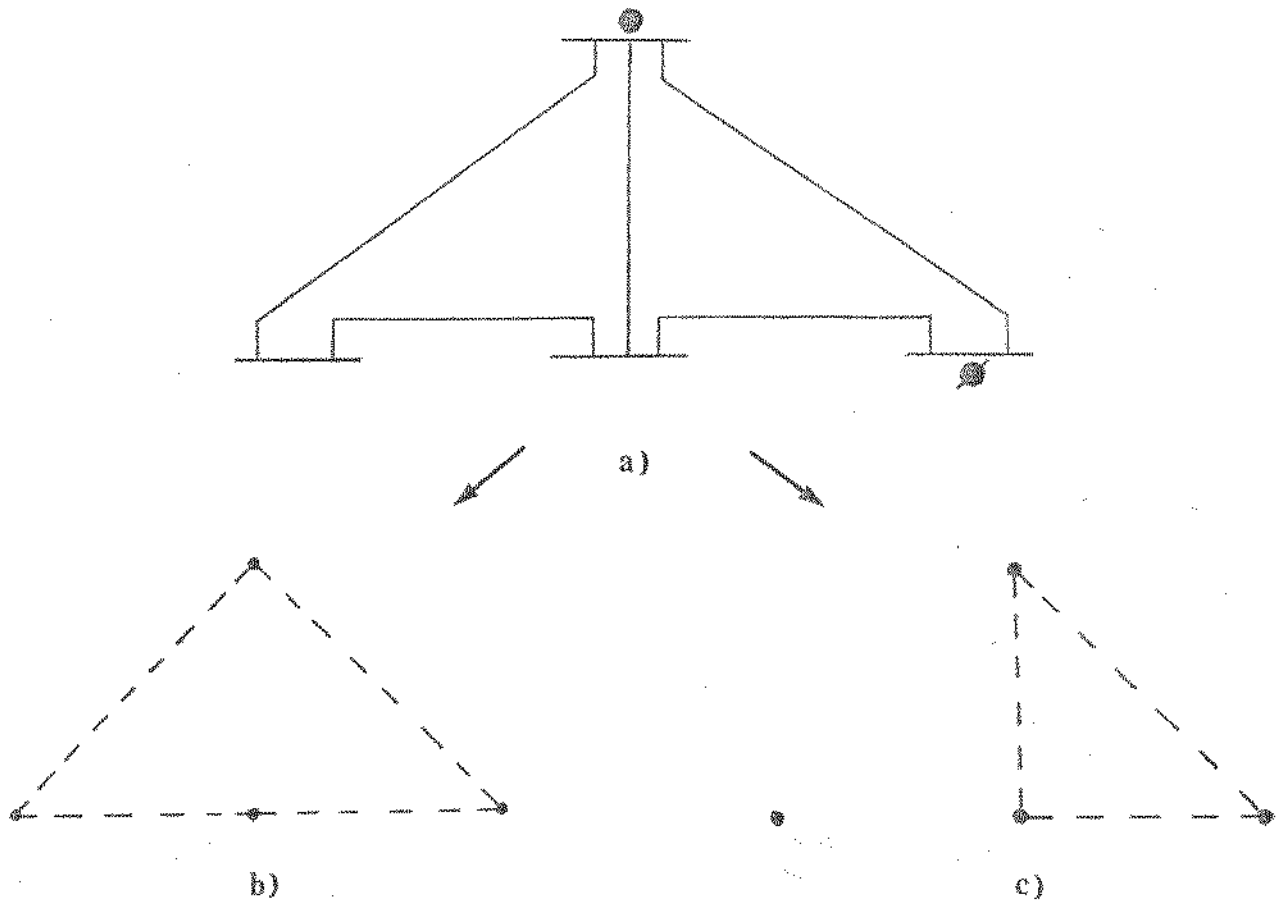


Fig. 3.6 - Ilustração da rede definida pelos medidores de injeção.

a) rede real, com os medidores de injeção indicados.

b) rede definida pelo medidor de injeção de potência ativa - $H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot H_3$

c) rede definida pelo medidor de potência reativa - $H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot H_4$

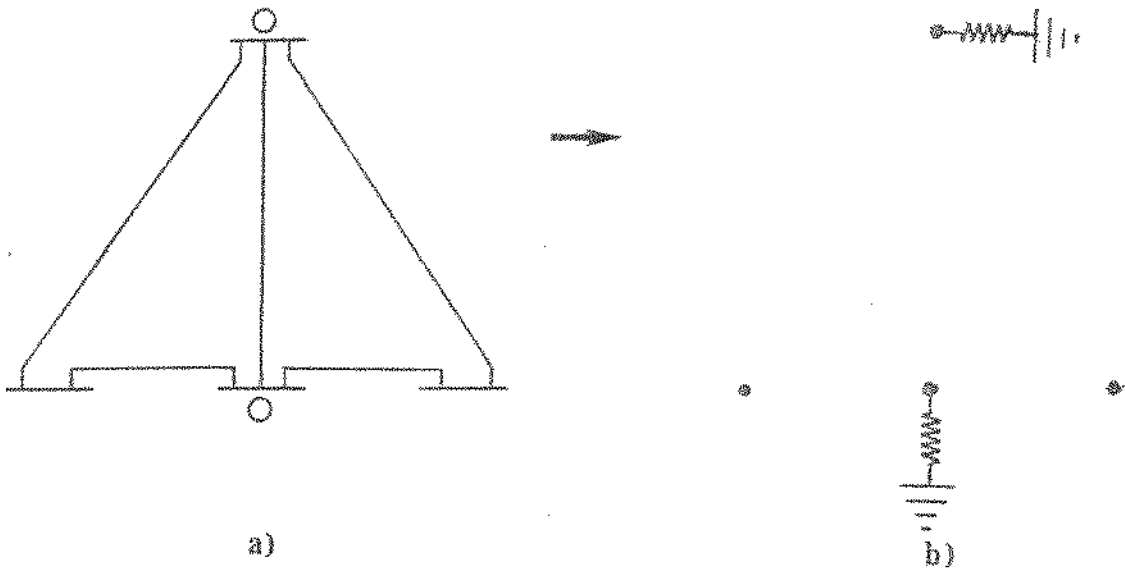


Fig. 3.7 - Estrutura da rede definida pelos medidores de tensão
a) rede real;
b) rede definida pelos medidores de tensão

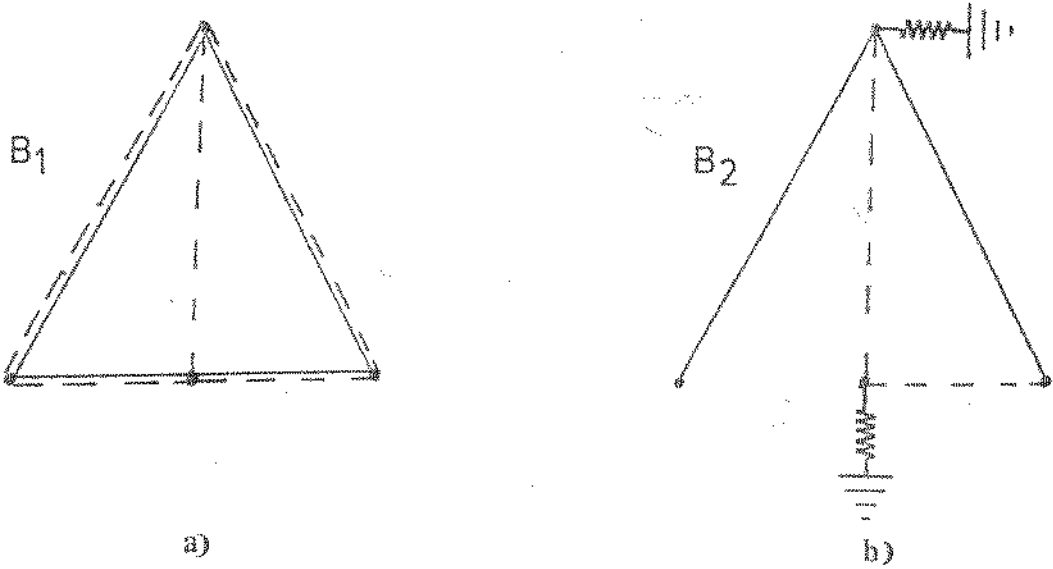


Fig. 3.8 - Estruturas finais de B_1 e B_2 para os medidores indicados nas figuras 3.5, 3.6 e 3.7

a) — $H_1^t \cdot W_1^{-1} \cdot H_1$
 --- $H_3^t \cdot W_3^{-1} \cdot H_3$

b) — $H_2^t \cdot W_2^{-1} \cdot H_2$
 --- $H_4^t \cdot W_4^{-1} \cdot H_4$
 --- W_5^{-1}

As matrizes B_1 e B_2 resultam portanto em matrizes esparsas e simétricas. A existência de medidores de injeção reduz a esparsidade de B_1 e B_2 mas esta redução é da mesma ordem que o número de novos elementos que são criados pela redução das matrizes sem se considerar injeções.

Os elementos de B_1 e B_2 são armazenados de forma compacta, visando economia de memória de computador, e utilizando armazenamento dinâmico [11].

O processo de eliminação utilizado, chamado de bifaturação, é apresentado na referência [11].

A formação das matrizes B_1 e B_2 segue a seguinte ordem :

- i - formar B_1 e B_2 considerando-se apenas medidores de fluxos e de tensão;
- ii - modificar B_1 e B_2 introduzindo um medidor de injeção por vez.
- iii - reordenar os elementos de B_1 e B_2 produzindo-se um armazenamento por coluna (ou linhas).

Após a formação de B_1 e B_2 , realiza-se a bifatoração já referida.

Deve-se notar que apesar de o exemplo apresentado anteriormente considerar as medidas de potência ativa e reativa independentes, estas medidas normalmente serão realizadas em conjunto como esquematizado na Fig. 4.1.

3.5 - DESACOPLAMENTO P θ - Q V : MATRIZ GANHO $\begin{bmatrix} 9 \end{bmatrix}$

Para relações X/R pequenas, como geralmente ocorre em sistemas de baixa tensão (33 KV ou menos), deve-se utilizar o desacoplamento na matriz ganho e recalcular a matriz jacobiana a cada passo do processo iterativo. A matriz ganho, todavia, permanecerá constante durante todo o processo.

A matriz H (Jacobiana) dada pela equação (3.15) não se aplicará o desacoplamento. Definindo as submatrizes $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6, H_7, H_8, H_9$, e H_{10} por :

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{\partial T}{\partial \theta} \quad ; \quad H_2 = \frac{\partial T}{\partial V} \quad ; \quad H_3 = \frac{\partial U}{\partial \theta} \quad ; \\ H_4 &= \frac{\partial U}{\partial V} \quad ; \quad H_5 = \frac{\partial I}{\partial \theta} \quad ; \quad H_6 = \frac{\partial I}{\partial V} \quad (3.28) \\ H_7 &= \frac{\partial K}{\partial \theta} \quad ; \quad H_8 = \frac{\partial K}{\partial V} \quad ; \quad H_9 = \frac{\partial E}{\partial \theta} \\ e \quad H_{10} &= \frac{\partial E}{\partial V} \end{aligned}$$

tem-se :

$$H = \begin{bmatrix} H_1 & H_2 \\ \hline H_3 & H_4 \\ \hline H_5 & H_6 \\ \hline H_7 & H_8 \\ \hline H_9 & H_{10} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Logo, chamando a matriz ganho desacoplada de D^{-1} ,

tem-se :

$$D^{-1} = \begin{bmatrix} D_1^{-1} & 0 \\ \hline 0 & D_2^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

onde

$$D_1^{-1} = [H_1^t W_1^{-1} H_1 + H_3^t W_2^{-1} H_3 + H_5^t W_3^{-1} H_5 + H_7^t W_4^{-1} H_7 + H_9^t W_5^{-1} H_9]^{-1} \quad (3.31)$$

e

$$D_2^{-1} = [H_2^t W_1^{-1} H_2 + H_4^t W_2^{-1} H_4 + H_6^t W_3^{-1} H_6 + H_8^t W_4^{-1} H_8 + H_{10}^t W_5^{-1} H_{10}]^{-1} \quad (3.32)$$

Logo o algoritmo para este caso se torna :

$$\underline{\theta}^{v+1} = \underline{\theta}^v + D_1^{-1} \Delta A(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) \quad (3.33)$$

e

$$\underline{v}^{v+1} = \underline{v}^v + D_2^{-1} \Delta R(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{v}^v) \quad (3.34)$$

onde

$$\Delta A(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) = H^t(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) \cdot \Delta Z(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v) \quad (3.35)$$

e

$$\Delta R(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{v}^v) = H^t(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{v}^v) \cdot \Delta Z(\underline{\theta}^{v+1}, \underline{v}^v) \quad (3.36)$$

e o vetor ΔZ foi previamente definido na equação (3.14).

A formação das matrizes D_1 e D_2 é feita de maneira similar à formação de B_1 e B_2 , apresentada em 3.4. As estruturas finais de D_1 e D_2 continuam esparsas. Em particular, se se considerar que onde houver um medidor de potência ativa, há um medidor de potência reativa, as estruturas de B_1 , B_2 , D_1 e D_2 serão iguais.

Os resultados para ambos os algoritmos (desacoplamen
to em H ou em $[H^t W^{-1} H]$) estão mostrados no capítulo 5.

CAPÍTULO 4

DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS

COM ERROS GROSSEIROS

4.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo as idéias gerais sobre detecção e identificação de medidas com erros grosseiros, apresentadas no capítulo 2, são adaptadas ao estimador desacoplado.

As aproximações realizadas na matriz jacobiana visando a aplicação do método desacoplado não alteram o cálculo de $J(\hat{x})$. Logo, no que se refere à detecção, as deduções e conclusões do item 2.3 podem ser utilizadas para o estimador desacoplado. Para a identificação torna-se necessário um maior cuidado na aplicação das mesmas.

A detecção é feita por intermédio de um teste de hipótese baseado no valor de $J(\hat{x})$. Portanto, para haver detecção, o valor do estado estimado $\hat{x}$ deve ser conhecido. Isto nem sempre é possível, visto que o erro grosseiro em uma medida pode ser de tal ordem de grandeza que o processo iterativo não converja. Para contornar este tipo de problema, utiliza-se um pré-processador, cuja função é eliminar as medidas que estejam fora de seus limites operativos. Estes limites são fixados para cada medida e determinados por meio de diversos fatores, entre os quais intuição, conhecimento do sistema, etc...

4.2 - DETECÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

4.2.1 - Procedimento

Com a eliminação das medidas que estão fora de seus limites operativos, o estimador fornece o estado estimado $\hat{x}$, possibilitando o cálculo de $J(\hat{x})$. O teste de hipótese, apresentado no item 2.3.3 é, então, efetuado.

Considera-se que a distribuição χ^2 com G_ℓ graus de liberdade é aproximadamente uma normal de média G_ℓ e desvio padrão $\sqrt{2 G_\ell}$, o que é uma boa aproximação para $G_\ell > 30$. O parâmetro λ , utilizado no capítulo 2 para a realização do teste de hipótese, é calculado de tal forma que a probabilidade de que $J(\hat{\underline{x}}) > \lambda$ seja menor ou igual a 5%. Ou seja

$$\lambda = G_\ell + 1,65\sqrt{2 G_\ell} \quad (4.1)$$

Por exemplo para $G_\ell = 50$, $\lambda = 66,5$

4.2.2 - Nota sobre a Influência da Redundância na Estimação

No capítulo 2, equação (2.25), mostra-se uma forma de calcular $J(\hat{\underline{x}})$ como um somatório de resíduos de estimação, ponderados pelo desvio padrão da medida e elevados ao quadrado. Se um resíduo for nulo, ou seja, se o valor calculado com o estado estimado for igual ao medido, para uma medida, sua influência no valor de $J(\hat{\underline{x}})$ é, obviamente, nula. Este é o caso quando não se tem redundância de medidas. Se existe somente um caminho para o cálculo do estado, este caminho é considerado exato pelo estimador. Por exemplo na figura 4.1 são mostrados dois casos - em que não há redundância de medidas em um ramo. Notar que em-

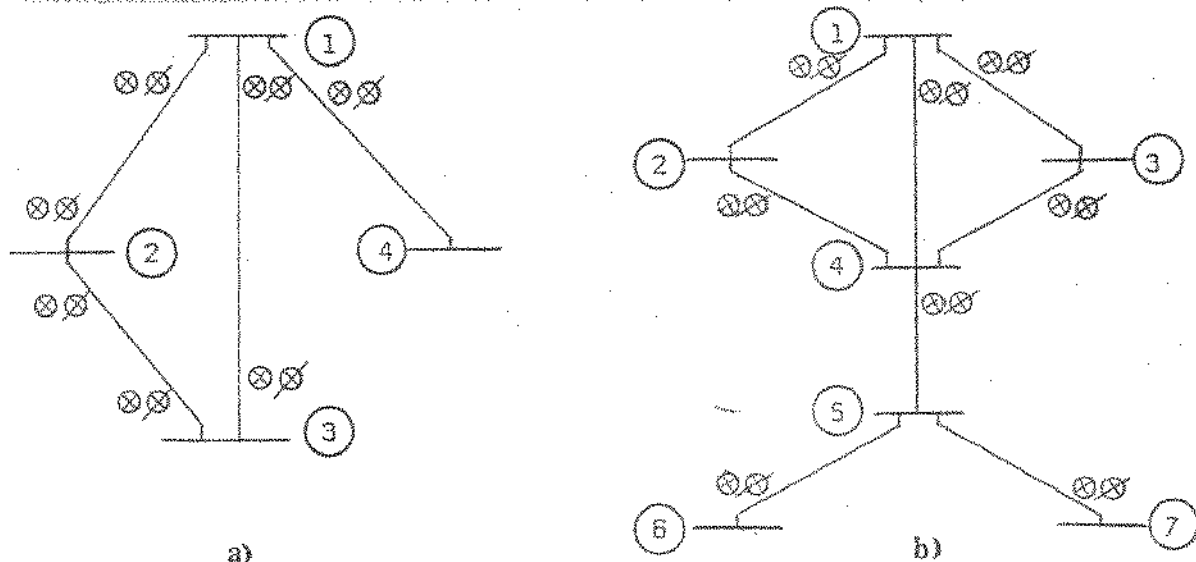


Fig. 4.1 - Casos onde não há redundância de medidas
a) ligação 1 - 4
b) ligação 4 - 5, 5 - 6, 5 - 7

bora existam duas medidas (fluxo de ativos e fluxo de reativos) nos referidos ramos, devido ao desacoplamento $P - \theta$, $Q - V$, não há redundância.

Assim sendo, somente é possível a detecção de medidas com erros grosseiros, por este método e por outros que se fundamentam nos resíduos de estimação, quando existe redundância de medidas no local onde ocorre o erro. Nota-se, pois, a importância de uma distribuição planejada de medidores no sistema de potência.

No item 4.3, estuda-se a influência da redundância na identificação de medidas com erros grosseiros, onde o problema é mais crítico.

4.3 - IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

No capítulo 2 apresentou-se a identificação de medidas com erros grosseiros através da comparação dos resíduos de estimação normalizados ($\tau_i = r_i / \sqrt{\rho_{ii}}$). Portanto, deve-se obter a matriz covariância (R) dos resíduos de estimação - equação (2.47). Notar que os únicos elementos de R que são utilizados são os da diagonal - ρ_{ii} .

4.3.1 - Análise linearizada

Utilizando as deduções do capítulo 2 e adaptando-as ao estimador desacoplado tem-se :

1 - Covariância do Erro de Estimação - eq. (2.39)

$$\text{cov}(\Delta \underline{x}) = \text{cov} \begin{bmatrix} \Delta \underline{\theta} \\ \Delta \underline{V} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_1^t W_1^{-1} H_1 + H_3^t W_3^{-1} H_3 & 0 \\ 0 & H_2^t W_2^{-1} H_2 + H_4^t W_4^{-1} H_4 + W_5^{-1} \end{bmatrix}^{-1}$$

(4.2)

ou separando o estado em $\underline{\theta}$ e $\underline{V}$

$$\text{cov}[\Delta\theta] = [H_1^t W_1^{-1} H_1 + H_3^t W_3^{-1} H_3]^{-1} = B_1^{-1} \quad (4.3)$$

e

$$\text{cov}[\Delta v] = [H_2^t W_2^{-1} H_2 + H_4^t W_4^{-1} H_4 + W_5^{-1}]^{-1} = B_2^{-1} \quad (4.4)$$

ii - Covariância dos Resíduos de Estimação - R -
eq. (2.47)

$$R = \begin{bmatrix} W_1 & & & & \\ & W_2 & & & \\ & & W_3 & & \\ & & & W_4 & \\ & & & & W_5 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} H_1 & & 0 \\ 0 & & H_2 \\ H_3 & & 0 \\ 0 & & H_4 \\ 0 & & H_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1^{-1} & 0 \\ 0 & B_2^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1^t & 0 & H_3^t & 0 & 0 \\ 0 & H_2^t & 0 & H_4^t & H_5^t \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

logo

$$R = \begin{bmatrix} W_1 - H_1 B_1^{-1} H_1^t & 0 & -H_1 B_1^{-1} H_3^t & 0 & 0 \\ 0 & W_2 - H_2 B_2^{-1} H_2^t & 0 & -H_2 B_2^{-1} H_4^t & -H_2 B_2^{-1} H_5^t \\ -H_3 B_1^{-1} H_1^t & 0 & W_3 - H_3 B_1^{-1} H_3^t & 0 & 0 \\ 0 & -H_4 B_2^{-1} H_2^t & 0 & W_4 - H_4 B_2^{-1} H_4^t & -H_4 B_2^{-1} H_5^t \\ 0 & -H_5 B_2^{-1} H_2^t & 0 & -H_5 B_2^{-1} H_4^t & W_5 - H_5 B_2^{-1} H_5^t \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Como somente os elementos da diagonal da matriz R são utilizados, são definidas as matrizes R_1, R_2, R_3, R_4 e R_5 :

$$R_1 \triangleq W_1 - H_1 B_1^{-1} H_1^t \quad (m_1 \times m_1); \quad (4.7)$$

$$R_2 \triangleq W_2 - H_2 B_2^{-1} H_2^t \quad (m_2 \times m_2); \quad (4.8)$$

$$R_3 \triangleq W_3 - H_3 B_1^{-1} H_3^t \quad (m_3 \times m_3); \quad (4.9)$$

$$R_4 \triangleq W_4 - H_4 B_2^{-1} H_4^t \quad (m_4 \times m_4); \quad (4.10)$$

$$R_5 \triangleq W_5 - H_5 B_2^{-1} H_5^t \quad (m_5 \times m_5). \quad (4.11)$$

Novamente sã os elementos das diagonais das matrizes R_1, R_2, R_3, R_4 e R_5 são utilizados. Portanto não é necessário o armazenamento de todos os elementos de B_1^{-1} e B_2^{-1} , que são matrizes do tipo impedância dos nós, portanto, cheias. Com o uso das técnicas apresentadas por Zollenkopf [12], para obtenção da matriz Z-esparça, sã se armazenam os elementos de B_1^{-1} e B_2^{-1} , necessários à obtenção da diagonal das matrizes R_1, R_2, R_3, R_4 e R_5 , ou seja, armazenam-se somente os elementos correspondentes à estrutura de B_1 e B_2 .

As matrizes B_1 e B_2 sã fatoradas no início do processo de estimação e a obtenção de Z-esparça representa pouco esforço computacional. Os produtos indicados nas equações (4.7); (4.8); (4.9); (4.10) e (4.11) sã facilmente efetuados.

4.3.2 - Identificação

Uma vez calculados os elementos das diagonais das matrizes R_1, R_2, R_3, R_4 e R_5 , que sã as variâncias dos respectivos resíduos de medição, a identificação pode ser realizada.

Dividindo-se cada resíduo de estimação r_i pelo seu respectivo desvio padrão ($\sqrt{\rho_{ii}}$), pode-se compará-los (em módulo), e o maior deles indica a medida com erros grosseiros.

Existem autores que utilizam os resíduos normalizados também para a detecção [4]. No capítulo 5 estuda-se o desempenho do estimador desacoplado através de exemplos de detecção e identificação de medidas com erros grosseiros.

4.3.3 - Nota sobre a Influência da Redundância na Identificação

Para haver identificação de medidas com erros grosseiros é necessário haver maior redundância de medidas do que para a detecção. Isto pode ser verificado com um exemplo. Considere-se o sistema mostrado na Fig. 4.2 e que procura-se estimar os ângulos das barras 2 e 3 ($\theta_1 = 0$ - referência) e os medidores indicados são de fluxos de potência ativa. Os módulos das tensões são conhecidos.

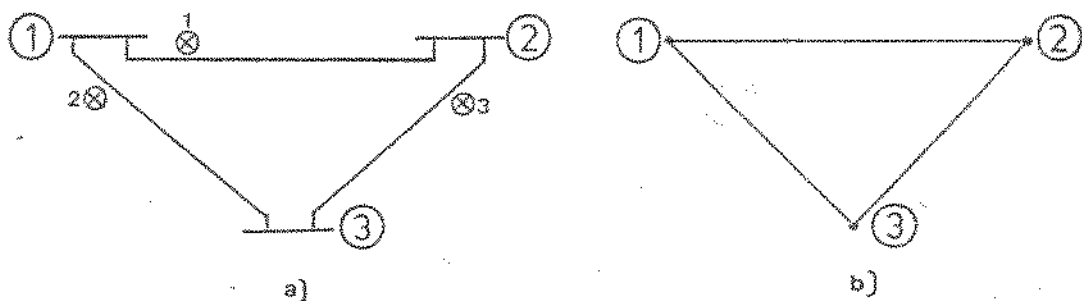


Fig. 4.2 - Exemplo

- a) rede com medidores
- b) grafo não orientado

O fato de haver dois caminhos distintos para se calcular tanto o ângulo da barra 2 quanto o da 3 é que indica a existência de redundância de medidas. Caso haja erro grosseiro em uma das medidas, a detecção pode, então, ser realizada com sucesso. Isto não ocorre com a identificação, pois pode ser verificado facilmente que para um erro grosseiro em qualquer das três medidas, o resultado final será que este erro é distribuído igualmente (no caso de ponderações iguais) em todas as medidas.

Um outro exemplo, para o mesmo sistema com outra configuração de medidores, está mostrado na figura 4.3. Se o erro grosseiro estiver na medida 2 ou na 3, a identificação não será possível pois os resíduos de 2 e de 3 devem ser iguais e maiores do que os resíduos de 1 e de 4.

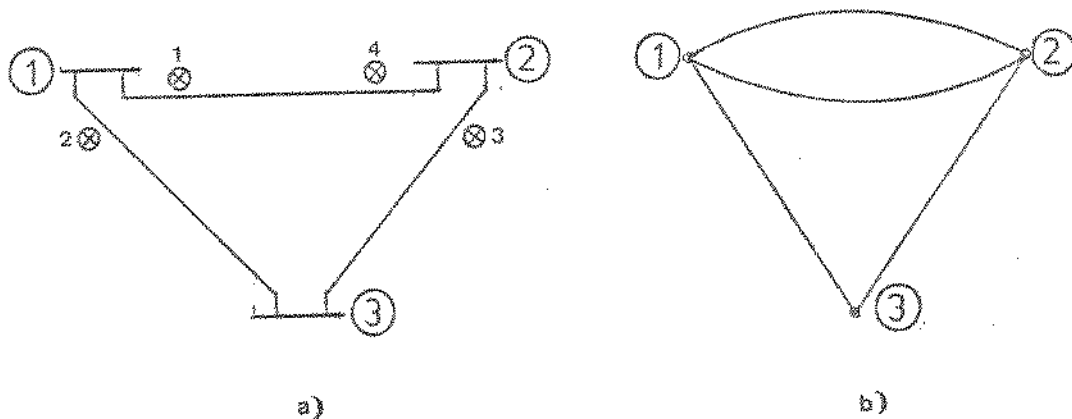


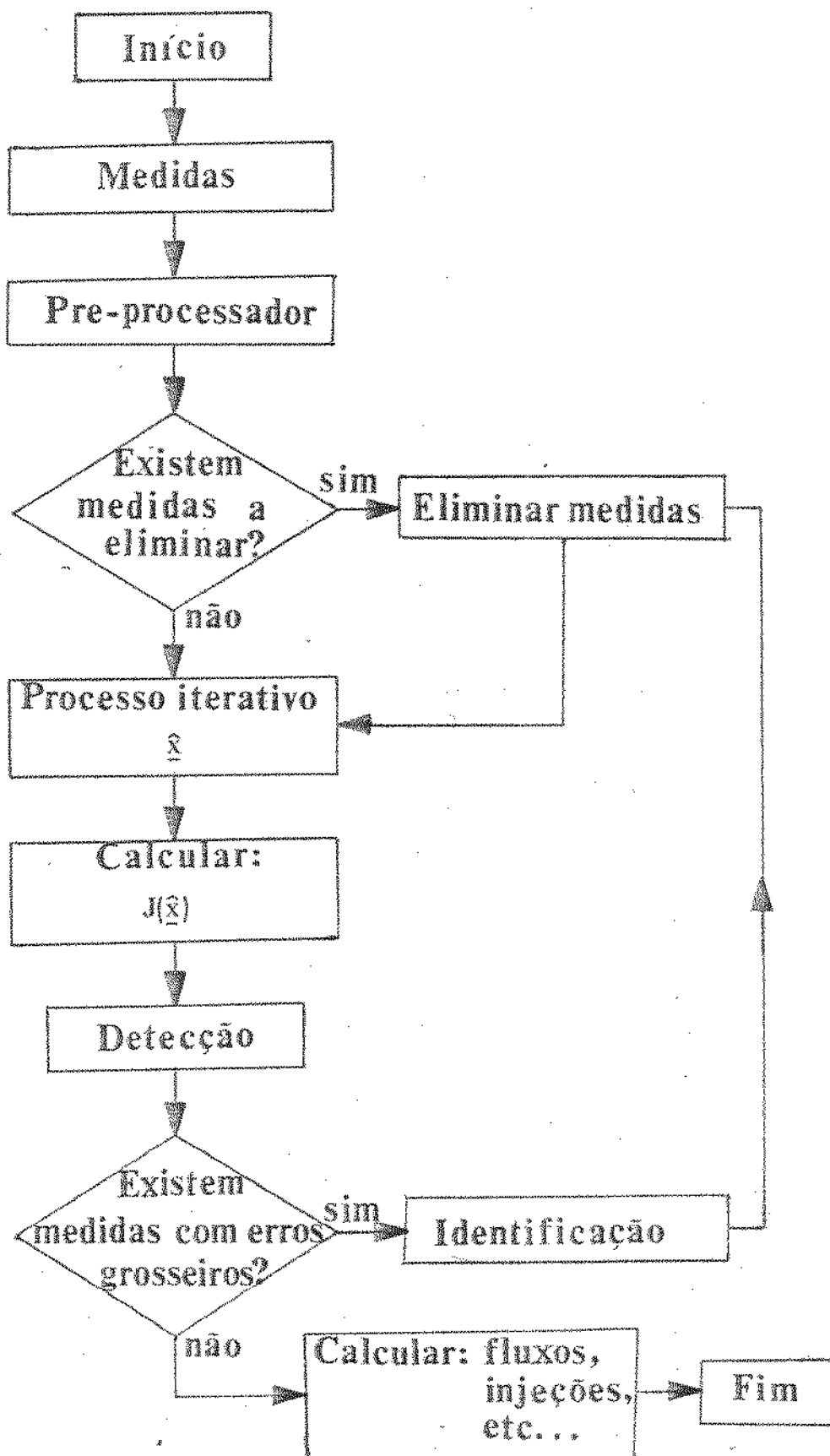
Fig. 4.3 - Exemplo

a) rede com medidores

b) grafo não orientado

Um exemplo numérico sobre identificação está mostrado no Apêndice B.

4.4 - DIAGRAMA DE BLOCOS



4.5 - DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DESACOPLADAS

O índice $J(\underline{\hat{x}})$ pode ser decomposto em :

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

sendo J_A calculado para as medidas de potência ativa (fluxo e injeção) e J_R para as medidas de potência reativa (fluxo, injeção e tensão). Assim sendo, torna-se possível determinar se o problema com medidas com erros grosseiros é devido à parte ativa, reativa ou ambas.

Uma vez detectada a presença de medidas com erros grosseiros na parte ativa, por exemplo, trabalha-se apenas com a matriz covariância dos resíduos correspondentes às medidas de potência ativa. Exemplos são apresentados no capítulo 5.

A detecção e identificação desacopladas podem ser utilizadas tanto quando o algoritmo é desacoplado como quando se desacopla o modelo e o algoritmo.

CAPÍTULO 5

DESEMPENHO DO ESTIMADOR DESACOPLADO

5.1 - INTRODUÇÃO

Os critérios para se verificar o desempenho de um estimador de estado, para aplicação em sistemas elétricos de potência são, em sua maioria, relacionados com convergência do processo iterativo, detecção e identificação de medidas com erros grosseiros, bem como o esforço computacional (memória + cálculo).

A utilização de técnicas de exploração da esparsidade de matrizes reduz a memória necessária e também o volume de cálculo. Vantagens adicionais são verificadas considerando-se que a matriz ganho é constante. Para testar a convergência, a detecção e a identificação simula-se um sistema de potência através do fluxo de carga. Aos resultados do fluxo de carga são adicionados erros aleatórios, normalmente distribuídos, de média e variância conhecidas.

Foram utilizados dois sistemas - exemplo para as simulações. Um com 5 barras e 7 linhas [13] e outro com 30 barras e 41 linhas (IEEE-30). Os dados destes dois sistemas são dados a seguir e passarão a se chamar, respectivamente, sistema A e sistema B.

Para verificar a influência da relação X/R nos resultados, utilizou-se o sistema A.

Foram também testados dois exemplos para sistemas brasileiros: FURNAS e CPFL. Os dados do sistema CPFL (138 KV) foram obtidos em tempo-real (C.O.S.-Campinas) e os resultados correspondentes estão no Apêndice C.

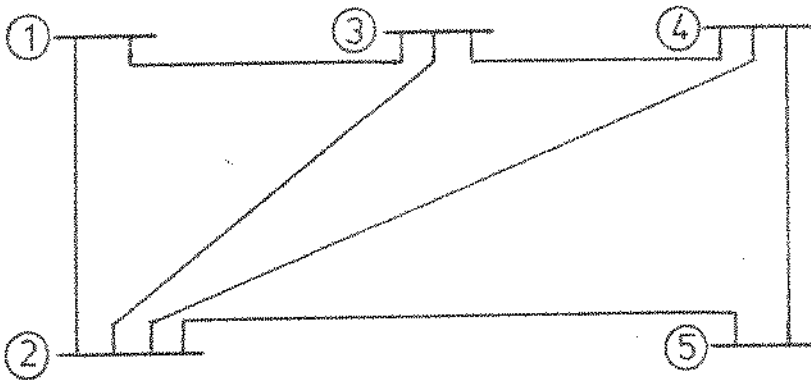


Fig. 5.1 - Sistema A

Linha $k-l$	R_{kl}^{ser}	χ_{kl}^{ser}	δ_{kl}^{par}
1 2	0,02	0,06	0,030
1 3	0,08	0,24	0,025
2 3	0,06	0,18	0,020
2 4	0,06	0,18	0,020
2 5	0,04	0,12	0,015
3 4	0,01	0,03	0,010
4 5	0,08	0,24	0,025

Tabela 5.1 - Dados de linhas (Sistema A)

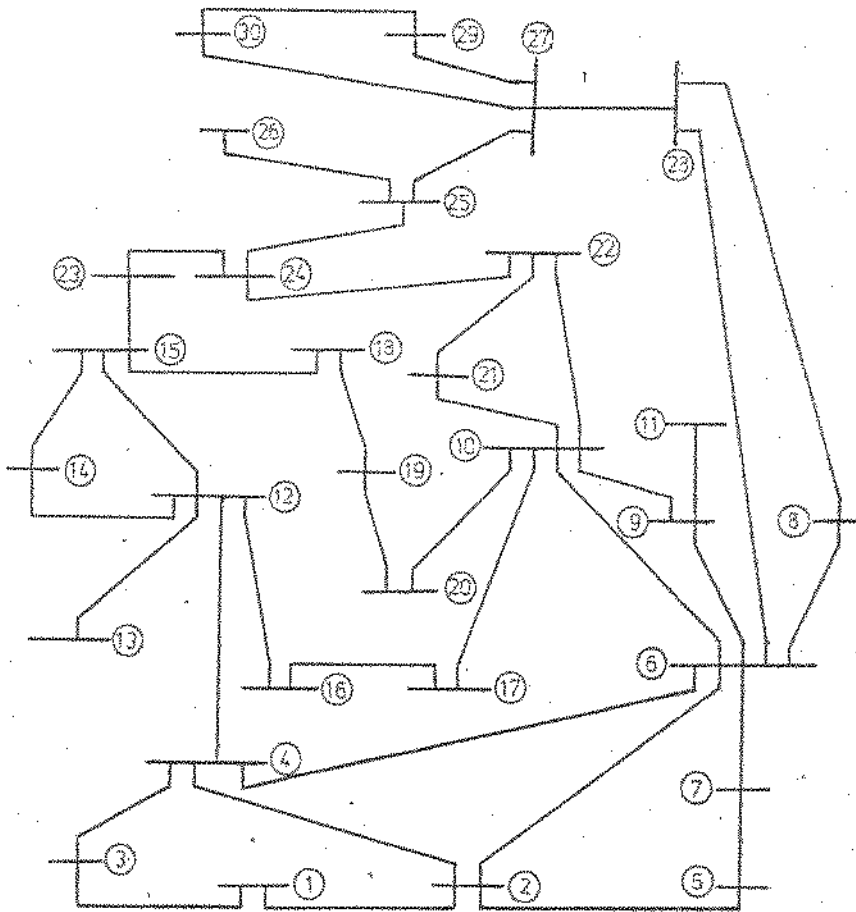


Fig. 5.2 - Sistema B

Linha	R_{ser} k Ω	X_{ser} k Ω	B_{ser} k Ω	Linha	R_{ser} k Ω	X_{ser} k Ω	B_{ser} k Ω
1 - 2	0,0192	0,0575	0,0264	15 - 18	0,1070	0,2185	0,
1 - 3	0,0452	0,1852	0,0204	18 - 19	0,0639	0,1292	0,
2 - 4	0,0570	0,1737	0,0184	19 - 20	0,0340	0,0830	0,
3 - 4	0,0132	0,0379	0,0042	10 - 20	0,0936	0,2090	0,
2 - 5	0,0472	0,1983	0,0209	10 - 17	0,0324	0,0845	0,
2 - 6	0,0581	0,1763	0,0187	10 - 21	0,0348	0,0749	0,
4 - 6	0,0119	0,0414	0,0045	10 - 22	0,0727	0,1499	0,
5 - 7	0,0480	0,1160	0,0102	21 - 22	0,0116	0,0238	0,
6 - 7	0,0267	0,0820	0,0085	15 - 23	0,1000	0,2020	0,
6 - 8	0,0120	0,0420	0,0045	22 - 24	0,1150	0,1790	0,
6 - 9	0,	0,2080	0,	23 - 24	0,1320	0,2700	0,
6 - 10	0,	0,5580	0,	24 - 25	0,1695	0,3292	0,
9 - 11	0,	0,2080	0,	25 - 26	0,2544	0,3800	0,
9 - 10	0,	0,1100	0,	25 - 27	0,1093	0,2087	0,
4 - 12	0,	0,2580	0,	28 - 27	0,	0,3360	0,
12 - 13	0,	0,1400	0,	27 - 29	0,2199	0,4193	0,
12 - 14	0,1231	0,2559	0,	27 - 30	0,3202	0,6027	0,
12 - 15	0,0662	0,1304	0,	29 - 30	0,2399	0,4533	0,
12 - 16	0,0845	0,1957	0,	8 - 28	0,0636	0,2000	0,0214
14 - 15	0,2210	0,1997	0,	6 - 28	0,0169	0,0599	0,0065
16 - 17	0,0824	0,1932	0,				

Tabela 5.2 - Dados de linhas (Sistema B)

Os resultados dos itens 5.2 e 5.3 se referem ao desacoplamento na matriz H .

5.2 - CONVERGÊNCIA

Para o estudo da convergência, as tensões iniciais em cada barra foram fixadas com módulos unitários e ângulos nulos.

A tolerância especificada para ângulos (em radianos) e tensões (em p.u.) foi 0,001.

5.2.1 - Sistema A

Para um medidor de fluxo de potência ativa e um de reativa por linha e para os valores medidos indicados na tabela 5.3, a convergência do processo iterativo se deu em 8 meias iterações. Os valores medidos da tabela 5.3 foram obtidos adicionando-se aos valores exatos (ativos e reativos), erros aleatórios de média nula e desvio padrão $\sigma = 1/30$.

Medida	de - para	Ativos		Reativos	
		Exato	Medido	Exato	Medido
1	1 2	0,224	0,274	-0,206	-0,206
2	1 3	0,308	0,284	-0,019	0,002
3	2 3	0,339	0,310	0,042	0,055
4	2 4	0,362	0,317	0,043	0,014
5	2 5	0,521	0,498	0,073	0,142
6	3 4	0,134	0,103	-0,016	-0,056
7	4 5	-0,011	-0,050	-0,030	-0,026

Tabela 5.3 - Medidas (Sistema A)

A evolução dos índices $J_A(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$, $J_R(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$ e $J(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$, em função do número de iterações (cada duas meias iterações) está mostrada na tabela 5.4. O número de graus de

v	$J_A(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v)$	$J_R(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v)$	$J(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v)$
0	451	1210	1661
1	177	1,7	178
2	8,2	1,5	9,7
3	2,6	1,5	4,1

Tabela 5.4 - Evolução de $J(\underline{\theta}^v, \underline{V}^v)$

liberdade para este caso foi de

$$G_{\ell} = 14 - 2(5 - 1) = 6. \quad (5.1)$$

A barra 1 foi tomada como sendo a barra de referência com tensão igual a 1,06 p.u. e ângulo igual a 0,00 (zero). Na tabela 5.5 estão mostrados os resíduos de estimação.

Medida	Resíduos	
	Ativos	Reativos
1	0,003	0,001
2	-0,017	0,013
3	-0,004	0,002
4	-0,015	-0,031
5	0,021	0,010
6	-0,003	0,002
7	-0,041	-0,022

Tabela 5.5 - Resíduos de Estimação

5.2.2 Sistema B

Para um medidor de fluxo de potência ativa e um de reativa por linha e para os valores medidos indicados na tabela 5.6, a convergência foi obtida em 11 meias iterações. Novamente

os valores medidos foram obtidos adicionando-se aos valores exa-
tos erros aleatórios de médias nulas e desvio padrão $\sigma = 1/30$.

Medida	De Para	Ativos		Reativos	
		Exato	Medido	Exato	Medido
1	1 - 2	1,779	1,830	-0,258	-0,258
2	1 - 3	0,833	0,810	0,039	0,060
3	2 - 4	0,457	0,428	0,023	0,035
4	3 - 4	0,781	0,736	-0,044	-0,072
5	2 - 5	0,831	0,808	0,027	0,096
6	2 - 6	0,619	0,588	0,015	-0,025
7	4 - 6	0,704	0,665	-0,058	-0,530
8	5 - 7	-0,141	-0,105	0,116	0,101
9	6 - 7	0,374	0,325	-0,029	-0,042
10	6 - 8	0,297	0,306	-0,090	-0,154
11	6 - 9	0,278	0,257	-0,011	-0,002
12	6 - 10	0,157	0,158	0,038	0,016
13	9 - 11	0,	-0,002	-0,226	-0,218
14	9 - 10	0,278	0,315	0,199	0,231
15	4 - 12	0,439	0,440	0,013	0,033
16	12 - 13	0,	0,049	-0,303	-0,289
17	12 - 14	0,080	0,018	0,032	0,029
18	12 - 15	0,177	0,222	0,099	0,069
19	12 - 16	0,070	0,113	0,061	0,035
20	14 - 15	0,017	0,026	0,014	-0,005
21	16 - 17	0,035	0,036	0,041	0,061
22	15 - 18	0,060	0,101	0,031	0,084
23	18 - 19	0,028	0,071	0,021	0,080
24	19 - 20	-0,067	-0,098	-0,013	-0,037
25	10 - 20	0,090	0,113	0,022	-0,031
26	10 - 17	0,056	0,051	0,018	-0,005
27	10 - 21	0,156	0,109	0,103	0,127
28	10 - 22	0,075	0,096	0,048	0,057
29	21 - 22	-0,020	-0,028	-0,011	-0,040
30	15 - 23	0,049	0,012	0,052	0,035
31	22 - 24	0,054	0,075	0,036	0,033
32	23 - 24	0,017	0,006	0,035	-0,008
33	24 - 25	-0,017	-0,044	0,002	0,020
34	25 - 26	0,035	0,011	0,024	-0,017
35	25 - 27	-0,052	-0,035	-0,022	-0,025
36	28 - 27	0,186	0,201	0,072	0,041
37	27 - 29	0,062	0,092	0,017	0,008
38	27 - 30	0,071	0,059	0,017	0,047
39	29 - 30	0,037	0,024	0,006	0,081
40	8 - 28	-0,004	-0,028	0,002	-0,011
41	6 - 28	0,191	0,201	0,015	0,033

Tabela 5.6 - Medidas (Sistema B)

A evolução dos índices $J_A(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$, $J_R(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$ e $J(\underline{\theta}^v, \underline{v}^v)$ está indicada na tabela 5.7. Para este caso o número

v	J_A	J_R	J
0	5191	1876	8868
1	103	15,	118
2	10,7	14,3	25,0
3	8,58	14,5	23,1
4	8,26	14,4	22,7
5	8,33	14,5	22,8

Tabela 5.7 - J x v

de graus de liberdade foi de

$$G_2 = 82 - 2(30 - 1) = 24 \quad (5.2)$$

A tensão e o ângulo na barra 1 foram respectivamente 1,06 e 0,0 (referencial). Os resíduos de estimação estão mostrados na tabela 5.8.

Medida	Resíduos		Medida	Resíduos	
	Ativos	Reativos		Ativos	Reativos
1	0,007	-0,002	22	0,018	0,046
2	-0,022	0,005	23	0,009	0,027
3	-0,008	0,004	24	0,005	0,014
4	-0,005	0,001	25	-0,015	-0,042
5	0,035	0,043	26	-0,005	0,
6	-0,003	-0,049	27	-0,014	0,009
7	-0,009	-0,001	28	0,038	0,007
8	0,021	0,027	29	-0,004	0,003
9	-0,015	-0,018	30	-0,017	-0,025
10	-0,005	-0,006	31	0,014	0,034
11	-0,011	0,005	32	-0,023	-0,033
12	-0,003	-0,030	33	-0,005	0,015
13	0,	0,	34	0,	0,
14	-0,006	0,003	35	-0,003	0,009
15	0,011	0,017	36	0,005	-0,014
16	0,	0,	37	0,007	0,007
17	-0,023	0,007	38	-0,010	-0,010
18	0,010	0,008	39	0,007	0,007
19	0,013	-0,006	40	-0,022	-0,029
20	-0,037	-0,010	41	0,007	0,008
21	0,012	-0,001			

Tabela 5.8 - Resíduos de Estimação

5.3 - DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS GROSSEIROS

Foram rodados diversos casos para testar a detecção e a identificação de medidas com erros grosseiros para os dois sistemas (A e B). Alguns destes casos são apresentados neste capítulo.

Na tabela 5.9 mostra-se o parâmetro λ , utilizado para a detecção, calculado para alguns valores do número de

graus de liberdade (G_ℓ). Estes valores de G_ℓ são os que aparecem nos resultados apresentados. Os valores de λ para $G_\ell > 30$ foram obtidos da maneira indicada no capítulo 4 ($\lambda = G_\ell + 1,65\sqrt{2G_\ell}$).

G_ℓ	λ
6	12,6
24	36,4
26	38,9
118	143,3

Tabela 5.9

Para facilitar o acesso aos diversos casos apresentados é dado a seguir um índice apontando a localização de cada caso estudado.

5.3.1 - Índice dos Casos Apresentados

SISTEMA A : Uma medida com erros grosseiros

nº de medidores de fluxos por linha (ativos e reativos) : 4

nº de medidores de injeções (ativos e reativos) : 6

desvio padrão utilizado : 1/30

Erro na medida	Tipo		Espécie		Valor do erro grosseiro	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
1	X		X		20 σ	68
1	X		X		50 σ	69
1	X		X		100 σ	70
3	X		X		20 σ	71
3	X		X		50 σ	72
3	X		X		100 σ	73
1		X	X		20 σ	74
1		X	X		100 σ	75
10	X		X		20 σ	76

SISTEMA A : Duas medidas com erros grosseiros
mesma configuração de medidores do
caso anterior

Erro nas Medidas	Tipo		Espécie		Valor	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
1 e 10	X X		X X		20σ 20σ	77
7 e 12	X X		X	X	20σ 20σ	78
1 e 10	X	X	X X		50σ 50σ	79

SISTEMA A : Uma medida com erro grosseiro

nº de medidores de fluxos por linha (ativos e reati-
vos) : 2

nº de medidores de injeção (ativos e reativos) : 0

desvio padrão utilizado : 1/30

Erro na Medida	Tipo		Espécie		Valor do erro grosseiro	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
1	X		X		20σ	80
1	X		X		50σ	80
1	X		X		100σ	81
7	X		X		20σ	81
7	X		X		50σ	82
7	X		X		100σ	82
7	X			X	20σ	83
7	X			X	50σ	83
3	X		X		20σ	84
3	X			X	20σ	84

SISTEMA B : Uma medida com erro grosseiro

nº de medidores de fluxo por linha (ativos e reativos) : 4

nº de medidores de injeções (ativos e reativos): 6

desvio padrão utilizado : 1/30

Erro na Medida	Tipo		Espécie		Valor do erro grosseiro	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
10	X		X		20σ	85
10	X		X		50σ	86
30	X		X		100σ	87
1		X	X		20σ	88
1		X	X		50σ	89

SISTEMA B : Três medidas com erros grosseiros

(mesma configuração anterior)

Erro nas Medidas	Tipo		Espécie		Valor do erro grosseiro	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
24	X		X		20σ	90
29	X		X		20σ	
e 69	X		X		20σ	
20	X			X	50σ	91
30	X			X	50σ	
e 70	X			X	50σ	
1		X	X		20σ	92
10	X			X	20σ	
e 70	X			X	20σ	

SISTEMA B : Uma medida com erros grosseiros

nº de medidores de fluxos por linha (ativa e reativos) : 2

nº de medidores de injeção (ativos e reativos) : 0

desvio padrão utilizado : 1/30

Erro na Medida	Tipo		Espécie		Valor do erro grosseiro	Página
	Fluxo	Injeção	Ativos	Reativos		
10	X		X		20σ	93
10	X		X		50σ	94
23	X		X		20σ	95
5	X		X		50σ	96

5.3.2 - Variação do Índice $J(\underline{\hat{x}})$ em Função do Erro Grosseiro β

Como a detecção é feita pelo teste de hipótese fundamentado no valor de $J(\underline{\hat{x}})$, é importante conhecer os limites de tal procedimento. Ou seja, é importante conhecer o valor mínimo do erro grosseiro (β) em uma medida para que seja detectado. Este valor mínimo, é claro, depende da localização da medida. Uma medida situada em um local com bastante redundância pode detectar valores pequenos de β .

Neste item mostra-se um caso, para o sistema exemplo-A, em que varia-se β de 0 a 20σ na medida 1 (linha 1-2) de fluxo de potência ativa - figura 5.3.

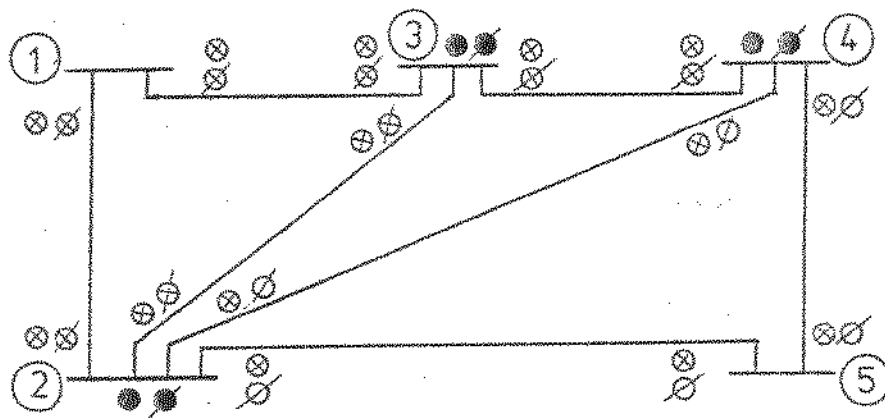


Fig. 5.3

Na tabela 5.10 mostra-se a variação de $J_A(\underline{\hat{x}})$, $J_R(\underline{\hat{x}})$, e $J(\underline{\hat{x}})$ em função de β .

β/σ	J_A	J_R	J
0	11,8	11,3	23,1
3	21,6	12,3	33,7
5	34,1	12,8	46,9
10	86,7	14,9	101,6
15	167,6	17,5	186,1
20	262,6	20,8	303,4

Tabela 5.10

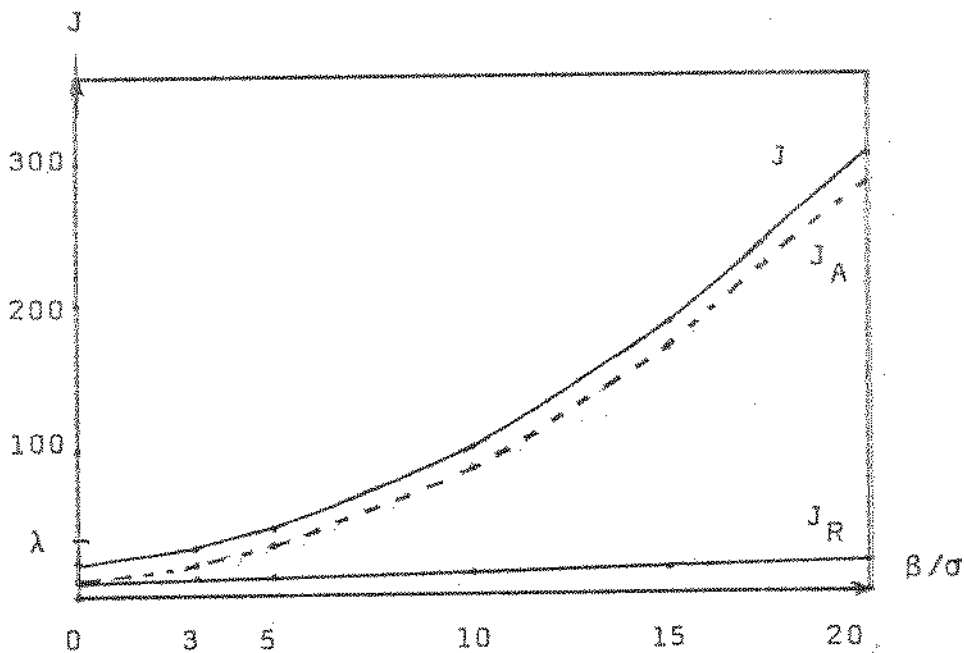


Fig. 5.4

$$J(\hat{x}) \times B/\sigma$$

5.4 - INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO X/R

Para sistemas de baixa tensão (33 KV ou menos) a relação X/R geralmente é pequena (em torno da unidade já se considera pequena). Neste caso o desacoplamento P- θ -Q-V deixa de ter validade. Para o cálculo de fluxo de carga, a solução alternada das equações (meias iterações) faz com que sejam obtidos bons resultados mesmo para relações críticas

Para os algoritmos desenvolvidos neste trabalho, o método desacoplado de cálculo de fluxo de carga corresponde ao algoritmo obtido através do desacoplamento na matriz ganho - (item 3.5). O algoritmo obtido com o desacoplamento na matriz H não funciona bem para relações X/R pequenas (o que era de se esperar).

Para comparar os algoritmos, e ao mesmo tempo compará-los com o obtido pelo método de Newton-Raphson, foi utilizado o sistema A. Variou-se a relação X/R desde 10 até 0,4.

Os resultados estão mostrados na tabela 5.

X/R	Desacoplamento em H	Desacoplamento na matriz-ganho	Newton-Raphson
10	2,5	2,5	3,0
7	3,0	3,0	3,0
5	3,5	3,0	3,0
3	4,0	3,0	3,0
2	5,5	3,0	3,0
1,5	8,0	3,0	3,0
1,0	não converge	4,0	4,0
0,5	não converge	4,0	4,0
0,4	não converge	4,0	4,0

Tabela 5.11 - n° de iterações versus X/R

O algoritmo obtido com desacoplamento em H tem bom comportamento em relações $X/R > 2,0$. Notar que mesmo no sistema exemplo-B (IEEE-30) onde tem-se uma parte do mesmo em 33KV e relações X/R críticas, o referido algoritmo forneceu resultados satisfatórios.

Para se ter uma idéia da relação X/R no sistema de região Sudeste, verifique-se a tabela 5.12.

Os dados apresentados são típicos, e estão indicadas as empresas correspondentes

Empresa	Tensão (KV)	X/R
FURNAS	500	18
CESP	440	13
FURNAS	345	10
LIGHT	230	5
CPFL	138	3

Tabela 5.12

A seguir são apresentados diversos casos para os sistemas - exemplo A e B. Os símbolos e abreviações utilizados são :

- v - número de meias iterações
- J_A - função J calculada para as variáveis de potência ativa a cada duas meias iterações;
- J_R - função J calculada para as variáveis de potência reativa a cada duas meias iterações;
- $J = J_A + J_R$;
- $E(I)$ - tensão na barra I (em p.u.);
- $TETA(I)$ - ângulo na barra I (em graus);
- M - número da medida;
- K - número da barra onde está localizado o medidor de injeção (ativos e reativos) ou número da barra em cujas proximidades está localizado um medidor de fluxos (ativos ou reativos).
- L - extremidade oposta da linha onde está colocado o medidor M;
- VAR.AT - variância da medida M - ativos;
- VAR.RT - variância da medida M - reativos;
- R. AT - resíduos de estimação - ativos;
- R. RT - resíduos de estimação - reativos;
- R. NOR. AT - resíduo normalizado - ativos;
- R. NOR. RT - resíduo normalizado - reativos.

Os medidores com erros grosseiros estão indicados no alto da página. O asterisco (*) indica os maiores resíduos normalizados. O asterisco com uma seta (↖) indica a medida identificada.

SISTEMA A

Erro grosseiro de 200 na medida l- fluxo de potência ativa.

$$G_2 = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	3229,739	3805,882	7035,620
2	1016,659	16,46298	1033,122
4	317,1661	12,90646	330,0726
6	295,1087	13,29239	308,4011

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1,06000	-0,00000
2	1,05985	-1,66164
3	1,02881	-4,82418
4	1,02715	-5,06831
5	1,02952	-5,00350

***** INJEÇOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	,43E-03	,43E-03	,17E+00	-,45E-01	,81E+01	,22E+01
2	3	,56E-03	,56E-03	,52E-01	,12E-01	,22E+01	,51E+00
3	4	,54E-03	,54E-03	,30E-02	,11E-01	,13E+00	,46E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	1	2	,71E-03	,71E-03	,45E+00	-,18E-01	,17E+02*	,69E+00
2	2	1	,71E-03	,71E-03	,24E+00	,30E-01	,90E+01	,11E+01
3	1	3	,10E-02	,10E-02	-,11E+00	-,22E-02	,34E+01	,69E-01
4	3	1	,10E-02	,10E-02	,33E-01	-,26E-01	,10E+01	,82E+00
5	2	3	,10E-02	,10E-02	-,42E-01	,62E-01	,13E+01	,19E+01
6	3	2	,10E-02	,10E-02	-,13E-01	-,35E-01	,40E+00	,11E+01
7	2	4	,10E-02	,10E-02	-,62E-01	-,54E-02	,19E+01	,17E+00
8	4	2	,10E-02	,10E-02	,57E-01	-,82E-02	,18E+01	,25E+00
9	2	5	,78E-03	,78E-03	-,90E-01	-,19E-01	,32E+01	,67E+00
10	5	2	,78E-03	,78E-03	,48E-01	-,64E-01	,17E+01	,23E+01
11	3	4	,86E-03	,86E-03	-,40E-01	-,37E-02	,14E+01	,13E+00
12	4	3	,86E-03	,86E-03	,19E-01	-,10E-01	,66E+00	,35E+00
13	4	5	,99E-03	,99E-03	-,51E-02	,12E-01	,16E+00	,37E+00
14	5	4	,99E-03	,99E-03	,40E-01	,27E-01	,13E+01	,85E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 500 na medida 1 - fluxo de potência ativa..

$$G_{\lambda} = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	5251,055	3805,882	9056,937
2	2236,513	21,09266	2257,606
4	1678,953	16,69966	1695,653
6	1665,470	17,07775	1682,547

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1,06000	-0,00000
2	1,05273	-2,76489
3	1,02037	-6,17005
4	1,01841	-6,47918
5	1,01904	-6,79318

***** INJECCOES *****

M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT	R,NOR,AT.	R,NOR,RT.
1	2	,43E-03	,43E-03	,37E+00	-,56E-01	,18E+02	,27E+01
2	3	,56E-03	,56E-03	,13E+00	,33E-02	,57E+01	,14E+00
3	4	,54E-03	,54E-03	,36E-01	,62E-02	,16E+01	,26E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOR,AT	R,NOR,RT.
1	1	2	,71E-03	,71E-03	,11E+01	-,38E-01	,41E+02	,14E+01
2	2	1	,71E-03	,71E-03	,59E+00	,23E-01	,22E+02	,86E+00
3	1	3	,10E-02	,10E-02	-,22E+00	-,14E-01	,67E+01	,44E+00
4	3	1	,10E-02	,10E-02	,13E+00	-,35E-01	,41E+01	,11E+01
5	2	3	,10E-02	,10E-02	-,63E-01	,60E-01	,20E+01	,19E+01
6	3	2	,10E-02	,10E-02	,66E-02	-,37E-01	,21E+00	,12E+01
7	2	4	,10E-02	,10E-02	-,38E-01	-,68E-02	,27E+01	,21E+00
8	4	2	,10E-02	,10E-02	,83E-01	-,11E-01	,26E+01	,35E+00
9	2	5	,78E-03	,78E-03	-,19E+00	-,20E-01	,68E+01	,73E+00
10	5	2	,78E-03	,78E-03	,14E+00	-,76E-01	,51E+01	,27E+01
11	3	4	,86E-03	,86E-03	-,76E-01	-,16E-02	,26E+01	,55E-01
12	4	3	,86E-03	,86E-03	,55E-01	-,13E-01	,19E+01	,45E+00
13	4	5	,99E-03	,99E-03	-,33E-01	,13E-01	,11E+01	,41E+00
14	5	4	,99E-03	,99E-03	,68E-01	,24E-01	,22E+01	,77E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 1000 na medida l-fluxo de potência
ativa.

$$G_2 = 28$$

V	J _A	J _R	J
0	12619,92	3805,882	16425,80
2	6904,365	39,43326	6843,798
4	6429,593	33,46023	6463,053
6	6427,716	33,74852	6461,464

CONVERGIU EM 7 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1.06000	-0.00000
2	1.04069	-4.61957
3	1.00615	-8.44351
4	1.00375	-8.86431
5	1.00176	-9.82998

***** INJECOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	.71E+00	-.86E-01	.34E+02	.42E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.27E+00	-.16E-01	.11E+02	.66E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.91E-01	-.31E-02	.39E+01	.13E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.71E-03	.71E-03	.22E+01	-.98E-01	.81E+02*	.33E+01
2	2	1	.71E-03	.71E-03	.12E+01	-.66E-03	.44E+02	.25E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	-.39E+00	-.40E-01	.12E+02	.12E+01
4	3	1	.10E-02	.10E-02	.29E+00	-.55E-01	.91E+01	.17E+01
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.97E-01	.58E-01	.30E+01	.18E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	.39E-01	-.41E-01	.12E+01	.13E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.13E+00	-.89E-02	.41E+01	.28E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.12E+00	-.17E-01	.39E+01	.54E+00
9	2	5	.78E-03	.78E-03	-.35E+00	-.23E-01	.13E+02	.81E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	.29E+00	-.10E+00	.11E+02	.37E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.13E+00	.31E-02	.46E+01	.11E+00
12	4	3	.86E-03	.86E-03	.11E+00	-.19E-01	.39E+01	.65E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	-.79E-01	.16E-01	.25E+01	.50E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	.11E+00	.19E-01	.36E+01	.59E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 200 na medida 3-fluxo de potência ativa.

$$G_2 = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	3521,588	3805,882	7327,470
2	1153,373	15,50273	1168,876
4	361,8113	12,03715	373,8485
6	335,3981	12,43551	347,8336

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1,06000	-0,00000
2	1,06310	-1,14341
3	1,03082	-4,49218
4	1,02941	-4,69190
5	1,03471	-4,14030

***** INJECCOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R,NOR.AT.	R,NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	.12E-01	-.43E-01	.57E+00	.21E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.75E-01	.13E-01	.32E+01	.56E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.31E-01	.11E-01	.13E+01	.47E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R,NOR.AT	R,NOR.RT.
1	1	2	.71E-03	.71E-03	-.48E-01	-.14E-01	.18E+01	.51E+00
2	2	1	.71E-03	.71E-03	.74E-01	.32E-01	.28E+01	.12E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	.58E+00	.13E-04	.19E+02	.40E-03
4	3	1	.10E-02	.10E-02	.79E-02	-.24E-01	.25E+00	.75E+00
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.64E-01	.60E-01	.20E+01	.19E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	.82E-02	-.36E-01	.25E+00	.11E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.79E-01	-.69E-02	.25E+01	.21E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.74E-01	-.86E-02	.23E+01	.27E+00
9	2	5	.78E-03	.78E-03	-.39E-01	-.16E-01	.14E+01	.59E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	-.10E-02	-.60E-01	.36E-01	.21E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.13E-01	-.40E-02	.45E+00	.14E+00
12	4	3	.86E-03	.86E-03	-.72E-02	-.96E-02	.24E+00	.33E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	.33E-01	.11E-01	.10E+01	.36E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	.18E-02	.27E-01	.59E-01	.85E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 50g na medida 3-fluxo de potência ativa.

$$G_2 = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	5980,679	3805,882	9786,561
2	2999,048	17,53281	3016,581
4	2242,595	13,01621	2255,612
6	2217,626	13,51405	2231,140

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	=0,00000
2	1,06092	=1,46418
3	1,02540	=5,33325
4	1,02406	=5,53021
5	1,03197	=4,61796

***** INJECOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	,43E-03	,43E-03	-,12E-01	-,49E-01	,60E+00	,24E+01
2	3	,56E-03	,56E-03	,19E+00	,69E-02	,81E+01	,29E+00
3	4	,54E-03	,54E-03	,11E+00	,70E-02	,45E+01	,30E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	1	2	,71E-03	,71E-03	-,15E+00	-,19E-01	,58E+01	,71E+00
2	2	1	,71E-03	,71E-03	,18E+00	,33E-01	,67E+01	,13E+01
3	1	3	,10E-02	,10E-02	,15E+01	-,73E-02	,47E+02*	,23E+00
4	3	1	,10E-02	,10E-02	,71E-01	-,29E-01	,22E+01	,89E+00
5	2	3	,10E-02	,10E-02	-,12E+00	,56E-01	,37E+01	,17E+01
6	3	2	,10E-02	,10E-02	,59E-01	-,39E-01	,18E+01	,12E+01
7	2	4	,10E-02	,10E-02	-,13E+00	-,11E-01	,41E+01	,35E+00
8	4	2	,10E-02	,10E-02	,12E+00	-,12E-01	,39E+01	,38E+00
9	2	5	,78E-03	,78E-03	-,61E-01	-,13E-01	,22E+01	,53E+00
10	5	2	,78E-03	,78E-03	,20E-01	-,64E-01	,73E+00	,23E+01
11	3	4	,86E-03	,86E-03	-,98E-02	-,28E-02	,33E+00	,94E-01
12	4	3	,86E-03	,86E-03	-,11E-01	-,11E-01	,36E+00	,38E+00
13	4	5	,99E-03	,99E-03	,60E-01	,13E-01	,19E+01	,40E+00
14	5	4	,99E-03	,99E-03	-,26E-01	,24E-01	,83E+00	,77E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 1000 na medida 3-fluxo de potência ativa.

$$G_{\ell} = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	14079,16	3805,882	17885,05
2	9787,359	23,53207	9810,891
4	9095,479	16,38839	9111,867
6	9072,182	17,12892	9089,311

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	=0,00000
2	1,05723	=1,99945
3	1,01624	=6,74516
4	1,01502	=6,93768
5	1,02746	=5,41907

***** INJECOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	-.53E-01	-.60E-01	.26E+01	.29E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.39E+00	-.55E-02	.16E+02	.23E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.23E+00	-.55E-03	.98E+01	.24E-01

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.71E-03	.71E-03	-.33E+00	-.31E-01	.12E+02	.11E+01
2	2	1	.71E-03	.71E-03	.35E+00	.35E-01	.13E+02	.13E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	.31E+01	-.22E-01	.95E+02	.69E+00
4	3	1	.10E-02	.10E-02	.17E+00	-.38E-01	.54E+01	.12E+01
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.21E+00	.47E-01	.64E+01	.15E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	.14E+00	-.45E-01	.45E+01	.14E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.22E+00	-.20E-01	.68E+01	.61E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.21E+00	-.19E-01	.64E+01	.59E+00
9	2	5	.78E-03	.78E-03	-.98E-01	-.11E-01	.35E+01	.40E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	.56E-01	-.72E-01	.20E+01	.26E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.41E-02	-.19E-03	.14E+00	.64E-02
12	4	3	.86E-03	.86E-03	-.16E-01	-.14E-01	.55E+00	.48E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	.11E+00	.15E-01	.34E+01	.47E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	-.73E-01	.19E-01	.23E+01	.62E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 20% na medida 1-injeção de potência ativa.

$$G_2 = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	4823.967	3805.882	8629.849
2	1258.110	19.79025	1277.900
4	227.5606	13.49033	241.0409
6	189.6263	14.25940	203.8857

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1.06000	0.00000
2	1.06693	-0.50203
3	1.03306	-4.12745
4	1.03154	-4.34345
5	1.03428	-4.23116

***** INJECCOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	.28E+00	-.46E-01	.14E+02*	.23E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.67E-01	.12E-01	.28E+01	.52E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.40E-01	.93E-02	.17E+01	.40E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.71E-03	.71E-03	.16E+00	-.13E-01	.61E+01	.48E+00
2	2	1	.71E-03	.71E-03	-.13E+00	.37E-01	.50E+01	.14E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	-.56E-01	.24E-02	.17E+01	.75E-01
4	3	1	.10E-02	.10E-02	-.20E-01	-.22E-01	.61E+00	.69E+00
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.96E-01	.59E-01	.30E+01	.18E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	.39E-01	-.38E-01	.12E+01	.12E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.11E+00	-.83E-02	.35E+01	.26E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.11E+00	-.11E-01	.33E+01	.35E+00
9	2	5	.78E-03	.78E-03	-.16E+00	-.22E-01	.57E+01	.78E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	.11E+00	-.69E-01	.41E+01	.25E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.24E-01	-.45E-02	.82E+00	.15E+00
12	4	3	.86E-03	.86E-03	.36E-02	-.92E-02	.12E+00	.31E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	-.13E-02	.12E-01	.40E-01	.38E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	.36E-01	.27E-01	.11E+01	.84E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 1000 na medida l-injeção de potência ativa.

$$G_{\ell} = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	20591.06	3805.882	24396.94
2	6119.751	90.60732	6210.359
4	3983.582	36.77901	4020.361
6	3872.938	43.33687	3916.275
8	3875.535	41.95780	3917.493

CONVERGIU EM 9 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I) (GRAUS)
1	1.06000	0.00000
2	1.07582	1.20567
3	1.02757	-4.90172
4	1.02577	-5.17597
5	1.02576	-5.87484

***** INJECCOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	.13E+01	-.91E-01	.63E+02*	.44E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.35E+00	-.15E-01	.15E+02	.64E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.28E+00	-.15E-01	.12E+02	.65E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.71E-03	.71E-03	.72E+00	-.44E-01	.27E+02	.17E+01
2	2	1	.71E-03	.71E-03	-.69E+00	.59E-01	.26E+02	.22E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	-.12E+00	-.59E-02	.37E+01	.18E+00
4	3	1	.10E-02	.10E-02	.39E-01	-.24E-01	.12E+01	.74E+00
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.37E+00	.40E-01	.11E+02	.12E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	.30E+00	-.66E-01	.92E+01	.20E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.39E+00	-.29E-01	.12E+02	.89E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.37E+00	-.41E-01	.11E+02	.13E+01
9	2	5	.78E-03	.78E-03	-.70E+00	-.49E-01	.25E+02	.18E+01
10	5	2	.78E-03	.78E-03	.63E+00	-.14E+00	.22E+02	.51E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.58E-01	-.27E-02	.20E+01	.90E-01
12	4	3	.86E-03	.86E-03	.37E-01	-.12E-01	.13E+01	.39E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	-.61E-01	.20E-01	.19E+01	.62E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	.95E-01	.18E-01	.30E+01	.57E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 20σ na medida 10-fluxo de potência ativa.

$$G_{\ell} = 26$$

V	J _A	J _k	J
0	2679,803	3805,882	6485,685
2	1097,831	11,45780	1109,289
4	306,1609	10,07266	316,2336
6	276,8112	10,19826	287,0094

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,06592	-0,72674
3	1,03553	-3,74442
4	1,03437	-3,89461
5	1,04553	-2,34046

***** INJECOES *****

M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT	R,NOR,AT.	R,NOR,RT.
1	2	.43E+03	.43E+03	.17E+00	-.36E-01	.81E+01	.17E+01
2	3	.56E+03	.56E+03	.15E+01	.18E-01	.64E+00	.78E+00
3	4	.54E+03	.54E+03	.44E+01	.14E-01	.19E+01	.59E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOR,AT	R,NOR,RT.
1	1	2	.71E+03	.71E+03	.90E-01	-.76E-02	.34E+01	.28E+00
2	2	1	.71E+03	.71E+03	-.63E-01	.30E-01	.24E+01	.11E+01
3	1	3	.10E+02	.10E+02	-.25E-01	.52E-02	.78E+00	.16E+00
4	3	1	.10E+02	.10E+02	-.49E-01	-.21E-01	.15E+01	.64E+00
5	2	3	.10E+02	.10E+02	-.31E-01	.62E-01	.97E+00	.19E+01
6	3	2	.10E+02	.10E+02	-.24E-01	-.33E-01	.74E+00	.10E+01
7	2	4	.10E+02	.10E+02	-.41E-01	-.51E-02	.13E+01	.16E+00
8	4	2	.10E+02	.10E+02	.37E-01	-.52E-02	.12E+01	.16E+00
9	2	5	.78E+03	.78E+03	.18E+00	-.10E-01	.66E+01	.37E+00
10	5	2	.78E+03	.78E+03	.45E+00	-.47E-01	.16E+02*	.17E+01
11	3	4	.86E+03	.86E+03	.16E+01	-.52E-02	.55E+00	.18E+00
12	4	3	.86E+03	.86E+03	-.36E-01	-.81E-02	.12E+01	.28E+00
13	4	5	.99E+03	.99E+03	.11E+00	.94E-02	.35E+01	.30E+00
14	5	4	.99E+03	.99E+03	-.78E+01	.27E-01	.25E+01	.84E+00

SISTEMA A

Erros grosseiros de 20% nas medidas l-fluxo de potência
ativa e 10 - fluxo de potência ativa

$$G_L = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	3027,347	3805,882	6833,229
2	1343,669	12,50116	1356,170
4	654,6309	10,75129	675,3822
6	640,6031	10,90282	651,5059

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1.06000	=0.00000
2	1.06128	=1.45678
3	1.02995	=4.63206
4	1.02858	=4.82408
5	1.03854	=3.49904

***** INJECOES *****

M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT	R,NOR,AT.	R,NOR,RT
1	2	.43E-03	.43E-03	.31E+00	-.40E-01	.15E+02	.19E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.71E-01	.14E-01	.30E+01	.60E+00
3	4	.54E-03	.54E-03	.66E-01	.12E-01	.28E+01	.50E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOR,AT	R,NOR,RT
1	1	2	.71E-03	.71E-03	.52E+00	-.14E-01	.19E+02*	.53E+00
2	2	1	.71E-03	.71E-03	.17E+00	.28E-01	.65E+01	.11E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	-.96E-01	-.10E-02	.30E+01	.32E-01
4	3	1	.10E-02	.10E-02	.18E-01	-.25E-01	.57E+00	.78E+00
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.45E-01	.60E-01	.14E+01	.19E+01
6	3	2	.10E-02	.10E-02	-.11E-01	-.34E-01	.33E+00	.11E+01
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.59E-01	-.64E-02	.18E+01	.20E+00
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.54E-01	-.68E-02	.17E+01	.21E+00
9	2	5	.78E-03	.78E-03	.12E+00	-.11E-01	.41E+01	.36E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	.52E+00	-.51E-01	.19E+02*	.18E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	-.83E-02	-.41E-02	.28E+00	.14E+00
12	4	3	.86E-03	.86E-03	-.12E-01	-.96E-02	.41E+00	.33E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	.92E-01	.10E-01	.29E+01	.33E+00
14	5	4	.99E-03	.99E-03	-.59E-01	.26E-01	.19E+01	.82E+00

SISTEMA A

Erros grosseiros de 20% nas medidas 7-fluxo de potência reativa e 12-fluxo de potência ativa.

$$G_L = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	3123,093	4286,505	7409,598
2	1186,611	374,4388	1561,049
4	343,7059	381,1003	724,8062
6	315,6922	379,7486	695,4408

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,08000	-0,00000
2	1,06401	-0,83279
3	1,02612	-3,84112
4	1,02574	-3,79498
5	1,03686	-3,52050

***** INJECOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R,NOR.AT.	R,NOR.RT.
1	2	.43E-03	.43E-03	.37E-01	-.11E+00	.18E+01	.52E+01
2	3	.56E-03	.56E-03	.16E+00	.77E-01	.67E+01	.33E+01
3	4	.54E-03	.54E-03	-.18E+00	.98E-01	.75E+01	.42E+01

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R,NOR.AT	R,NOR.RT
1	1	2	.71E-03	.71E-03	.49E-01	-.28E-01	.18E+01	.10E+01
2	2	1	.71E-03	.71E-03	-.22E-01	.50E-01	.82E+00	.19E+01
3	1	3	.10E-02	.10E-02	-.42E-01	-.31E-01	.13E+01	.97E+00
4	3	1	.10E-02	.10E-02	-.33E-01	.12E-01	.10E+01	.39E+00
5	2	3	.10E-02	.10E-02	-.40E-01	.21E-01	.12E+01	.64E+00
6	3	2	.10E-02	.10E-02	-.15E-01	.51E-02	.48E+00	.16E+00
7	2	4	.10E-02	.10E-02	-.29E-01	.62E+00	.91E+00	.19E+02*
8	4	2	.10E-02	.10E-02	.26E-01	.36E-01	.80E+00	.11E+01
9	2	5	.78E-03	.78E-03	.85E-02	-.19E-01	.30E+00	.68E+00
10	5	2	.78E-03	.78E-03	-.47E-01	-.52E-01	.17E+01	.19E+01
11	3	4	.86E-03	.86E-03	.13E+00	-.18E-01	.46E+01	.60E+00
12	4	3	.86E-03	.86E-03	.51E+00	.41E-02	.17E+02*	.14E+00
13	4	5	.99E-03	.99E-03	.21E-01	.40E-01	.66E+00	.13E+01
14	5	4	.99E-03	.99E-03	.14E-01	-.22E-02	.43E+00	.71E+01

SISTEMA A

Erros grosseiros nas medidas 1-injeção de potência ativa
e 10-fluxo de potência ativa (50σ)

$$G_{\ell} = 26$$

V	J _A	J _R	J
0	10230,65	3805,882	14036,53
2	5153,757	18,29234	5172,050
4	3812,487	10,83583	3823,323
6	3744,433	11,58733	3756,020
8	3745,165	11,41138	3756,576

CONVERGIU EM 9 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	0,00000
2	1,07388	0,64418
3	1,03377	-3,94290
4	1,03285	-4,05236
5	1,05325	-1,15638

***** INJECOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R.NOR.AT.	R.NOR.RT
1	2	.43E+03	.43E+03	.10E+01	-.46E-01	.49E+02*	.22E+01
2	3	.56E+03	.56E+03	.22E+00	.79E-02	.94E+01	.33E+00
3	4	.54E+03	.54E+03	.29E+00	.25E-02	.12E+02	.11E+00

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT	R.NOR.AT	R.NOR.RT
1	1	2	.71E+03	.71E+03	.54E+00	-.16E-01	.20E+02	.61E+00
2	2	1	.71E+03	.71E+03	-.51E+00	.37E-01	.19E+02	.14E+01
3	1	3	.10E+02	.10E+02	-.42E-01	.18E-02	.13E+01	.56E-01
4	3	1	.10E+02	.10E+02	-.33E-01	-.20E-01	.10E+01	.61E+00
5	2	3	.10E+02	.10E+02	-.21E+00	.50E-01	.64E+01	.15E+01
6	3	2	.10E+02	.10E+02	.14E+00	-.44E-01	.44E+01	.14E+01
7	2	4	.10E+02	.10E+02	-.21E+00	-.17E-01	.65E+01	.54E+00
8	4	2	.10E+02	.10E+02	.20E+00	-.17E-01	.62E+01	.51E+00
9	2	5	.78E+03	.78E+03	.15E+00	-.36E-02	.53E+01	.13E+00
10	5	2	.78E+03	.78E+03	.15E+01	-.55E-01	.53E+02*	.20E+01
11	3	4	.86E+03	.86E+03	.42E-01	-.54E-02	.14E+01	.18E+00
12	4	3	.86E+03	.86E+03	-.62E-01	-.79E-02	.21E+01	.27E+00
13	4	5	.99E+03	.99E+03	.22E+00	.93E-02	.69E+01	.29E+00
14	5	4	.99E+03	.99E+03	-.19E+00	.18E-01	.60E+01	.59E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 20% na medida l-fluxo de potência
ativa - $G_2 = 6$

V	J _A	J _R	J
0	798,7010	1210,033	2008,734
2	126,7625	1,502140	128,2647
4	29,32293	1,398711	30,72164
6	26,58498	1,390027	27,97501

CONVERGIU EM 7 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,05409	-2,96329
3	1,02696	-5,34038
4	1,02723	-5,55256
5	1,02067	-5,62034

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.44E-01	-.17E-02	.60E+01*	.23E+00
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.14E+00	.80E-02	.50E+01*	.27E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.34E-01	.47E-02	.13E+01	.17E+00
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.21E-01	-.28E-01	.78E+00	.10E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.29E-01	.12E-01	.21E+01	.84E+00
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.12E-01	.18E-02	.25E+01	.37E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.64E-01	-.24E-01	.23E+01	.83E+00

SISTEMA A - Erro grosseiro de 50% na medida l-fluxo de potência
ativa - $G_2 = 6$

V	J _A	J _R	J
0	2820,017	1210,033	4030,051
2	174,4947	1,593796	176,0885
4	134,7118	1,321993	136,0338
6	134,0019	1,309267	135,3112

CONVERGIU EM 7 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,04037	-5,97785
3	1,01633	-7,84797
4	1,01647	-8,08674
5	1,00723	-8,59879

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.38E-01	-.49E-03	.12E+02*	.67E-01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.34E+00	.30E-02	.12E+02*	.10E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.94E-01	.63E-02	.35E+01*	.23E+00
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.79E-01	-.27E-01	.29E+01	.98E+00
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.47E-01	.12E-01	.34E+01	.87E+00
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.25E-01	.14E-02	.53E+01	.29E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.97E-01	-.24E-01	.35E+01	.86E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 100σ na medida 1 -fluxo de potência
ativa - $G_L = 6$

V	J _A	J _R	J
0	10188,88	1210,033	11399,91
2	515,8925	1,579203	517,4717
4	499,7411	1,331702	501,0728
6	499,7769	1,321607	501,0985

CONVERGIU EM 7 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,02409	-11,15579
3	1,00498	-12,12625
4	1,00491	-12,40767
5	0,99150	-13,67867

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.16E+00	-.52E-03	.22E+02*	.72E-01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.66E+00	.24E-02	.22E+02*	.83E-01
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.19E+00	.63E-02	.70E+01	.23E+00
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.17E+00	-.26E-01	.63E+01	.97E+00
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.75E-01	.12E-01	.55E+01	.89E+00
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.47E-01	.13E-02	.99E+01	.28E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.15E+00	-.24E-01	.55E+01	.88E+00

SISTEMA A

Erro grosseiro de 20σ na medida 7 -fluxo de potência
ativa - $G_L = 6$

V	J _A	J _R	J
0	790,8473	1210,033	2000,881
2	407,4538	1,315309	408,7691
4	232,6211	1,349817	233,9709
6	227,3369	1,332548	228,7295

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,06412	-1,07300
3	1,04191	-2,51049
4	1,04259	-2,64944
5	1,02335	-5,21939

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	-.20E-01	.56E-03	.28E+01	.76E-01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	.78E-01	.16E-01	.27E+01	.53E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.13E+00	.29E-02	.48E+01	.11E+00
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.13E+00	-.29E-01	.46E+01	.11E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	-.21E+00	.74E-02	.15E+02*	.54E+00
6	3	4	.23E-04	.22E-04	.31E-01	.26E-02	.65E+01	.55E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	.41E+00	-.18E-01	.15E+02*	.66E+00

SISTEMA A

Erro de 50σ na medida 7-fluxo de potência ativa

$$G_L = 6$$

V	J _A	J _R	J
0	2800.383	1210.033	4010.416
2	1788.690	1.704723	1790.395
4	1587.893	1.747731	1589.641
6	1583.111	1.724689	1584.836

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1.06000	-0.00000
2	1.06349	-1.17938
3	1.05171	-0.77414
4	1.05285	-0.93238
5	1.01381	-7.54837

***** FLUXOS *****

N	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	-.55E-01	.21E-03	.75E+01	.29E-01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	.22E+00	.17E-01	.74E+01	.57E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.33E+00	.89E-03	.12E+02	.33E-01
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.33E+00	-.31E-01	.12E+02	.12E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	-.55E+00	.10E-01	.40E+02*	.75E+00
6	3	4	.23E-04	.22E-04	.81E-01	.24E-02	.17E+02	.52E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	.11E+01	-.24E-01	.40E+02*	.87E+00

SISTEMA A

Erro de 100σ na medida 7-fluxo de potência ativa

$$G_L = 6$$

V	J _A	J _R	J
0	10149.61	1210.033	11359.64
2	6775.756	10.63453	6786.391
4	6513.997	6.049297	6520.046
6	6500.134	6.665044	6506.799
8	6501.217	6.520521	6507.738

CONVERGIU EM 9 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1.06000	-0.00000
2	1.06255	-1.34653
3	1.06850	2.00760
4	1.07032	2.07864
5	1.00350	-11.42671

***** FLUXOS *****

N	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	-.11E+00	-.30E-02	.15E+02	.41E+00
2	1	3	.86E-03	.86E-03	.44E+00	.13E-01	.15E+02	.43E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.65E+00	-.11E-01	.24E+02	.42E+00
4	2	4	.73E-03	.73E-03	.67E+00	-.45E-01	.25E+02	.17E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	-.11E+01	.31E-01	.80E+02*	.23E+01
6	3	4	.23E-04	.22E-04	.16E+00	-.33E-03	.35E+02	.70E+01
7	4	5	.75E-03	.75E-03	.22E+01	-.63E-01	.81E+02*	.23E+01

SISTEMA A

Erro de 20σ na medida 7-fluxo de potência reativa

$$G_L = 8$$

V	J _A	J _R	J
0	451,1568	1609,368	2060,525
2	191,2261	253,0505	444,2766
4	9,172675	246,1057	255,2784
6	3,636412	246,9298	250,5662

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,06322	-0,97540
3	1,05669	-4,04726
4	1,05798	-4,25176
5	1,00392	-3,20961

***** FLUXOS *****

N	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.41E-02	-.23E-01	.55E+00	.32E+01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.20E-01	.11E+00	.67E+00	.36E+01
3	2	3	.73E-03	.73E-03	-.55E-02	.13E+00	.21E+00	.50E+01
4	2	4	.73E-03	.73E-03	-.17E-01	.11E+00	.63E+00	.40E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.25E-01	-.22E+00	.18E+01	.16E+02*
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.34E-02	.36E-01	.72E+00	.76E+01
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.50E-01	.43E+00	.18E+01	.16E+02*

SISTEMA A

Erro de 50σ na medida 7-fluxo de potência reativa

$$G_L = 8$$

V	J _A	J _R	J
0	451,1568	3703,371	4159,528
2	262,6546	1625,830	1888,485
4	12,78676	1601,073	1613,860
6	6,186007	1603,620	1609,806
8	5,973749	1603,231	1609,205

CONVERGIU EM 9 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1,06000	-0,00000
2	1,06129	-0,93068
3	1,08693	-4,51583
4	1,08953	-4,73452
5	0,96521	-2,49285

***** FLUXOS *****

N	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.42E-02	-.62E-01	.57E+00	.84E+01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.26E-01	.24E+00	.87E+00	.81E+01
3	2	3	.73E-03	.73E-03	-.97E-02	.32E+00	.36E+00	.12E+02
4	2	4	.73E-03	.73E-03	-.22E-01	.30E+00	.80E+00	.11E+02
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.33E-01	-.54E+00	.24E+01	.39E+02*
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.50E-02	.86E-01	.11E+01	.18E+02
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.68E-01	.11E+01	.24E+01	.40E+02*

SISTEMA A

Erro de 20σ na medida 3-fluxo de potência ativa

$$G_L = 6$$

V	J _A	J _R	J
0	1223.151	1210.033	2433.184
2	463.7275	2.565055	466.2925
4	266.9545	1.999538	268.9541
6	260.2012	2.067827	262.2691

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1.06000	-0.00000
2	1.06533	-0.87990
3	1.02567	-5.75376
4	1.02551	-5.86817
5	1.03038	-3.97047

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.43E-01	.22E-02	.59E+01	.30E+00
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.18E+00	.10E-01	.60E+01	.34E+00
3	2	3	.73E-03	.73E-03	.43E+00	-.20E-03	.16E+02*	.73E-02
4	2	4	.73E-03	.73E-03	-.23E+00	-.33E-01	.87E+01	.12E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	-.44E-01	.14E-01	.32E+01	.10E+01
6	3	4	.23E-04	.22E-04	.48E-01	.15E-02	.10E+02	.32E+00
7	4	5	.75E-03	.75E-03	.85E-01	-.30E-01	.31E+01	.11E+01

SISTEMA A

Erro de 20σ na medida 3-fluxo de potência reativa.

$$G_L = 6$$

V	J _A	J _R	J
0	451.1563	1699.644	2150.801
2	225.0891	264.1084	489.1976
4	9.207308	266.0538	275.2612
6	2.158178	265.7189	267.8771

CONVERGIU EM 8 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	1.06000	-0.00000
2	1.06681	-1.04275
3	0.99869	-3.09240
4	1.00058	-3.32873
5	1.02600	-3.59613

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.54E-04	.53E-04	.22E-02	.41E-01	.31E+00	.56E+01
2	1	3	.86E-03	.86E-03	-.13E-01	-.15E+00	.44E+00	.51E+01
3	2	3	.73E-03	.73E-03	-.35E-02	.44E+00	.13E+00	.16E+02*
4	2	4	.73E-03	.73E-03	-.16E-01	-.25E+00	.58E+00	.93E+01
5	2	5	.19E-03	.19E-03	.20E-01	-.56E-01	.14E+01	.41E+01
6	3	4	.23E-04	.22E-04	-.21E-02	.52E-01	.44E+00	.11E+02
7	4	5	.75E-03	.75E-03	-.36E-01	.10E+00	.13E+01	.37E+01

V	JA	JR	J
0	9772.246	3709.861	13479.11
2	915.9189	55.98007	572.4048
4	347.9226	51.52122	309.4438
6	142.1354	52.26749	194.4029
8	331.8876	51.84705	393.7346

SISTEMA B

Erro grosseiro da 200 na me
dida 10-fluxo de potência
ativa

$$G_L = 118$$

***** INJEÇÕES *****									
M	K	VAR.AT.	VAR. RT.	R. AT.	R. RT	R. NOR. AT.	R. NOR. RT.		
1	6	.29E-03	.29E-03	-.11E-01	.59E-02	.61E+00	.33E+00		
2	9	.46E-03	.46E-03	-.75E-02	.73E-02	.35E+00	.34E+00		
3	22	.52E-03	.52E-03	-.31E-01	-.70E-01	.18E+01	.90E+00		
4	25	.47E-03	.47E-03	-.15E-01	.37E-01	.69E+00	.17E+01		
5	27	.40E-03	.40E-03	-.13E-01	.21E-01	.64E+00	.10E+01		
6	28	.55E-03	.55E-03	-.14E-01	-.29E-01	.60E+00	.13E+01		
***** FLUXOS *****									
N	K	L	VAR.AT.	VAR. RT.	R. AT.	R. RT	R. NOR. AT	R. NOR. RT.	
1	1	2	.59E-03	.59E-03	-.33E-02	.74E-02	.13E+00	.31E+00	
2	2	1	.59E-03	.59E-03	.27E-01	.38E-02	.11E+01	.15E+00	
3	1	3	.92E-03	.92E-03	-.07E-02	-.91E-02	.32E+00	.30E+00	
4	3	1	.92E-03	.92E-03	-.01E-01	.31E-02	.27E+01	.10E+00	
5	2	4	.94E-03	.94E-03	.40E-01	.37E-01	.13E+01	.12E+01	
6	4	2	.94E-03	.94E-03	-.02E-01	-.14E-03	.30E+01	.45E+02	
7	3	4	.57E-03	.57E-03	.86E-02	-.49E-02	.35E+00	.21E+00	
8	4	3	.57E-03	.57E-03	-.11E-01	-.25E-02	.46E+00	.10E+00	
9	2	5	.85E-03	.84E-03	.14E+00	-.56E-02	.47E+01	.23E+00	
10	5	2	.85E-03	.84E-03	.50E+00	-.20E-01	.17E+02	.70E+00	
11	2	6	.96E-03	.96E-03	.38E-01	-.16E-01	.16E+01	.53E+00	
12	6	2	.96E-03	.96E-03	-.64E-01	.16E-01	.21E+01	.50E+00	
13	4	6	.68E-03	.68E-03	.34E-01	.25E-01	.13E+01	.97E+00	
14	6	4	.68E-03	.68E-03	.15E-02	.15E-01	.59E-01	.59E+00	
15	5	7	.67E-03	.67E-03	-.92E-01	.22E-01	.36E+01	.86E+00	
16	7	5	.67E-03	.67E-03	.14E+00	.13E-01	.55E+01	.51E+00	
17	6	7	.68E-03	.68E-03	.77E-01	-.19E-01	.29E+01	.74E+00	
18	7	6	.68E-03	.68E-03	-.92E-01	-.74E-02	.35E+01	.28E+00	
19	6	8	.66E-03	.66E-03	.30E-01	-.16E-01	.12E+01	.64E+00	
20	8	6	.66E-03	.66E-03	.23E-01	-.29E-01	.88E+00	.11E+01	
21	6	9	.86E-03	.86E-03	-.53E-02	.26E-01	.18E+00	.89E+00	
22	9	6	.86E-03	.86E-03	.48E-01	.45E-01	.19E+01	.15E+01	
23	6	10	.11E-02	.11E-02	.06E-01	.58E-01	.14E+01	.18E+01	
24	10	6	.11E-02	.11E-02	-.33E-01	-.24E-01	.10E+01	.73E+00	
25	9	11	.67E-03	.67E-03	.13E-01	-.41E-01	.49E+00	.16E+01	
26	11	9	.67E-03	.67E-03	.54E-02	-.35E-01	.21E+00	.14E+01	
27	9	10	.74E-03	.74E-03	-.24E-01	.81E-02	.89E+00	.30E+00	
28	10	9	.74E-03	.74E-03	-.20E-02	.28E-01	.74E-01	.93E+00	
29	4	12	.78E-03	.78E-03	.16E-02	-.16E-01	.59E-01	.56E+00	
30	12	4	.78E-03	.78E-03	-.47E-01	-.28E-01	.17E-01	.92E+00	
31	12	13	.56E-03	.56E-03	.50E-02	-.22E-01	.31E+00	.92E+00	
32	13	12	.56E-03	.56E-03	.52E-02	-.23E-01	.22E+00	.96E+00	
33	12	14	.73E-03	.73E-03	-.23E-01	.15E-01	.90E+00	.57E+00	
34	14	12	.73E-03	.73E-03	-.27E-01	-.37E-01	.10E+01	.14E+01	
35	12	15	.67E-03	.67E-03	.19E-01	-.17E-01	.75E+00	.64E+00	
36	15	12	.67E-03	.67E-03	.13E-01	-.17E-01	.50E+00	.65E+00	
37	12	16	.74E-03	.74E-03	.26E-01	-.33E-02	.96E+00	.12E+00	
38	16	12	.74E-03	.74E-03	-.80E-02	.24E-01	.29E+00	.90E+00	
39	14	15	.90E-03	.90E-03	-.16E-01	.72E-01	.53E+00	.24E+01	
40	15	14	.90E-03	.90E-03	-.21E-01	-.10E-01	.69E+00	.34E+00	
41	16	17	.72E-03	.72E-03	.73E-02	-.68E-02	.27E+00	.25E+00	
42	17	16	.72E-03	.72E-03	-.24E-01	.19E-01	.89E+00	.71E+00	
43	15	18	.73E-03	.73E-03	.19E-01	-.12E-01	.66E+00	.44E+00	
44	18	15	.73E-03	.73E-03	.28E-01	-.10E-01	.10E+01	.37E+00	
45	18	19	.62E-03	.62E-03	-.17E-03	-.29E-01	.69E+02	.12E+01	
46	19	18	.62E-03	.62E-03	.58E-02	-.28E-01	.23E+00	.11E+01	
47	19	20	.57E-03	.57E-03	.41E-01	-.14E-02	.17E+01	.59E-01	
48	20	19	.57E-03	.57E-03	.44E-01	-.86E-03	.19E+01	.35E-01	
49	10	20	.71E-03	.71E-03	.18E-01	.11E-01	.69E+00	.41E+00	
50	20	10	.71E-03	.71E-03	.87E-02	.94E-02	.13E+00	.35E+00	
51	10	17	.58E-03	.58E-03	-.11E-01	.34E-02	.47E+00	.14E+00	
52	17	10	.58E-03	.58E-03	.12E-02	-.76E-02	.77E-01	.31E+00	
53	10	21	.69E-03	.69E-03	.30E-01	.28E-01	.11E+01	.11E+01	
54	21	10	.69E-03	.69E-03	.21E-01	.61E-02	.80E+00	.23E+00	
55	10	22	.10E-02	.10E-02	-.59E-01	-.49E-01	.19E+01	.16E+01	
56	22	10	.10E-02	.10E-02	.46E-02	.25E-01	.27E+00	.78E+00	
57	21	22	.73E-03	.73E-03	-.14E-01	-.23E-01	.51E+00	.63E+00	
58	22	21	.73E-03	.73E-03	.25E-01	-.79E-02	.91E+00	.29E+00	
59	15	23	.68E-03	.68E-03	.12E-01	-.69E-02	.47E+00	.19E+00	
60	23	15	.68E-03	.68E-03	-.69E-02	-.45E-01	.34E+00	.17E+01	
61	22	24	.79E-03	.79E-03	.63E-02	.11E-01	.22E+00	.39E+00	
62	24	22	.79E-03	.79E-03	-.24E-01	.62E-01	.88E+00	.22E+01	
63	23	24	.78E-03	.78E-03	.60E-01	.18E-01	.21E+01	.64E+00	
64	24	23	.78E-03	.78E-03	.37E-01	-.35E-01	.11E+01	.13E+01	
65	24	25	.86E-03	.86E-03	-.30E-02	.56E-01	.10E+00	.19E+01	
66	25	24	.86E-03	.86E-03	-.60E-02	-.27E-01	.21E+00	.92E+00	
67	25	26	.67E-03	.67E-03	.17E-01	-.41E-01	.64E+00	.16E+01	
68	26	25	.67E-03	.67E-03	.16E-02	-.44E-02	.61E+00	.10E+00	
69	25	27	.84E-03	.84E-03	.16E-01	-.11E-01	.57E+00	.39E+00	
70	27	25	.84E-03	.84E-03	.32E-02	-.24E-01	.11E+00	.79E+00	
71	26	27	.87E-03	.87E-03	-.23E-01	-.91E-02	.77E+00	.27E+00	
72	27	26	.87E-03	.87E-03	-.64E-02	-.14E-01	.22E+00	.47E+00	
73	27	29	.81E-03	.81E-03	.56E-01	-.30E-01	.20E+01	.17E+01	
74	29	27	.81E-03	.81E-03	.31E-01	-.40E-01	.11E+01	.14E+01	
75	27	30	.90E-03	.90E-03	.30E-01	-.40E-01	.33E+00	.15E+01	
76	30	27	.90E-03	.90E-03	.14E-01	-.74E-02	.46E+00	.25E+00	
77	29	30	.71E-03	.71E-03	-.37E-02	-.11E-01	.14E+00	.42E+00	
78	30	29	.71E-03	.71E-03	-.16E-01	-.23E-01	.51E+00	.56E+00	
79	8	28	.11E-02	.11E-02	-.14E-01	.27E-01	.15E+01	.42E+00	
80	28	8	.11E-02	.11E-02	-.31E-01	-.33E-01	.39E+00	.10E+01	
81	6	28	.84E-03	.84E-03	.37E-02	-.54E-01	.13E+00	.14E+01	
82	28	6	.84E-03	.84E-03	-.54E-01	-.10E-01	.39E+00	.52E+00	

V J A J R J

0	10440,977	3706,861	11153,01
2	2125,779	55,04847	2101,428
4	1961,383	53,06696	2014,450
6	1955,752	53,70617	2009,458
8	1955,492	53,28904	2008,691

SISTEMA B

Erro grosseiro de 500 na
medida 10-fluxos de po-
tência ativa

***** INJECCOES *****							
M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOR,AT.	R,NOR,RT.
1	8	.29E-03	.29E-03	-.14E-01	.93E-02	.81E+00	.54E+00
2	9	.46E-03	.46E-03	-.78E-02	.80E-02	.38E+00	.37E+00
3	22	.52E-03	.52E-03	-.41E-01	-.20E-01	.18E+01	.89E+00
4	25	.47E-03	.47E-03	-.15E-01	.37E-01	.70E+00	.17E+01
5	27	.40E-03	.40E-03	-.13E-01	.21E-01	.65E+00	.11E+01
6	28	.55E-03	.55E-03	-.15E-01	-.23E-01	.64E+00	.17E+01

***** FLUXOS *****								
M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOR,AT	R,NOR,RT.
1	1	2	.59E-03	.59E-03	-.27E-01	.50E-02	.11E+01	.20E+00
2	2	1	.59E-03	.59E-03	.49E-01	.18E-02	.20E+01	.75E-01
3	1	3	.92E-03	.92E-03	.81E-01	.80E-03	.27E+01	.26E-01
4	3	1	.92E-03	.92E-03	-.15E+00	.11E-01	.49E+01	.38E+00
5	2	4	.94E-03	.94E-03	.13E+00	.37E-01	.41E+01	.12E+01
6	4	2	.94E-03	.94E-03	-.17E+00	.97E-02	.57E+01	.32E+00
7	3	4	.57E-03	.57E-03	.23E-01	-.74E-02	.98E+00	.18E+00
8	4	3	.57E-03	.57E-03	-.26E-01	-.22E-02	.11E+01	.90E+01
9	2	5	.95E-03	.94E-03	.38E+00	.29E-01	.13E+02	.10E+01
10	5	2	.85E-03	.84E-03	.13E+01	-.94E-02	.44E+02	.32E+00
11	2	6	.96E-03	.96E-03	.14E+00	-.14E-01	.46E+01	.45E+00
12	6	2	.96E-03	.96E-03	-.15E+00	.28E-01	.49E+01	.92E+00
13	4	6	.68E-03	.68E-03	.66E-01	.27E-01	.25E+01	.10E+01
14	6	4	.68E-03	.68E-03	-.31E-01	.16E-01	.12E+01	.60E+00
15	5	7	.67E-03	.67E-03	-.26E+00	.30E-01	.10E+02	.12E+01
16	7	5	.67E-03	.67E-03	.31E+00	.49E-02	.12E+02	.19E+00
17	6	7	.68E-03	.68E-03	.19E+00	-.25E-01	.73E+01	.94E+00
18	7	6	.68E-03	.68E-03	-.21E+00	.12E-02	.79E+01	.46E-01
19	6	8	.66E-03	.66E-03	.32E-01	-.18E-01	.12E+01	.70E+00
20	8	6	.66E-03	.66E-03	.21E-01	-.27E-01	.81E+00	.10E+01
21	6	9	.86E-03	.86E-03	-.53E-02	.25E-01	.18E+00	.85E+00
22	9	6	.86E-03	.86E-03	.48E-01	.46E-01	.16E+01	.16E+01
23	6	10	.11E-02	.11E-02	.46E-01	.58E-01	.14E+01	.18E+01
24	10	6	.11E-02	.11E-02	-.33E-01	-.23E-01	.10E+01	.71E+00
25	9	11	.67E-03	.67E-03	.13E-01	-.41E-01	.49E+00	.16E+01
26	11	9	.67E-03	.67E-03	.52E-02	-.35E-01	.20E+00	.14E+01
27	9	10	.74E-03	.74E-03	-.25E-01	.77E-02	.92E+00	.28E+00
28	10	9	.74E-03	.74E-03	-.15E-02	.26E-01	.53E-01	.94E+00
29	4	12	.78E-03	.78E-03	.46E-02	-.15E-01	.16E+00	.55E+00
30	12	4	.78E-03	.78E-03	-.50E-01	-.27E-01	.18E+01	.96E+00
31	12	13	.56E-03	.56E-03	.50E-02	-.22E-01	.21E+00	.92E+00
32	13	12	.56E-03	.56E-03	.52E-02	-.23E-01	.22E+00	.95E+00
33	12	14	.73E-03	.73E-03	-.24E-01	.15E-01	.89E+00	.56E+00
34	14	12	.73E-03	.73E-03	-.28E-01	-.37E-01	.10E+01	.14E+01
35	12	15	.67E-03	.67E-03	.20E-01	-.17E-01	.78E+00	.64E+00
36	15	12	.67E-03	.67E-03	.12E-01	-.17E-01	.47E+00	.65E+00
37	12	16	.74E-03	.74E-03	.27E-01	-.35E-02	.10E+01	.13E+00
38	16	12	.74E-03	.74E-03	-.93E-02	.25E-01	.34E+00	.91E+00
39	14	15	.90E-03	.90E-03	-.16E-01	.72E-01	.52E+00	.24E+01
40	15	14	.90E-03	.90E-03	-.21E-01	-.10E-01	.70E+00	.33E+00
41	16	17	.72E-03	.72E-03	.45E-02	-.69E-02	.32E+00	.26E+00
42	17	16	.72E-03	.72E-03	-.25E-01	.19E-01	.94E+00	.72E+00
43	15	18	.73E-03	.73E-03	.19E-01	-.13E-01	.69E+00	.44E+00
44	18	15	.73E-03	.73E-03	.27E-01	-.10E-01	.99E+00	.37E+00
45	18	19	.62E-03	.62E-03	.33E-03	-.29E-01	.13E-01	.12E+01
46	19	18	.62E-03	.62E-03	.93E-02	-.28E-01	.21E+00	.11E+01
47	19	20	.57E-03	.57E-03	.41E-01	-.15E-02	.17E+01	.61E+01
48	20	19	.57E-03	.57E-03	.94E-01	-.81E-03	.18E+01	.34E-01
49	19	20	.71E-03	.71E-03	.18E-01	.11E-01	.65E+00	.62E+00
50	20	10	.71E-03	.71E-03	.95E-02	.93E-02	.36E+00	.36E+00
51	10	17	.58E-03	.58E-03	-.12E-01	.35E-02	.49E+00	.14E+00
52	17	10	.58E-03	.58E-03	.24E-02	-.77E-02	.10E+00	.32E+00
53	10	21	.69E-03	.69E-03	.30E-01	.28E-01	.11E+01	.11E+01
54	21	10	.69E-03	.69E-03	.21E-01	.61E-02	.80E+00	.23E+00
55	13	22	.10E-02	.10E-02	-.59E-01	-.49E-01	.19E+01	.16E+01
56	22	10	.10E-02	.10E-02	.87E-02	.25E-01	.27E+00	.78E+00
57	21	22	.73E-03	.73E-03	-.14E-01	-.23E-01	.52E+00	.83E+00
58	22	21	.73E-03	.73E-03	.25E-01	-.79E-02	.81E+00	.29E+00
59	15	23	.68E-03	.68E-03	.13E-01	-.50E-02	.49E+00	.19E+00
60	23	15	.68E-03	.68E-03	-.93E-02	-.45E-01	.37E+00	.17E+01
61	22	24	.79E-03	.79E-03	.60E-02	.11E-01	.21E+00	.39E+00
62	24	22	.79E-03	.79E-03	-.24E-01	.48E-03	.65E+00	.17E-01
63	23	24	.78E-03	.78E-03	.60E-01	.18E-01	.22E+01	.63E+00
64	24	23	.78E-03	.78E-03	.31E-01	-.35E-01	.11E+01	.13E+01
65	24	25	.86E-03	.86E-03	-.25E-02	.56E-01	.87E-01	.19E+01
66	25	24	.86E-03	.86E-03	-.65E-02	-.27E-01	.22E+00	.82E+00
67	25	26	.67E-03	.67E-03	.17E-01	-.41E-01	.64E+00	.16E+01
68	26	25	.67E-03	.67E-03	.15E-02	-.48E-03	.59E+00	.18E+00
69	25	27	.84E-03	.84E-03	.47E-01	-.11E-01	.58E+00	.39E+00
70	27	25	.84E-03	.84E-03	.29E-02	-.24E-01	.29E-01	.77E+00
71	28	27	.87E-03	.87E-03	-.23E-01	-.34E-02	.78E+00	.29E+00
72	27	28	.87E-03	.87E-03	-.64E-02	-.11E-01	.22E+00	.46E+00
73	27	29	.81E-03	.81E-03	.58E-01	-.50E-01	.20E+01	.17E+01
74	29	27	.81E-03	.81E-03	.31E-01	-.40E-01	.11E+01	.14E+01
75	27	30	.90E-03	.90E-03	.18E-01	-.45E-01	.34E+00	.15E+01
76	30	27	.90E-03	.90E-03	.14E-01	-.77E-02	.46E+00	.24E+00
77	29	30	.71E-03	.71E-03	-.37E-02	-.11E-01	.14E+00	.42E+00
78	30	29	.71E-03	.71E-03	-.16E-01	-.24E-01	.81E+00	.89E+00
79	8	28	.11E-02	.11E-02	-.43E-01	.27E-01	.13E+01	.83E+00
80	28	8	.11E-02	.11E-02	-.13E-01	-.32E-01	.39E+00	.10E+01
81	6	29	.84E-03	.84E-03	.47E-02	-.64E-01	.46E+00	.19E+01
82	29	8	.84E-03	.84E-03	.12E-02	.17E-01	.44E+00	.57E+00

G₂ = 118

	V	J A	J R	J
0	15511,50		3704,861	19270,16
2	7900,951		61,21119	7964,162
4	7713,991		59,29623	7773,287
6	7713,710		60,18087	7773,911
8	7713,019		59,69458	7774,717

SISTEMA B

Erro grosseiro de 1000
na medida 10-fluxo de po
tência ativa

***** INJECCOES *****

M	K	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	6	.29E-03	.29E-03	-.10E-01	.13E-01	.11E+01	.77E+00
2	9	.46E-03	.46E-03	-.80E-02	.89E-02	.19E+00	.41E+00
3	22	.52E-03	.52E-03	-.42E-01	-.20E-01	.18E+01	.89E+00
4	25	.47E-03	.47E-03	-.15E-01	.37E-01	.71E+00	.17E+01
5	27	.40E-03	.40E-03	-.13E-01	.22E-01	.66E+00	.11E+01
6	28	.55E-03	.55E-03	-.16E-01	-.27E-01	.71E+00	.12E+01

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT.	R.NOR.RT.
1	1	2	.59E-03	.59E-03	-.60E-01	.10E-02	.27E+01	.42E-01
2	2	1	.59E-03	.59E-03	.84E-01	-.14E-02	.35E+01	.59E-01
3	1	3	.92E-03	.92E-03	.20E+00	.15E-01	.63E+01	.49E+00
4	3	1	.92E-03	.92E-03	-.26E+00	.23E-01	.95E+01	.77E+00
5	2	4	.94E-03	.94E-03	.36E+00	.34E-01	.86E+01	.11E+01
6	4	2	.94E-03	.94E-03	-.31E+00	.21E-01	.10E+02	.76E+00
7	3	4	.57E-03	.57E-03	.48E-01	-.34E-02	.20E+01	.14E+00
8	4	3	.57E-03	.57E-03	-.49E-01	-.16E-02	.21E+01	.65E-01
9	2	5	.85E-03	.84E-03	.77E+00	.65E-01	.26E+02	.22E+01
10	5	2	.85E-03	.84E-03	.26E+01	-.14E-01	.88E+02	.49E+00
11	2	6	.96E-03	.96E-03	.29E+00	-.11E-01	.94E+01	.43E+00
12	6	2	.96E-03	.96E-03	-.30E+00	.47E-01	.96E+01	.15E+01
13	4	6	.68E-03	.68E-03	.12E+00	.29E-01	.46E+01	.11E+01
14	6	4	.68E-03	.68E-03	-.83E-01	.17E-01	.32E+01	.64E+00
15	5	7	.67E-03	.67E-03	-.54E+00	.36E-01	.21E+02	.14E+01
16	7	5	.67E-03	.67E-03	.58E+00	-.15E-01	.23E+02	.59E+00
17	6	7	.68E-03	.68E-03	.38E+00	-.35E-01	.14E+02	.13E+01
18	7	6	.68E-03	.68E-03	-.39E+00	.12E-01	.15E+02	.47E+00
19	6	8	.66E-03	.66E-03	.34E-01	-.20E-01	.13E+01	.70E+00
20	6	6	.60E-03	.60E-03	.18E-01	-.25E-01	.70E+00	.96E+00
21	6	9	.86E-03	.86E-03	-.53E-02	.21E-01	.18E+00	.79E+00
22	9	6	.86E-03	.86E-03	.48E-01	-.48E-01	.16E+01	.16E+01
23	6	10	.11E-02	.11E-02	.45E-01	.67E-01	.14E+01	.17E+01
24	10	6	.11E-02	.11E-02	-.33E-01	-.22E-01	.19E+01	.68E+00
25	9	11	.67E-03	.67E-03	.13E-01	-.42E-01	.51E+00	.16E+01
26	11	9	.67E-03	.67E-03	.48E-02	-.34E-01	.19E+00	.13E+01
27	9	10	.74E-03	.74E-03	-.26E-01	.72E-02	.96E+00	.27E+00
28	10	9	.74E-03	.74E-03	.51E-01	.26E-01	.19E+01	.96E+00
29	4	12	.78E-03	.78E-03	.94E-02	-.13E-01	.34E+00	.54E+00
30	12	4	.78E-03	.78E-03	-.35E-01	-.26E-01	.20E+01	.92E+00
31	12	13	.56E-03	.56E-03	.50E-02	-.22E-01	.21E+00	.92E+00
32	13	12	.56E-03	.56E-03	.52E-02	-.22E-01	.22E+00	.95E+00
33	12	14	.73E-03	.73E-03	-.24E-01	.15E-01	.88E+00	.56E+00
34	14	12	.73E-03	.73E-03	-.23E-01	-.37E-01	.10E+01	.14E+01
35	12	15	.67E-03	.67E-03	.22E-01	-.16E-01	.84E+00	.61E+00
36	15	12	.67E-03	.67E-03	.11E-01	-.17E-01	.42E+00	.65E+00
37	12	16	.74E-03	.74E-03	.30E-01	-.36E-02	.11E+01	.13E+00
38	16	12	.74E-03	.74E-03	-.12E-01	.25E-01	.44E+00	.91E+00
39	14	15	.90E-03	.90E-03	-.15E-01	.72E-01	.51E+00	.74E+00
40	15	14	.90E-03	.90E-03	-.21E-01	-.10E-01	.71E+00	.35E+00
41	16	17	.72E-03	.72E-03	.11E-01	-.70E-02	.40E+00	.25E+00
42	17	16	.72E-03	.72E-03	-.27E-01	.19E-01	.10E+01	.74E+00
43	15	18	.73E-03	.73E-03	.20E-01	-.12E-01	.75E+00	.45E+00
44	18	15	.73E-03	.73E-03	.25E-01	-.98E-02	.94E+00	.36E+00
45	18	19	.62E-03	.62E-03	.12E-02	-.29E-01	.47E-01	.12E+01
46	19	18	.62E-03	.62E-03	.49E-02	-.29E-01	.18E+00	.11E+01
47	19	20	.67E-03	.67E-03	.42E-01	-.15E-02	.17E+01	.64E-01
48	20	19	.67E-03	.67E-03	.44E-01	-.79E-03	.18E+01	.31E-01
49	10	20	.71E-03	.71E-03	.16E-01	.11E-01	.61E+00	.42E+00
50	20	10	.71E-03	.71E-03	.11E-01	.91E-02	.41E+00	.34E+00
51	10	17	.54E-03	.54E-03	-.13E-01	.35E-02	.53E+00	.15E+00
52	17	10	.58E-03	.58E-03	.33E-02	-.78E-02	.14E+00	.32E+00
53	10	21	.69E-03	.69E-03	.10E-01	.28E-01	.11E+01	.11E+01
54	21	10	.69E-03	.69E-03	.21E-01	.60E-02	.61E+00	.21E+00
55	10	22	.10E-02	.10E-02	-.59E-01	-.49E-01	.19E+01	.15E+01
56	22	10	.10E-02	.10E-02	.68E-02	.25E-01	.28E+00	.78E+00
57	21	22	.73E-03	.73E-03	-.14E-01	-.23E-01	.52E+00	.83E+00
58	22	21	.73E-03	.73E-03	.25E-01	-.79E-02	.92E+00	.29E+00
59	13	23	.68E-03	.68E-03	.14E-01	-.50E-02	.54E+00	.19E+00
60	23	13	.68E-03	.68E-03	-.11E-01	-.45E-01	.41E+00	.17E+01
61	22	24	.79E-03	.79E-03	.55E-02	.11E-01	.20E+00	.39E+00
62	24	22	.79E-03	.79E-03	-.23E-01	.17E-03	.83E+00	.95E-02
63	23	24	.78E-03	.78E-03	.62E-01	.18E-01	.22E+01	.63E+00
64	24	23	.78E-03	.78E-03	.30E-01	-.35E-01	.11E+01	.13E+01
65	24	25	.86E-03	.86E-03	-.18E-02	.56E-01	.61E-01	.19E+01
66	25	24	.86E-03	.86E-03	-.72E-02	-.27E-01	.25E+00	.92E+00
67	25	26	.67E-03	.67E-03	.17E-01	-.41E-01	.65E+00	.16E+01
68	26	25	.67E-03	.67E-03	.15E-02	-.44E-02	.54E-01	.19E+00
69	25	27	.84E-03	.84E-03	.17E-01	-.11E-01	.59E+00	.39E+00
70	27	25	.84E-03	.84E-03	.24E-02	-.23E-01	.64E-01	.79E+00
71	28	27	.87E-03	.87E-03	-.23E-01	-.44E-02	.74E+00	.19E+00
72	27	28	.87E-03	.87E-03	-.53E-02	-.11E-01	.21E+00	.41E+00
73	27	29	.81E-03	.81E-03	.74E-01	-.59E-01	.29E+01	.14E+01
74	29	27	.81E-03	.81E-03	.14E-01	-.40E-01	.11E+01	.14E+01
75	27	30	.20E-03	.20E-03	.19E-01	-.45E-01	.34E+00	.15E+01
76	30	27	.20E-03	.20E-03	.14E-01	-.72E-02	.49E+00	.24E+00
77	29	30	.71E-03	.71E-03	-.37E-02	-.11E-01	.24E+00	.42E+00
78	30	29	.71E-03	.71E-03	.19E-01	-.34E-01	.61E+00	.34E+00
79	8	29	.11E-02	.11E-02	-.43E-01	.27E-01	.13E+01	.84E+00
80	29	8	.11E-02	.11E-02	-.11E-01	-.13E-01	.69E+00	.14E+00
81	8	30	.84E-03	.84E-03	.63E-02	-.55E-02	.74E+00	.14E+00
82	30	8	.84E-03	.84E-03	.24E-02	.17E-01	.84E+00	.44E+00

$$G_L = 118$$

SISTEMA B

Erro grosseiro de 200 na
medida 1-injeção de po-
tência ativa

$$G_2 = 118$$

		V	J A	J R	J
		0	10704,21	3708,861	14411,07
		2	117,1903	59,90196	177,0925
		4	145,0519	53,17977	198,2317
		6	139,6272	51,18891	190,8161
		8	139,3282	53,72015	193,0483

***** INJEÇÕES *****									
M	K	VAR.AT.	VAR. RT.	R.AT.	R. RT.	R.NOR.AT.	R.NOR. RT.		
1	6	.29E-03	.29E-03	.17E+00	.58E-03	.98E+01	.34E-01		
2	9	.46E-03	.46E-03	.29E+01	.49E-02	.13E+01	.23E+00		
3	21	.52E-03	.52E-03	.39E+01	.21E-01	.17E+01	.93E+00		
4	25	.47E-03	.47E-03	.14E+01	.37E-01	.65E+00	.17E+01		
5	27	.40E-03	.40E-03	.54E-02	.20E-01	.27E+00	.99E+00		
6	28	.55E-03	.55E-03	.28E-01	.31E-01	.12E+01	.13E-01		

***** FLUXOS *****									
M	K	L	VAR.AT.	VAR. RT.	R.AT.	R. RT.	R.NOR.AT.	R.NOR. RT.	
1	1	2	.59E-03	.59E-03	.61E-02	.82E-02	.26E+00	.34E+00	
2	2	1	.59E-03	.59E-03	.18E-01	.58E-02	.74E+00	.20E+00	
3	1	3	.92E-03	.92E-03	.20E-01	.14E-01	.67E+00	.42E+00	
4	3	1	.92E-03	.92E-03	.53E-01	.15E-02	.18E+01	.50E-01	
5	2	4	.94E-03	.94E-03	.40E-02	.38E-01	.13E+00	.12E+01	
6	4	2	.94E-03	.94E-03	.58E-01	.56E-02	.19E+01	.18E+00	
7	3	4	.57E-03	.57E-03	.23E-02	.50E-02	.98E-01	.21E+00	
8	4	3	.57E-03	.57E-03	.49E-02	.28E-02	.21E+00	.12E+00	
9	2	5	.85E-03	.85E-03	.34E-01	.37E-01	.82E+00	.13E+01	
10	5	2	.85E-03	.85E-03	.14E-01	.13E-01	.49E+00	.11E+01	
11	2	6	.96E-03	.96E-03	.12E-01	.16E-01	.10E+01	.92E+00	
12	6	2	.96E-03	.96E-03	.49E-01	.12E-01	.16E+01	.40E+00	
13	4	6	.68E-03	.68E-03	.11E+00	.24E-01	.44E+01	.94E+00	
14	6	4	.68E-03	.68E-03	.78E-01	.20E-01	.30E+01	.78E+00	
15	5	7	.67E-03	.67E-03	.22E-01	.15E-01	.84E+00	.58E+00	
16	7	5	.67E-03	.67E-03	.28E-01	.17E-01	.11E+01	.66E+00	
17	6	7	.68E-03	.68E-03	.91E-01	.18E-01	.35E+01	.67E+00	
18	7	6	.68E-03	.68E-03	.73E-01	.18E-01	.28E+01	.69E+00	
19	6	8	.66E-03	.66E-03	.64E-01	.14E-01	.25E+01	.58E+00	
20	8	6	.66E-03	.66E-03	.12E+00	.34E-01	.45E+01	.13E+01	
21	6	9	.86E-03	.86E-03	.76E-01	.19E-01	.26E+01	.64E+00	
22	9	6	.86E-03	.86E-03	.12E+00	.44E-01	.40E+01	.15E+01	
23	6	10	.11E-02	.11E-02	.17E-01	.54E-01	.51E+00	.17E+01	
24	10	6	.11E-02	.11E-02	.45E-02	.25E-01	.14E+00	.77E+00	
25	9	14	.67E-03	.67E-03	.56E-02	.40E-01	.22E+00	.15E+01	
26	11	9	.67E-03	.67E-03	.24E-01	.37E-01	.91E+00	.14E+01	
27	9	10	.74E-03	.74E-03	.41E-01	.65E-02	.15E+01	.24E+00	
28	10	9	.74E-03	.74E-03	.15E-01	.26E-01	.54E+00	.95E+00	
29	4	12	.78E-03	.78E-03	.36E-01	.14E-01	.94E+00	.46E+00	
30	12	4	.78E-03	.78E-03	.18E-01	.37E-01	.68E+00	.13E+01	
31	12	11	.56E-03	.56E-03	.50E-02	.23E-01	.21E+00	.92E+00	
32	13	12	.56E-03	.56E-03	.52E-02	.23E-01	.22E+00	.98E+00	
33	12	14	.73E-03	.73E-03	.26E-01	.16E-01	.96E+00	.59E+00	
34	14	12	.73E-03	.73E-03	.26E-01	.18E-01	.96E+00	.14E+01	
35	12	15	.67E-03	.67E-03	.12E-01	.15E-01	.44E+00	.58E+00	
36	15	12	.67E-03	.67E-03	.21E-01	.19E-01	.80E+00	.72E+00	
37	12	16	.74E-03	.74E-03	.12E-01	.85E-01	.46E+00	.31E-01	
38	16	12	.74E-03	.74E-03	.55E-02	.22E-01	.20E+00	.79E+00	
39	14	15	.90E-03	.90E-03	.18E-01	.71E-01	.60E+00	.24E+01	
40	15	14	.90E-03	.90E-03	.19E-01	.11E-01	.62E+00	.38E+00	
41	16	17	.72E-03	.72E-03	.53E-02	.44E-02	.20E+00	.16E+00	
42	17	16	.72E-03	.72E-03	.11E-01	.17E-01	.43E+00	.62E+00	
43	15	18	.73E-03	.73E-03	.94E-02	.10E-01	.35E+00	.37E+00	
44	18	15	.73E-03	.73E-03	.36E-01	.12E-01	.13E+01	.45E+00	
45	18	19	.62E-03	.62E-03	.51E-02	.28E-01	.21E+00	.11E+01	
46	19	18	.62E-03	.62E-03	.11E-01	.29E-01	.91E+00	.12E+01	
47	19	20	.57E-03	.57E-03	.38E-01	.82E-03	.16E+01	.34E-01	
48	20	19	.57E-03	.57E-03	.47E-01	.14E-02	.20E+01	.61E-01	
49	20	20	.71E-03	.71E-03	.26E-01	.94E-02	.94E+00	.35E+00	
50	20	19	.71E-03	.71E-03	.99E-03	.11E-01	.37E-01	.43E+00	
51	10	17	.58E-03	.58E-03	.51E-02	.24E-02	.25E+00	.98E-01	
52	17	19	.58E-03	.58E-03	.44E-02	.65E-02	.14E+00	.27E+00	
53	10	21	.69E-03	.69E-03	.32E-01	.27E-01	.12E+01	.10E+01	
54	21	10	.69E-03	.69E-03	.19E-01	.69E-02	.71E+00	.25E+00	
55	10	22	.10E-02	.10E-02	.57E-01	.50E-01	.18E+01	.16E+01	
56	22	10	.10E-02	.10E-02	.72E-02	.25E-01	.23E+00	.80E+00	
57	21	22	.73E-03	.73E-03	.12E-01	.21E-01	.44E+00	.86E+00	
58	22	21	.73E-03	.73E-03	.23E-01	.72E-02	.84E+00	.27E+00	
59	15	23	.68E-03	.68E-03	.71E-02	.39E-02	.27E+00	.14E+00	
60	23	15	.68E-03	.68E-03	.38E-02	.46E-01	.15E+00	.18E+01	
61	22	24	.79E-03	.79E-03	.12E-01	.88E-02	.43E+00	.31E+00	
62	24	22	.79E-03	.79E-03	.30E-01	.25E-02	.11E+01	.91E-01	
63	23	24	.78E-03	.78E-03	.53E-01	.19E-01	.19E+01	.69E+00	
64	24	23	.78E-03	.78E-03	.38E-01	.37E-01	.14E+01	.13E+01	
65	24	25	.86E-03	.86E-03	.48E-03	.54E-01	.16E-01	.16E+01	
66	25	24	.86E-03	.86E-03	.93E-02	.24E-01	.32E+00	.86E+00	
67	25	26	.67E-03	.67E-03	.19E-01	.91E-01	.62E+00	.15E+01	
68	26	25	.67E-03	.67E-03	.21E-02	.44E-02	.80E-01	.14E+00	
69	25	27	.84E-03	.84E-03	.21E-01	.14E-01	.74E+00	.75E+00	
70	27	25	.84E-03	.84E-03	.19E-02	.21E-01	.65E-01	.73E+00	
71	28	27	.87E-03	.87E-03	.43E-01	.75E-02	.14E+01	.25E+00	
72	27	28	.87E-03	.87E-03	.11E-01	.17E-01	.45E+00	.59E+00	
73	27	29	.81E-03	.81E-03	.92E-01	.19E-01	.14E+01	.17E+01	
74	29	27	.91E-03	.91E-03	.45E-01	.41E-01	.12E+01	.14E+01	
75	27	30	.90E-03	.90E-03	.67E-02	.44E-01	.21E+00	.15E+01	
76	30	27	.90E-03	.90E-03	.17E-01	.30E-02	.56E+00	.27E+00	
77	29	30	.71E-03	.71E-03	.92E-02	.11E-01	.16E+00	.42E+00	
78	30	29	.71E-03	.71E-03	.16E-01	.23E-01	.59E+00	.89E+00	
79	8	28	.11E-02	.11E-02	.42E-01	.27E-01	.13E+01	.82E+00	
80	28	8	.11E-02	.11E-02	.14E-01	.23E-01	.43E+00	.10E+01	
81	6	28	.84E-03	.84E-03	.59E-01	.52E-01	.21E+01	.10E+01	
82	28	6	.84E-03	.84E-03	.68E-01	.19E-01	.23E+01	.47E+00	

V	J	J	J
0	12776,47	3700,861	16481,73
2	855,9672	62,22228	919,1894
4	696,4373	54,59970	741,0365
6	680,7434	55,72265	735,4674
8	680,3972	55,20712	735,6043

SISTEMA B

Erro grosseiro de 500
na medida l-injeção de
potência ativa

$$G_L = 118$$

***** INJECCOES *****							
M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NQR,AT.	R,NQR,RT.
1	5	.29E+03	.29E+03	.43E+00	-.52E+02	.25E+02	.33E+00
2	9	.46E+03	.46E+03	.81E+01	.10E+02	.18E+01	.49E+01
3	22	.52E+03	.52E+03	.16E+01	-.23E+01	.16E+01	.10E+01
4	25	.47E+03	.47E+03	.11E+01	.37E+01	.60E+00	.17E+01
5	27	.40E+03	.40E+03	.53E+02	.18E+01	.26E+00	.67E+00
6	28	.55E+03	.55E+03	.90E+01	-.14E+01	.18E+01	.15E+01

***** FLUXUS *****								
M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NQR,AT	R,NQR,RT.
1	1	2	.59E+03	.59E+03	-.33E+02	.70E+02	.13E+00	.39E+00
2	2	1	.59E+03	.59E+03	.27E+01	.42E+02	.11E+01	.17E+00
3	1	1	.92E+03	.92E+03	.77E+02	-.73E+02	.25E+00	.24E+00
4	3	1	.92E+03	.92E+03	-.83E+01	.80E+03	.26E+01	.27E+01
5	2	4	.94E+03	.94E+03	.38E+01	.40E+01	.12E+01	.13E+01
6	4	2	.94E+03	.94E+03	-.90E+01	-.27E+02	.29E+01	.87E+01
7	3	4	.57E+03	.57E+03	.81E+02	-.46E+02	.14E+00	.19E+00
8	4	1	.57E+03	.57E+03	-.11E+01	-.29E+02	.44E+00	.12E+00
9	2	5	.85E+03	.84E+03	-.20E+01	-.38E+01	.68E+00	.13E+01
10	5	2	.85E+03	.84E+03	-.18E+01	-.31E+01	.63E+00	.11E+01
11	2	5	.96E+03	.96E+03	.10E+00	-.19E+01	.33E+01	.43E+00
12	6	2	.96E+03	.96E+03	-.12E+00	.22E+01	.37E+01	.70E+00
13	4	6	.68E+03	.68E+03	.27E+00	.23E+01	.10E+02	.89E+00
14	6	4	.68E+03	.68E+03	-.23E+00	.24E+01	.80E+01	.11E+01
15	5	7	.67E+03	.67E+03	.24E+01	.15E+01	.94E+00	.56E+00
16	7	5	.67E+03	.67E+03	.25E+01	.17E+01	.96E+00	.67E+00
17	6	7	.68E+03	.68E+03	-.23E+00	-.19E+01	.86E+01	.74E+00
18	7	6	.68E+03	.68E+03	.20E+00	-.26E+01	.78E+01	.10E+01
19	6	8	.66E+03	.66E+03	-.20E+00	-.14E+01	.79E+01	.56E+00
20	8	6	.66E+03	.66E+03	.25E+00	-.39E+01	.99E+01	.15E+01
21	6	9	.86E+03	.86E+03	-.18E+00	.94E+02	.52E+01	.16E+00
22	9	6	.86E+03	.86E+03	.22E+00	.40E+01	.76E+01	.13E+01
23	6	10	.11E+02	.11E+02	-.27E+01	.47E+01	.82E+00	.14E+01
24	10	6	.11E+02	.11E+02	.39E+01	-.28E+01	.12E+01	.65E+00
25	9	11	.67E+03	.67E+03	-.33E+01	-.38E+01	.13E+01	.15E+01
26	11	9	.67E+03	.67E+03	.51E+01	-.39E+01	.20E+01	.15E+01
27	9	10	.74E+03	.74E+03	-.67E+01	.41E+02	.25E+01	.16E+00
28	10	9	.74E+03	.74E+03	.90E+01	.26E+01	.15E+01	.97E+00
29	4	12	.78E+03	.78E+03	-.65E+01	-.65E+02	.23E+01	.31E+00
30	12	4	.78E+03	.78E+03	.20E+01	-.50E+01	.72E+00	.19E+01
31	12	13	.56E+03	.56E+03	.50E+02	-.22E+01	.21E+00	.92E+00
32	13	12	.56E+03	.56E+03	.52E+02	-.23E+01	.22E+00	.95E+00
33	12	14	.73E+03	.73E+03	-.27E+01	.19E+01	.18E+01	.70E+00
34	14	12	.73E+03	.73E+03	-.25E+01	-.41E+01	.91E+00	.15E+01
35	12	15	.67E+03	.67E+03	-.44E+03	-.15E+01	.17E+01	.58E+00
36	15	12	.67E+03	.67E+03	.32E+01	-.20E+01	.13E+01	.76E+00
37	12	16	.74E+03	.74E+03	-.67E+02	.26E+02	.25E+00	.37E+01
38	16	12	.74E+03	.74E+03	.24E+01	.18E+01	.89E+00	.64E+00
39	14	15	.90E+03	.90E+03	-.23E+01	.72E+01	.78E+00	.24E+01
40	15	14	.90E+03	.90E+03	-.13E+01	-.11E+01	.44E+00	.35E+00
41	16	17	.72E+03	.72E+03	-.23E+01	-.92E+01	.85E+00	.34E+01
42	17	16	.72E+03	.72E+03	.59E+02	.13E+01	.22E+00	.49E+00
43	15	18	.73E+03	.73E+03	-.23E+02	-.71E+02	.85E+01	.26E+00
44	18	15	.73E+03	.73E+03	.47E+01	-.16E+01	.18E+01	.57E+00
45	18	19	.62E+03	.62E+03	-.12E+01	-.26E+01	.48E+00	.19E+01
46	19	18	.62E+03	.62E+03	.18E+01	-.31E+01	.70E+00	.12E+01
47	19	20	.57E+03	.57E+03	.35E+01	.21E+01	.15E+01	.87E+02
48	20	19	.57E+03	.57E+03	.50E+01	-.25E+02	.21E+01	.10E+00
49	10	20	.71E+03	.71E+03	.37E+01	.67E+02	.14E+01	.25E+00
50	20	10	.71E+03	.71E+03	-.97E+02	.14E+01	.16E+00	.55E+00
51	10	17	.58E+03	.58E+03	.13E+02	.86E+03	.53E+01	.15E+01
52	17	10	.58E+03	.58E+03	-.11E+01	-.50E+02	.44E+00	.21E+00
53	10	21	.69E+03	.69E+03	.36E+01	.26E+01	.14E+01	.98E+00
54	21	10	.69E+03	.69E+03	.15E+01	.87E+02	.58E+00	.31E+00
55	10	22	.10E+02	.10E+02	-.55E+01	-.51E+01	.17E+01	.16E+01
56	22	10	.10E+02	.10E+02	.51E+02	.24E+01	.16E+00	.82E+00
57	21	22	.73E+03	.73E+03	-.22E+02	-.24E+01	.34E+00	.89E+00
58	22	21	.73E+03	.73E+03	.20E+01	-.54E+02	.73E+00	.24E+00
59	15	23	.64E+03	.64E+03	.10E+03	-.21E+02	.33E+02	.80E+01
60	23	15	.64E+03	.64E+03	.31E+02	-.48E+01	.12E+00	.18E+01
61	22	24	.79E+03	.79E+03	.20E+01	.52E+02	.70E+00	.14E+00
62	24	22	.79E+03	.79E+03	-.37E+01	.64E+02	.13E+01	.22E+00
63	23	24	.74E+03	.74E+03	.94E+01	.22E+01	.16E+01	.71E+00
64	24	23	.74E+03	.74E+03	.48E+01	-.33E+01	.17E+01	.14E+01
65	24	25	.86E+03	.86E+03	.64E+02	.51E+01	.22E+00	.17E+01
66	25	24	.86E+03	.86E+03	-.15E+01	-.23E+01	.52E+00	.79E+00
67	25	26	.67E+03	.67E+03	.15E+01	-.41E+01	.59E+00	.16E+01
68	26	25	.67E+03	.67E+03	.30E+02	-.43E+02	.12E+00	.17E+00
69	25	27	.84E+03	.84E+03	.29E+01	-.19E+01	.19E+01	.53E+00
70	27	25	.84E+03	.84E+03	-.19E+01	-.19E+01	.35E+00	.56E+00
71	28	27	.87E+03	.87E+03	-.72E+01	-.70E+02	.25E+01	.24E+00
72	27	28	.87E+03	.87E+03	.43E+01	-.23E+01	.15E+01	.74E+00
73	27	29	.81E+03	.81E+03	.45E+01	-.38E+01	.16E+01	.17E+01
74	29	27	.81E+03	.81E+03	.41E+01	-.43E+01	.14E+01	.15E+01
75	27	30	.99E+03	.99E+03	.21E+02	-.44E+01	.12E+01	.15E+01
76	30	27	.99E+03	.99E+03	.21E+01	-.87E+01	.71E+00	.29E+00
77	29	30	.71E+03	.71E+03	-.14E+02	-.11E+01	.13E+00	.92E+00
78	30	29	.71E+03	.71E+03	-.15E+01	-.24E+01	.57E+00	.88E+00
79	30	28	.11E+02	.11E+02	-.45E+01	.21E+01	.13E+01	.82E+00
80	28	30	.11E+02	.11E+02	-.15E+01	-.33E+01	.45E+00	.19E+01
81	30	28	.84E+03	.84E+03	-.15E+00	-.52E+01	.54E+00	.16E+01
82	28	30	.84E+03	.84E+03	.16E+00	.10E+01	.55E+01	.35E+00

SISTEMA B

Erro grosseiro de 20σ

nas medidas :

24 - fluxo de potência ati

va

29 - fluxo de potência ati

va

e

69 - fluxo de potencia ati

va

G₂ = 118

		V		J A		J R		J	
		0	11726.25			1704.961	15411.17		
		2	1217.781			61.52091	1281.397		
		4	1031.243			58.76094	1112.009		
		6	1047.971			57.24727	1107.218		
		8	1047.953			59.00919	1106.953		
***** INJECCOES *****									
M	K	VAR.AT.	VAR.HT.	R.AT.	R.HT.	R.NOR.AT.	R.NOR.HT.		
1	6	.29E-03	.29E-03	.15E-02	.83E-02	.90E+01	.49E+00		
2	9	.46E-03	.46E-03	.81E-02	.45E-02	.18E+00	.21E+00		
3	22	.52E-03	.52E-03	.39E-01	.19E-01	.17E+01	.83E+00		
4	25	.47E-03	.47E-03	.14E+00	.35E-01	.87E+01	.16E+01		
5	27	.40E-03	.40E-03	.86E-01	.18E-01	.43E+01	.48E+00		
6	28	.55E-03	.55E-03	.22E-01	.33E-01	.95E+00	.14E+01		
***** FLUXOS *****									
K	L	VAR.AT.	VAR.HT.	R.AT.	R.HT.	R.NOR.AT.	R.NOR.HT.		
1	2	.59E-03	.59E-03	.11E-01	.92E-02	.47E+00	.38E+00		
2	1	.59E-03	.59E-03	.13E-01	.48E-02	.54E+00	.20E+00		
1	3	.92E-03	.92E-03	.35E-01	.10E-01	.12E+01	.52E+00		
3	1	.92E-03	.92E-03	.40E-01	.27E-02	.13E+01	.89E+01		
2	4	.94E-03	.94E-03	.14E-01	.37E-01	.46E+00	.12E+01		
4	2	.94E-03	.94E-03	.40E-01	.78E-02	.13E+01	.23E+00		
3	4	.57E-03	.57E-03	.72E-03	.54E-02	.30E+01	.72E+00		
4	3	.57E-03	.57E-03	.19E-02	.27E-02	.81E-01	.11E+00		
2	5	.85E-03	.85E-03	.30E-01	.37E-01	.10E+01	.13E+01		
5	2	.85E-03	.85E-03	.92E-02	.34E-01	.32E+00	.12E+01		
2	6	.96E-03	.96E-03	.17E-01	.17E-01	.56E+00	.56E+00		
6	2	.96E-03	.96E-03	.30E-02	.42E-02	.96E+01	.13E+00		
4	6	.68E-03	.68E-03	.16E-01	.38E-01	.62E+00	.12E+01		
6	4	.68E-03	.68E-03	.50E-01	.76E-02	.19E+01	.29E+00		
5	7	.67E-03	.67E-03	.19E-01	.18E-01	.72E+00	.60E+00		
7	5	.67E-03	.67E-03	.31E-01	.17E-01	.12E+01	.64E+00		
6	7	.68E-03	.68E-03	.47E-02	.19E-01	.18E+00	.73E+00		
7	6	.68E-03	.68E-03	.11E-01	.12E-01	.44E+00	.44E+00		
6	8	.66E-03	.66E-03	.23E-01	.17E-01	.91E+00	.68E+00		
8	6	.66E-03	.66E-03	.29E-01	.28E-01	.11E+01	.11E+01		
6	9	.86E-03	.86E-03	.43E-02	.44E-01	.15E+00	.15E+01		
9	6	.86E-03	.86E-03	.38E-01	.29E-01	.13E+01	.97E+00		
6	10	.11E-02	.11E-02	.51E-01	.87E-01	.15E+01	.21E+01		
10	6	.11E-02	.11E-02	.63E+00	.32E-01	.19E+02	.97E+00		
9	11	.67E-03	.67E-03	.13E-01	.40E-01	.50E+00	.15E+01		
11	9	.67E-03	.67E-03	.50E-02	.37E-01	.19E+00	.14E+01		
9	10	.74E-03	.74E-03	.16E-01	.20E-01	.57E+00	.74E+00		
10	9	.74E-03	.74E-03	.11E-01	.14E-01	.39E+00	.52E+00		
4	12	.78E-03	.78E-03	.53E+00	.60E-01	.19E+02	.21E+01		
12	4	.74E-03	.78E-03	.94E-01	.20E-01	.34E+01	.70E+00		
12	13	.56E-03	.56E-03	.50E-02	.24E-01	.21E+00	.93E+00		
13	12	.56E-03	.56E-03	.52E-02	.23E-01	.22E+00	.95E+00		
12	14	.73E-03	.73E-03	.12E-01	.11E-01	.44E+00	.49E+00		
14	12	.73E-03	.73E-03	.40E-01	.35E-01	.15E+01	.13E+01		
12	15	.67E-03	.67E-03	.78E-01	.24E-01	.30E+01	.93E+00		
15	12	.67E-03	.67E-03	.84E-01	.75E-02	.17E+01	.29E+00		
12	16	.74E-03	.74E-03	.11E+00	.14E-01	.41E+01	.63E+00		
16	12	.74E-03	.74E-03	.94E-01	.38E-01	.34E+01	.13E+01		
14	15	.90E-03	.90E-03	.10E-02	.64E-01	.33E+01	.21E+01		
15	14	.90E-03	.90E-03	.34E-01	.27E-02	.12E+01	.91E+01		
16	17	.72E-03	.72E-03	.87E-01	.18E-01	.32E+01	.65E+00		
17	16	.72E-03	.72E-03	.10E+00	.29E-01	.39E+01	.11E+01		
15	18	.73E-03	.73E-03	.70E-01	.20E-01	.26E+01	.72E+00		
18	15	.73E-03	.73E-03	.24E-01	.11E-02	.89E+00	.51E+01		
18	19	.62E-03	.62E-03	.30E-01	.34E-01	.12E+01	.14E+01		
19	18	.62E-03	.62E-03	.25E-01	.23E-01	.10E+01	.92E+00		
19	20	.57E-03	.57E-03	.57E-01	.40E-02	.24E+01	.17E+00		
20	19	.57E-03	.57E-03	.28E-01	.13E-02	.13E+01	.68E+01		
10	20	.71E-03	.71E-03	.30E-01	.17E-01	.11E+01	.65E+00		
20	10	.71E-03	.71E-03	.56E-01	.33E-01	.21E+01	.12E+01		
10	17	.58E-03	.58E-03	.45E-01	.76E-02	.19E+01	.32E+00		
17	10	.58E-03	.58E-03	.38E-01	.12E-01	.15E+01	.51E+00		
10	21	.69E-03	.69E-03	.33E-01	.30E-01	.11E+01	.11E+01		
21	10	.69E-03	.69E-03	.18E-01	.38E-02	.68E+00	.15E+00		
10	22	.10E-02	.10E-02	.57E-01	.48E-01	.18E+01	.15E+01		
22	10	.10E-02	.10E-02	.67E-02	.24E-01	.21E+00	.75E+00		
21	22	.73E-03	.73E-03	.11E-01	.20E-01	.41E+00	.76E+00		
22	21	.73E-03	.73E-03	.22E-01	.10E-01	.81E+00	.37E+00		
15	23	.68E-03	.68E-03	.61E-01	.94E-02	.24E+01	.38E+00		
23	15	.68E-03	.68E-03	.59E-01	.39E-01	.22E+01	.15E+01		
22	24	.79E-03	.79E-03	.14E-01	.16E-01	.49E+00	.58E+00		
24	22	.79E-03	.79E-03	.31E-01	.43E-02	.11E+01	.15E+00		
24	24	.78E-03	.78E-03	.12E+00	.10E-01	.44E+01	.37E+00		
24	23	.78E-03	.78E-03	.33E-01	.29E-01	.12E+01	.10E+01		
24	25	.86E-03	.86E-03	.34E-01	.59E-01	.12E+01	.20E+01		
25	24	.86E-03	.86E-03	.44E-01	.30E-01	.15E+01	.10E+01		
25	26	.67E-03	.67E-03	.82E-01	.42E-01	.31E+01	.16E+01		
26	25	.67E-03	.67E-03	.65E-01	.81E-02	.25E+01	.23E+00		
25	27	.84E-03	.84E-03	.93E+00	.40E-02	.19E+02	.31E+00		
27	25	.84E-03	.84E-03	.16E+00	.24E-01	.55E+01	.84E+00		
28	27	.87E-03	.87E-03	.42E-01	.14E-01	.21E+01	.49E+00		
27	28	.87E-03	.87E-03	.33E-01	.19E-01	.11E+01	.48E+00		
27	29	.81E-03	.81E-03	.17E-02	.50E-01	.60E-01	.14E+01		
29	27	.81E-03	.81E-03	.84E-01	.42E-01	.29E+01	.15E+01		
27	30	.90E-03	.90E-03	.32E-01	.46E-01	.11E+01	.15E+01		
30	27	.90E-03	.90E-03	.54E-01	.10E-01	.18E+01	.14E+00		
29	30	.71E-03	.71E-03	.94E-02	.11E-01	.35E+00	.43E+00		
30	29	.71E-03	.71E-03	.11E-01	.34E-01	.40E+00	.49E+00		
8	28	.11E-02	.11E-02	.49E-01	.26E-01	.15E+01	.88E+00		
28	8	.11E-02	.11E-02	.67E-02	.24E-01	.21E+00	.79E+00		
6	26	.84E-03	.84E-03	.21E-01	.36E-01	.74E+00	.28E+01		
26	6	.84E-03	.84E-03	.39E-01	.19E-01	.10E+01	.46E+00		

SISTEMA B

Erros grosseiros de 500
nas medidas :

20 - fluxo de potência
reativa

30 - fluxo de potência
reativa

70 - fluxo de potência
reativa

$$G_L = 118$$

		V		J A		J R		J	
		0	10122.43			11485.45			11607.89
		2	824.7051			4910.184			4540.889
		4	91.39065			5065.576			5156.986
		6	60.95035			5013.034			5093.991
		8	55.81780			5041.881			5097.731
		10	55.89013			5039.171			5095.067
		12	55.37629			5040.187			5095.363
***** INJECCOES *****									
M	K	VAR.AT.	VAR. RT.	R.AT.	M. RT.	R. NON. AT.	R. NON. RT.		
1	6	.29E-03	.29E-03	.48E-02	.28E+00	.28E+00	.18E-02		
2	9	.46E-03	.46E-03	.14E-01	.39E-01	.64E+00	.18E+01		
3	22	.52E-03	.52E-03	.16E-01	.39E-01	.16E+01	.17E+01		
4	25	.47E-03	.47E-03	.20E-01	.34E+00	.94E+00	.10E+02		
5	27	.40E-03	.40E-03	.17E-01	.21E+00	.86E+00	.19E+02		
6	29	.55E-03	.55E-03	.18E-02	.11E+00	.17E+00	.54E+01		
***** FLUXOS *****									
M	L	VAR.AT.	VAR. RT.	R. AT.	M. RT.	R. NON. AT.	R. NON. RT.		
1	2	.59E-03	.59E-03	.14E-01	.12E-02	.57E+00	.48E-01		
2	1	.59E-03	.59E-03	.11E-01	.13E-01	.44E+00	.55E+00		
3	1	.92E-03	.92E-03	.43E-01	.60E-02	.16E+01	.22E+00		
4	1	.92E-03	.92E-03	.32E-01	.26E-01	.11E+01	.87E+00		
5	2	.94E-03	.94E-03	.19E-01	.64E-01	.54E+00	.21E+01		
6	4	.94E-03	.94E-03	.17E-01	.34E-01	.12E+01	.11E+01		
7	4	.57E-03	.57E-03	.23E-02	.45E-03	.96E-01	.19E-01		
8	3	.57E-03	.57E-03	.35E-03	.75E-02	.15E-01	.31E+00		
9	2	.85E-03	.84E-03	.21E-01	.29E-01	.74E+00	.10E+01		
10	2	.85E-03	.84E-03	.17E-01	.40E-01	.58E+00	.14E+01		
11	2	.96E-03	.96E-03	.11E-01	.60E-01	.36E+00	.19E+01		
12	6	.96E-03	.96E-03	.86E-02	.71E-01	.28E+00	.23E+01		
13	4	.68E-03	.68E-03	.30E-01	.24E+00	.11E+01	.92E+01		
14	4	.68E-03	.68E-03	.43E-02	.20E+00	.17E+00	.77E+01		
15	5	.67E-03	.67E-03	.24E-01	.26E-01	.91E+00	.77E+00		
16	7	.67E-03	.67E-03	.26E-01	.12E-01	.16E+01	.47E+00		
17	6	.68E-03	.68E-03	.10E-01	.15E+00	.38E+00	.59E+01		
18	7	.68E-03	.68E-03	.67E-02	.12E+00	.26E+00	.47E+01		
19	6	.66E-03	.66E-03	.17E-01	.52E+00	.68E+00	.24E+02		
20	8	.66E-03	.66E-03	.29E-01	.98E+00	.11E+01	.38E+02*		
21	6	.86E-03	.86E-03	.34E-01	.39E-01	.11E+01	.13E+01		
22	9	.86E-03	.86E-03	.88E-02	.36E-01	.30E+00	.12E+01		
23	6	.11E-02	.11E-02	.65E-01	.74E-01	.20E+01	.23E+01		
24	10	.11E-02	.11E-02	.53E-01	.36E-01	.16E+01	.11E+01		
25	9	.67E-03	.67E-03	.16E-01	.56E-01	.61E+00	.22E+01		
26	11	.67E-03	.67E-03	.21E-02	.19E-01	.82E-01	.72E+00		
27	9	.74E-03	.74E-03	.50E-02	.63E-01	.16E+00	.23E+01		
28	10	.74E-03	.74E-03	.31E-01	.26E-01	.12E+01	.95E+00		
29	4	.78E-03	.78E-03	.76E-01	.34E+00	.27E+01	.12E+02		
30	12	.78E-03	.78E-03	.31E-01	.12E+01	.11E+01	.49E+02*		
31	12	.56E-03	.56E-03	.50E-02	.21E-01	.21E+00	.89E+00		
32	13	.56E-03	.56E-03	.52E-02	.22E-01	.22E+00	.92E+00		
33	12	.73E-03	.73E-03	.36E-01	.12E-01	.13E+01	.44E+00		
34	14	.73E-03	.73E-03	.16E-01	.11E-01	.61E+00	.39E+00		
35	12	.67E-03	.67E-03	.56E-02	.15E+00	.21E+00	.60E+01		
36	15	.67E-03	.67E-03	.36E-01	.12E+00	.14E+01	.45E+01		
37	12	.74E-03	.74E-03	.82E-02	.18E+00	.30E+00	.71E+01		
38	16	.74E-03	.74E-03	.22E-01	.21E+00	.79E+00	.75E+01		
39	14	.90E-03	.90E-03	.32E-01	.34E-01	.11E+01	.11E+01		
40	15	.90E-03	.90E-03	.52E-02	.27E-01	.17E+00	.90E+00		
41	16	.72E-03	.72E-03	.24E-01	.18E+00	.89E+00	.66E+01		
42	17	.72E-03	.72E-03	.34E-02	.18E+00	.13E+00	.67E+01		
43	15	.73E-03	.73E-03	.10E-01	.12E+00	.36E+00	.46E+01		
44	18	.73E-03	.73E-03	.53E-01	.97E-01	.20E+01	.36E+01		
45	18	.62E-03	.62E-03	.16E-01	.94E-01	.65E+00	.37E+01		
46	19	.62E-03	.62E-03	.21E-01	.35E-01	.85E+00	.14E+01		
47	19	.57E-03	.57E-03	.33E-01	.33E-01	.14E+01	.14E+01		
48	20	.57E-03	.57E-03	.52E-01	.32E-01	.22E+01	.14E+01		
49	10	.71E-03	.71E-03	.42E-01	.11E+00	.16E+01	.81E+01		
50	20	.71E-03	.71E-03	.15E-01	.89E-01	.57E+00	.33E+01		
51	10	.58E-03	.58E-03	.87E-03	.72E-01	.36E-01	.30E+01		
52	17	.58E-03	.58E-03	.10E-01	.76E-01	.42E+00	.11E+01		
53	10	.69E-03	.69E-03	.35E-01	.96E-02	.13E+01	.36E+00		
54	21	.69E-03	.69E-03	.16E-01	.24E-01	.59E+00	.92E+00		
55	10	.10E-02	.10E-02	.56E-01	.61E-01	.17E+00	.19E+01		
56	22	.10E-02	.10E-02	.54E-02	.38E-01	.17E+00	.11E+01		
57	21	.73E-03	.73E-03	.96E-02	.37E-01	.36E+00	.14E+01		
58	22	.73E-03	.73E-03	.20E-01	.68E-02	.75E+00	.25E+00		
59	15	.68E-03	.68E-03	.80E-02	.13E+00	.30E+00	.48E+01		
60	23	.68E-03	.68E-03	.79E-02	.70E-01	.30E+00	.27E+01		
61	22	.79E-03	.79E-03	.19E-01	.31E-01	.67E+00	.12E+01		
62	24	.79E-03	.79E-03	.37E-01	.40E-01	.13E+01	.18E+01		
63	23	.78E-03	.78E-03	.15E-01	.14E+00	.13E+01	.49E+01		
64	24	.78E-03	.78E-03	.53E-01	.11E+00	.19E+01	.40E+01		
65	24	.86E-03	.86E-03	.12E-01	.66E-01	.40E+00	.23E+01		
66	25	.86E-03	.86E-03	.38E-03	.91E-01	.11E+01	.31E+01		
67	25	.67E-03	.67E-03	.15E-01	.19E+00	.57E+00	.75E+01		
68	26	.67E-03	.67E-03	.51E-02	.14E+00	.20E+00	.52E+01		
69	25	.84E-03	.84E-03	.67E-02	.33E+00	.73E+00	.11E+02		
70	27	.84E-03	.84E-03	.35E-02	.11E+01	.12E+00	.44E+02*		
71	28	.87E-03	.87E-03	.23E-01	.70E-01	.76E+00	.24E+01		
72	27	.87E-03	.87E-03	.61E-02	.91E-01	.21E+00	.11E+01		
73	27	.81E-03	.81E-03	.56E-01	.77E-01	.20E+01	.27E+01		
74	29	.81E-03	.81E-03	.39E-01	.17E+00	.10E+01	.57E+01		
75	27	.90E-03	.90E-03	.12E-01	.51E-01	.34E+00	.17E+01		
76	30	.90E-03	.90E-03	.11E-01	.11E+00	.36E+00	.13E+01		
77	29	.71E-03	.71E-03	.36E-02	.24E-02	.13E+00	.87E-01		
78	30	.71E-03	.71E-03	.16E-01	.17E-01	.60E+00	.14E+01		
79	8	.11E-02	.11E-02	.40E-01	.94E-01	.15E+01	.29E+01		
80	28	.11E-02	.11E-02	.70E-02	.47E-01	.29E+00	.27E+01		
81	6	.94E-03	.94E-03	.12E-02	.99E-02	.40E+01	.30E+00		
82	28	.94E-03	.94E-03	.77E-02	.24E-01	.20E+00	.9E+00		

	V	J A	J R	J
0	10704.21	4774.002	15224.81	
2	161.7052	580.3273	942.0925	
4	150.8845	591.6544	742.3189	
6	141.7957	590.1389	731.8148	
8	141.2075	590.2105	731.4240	
10	141.1109	590.3328	731.4727	

SISTEMA B

Erros grosseiros de 20σ

nas medidas :

1 - injeção de potência
ativa

10 - fluxo de potência
reativa

70 - fluxo de potência
reativa

G₂ = 118

***** INJEÇÕES *****									
M	K	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOM,AT.	R,NOM,RT.		
1	6	.29E-03	.29E-03	.17E+00	-.65E-02	.98E+01*	.38E+00		
2	9	.46E-03	.46E-03	.27E+01	.80E-02	.13E+01	.40E+00		
3	22	.52E-03	.52E-03	-.38E+01	-.30E-01	.17E+01	.16E+01		
4	25	.47E-03	.47E-03	-.17E+01	.10E+00	.77E+00	.73E+01		
5	27	.40E-03	.40E-03	-.62E+02	-.79E-01	.31E+00	.37E+01		
6	28	.55E-03	.55E-03	.24E+01	-.24E-01	.10E+01	.10E+01		

***** FLUXOS *****									
M	K	L	VAR,AT.	VAR,RT.	R,AT.	R,RT.	R,NOM,AT.	R,NOM,RT.	
1	1	2	.59E-03	.59E-03	.76E+02	-.72E-02	.31E+00	.10E+00	
2	2	1	.59E-03	.59E-03	.17E+01	.21E-01	.69E+00	.65E+00	
3	1	3	.92E-03	.92E-03	-.24E+01	.30E-01	.79E+00	.11E+01	
4	3	1	.92E-03	.92E-03	-.50E+01	-.49E-01	.17E+01	.16E+01	
5	2	4	.94E-03	.94E-03	.11E+01	.94E-01	.35E+00	.31E+01	
6	4	2	.94E-03	.94E-03	-.64E+01	-.59E-01	.21E+01	.19E+01	
7	3	4	.57E-03	.57E-03	.16E+02	.51E-03	.69E-01	.21E+00	
8	4	3	.57E-03	.57E-03	-.42E+02	-.13E-01	.17E+00	.52E+00	
9	2	5	.85E-03	.84E-03	-.36E+01	.12E+00	.12E+01	.41E+01	
10	5	2	.85E-03	.84E-03	-.31E+02	.48E+00	.11E+00	.16E+02*	
11	2	6	.96E-03	.96E-03	.10E+01	.43E-01	.13E+01	.14E+01	
12	6	2	.96E-03	.96E-03	-.56E+01	-.35E-01	.18E+01	.15E+01	
13	4	6	.68E-03	.68E-03	.11E+00	.47E-01	.44E+01	.18E+01	
14	6	4	.68E-03	.68E-03	-.78E+01	-.10E-02	.30E+01	.67E-01	
15	5	7	.67E-03	.67E-03	.14E+01	-.94E+01	.53E+00	.38E+01	
16	7	5	.67E-03	.67E-03	.34E+01	.13E+00	.13E+01	.49E+01	
17	6	7	.68E-03	.68E-03	-.86E+01	.61E-01	.33E+01	.23E+01	
18	7	6	.68E-03	.68E-03	.69E+01	-.97E-01	.26E+01	.37E+01	
19	6	8	.66E-03	.66E-03	-.64E+01	-.11E-01	.25E+01	.42E+00	
20	8	6	.66E-03	.66E-03	.12E+00	-.37E-01	.45E+01	.14E+01	
21	6	9	.86E-03	.86E-03	-.72E+01	-.13E-02	.25E+01	.50E+01	
22	9	6	.86E-03	.86E-03	.11E+00	.64E-01	.39E+01	.22E+01	
23	6	10	.11E-02	.11E-02	.18E+01	.44E-01	.56E+00	.13E+01	
24	10	6	.11E-02	.11E-02	-.51E+02	-.14E-01	.19E+00	.44E+00	
25	9	11	.67E-03	.67E-03	-.52E+02	-.42E-01	.70E+00	.16E+01	
26	11	9	.67E-03	.67E-03	.23E+01	-.35E-01	.89E+00	.13E+01	
27	9	10	.74E-03	.74E-03	-.39E+01	-.91E-02	.14E+01	.34E+00	
28	10	9	.74E-03	.74E-03	.13E+01	.41E-01	.46E+00	.13E+01	
29	4	12	.78E-03	.78E-03	-.25E+01	-.28E-01	.88E+00	.10E+01	
30	12	4	.78E-03	.78E-03	-.20E+01	-.20E-01	.73E+00	.72E+00	
31	12	13	.56E-03	.56E-03	.50E+02	-.22E-01	.21E+00	.92E+00	
32	13	12	.56E-03	.56E-03	.52E+02	-.23E-01	.22E+00	.96E+00	
33	12	14	.73E-03	.73E-03	-.27E+01	.17E-01	.94E+00	.63E+00	
34	14	12	.73E-03	.73E-03	-.25E+01	-.39E-01	.93E+00	.14E+01	
35	12	15	.67E-03	.67E-03	.13E-01	-.25E-01	.50E+00	.98E+00	
36	15	12	.67E-03	.67E-03	.19E-01	-.87E-02	.74E+00	.13E+00	
37	12	16	.74E-03	.74E-03	.12E-01	-.34E-02	.46E+00	.12E+00	
38	16	12	.74E-03	.74E-03	.55E-02	.24E-01	.20E+00	.89E+00	
39	14	15	.90E-03	.90E-03	-.19E-01	.67E-01	.64E+00	.22E+01	
40	15	14	.90E-03	.90E-03	-.18E-01	-.53E-02	.59E+00	.18E+00	
41	16	17	.72E-03	.72E-03	-.51E-02	-.66E-02	.20E+00	.24E+00	
42	17	16	.72E-03	.72E-03	-.11E-01	.19E-01	.42E+00	.70E+00	
43	15	18	.73E-03	.73E-03	.49E-02	-.94E-02	.33E+00	.35E+00	
44	18	15	.73E-03	.73E-03	.36E-01	-.13E-01	.13E+01	.48E+00	
45	18	19	.62E-03	.62E-03	-.54E-02	-.27E-01	.22E+00	.11E+01	
46	19	18	.62E-03	.62E-03	.11E-01	-.29E-01	.44E+00	.12E+01	
47	19	20	.57E-03	.57E-03	.14E-01	-.56E-03	.18E+01	.23E-01	
48	20	19	.57E-03	.57E-03	.47E-01	-.17E-02	.20E+01	.71E-01	
49	10	20	.71E-03	.71E-03	.27E-01	.86E-02	.10E+01	.33E+00	
50	20	10	.71E-03	.71E-03	.56E-03	.12E-01	.21E-01	.45E+00	
51	10	17	.58E-03	.58E-03	-.61E-02	.33E-02	.25E+00	.14E+00	
52	17	10	.58E-03	.58E-03	-.44E-02	-.74E-02	.14E+00	.31E+00	
53	10	21	.69E-03	.69E-03	.34E-01	.13E-01	.13E+01	.51E+00	
54	21	10	.69E-03	.69E-03	.17E-01	.20E-01	.66E+00	.78E+00	
55	10	22	.10E-02	.10E-02	-.57E-01	-.54E-01	.18E+01	.18E+01	
56	22	10	.10E-02	.10E-02	.55E-02	.33E-01	.20E+00	.11E+01	
57	21	22	.73E-03	.73E-03	-.11E-01	-.33E-01	.41E+00	.13E+01	
58	22	21	.73E-03	.73E-03	.22E-01	.37E-02	.60E+00	.14E+00	
59	15	23	.68E-03	.68E-03	.41E-02	-.17E-01	.15E+00	.65E+00	
60	23	15	.68E-03	.68E-03	-.60E-02	-.13E-01	.23E+00	.13E+01	
61	22	24	.79E-03	.79E-03	.15E-01	-.25E-01	.42E+00	.90E+00	
62	24	22	.79E-03	.79E-03	-.33E-01	.30E-01	.12E+01	.13E+01	
63	23	24	.78E-03	.78E-03	.56E-01	.21E-02	.20E+01	.76E-01	
64	24	23	.78E-03	.78E-03	.36E-01	-.28E-01	.13E+01	.71E+00	
65	24	25	.86E-03	.86E-03	.68E-02	.26E-01	.30E+00	.90E+00	
66	25	24	.86E-03	.86E-03	-.18E-01	.20E-02	.61E+00	.69E-01	
67	25	26	.67E-03	.67E-03	.17E-01	-.10E-00	.64E+00	.40E+01	
68	26	25	.67E-03	.67E-03	-.62E-04	.54E-01	.24E+02	.23E+01	
69	25	27	.84E-03	.84E-03	.37E-01	.14E+00	.92E+00	.49E+01	
70	27	25	.84E-03	.84E-03	-.11E-01	.40E+00	.48E+00	.17E+02*	
71	20	27	.87E-03	.87E-03	-.51E-01	.24E-01	.17E+01	.53E+00	
72	27	28	.87E-03	.87E-03	.21E+01	-.84E-01	.73E+00	.17E+01	
73	27	29	.81E-03	.81E-03	.52E-01	.56E-02	.16E+01	.20E+00	
74	29	27	.81E-03	.81E-03	.15E-01	-.97E-01	.12E+01	.13E+01	
75	27	30	.90E-03	.90E-03	.73E-02	-.20E-02	.25E+00	.88E-01	
76	30	27	.90E-03	.90E-03	.16E-01	-.40E-01	.55E+00	.16E+01	
77	29	30	.71E-03	.71E-03	-.47E-02	-.50E-02	.16E+00	.21E+00	
78	30	29	.71E-03	.71E-03	-.15E-01	-.24E-01	.58E+00	.11E+01	
79	8	28	.11E-02	.11E-02	-.43E-01	.32E-01	.13E+01	.97E+00	
80	28	8	.11E-02	.11E-02	-.13E-01	-.14E-01	.07E+00	.17E+01	
81	5	24	.84E-03	.84E-03	-.53E-01	-.31E-01	.22E+01	.11E+01	
82	28	5	.44E-03	.44E-03	.71E-01	-.60E-02	.25E+01	.73E+00	

SISTEMA B

Erro grosseiro de 20σ na medida 10-fluxo de potência
ativa

$$G_L = 24$$

V	J _A	J _R	J
0	5958,265	1676,445	7634,710
2	114,2736	15,58315	129,8567
4	20,15594	14,86658	35,02252
6	18,06918	15,05620	33,12539
8	17,74136	14,94635	32,68772
10	17,81067	14,99703	32,80770

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.76E-04	.75E-04	.73E-02	-.17E-02	.83E+00	.20E+00
2	1	3	.71E-03	.71E-03	-.22E-01	.54E-02	.82E+00	.20E+00
3	2	4	.77E-03	.77E-03	-.77E-02	.35E-02	.28E+00	.13E+00
4	3	4	.33E-04	.33E-04	-.46E-02	.11E-02	.80E+00	.19E+00
5	2	5	.58E-03	.58E-03	.35E-01	.43E-01	.14E+01	.18E+01
6	2	6	.77E-03	.77E-03	-.31E-02	-.49E-01	.11E+00	.18E+01
7	4	6	.60E-04	.60E-04	-.84E-02	-.98E-03	.11E+01	.13E+00
8	5	7	.24E-03	.24E-03	.21E-01	.27E-01	.14E+01	.17E+01
9	6	7	.11E-03	.11E-03	-.15E-01	-.18E-01	.14E+01	.17E+01
10	6	8	.42E-04	.42E-04	.21E-01	-.77E-02	.32E+01*	.12E+01
11	6	9	.36E-03	.36E-03	-.11E-01	.48E-02	.60E+00	.25E+00
12	6	10	.99E-03	.99E-03	-.28E-02	-.30E-01	.87E-01	.94E+00
⊙13	9	11	-.29E-10	-.29E-10	-.48E-07	-.28E-05	.87E-01	.94E+00
14	9	10	.10E-03	.10E-03	-.60E-02	.25E-02	.60E+00	.25E+00
15	4	12	.43E-03	.43E-03	.11E-01	.17E-01	.51E+00	.81E+00
⊙16	12	13	-.29E-10	-.29E-10	-.24E-05	.59E-05	.51E+00	.81E+00
17	12	14	.35E-03	.35E-03	-.23E-01	.70E-02	.12E+01	.38E+00
18	12	15	.23E-03	.23E-03	.98E-02	.75E-02	.64E+00	.49E+00
19	12	16	.37E-03	.37E-03	.13E-01	-.54E-03	.68E+00	.28E-01
20	14	15	.69E-03	.69E-03	-.37E-01	.97E-02	.14E+01	.37E+00
21	16	17	.32E-03	.32E-03	.12E-01	-.49E-03	.67E+00	.27E-01
22	15	18	.35E-03	.35E-03	.16E-01	.46E-01	.85E+00	.24E+01
23	18	19	.12E-03	.12E-03	.93E-02	.27E-01	.84E+00	.24E+01
24	19	20	.35E-04	.35E-04	.49E-02	.14E-01	.83E+00	.24E+01
25	10	20	.30E-03	.30E-03	-.15E-01	-.42E-01	.84E+00	.24E+01
26	10	17	.58E-04	.58E-04	-.50E-02	.21E-03	.66E+00	.27E-01
27	10	21	.24E-03	.24E-03	-.14E-01	.89E-02	.90E+00	.58E+00
28	10	22	.88E-03	.88E-03	.38E-01	.70E-02	.13E+01	.23E+00
29	21	22	.25E-04	.25E-04	-.44E-02	.28E-02	.88E+00	.57E+00
30	15	23	.24E-03	.24E-03	-.18E-01	-.25E-01	.11E+01	.16E+01
31	22	24	.31E-03	.31E-03	.13E-01	.34E-01	.72E+00	.19E+01
32	23	24	.43E-03	.43E-03	-.23E-01	-.33E-01	.11E+01	.16E+01
33	24	25	.42E-03	.42E-03	-.75E-02	.15E-01	.37E+00	.72E+00
⊙34	25	26	-.15E-10	.00E+00	.15E-03	-.90E-06	.37E+00	.72E+00
35	25	27	.16E-03	.16E-03	-.46E-02	.90E-02	.37E+00	.72E+00
36	28	27	.35E-03	.35E-03	.72E-02	-.14E-01	.39E+00	.75E+00
37	27	29	.26E-03	.26E-03	.69E-02	.69E-02	.43E+00	.43E+00
38	27	30	.55E-03	.55E-03	-.10E-01	-.10E-01	.43E+00	.43E+00
39	29	30	.31E-03	.31E-03	.74E-02	.74E-02	.42E+00	.42E+00
40	8	28	.98E-03	.98E-03	.99E-01	-.37E-01	.32E+01*	.12E+01
41	6	28	.93E-04	.93E-04	-.28E-01	.37E-02	.29E+01*	.90E+00

⊙ - locais onde não há redundância

SISTEMA B

Erro grosseiro de 50σ na media 10-fluxo de potência
ativa

$$G_x = 118$$

V	J _A	J _R	J
0	8609.006	1676.445	10285.45
2	192.9481	18.13152	211.0796
4	88.50464	17.06877	105.5734
6	86.39212	17.27017	103.6523
8	86.06130	17.16005	103.2218
10	86.13211	17.21077	103.3429

***** FLUXOS *****

N	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.76E-04	.75E-04	.73E-02	-.17E-02	.83E+00	.19E+00
2	1	3	.71E-03	.71E-03	-.22E-01	.54E-02	.83E+00	.20E+00
3	2	4	.77E-03	.77E-03	-.77E-02	.35E-02	.28E+00	.13E+00
4	3	4	.33E-04	.33E-04	-.46E-02	.11E-02	.80E+00	.20E+00
5	2	5	.58E-03	.58E-03	.35E-01	.43E-01	.14E+01	.18E+01
6	2	6	.77E-03	.77E-03	-.30E-02	-.49E-01	.11E+00	.18E+01
7	4	6	.60E-04	.60E-04	-.83E-02	-.99E-03	.11E+01	.13E+00
8	5	7	.24E-03	.24E-03	.21E-01	.27E-01	.14E+01	.17E+01
9	6	7	.11E-03	.11E-03	-.15E-01	-.18E-01	.14E+01	.17E+01
10	6	8	.42E-04	.42E-04	.58E-01	-.12E-01	.90E+01*	.19E+01
11	6	9	.36E-03	.36E-03	-.12E-01	.49E-02	.64E+00	.26E+00
12	6	10	.99E-03	.99E-03	-.32E-02	-.29E-01	.10E+00	.94E+00
13	9	11	-.29E-10	-.29E-10	-.52E-07	-.28E-05	.10E+00	.94E+00
14	9	10	.10E-03	.10E-03	-.64E-02	.26E-02	.64E+00	.26E+00
15	4	12	.43E-03	.43E-03	.98E-02	.17E-01	.47E+00	.82E+00
16	12	13	-.29E-10	-.29E-10	-.24E-05	.60E-05	.47E+00	.82E+00
17	12	14	.35E-03	.35E-03	-.23E-01	.70E-02	.13E+01	.38E+00
18	12	15	.23E-03	.23E-03	.95E-02	.76E-02	.62E+00	.49E+00
19	12	16	.37E-03	.37E-03	.13E-01	-.50E-03	.67E+00	.26E+01
20	14	15	.69E-03	.69E-03	-.37E-01	.98E-02	.14E+01	.37E+00
21	16	17	.32E-03	.32E-03	.12E-01	-.46E-03	.67E+00	.26E+01
22	15	18	.35E-03	.35E-03	.16E-01	.46E-01	.85E+00	.24E+01
23	18	19	.12E-03	.12E-03	.93E-02	.27E-01	.84E+00	.24E+01
24	19	20	.35E-04	.35E-04	.49E-02	.14E-01	.83E+00	.24E+01
25	10	20	.30E-03	.30E-03	-.15E-01	-.42E-01	.84E+00	.24E+01
26	10	17	.58E-04	.58E-04	-.50E-02	.19E-03	.66E+00	.25E+01
27	10	21	.24E-03	.24E-03	-.14E-01	.89E-02	.93E+00	.58E+00
28	10	22	.88E-03	.88E-03	.37E-01	.70E-02	.13E+01	.24E+00
29	21	22	.25E-04	.25E-04	-.45E-02	.28E-02	.91E+00	.57E+00
30	15	23	.24E-03	.24E-03	-.18E-01	-.25E-01	.12E+01	.16E+01
31	22	24	.31E-03	.31E-03	.11E-01	.34E-01	.64E+00	.19E+01
32	23	24	.43E-03	.43E-03	-.24E-01	.33E-01	.11E+01	.16E+01
33	24	25	.42E-03	.42E-03	-.11E-01	.15E-01	.52E+00	.74E+00
34	25	26	-.15E-10	.00E+00	.15E-03	-.93E-06	.52E+00	.74E+00
35	25	27	.16E-03	.16E-03	-.65E-02	.93E-02	.52E+00	.75E+00
36	28	27	.35E-03	.35E-03	.10E-01	-.14E-01	.55E+00	.77E+00
37	27	29	.26E-03	.26E-03	.69E-02	.69E-02	.43E+00	.43E+00
38	27	30	.55E-03	.55E-03	-.10E-01	-.10E-01	.43E+00	.43E+00
39	29	30	.31E-03	.31E-03	.74E-02	.74E-02	.42E+00	.42E+00
40	8	28	.98E-03	.98E-03	.28E+00	-.59E-01	.88E+01*	.19E+01
41	6	28	.93E-04	.93E-04	-.81E-01	.15E-01	.84E+01*	.16E+01

SISTEMA B

Erro grosseiro de 200 na medida 23- fluxo de potência
ativa

$$G_2 = 24$$

V	J _A	J _R	J
0	5676,695	1676,445	7353,140
2	169,5551	15,92478	185,4799
4	65,23953	15,01500	80,25454
6	62,40994	15,12300	77,53294
8	62,31151	15,05695	77,36846

***** FLUXOS *****

B	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	,76E-04	,75E-04	,64E-02	-,18E-02	,74E+00	,21E+00
2	1	3	,71E-03	,71E-03	-,21E-01	,56E-02	,80E+00	,21E+00
3	2	4	,77E-03	,77E-03	-,67E-02	,37E-02	,24E+00	,13E+00
4	3	4	,33E-04	,33E-04	-,42E-02	,12E-02	,73E+00	,20E+00
5	2	5	,58E-03	,58E-03	,34E-01	,43E-01	,14E+01	,18E+01
6	2	6	,77E-03	,77E-03	-,37E-02	-,49E-01	,13E+00	,18E+01
7	4	6	,60E-04	,60E-04	-,16E-01	-,32E-02	,20E+01	,42E+00
8	5	7	,24E-03	,24E-03	,21E-01	,26E-01	,14E+01	,17E+01
9	6	7	,11E-03	,11E-03	-,14E-01	-,18E-01	,14E+01	,17E+01
10	6	8	,42E-04	,42E-04	-,46E-02	-,60E-02	,71E+00	,93E+00
11	6	9	,36E-03	,36E-03	-,40E-01	-,48E-02	,21E+01	,25E+00
12	6	10	,99E-03	,99E-03	-,16E-01	-,35E-01	,51E+00	,11E+01
⊙13	9	11	-,29E-10	-,29E-10	,17E-06	,84E-05	,51E+00	,11E+01
14	9	10	,10E-03	,10E-03	-,21E-01	-,26E-02	,21E+01	,26E+00
15	4	12	,43E-03	,43E-03	,53E-01	,30E-01	,26E+01	,15E+01
⊙16	12	13	-,29E-10	-,29E-10	,69E-05	-,11E-04	,26E+01	,15E+01
17	12	14	,35E-03	,35E-03	-,16E-01	,48E-02	,88E+00	,26E+00
18	12	15	,23E-03	,23E-03	,64E-01	,13E-01	,42E+01	,83E+00
19	12	16	,37E-03	,37E-03	-,30E-01	,66E-02	,16E+01	,35E+00
20	14	15	,69E-03	,69E-03	-,17E-01	,67E-02	,64E+00	,26E+00
21	16	17	,32E-03	,32E-03	-,28E-01	,61E-02	,16E+01	,34E+00
22	15	18	,35E-03	,35E-03	,14E+00	,48E-01	,74E+01*	,25E+01
23	18	19	,12E-03	,12E-03	,83E-01	,28E-01	,75E+01*	,25E+01
24	19	20	,35E-04	,35E-04	,41E-01	,14E-01	,70E+01*	,24E+01
25	10	20	,30E-03	,30E-03	-,13E+00	-,43E-01	,73E+01*	,25E+01
26	10	17	,58E-04	,58E-04	,12E-01	-,25E-02	,15E+01	,33E+00
27	10	21	,24E-03	,24E-03	-,46E-02	,75E-02	,30E+00	,49E+00
28	10	22	,88E-03	,88E-03	,43E-01	,62E-02	,14E+01	,21E+00
29	21	22	,25E-04	,25E-04	-,17E-02	,24E-02	,35E+00	,48E+00
30	15	23	,24E-03	,24E-03	-,47E-01	-,22E-01	,30E+01	,14E+01
31	22	24	,31E-03	,31E-03	,45E-01	,29E-01	,26E+01	,17E+01
32	23	24	,43E-03	,43E-03	-,62E-01	-,28E-01	,30E+01	,14E+01
33	24	25	,42E-03	,42E-03	-,52E-02	,14E-01	,25E+00	,66E+00
⊙34	25	26	-,15E-10	,00E+00	-,37E-03	,34E-05	,25E+00	,66E+00
35	25	27	,16E-03	,16E-03	-,34E-02	,83E-02	,27E+00	,67E+00
36	28	27	,35E-03	,35E-03	,45E-02	-,13E-01	,24E+00	,69E+00
37	27	29	,26E-03	,26E-03	,72E-02	,69E-02	,45E+00	,43E+00
38	27	30	,55E-03	,55E-03	-,98E-02	-,10E-01	,42E+00	,43E+00
39	29	30	,31E-03	,31E-03	,75E-02	,74E-02	,43E+00	,42E+00
40	8	28	,98E-03	,98E-03	-,22E-01	-,29E-01	,70E+00	,93E+00
41	6	28	,93E-04	,93E-04	,72E-02	,65E-02	,75E+00	,67E+00

SISTEMA B

Erro grosseiro de 50σ na medida S-fluxo de potência
ativa

$$G_L = 24$$

V	J _A	J _R	J
0	6560,227	1676,445	8236,672
2	366,3512	13,07477	379,4260
4	261,0329	10,98324	272,0162
6	258,8661	11,25998	270,1261
8	258,5319	11,14229	269,6742
10	258,6027	11,19343	269,7961

***** FLUXOS *****

M	K	L	VAR.AT.	VAR.RT.	R.AT.	R.RT.	R.NOR.AT	R.NOR.RT.
1	1	2	.76E-04	.75E-04	.39E-01	-.29E-02	.44E+01	.33E+00
2	1	3	.71E-03	.71E-03	-.12E+00	.90E-02	.44E+01	.34E+00
3	2	4	.77E-03	.77E-03	-.12E+00	.22E-01	.43E+01	.79E+00
4	3	4	.33E-04	.33E-04	-.25E-01	.19E-02	.43E+01	.33E+00
5	2	5	.58E-03	.58E-03	.39E+00	.22E-02	.16E+02*	.89E-01
6	2	6	.77E-03	.77E-03	-.12E+00	-.33E-01	.45E+01	.12E+01
7	4	6	.60E-04	.60E-04	-.54E-01	.40E-02	.70E+01	.52E+00
8	5	7	.24E-03	.24E-03	.24E+00	.13E-02	.15E+02*	.85E-01
9	6	7	.11E-03	.11E-03	-.16E+00	-.90E-03	.16E+02*	.86E-01
10	6	8	.42E-04	.42E-04	-.45E-02	-.60E-02	.70E+00	.94E+00
11	6	9	.36E-03	.36E-03	-.87E-02	.49E-02	.46E+00	.26E+00
12	6	10	.99E-03	.99E-03	-.15E-02	-.29E-01	.49E-01	.93E+00
13	9	11	-.29E-10	-.29E-10	-.36E-07	-.24E-05	.49E-01	.93E+00
14	9	10	.10E-03	.10E-03	-.46E-02	.26E-02	.46E+00	.26E+00
15	4	12	.43E-03	.43E-03	.76E-02	.17E-01	.37E+00	.80E+00
16	12	13	-.29E-10	-.29E-10	-.26E-05	.63E-05	.37E+00	.80E+00
17	12	14	.35E-03	.35E-03	-.23E-01	.70E-02	.13E+01	.38E+00
18	12	15	.23E-03	.23E-03	.90E-02	.75E-02	.59E+00	.49E+00
19	12	16	.37E-03	.37E-03	.12E-01	-.67E-03	.60E+00	.35E-01
20	14	15	.69E-03	.69E-03	-.37E-01	.98E-02	.14E+01	.37E+00
21	16	17	.32E-03	.32E-03	.11E-01	-.61E-03	.60E+00	.34E-01
22	15	18	.35E-03	.35E-03	.15E-01	.46E-01	.80E+00	.24E+01
23	18	19	.12E-03	.12E-03	.88E-02	.27E-01	.79E+00	.24E+01
24	19	20	.35E-04	.35E-04	.46E-02	.14E-01	.78E+00	.24E+01
25	10	20	.30E-03	.30E-03	-.14E-01	-.42E-01	.79E+00	.24E+01
26	10	17	.58E-04	.58E-04	-.45E-02	.26E-03	.59E+00	.34E-01
27	10	21	.24E-03	.24E-03	-.14E-01	.89E-02	.88E+00	.58E+00
28	10	22	.88E-03	.88E-03	.38E-01	.70E-02	.13E+01	.23E+00
29	21	22	.25E-04	.25E-04	-.43E-02	.28E-02	.86E+00	.57E+00
30	15	23	.24E-03	.24E-03	-.18E-01	-.25E-01	.12E+01	.16E+01
31	22	24	.31E-03	.31E-03	.14E-01	.34E-01	.79E+00	.19E+01
32	23	24	.43E-03	.43E-03	-.24E-01	-.33E-01	.11E+01	.16E+01
33	24	25	.42E-03	.42E-03	-.60E-02	.15E-01	.29E+00	.72E+00
34	25	26	-.15E-10	.00E+00	.15E-03	-.87E-06	.29E+00	.72E+00
35	25	27	.16E-03	.16E-03	-.37E-02	.90E-02	.29E+00	.72E+00
36	28	27	.35E-03	.35E-03	.58E-02	-.14E-01	.31E+00	.74E+00
37	27	29	.26E-03	.26E-03	.69E-02	.69E-02	.43E+00	.43E+00
38	27	30	.55E-03	.55E-03	-.10E-01	-.10E-01	.43E+00	.43E+00
39	29	30	.31E-03	.31E-03	.74E-02	.74E-02	.42E+00	.42E+00
40	8	28	.98E-03	.98E-03	-.22E-01	-.29E-01	.70E+00	.94E+00
41	6	28	.93E-04	.93E-04	.74E-02	.64E-02	.77E+00	.66E+00

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Foram desenvolvidas duas versões do estimador desacoplado. Uma versão desacoplando a matriz jacobiana (H) e outra desacoplando somente a matriz ganho $\{H^t W^{-1} H\}^{-1}$. A primeira versão é de programação mais simples e pode ser aplicada para sistemas de médias para altas tensões (maiores que 69KV) com sucesso. Este é o caso da região Sudeste onde a parte observável do sistema é de alta tensão. Entretanto, nos casos em que as relações X/R são pequenas (~ 1), deve-se utilizar a segunda versão.

A idéia do desacoplamento P θ -QV foi introduzida também na detecção e identificação de medidas com erros grosseiros. O índice $J(\hat{x})$ é decomposto em componentes ativa e reativa. A identificação, realizada através do método dos resíduos normalizados, é feita de maneira desacoplada calculando-se separadamente as covariâncias dos resíduos correspondentes às variáveis de potência ativa e reativa. Visando-se maior eficiência nos cálculos adotou-se a técnica Z-esparso na determinação das covariâncias dos resíduos.

Foram realizados testes utilizando-se quatro sistemas como exemplos. Dois deles são fornecidos na literatura de sistemas de potência, e os outros dois são sistemas brasileiros : CPFL e FURNAS. O teste realizado com o sistema CPFL-138KV utilizou dados obtidos em tempo-real pelo COS de Campinas - S.P.

No capítulo 5 foram apresentados vários tipos de testes onde verificou-se o desempenho do modelo proposto no que se refere a convergência, redundância, detecção, identificação, carga leve-pesada e dependência de relação X/R. O desem-

penho foi satisfatório para o tipo de sistema que se destina o modelo proposto e onde são válidas as aproximações realizadas.

Acredita-se que este tipo de método possa ser utilizado com sucesso no sistema de alta tensão da região Sudeste, onde a parte observável do sistema obedecerá os requisitos de bom desempenho do algoritmo apresentado.

Em desenvolvimentos futuros, pretende-se analisar o problema da supressão de medidas afetadas por erros grosseiros (após a identificação das mesmas), bem como estudar o desempenho do método no planejamento de sistemas de medição.

APÊNDICE A

EXEMPLO

Neste apêndice apresenta-se um caso simples de estimação de estado por mínimos quadrados, pelo método de Newton-Raphson e pelo método desacoplado.

A.1 - NEWTON-RAPHSON

Seja o sistema mostrado na figura A.1. O módulo e o ângulo da barra 0 são conhecidos (referência) e iguais a 1,00 e 0,00 respectivamente. São dados os fluxos de potência ativa e reativa em ambas as extremidades da linha. Estimar V e θ (módulo e ângulo da tensão da barra 1).

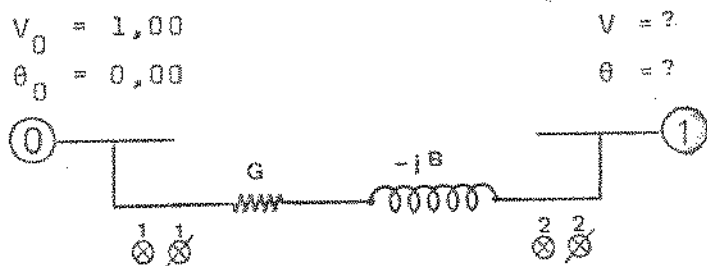


Fig. A.1

"Newton-Raphson"

$$\underline{h(\underline{x})} = \begin{bmatrix} P_{01} \\ Q_{01} \\ P_{10} \\ Q_{10} \end{bmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} \theta \\ V \end{bmatrix} \quad (A.1)$$

$$P_{01} = V_0^2 G - V_0 V G \cos \theta - V_0 V B \sin \theta = P_{01}(\underline{x})$$

$$Q_{01} = V_0^2 B - V_0 V B \cos \theta + V_0 V G \sin \theta = Q_{01}(\underline{x})$$

(A.2)

$$P_{10} = V^2 G - V_0 V G \cos \theta + V_0 V B \sin \theta = P_{10}(\underline{x})$$

$$Q_{10} = V^2 B - V_0 V B \cos \theta - V_0 V G \sin \theta = Q_{10}(\underline{x})$$

logo:

$$T_1 = \frac{P_{01}}{V_0} = G - V G \cos \theta - V B \sin \theta$$

$$U_1 = \frac{Q_{01}}{V_0} = B - V B \cos \theta + V G \sin \theta$$

(A.3)

$$T_2 = \frac{P_{10}}{V} = V G - G \cos \theta + B \sin \theta$$

$$U_2 = \frac{Q_{10}}{V} = V B - B \cos \theta - G \sin \theta$$

Obtenção da Matriz Jacobiana :

$$\frac{\partial T_1}{\partial \theta} = V G \sin \theta - V B \cos \theta = H_{11}$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial V} = -G \cos \theta - B \sin \theta = H_{12}$$

(A.4)

$$\frac{\partial U_1}{\partial \theta} = V B \sin \theta + V G \cos \theta = H_{21}$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial V} = -B \cos \theta + G \sin \theta = H_{22}$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \theta} = G \operatorname{sen} \theta + B \cos \theta = H_{31}$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial V} = G = H_{32}$$

(A.5)

$$\frac{\partial U_2}{\partial \theta} = B \operatorname{sen} \theta - G \cos \theta = H_{41}$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial V} = B = H_{42}$$

logo

$$H(\underline{x}^v) = \begin{bmatrix} V^v G \operatorname{sen} \theta^v - V^v B \cos \theta^v & -G \cos \theta^v - B \operatorname{sen} \theta^v \\ V^v B \operatorname{sen} \theta^v + V^v G \cos \theta^v & -B \cos \theta^v + G \operatorname{sen} \theta^v \\ G \operatorname{sen} \theta^v + B \cos \theta^v & G \\ B \operatorname{sen} \theta^v - G \cos \theta^v & B \end{bmatrix} \quad (A.6)$$

Considerando-se as variâncias dos medidores iguais a 1, tem-se :

$$\Delta \underline{x}^v = [H^t(\underline{x}^v), H(\underline{x}^v)]^{-1} [H^t(\underline{x}^v) \cdot \Delta \underline{Z}(\underline{x}^v)] \quad (A.7)$$

onde

$$\Delta \underline{Z}(\underline{x}) = \underline{h}(\underline{x}) - \underline{Z}^m \quad (A.8)$$

e

$$\underline{z}^m = \begin{bmatrix} P_{01}^m \\ Q_{01}^m \\ \frac{P_{10}^m}{V^v} \\ \frac{Q_{10}^m}{V^v} \end{bmatrix} \quad (A.9)$$

Cálculo do índice $J(\underline{x}^v)$

$$J(\underline{x}^v) = \sum_{i=1}^m \left(\frac{z_i^m - h_i(\underline{x}^v)}{\sigma_i} \right)^2 \quad (A.9)$$

$$= [P_{01}^m - \tau_1(\underline{x}^v)]^2 + [Q_{01}^m - u_1(\underline{x}^v)]^2 + [P_{10}^m - V^v \cdot \tau_2(\underline{x}^v)]^2 + \\ + [Q_{10}^m - V^v \cdot u_2(\underline{x}^v)]^2. \quad (A.11)$$

Substituindo as expressões (A.3) em (A.11) obtém-se $J(\theta^v, V^v)$. Na figura A.2 mostra-se uma visualização de $J(\theta^v, V^v)$ para os seguintes dados :

$$G = 1,00$$

$$B = 10,00$$

e as seguintes medidas (exatas) :

$$P_{01}^m = 5,134$$

$$Q_{01}^m = 0,840$$

$$P_{10}^m = -4,866$$

$$Q_{10}^m = 1,840 ,$$

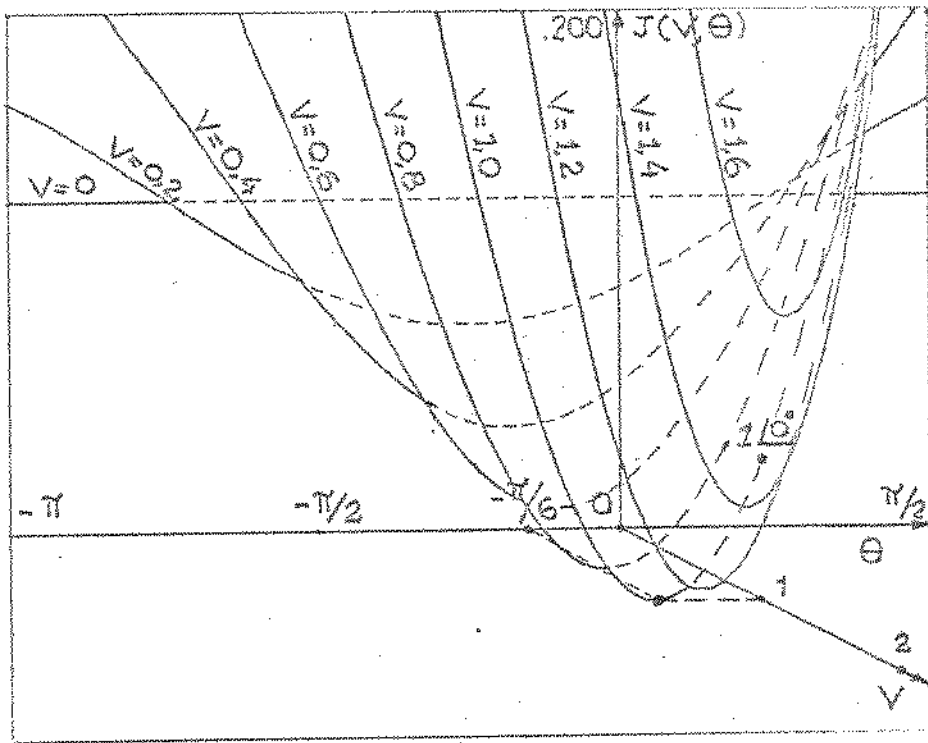


Fig. A.2

o que fornece como resultados $\hat{V} = 1,00$ e $\hat{\Theta} = -\pi/6$. A evolução de θ e V em função do número de iterações para o método de Newton-Raphson, está mostrada na tabela A.1.

v	V	θ
0	1,000	0,000
1	1,000	-0,500
2	1,000	-0,524
3	1,000	-0,524

Tabela A.1

Estes pontos estão indicados na figura A.3.

A.2 - MÉTODO DESACOPLADO

$$\underline{h}(\underline{x}) = \begin{bmatrix} T_1^C \\ U_1^C \\ T_2^C \\ U_2^C \end{bmatrix}, \quad \underline{x} = \begin{bmatrix} \theta \\ v \end{bmatrix} \quad (\text{A.12})$$

onde T_1 , T_2 , U_1 e U_2 estão definidos em (A.3).

Matriz Jacobiana (aproximada)

$$\begin{aligned} \frac{\partial T_1}{\partial \theta} &\approx -B = H_{11}, & \frac{\partial T_1}{\partial v} &= 0 = H_{12} \\ \frac{\partial T_2}{\partial \theta} &= B = H_{21}, & \frac{\partial T_2}{\partial v} &= 0 = H_{22} \\ \frac{\partial U_1}{\partial v} &= -B = H_{32}, & \frac{\partial U_1}{\partial \theta} &\approx 0 = H_{31} \\ \frac{\partial U_2}{\partial v} &= B = H_{42}, & \frac{\partial U_2}{\partial \theta} &\approx 0 = H_{41} \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

ou

$$H \approx \begin{bmatrix} -B & 0 \\ B & 0 \\ 0 & -B \\ 0 & B \end{bmatrix}. \quad (\text{A.14})$$

Logo

$$[H^t.H] = \begin{bmatrix} 2B^2 & 0 \\ 0 & 2B^2 \end{bmatrix} \quad (A.15)$$

Com os dados fornecidos obtava-se a convergência in
dicada na tabela A.2.

v	V	θ
0	1,000	0,000
1	1,002	-0,500
2	1,000	-0,523
3	1,000	-0,524

Tabela A.2

Na figura A.2 estes pontos praticamente se sobrepõem aos do es-
timador por Newton-Raphson.

APÊNDICE B

EXEMPLO: IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS COM ERROS

GROSSEIROS - FCDC

B.1 - UMA MEDIDA COM ERROS GROSSEIROS

Seja o sistema mostrado na figura B.1. Os números entre parênteses são as reatâncias das linhas. As tensões são conhecidas e iguais a 1,00 p.u. O ângulo do nó 0 é igual a zero. Os medidores representados são de fluxo de potência ativa.

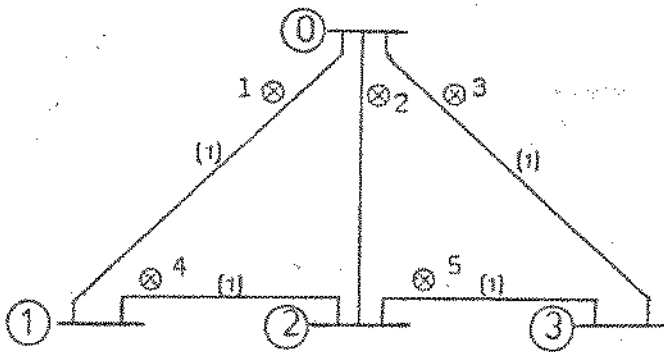


Fig. B.1

Todas as variâncias das medidas são unitárias. Portanto :

$$H = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (B.1)$$

$$\underline{Z} = H \cdot \underline{\theta} \quad (8.2)$$

onde $\underline{\theta}$ é o vetor dos ângulos das barras e $\underline{Z}$ é o vetor de fluxos de potência ativa.

A matriz $[H^t, H]$ pode ser obtida

$$[H^t, H] = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \quad (8.3)$$

$$[H^t, H]^{-1} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 5 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 5 \end{bmatrix} \quad (8.4)$$

A covariância R dos resíduos de estimação é dada por

$$R = \underline{1} - H [H^t, H]^{-1} H^t \quad (8.5)$$

$$R = \underline{1} - \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 5 & 2 & 1 & -3 & -1 \\ 2 & 4 & 2 & 2 & -2 \\ 1 & 2 & 5 & 1 & 3 \\ -3 & 2 & 1 & 5 & -1 \\ -1 & -2 & 3 & -1 & 4 \end{bmatrix} = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 3 & -2 & -1 & 3 & 1 \\ -2 & 4 & -2 & -2 & 2 \\ -1 & -2 & 3 & -1 & -3 \\ 3 & -2 & -1 & 3 & 1 \\ 1 & 2 & -3 & 1 & 3 \end{bmatrix} \quad (8.6)$$

Como $W = \underline{1}$ (variância unitária), a matriz R é igual a matriz Γ .

Pode-se, portanto, montar a tabela B.1.

j^*	i	$\bar{\tau}_j / \bar{\tau}_1$	$ \bar{\tau}_1 / (\beta_j / \sigma_1) $
1	1	1,00	0,61
	2	1,73	0,35
	3	3,00	0,20
	4	1,00	0,61
	5	3,00	0,20
2	1	1,73	0,41
	2	1,00	0,71
	3	1,73	0,41
	4	1,73	0,41
	5	1,73	0,41
3	1	3,00	0,24
	2	1,73	0,41
	3	1,00	0,71
	4	3,00	0,24
	5	1,00	0,71
4	1	1,00	0,61
	2	1,73	0,35
	3	3,00	0,20
	4	1,00	0,61
	5	3,00	0,20
5	1	3,00	0,24
	2	1,73	0,41
	3	1,00	0,71
	4	3,00	0,24
	5	1,00	0,71

* erro grosseiro na medida j

Tabela 8.1

Pela relação das médias $\bar{\tau}_j / \bar{\tau}_1$, vê-se que existem casos, para este exemplo, em que a identificação, através da comparação dos resíduos normalizados τ_1 pode fornecer resultados incorretos. Por exemplo, considere-se que há erro

grosseiro na medida 1. As médias $\bar{T}_1$ e $\bar{T}_4$ são idênticas logo a probabilidade de se identificar a medida 4 como sendo a medida com erro grosseiro é a mesma que para a medida 1, independente do valor do erro grosseiro.

Para o sistema mostrado na figura B.1., a identificação será sempre possível se a medida com erro grosseiro for a 2 e se a amplitude do erro (β_2) seja tal que (capítulo 2) :

$$0,71 \frac{\beta_2}{\sigma} - 0,41 \frac{\beta_2}{\sigma} > 6 \quad (B.7)$$

portanto

$$\beta_2 > 20 \sigma \quad (B.8)$$

A razão pela qual a identificação não pode ser levada a efeito para todas as medidas é a pouca redundância existente nesta configuração de medidores. Intuitivamente, se se aumentar a redundância de medidas, a identificação deverá ser possível a outras. Por exemplo, coloque-se mais um medidor por linha, conforme o mostrado na figura B.2,

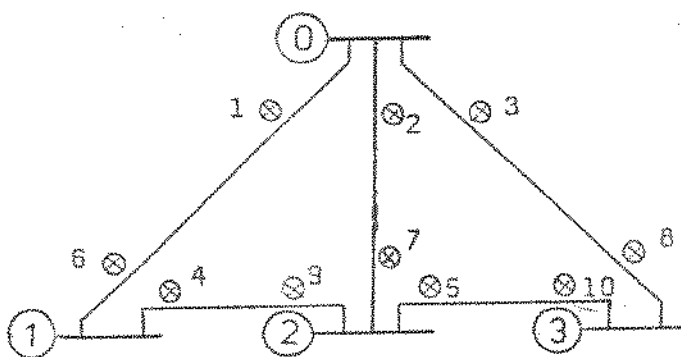


Fig. B.2

Para este caso tem-se :

$$\Gamma = R = \frac{1}{64}$$

$$\begin{bmatrix} 44 & -8 & -4 & 12 & 4 & 20 & 8 & 4 & -12 & -4 \\ -8 & 48 & -8 & -8 & 8 & 8 & 16 & 8 & 8 & -8 \\ -4 & -8 & 44 & -4 & -12 & 4 & 8 & 20 & 4 & 12 \\ 12 & -8 & -4 & 44 & 4 & -12 & 8 & 4 & 20 & -4 \\ 4 & 8 & -12 & 4 & 44 & -4 & -8 & 12 & -4 & 20 \\ 20 & 8 & 4 & -12 & -4 & 44 & -8 & -4 & 12 & 4 \\ 8 & 16 & 8 & 8 & -8 & -8 & 48 & -8 & -8 & 8 \\ 4 & 8 & 20 & 4 & 12 & -4 & -8 & 44 & -4 & -12 \\ -12 & 8 & 4 & 20 & -4 & 12 & -8 & -4 & 44 & 4 \\ -4 & -8 & 12 & -4 & 20 & 4 & 8 & -12 & 4 & 44 \end{bmatrix} \quad (B.9)$$

logo pode-se montar uma tabela do tipo da tabela B.1 (somente para $j = 1$ e $j = 2$) - tabela B.2.

j	i	$ \bar{\tau}_j / \bar{\tau}_1 $	$ \bar{\tau}_1 / (\beta_j / \sigma_1) $
1	1	1,00	0,83
	2	5,74	0,14
	3	11,00	0,08
	4	3,67	0,23
	5	11,00	0,08
	6	2,20	0,38
	7	5,74	0,14
	8	11,00	0,08
	9	3,67	0,23
	10	11,00	0,08
2	1	5,74	0,15
	2	1,00	0,87
	3	5,74	0,15
	4	5,74	0,15
	5	5,74	0,15
	6	5,74	0,15
	7	3,00	0,29
	8	5,74	0,15
	9	5,74	0,15
	10	5,74	0,15

Tabela B.2

Como pode-se notar, mesmo que o erro grosseiro esteja localizado na medida 1, é possível a identificação desde que :

$$\frac{\beta_1}{\sigma} > \frac{6}{0,83 - 0,38} \approx 13 \quad (B.10)$$

onde o valor 0,38 corresponde, na tabela B.2 à medida 6, que está localizada na mesma linha que a 1.

Se o erro ocorrer na medida 2, o valor de β_2 deverá ser tal que :

$$\frac{\beta_2}{\sigma} > \frac{6}{0,87 - 0,28} \approx 10 \quad (B.11)$$

Portanto quase a metade do valor de β_2 necessário à identificação para a configuração de medidores anterior.

B.2 - MAIS DE UMA MEDIDA COM ERROS GROSSEIROS

Para o caso de mais de uma medida com erros grosseiros, o mesmo raciocínio utilizado para uma pode ser extendido com algum cuidado. Escrevendo o vetor $\underline{b}$ (Capítulo 2) para o caso de duas medidas com erros grosseiros tem-se :

$$\underline{b} = [0 \dots 0 \beta_j 0 \dots 0 \beta_k 0 \dots]^t \quad (B.12)$$

As médias dos resíduos de estimação serão :

$$\bar{r} = \beta_j \begin{bmatrix} y_{1j} \\ \vdots \\ y_{jj} \\ \vdots \\ y_{mj} \end{bmatrix} + \beta_k \begin{bmatrix} y_{1k} \\ \vdots \\ y_{kk} \\ \vdots \\ y_{mk} \end{bmatrix} \quad (B.13)$$

em particular

$$\bar{r}_i = \gamma_{ij} \beta_j + \gamma_{ik} \beta_k \quad (B.14)$$

Definindo τ_i da mesma maneira que no capítulo 2 tem-se :

$$\bar{\tau}_i = \frac{\gamma_{ij}}{\sqrt{\rho_{ii}}} \cdot \beta_j + \frac{\gamma_{ik}}{\sqrt{\rho_{ii}}} \cdot \beta_k \quad (B.15)$$

ou

$$\bar{\tau}_i = \frac{\gamma_{ij}}{\sqrt{\gamma_{ii} \cdot \sigma_i}} \cdot \beta_j + \frac{\gamma_{ik}}{\sqrt{\gamma_{ii} \cdot \sigma_i}} \cdot \beta_k \quad (B.16)$$

Na tabela B.3 estão mostrados os coeficientes de β_j e β_k para o sistema exemplo dado na configuração inicial e para erros nas medidas 1 e 2 :

j	k	i	$\gamma_{ij}/(\sqrt{\gamma_{ii} \cdot \sigma_i})$	$\gamma_{ik}/(\sqrt{\gamma_{ii} \cdot \sigma_i})$
1	2	1	0,61	0,41
		2	0,35	0,71
		3	0,20	0,41
		4	0,61	0,41
		5	0,20	0,41

Tabela B.3

Para a configuração com mais medidas, os coeficientes são os mostrados na tabela B.4.

j	k	i	$ \gamma_{ij}/(\sqrt{\gamma_{ii}} \cdot \sigma_i) $	$ \gamma_{ik}/\sqrt{\gamma_{ii}} \cdot \sigma_i $
1	2	1	0,83	0,15
		2	0,14	0,87
		3	0,08	0,15
		4	0,23	0,15
		5	0,08	0,15
		6	0,38	0,15
		7	0,14	0,29
		8	0,08	0,15
		9	0,23	0,15
		10	0,08	0,15

Tabela B.4

Nas tabelas B.3 e B.4 a média final de cada resíduo normalizado é obtida através da soma de β_1 e β_2 multiplicados respectivamente por $\gamma_{i1}/\sqrt{\gamma_{ii}} \cdot \sigma_i$ e $\gamma_{i2}/\sqrt{\gamma_{ii}} \cdot \sigma_i$. Nota-se claramente que as médias finais dos resíduos normalizados das medidas 1 e 2, dependendo do valor de β_1 e β_2 , são maiores que as demais, na tabela B.4.

A conclusão que se tira é que se as condições de identificação forem boas (redundância grande), mesmo no caso de mais de uma medida com erros grosseiros, a identificação pode ser efetuada tomando-se o maior resíduo normalizado.

APENDICE C

DADOS REAIS DO SISTEMA CPFL

Os fluxos medidos, utilizados neste apêndice foram obtidos em tempo-real no Centro de Operação do Sistema da CPFL (C.O.S - Campinas). Os dados se referem a uma parte do sistema em 138 KV. As ponderações em todas as medidas foram consideradas iguais. A precisão para a convergência do estado foi de 10^{-4} (tanto para ângulos como para tensões).

O subsistema estudado está mostrado na figura C.1.
Os dados das linhas estão na tabela C.1.

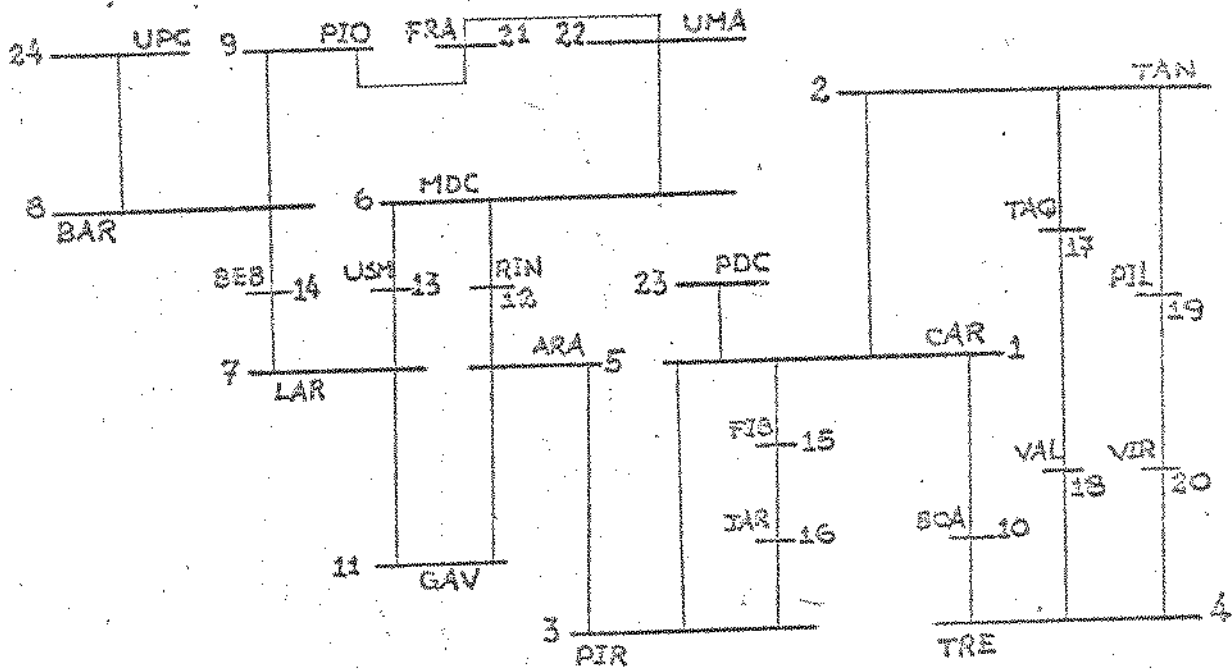


Fig. C.1

Linha	de para	R _{ser} _k _l	X _{ser} _k _l	B _{par} _k _l
1	CAR-TAN	0.030	0.000	0.025
2	CAR-PIR	0.032	0.050	0.020
3	CAR-BOA	0.033	0.000	0.021
4	TRE-BOA	0.000	0.010	0.000
5	CAR-FIB	0.000	0.001	0.000
6	TAN-TAQ	0.002	0.000	0.001
7	TAN-PIL	0.035	0.001	0.023
8	PIR-ARA	0.124	0.321	0.077
9	PIR-JAR	0.020	0.074	0.019
10	TRE-VAL	0.007	0.010	0.000
11	TRE-VIR	0.007	0.010	0.000
12	ARA-GAV	0.035	0.002	0.021
13	LAR-GAV	0.050	0.154	0.037
14	ARA-RIN	0.027	0.050	0.010
15	MDC-RIN	0.100	0.102	0.037
16	MDC-USM	0.037	0.001	0.027
17	LAR-USM	0.020	0.071	0.010
18	LAR-BEB	0.052	0.132	0.033
19	BAR-BEB	0.050	0.146	0.037
20	BAR-PIO	0.000	0.211	0.000
21	PIO-FRA	0.050	0.137	0.034
22	FIB-JAR	0.002	0.000	0.001
23	TAQ-VAL	0.041	0.105	0.020
24	PIL-VIR	0.007	0.010	0.040
25	FRA-UMA	0.024	0.001	0.040
26	MDC-UMA	0.041	0.157	0.100
27	CAR-PDC	0.040	0.100	0.100
28	BAR-UPC	0.025	0.000	0.000

Tabela C.1

O estado foi obtido em 11 meias iterações (tabela

C.2)

CONVERGIU EM 11 MEIAS ITERACOES

I	E(I)	TETA(I)
1	0.95700	-0.00000
2	0.90531	2.32350
3	0.95154	-1.56019
4	0.94557	-0.14431
5	0.95310	-0.65429
6	0.95214	3.43447
7	0.94289	2.00642
8	0.98165	6.76203
9	0.99738	7.97227
10	0.94523	-0.22044
11	0.94072	-0.02982
12	0.94990	0.39327
13	0.94600	2.59152
14	0.95641	4.10559
15	0.95694	-0.02596
16	0.95913	-0.18250
17	0.90416	2.20392
18	0.94914	0.12129
19	0.95367	0.41919
20	0.94862	0.12571
21	1.02033	10.28560
22	1.02396	11.58967
23	1.00609	5.31321
24	0.98513	8.36971

Tabela C.2

Na tabela C.3 mostram-se os valores medidos e os resí-
duos de estimação.

			Medidas		Resíduos	
Med. de p/			Ativos	Reativos	Ativos	Reativos
1	1	2	-0.43200	-0.12000	.12E-02	.98E-02
2	2	1	0.44300	0.11400	.13E-02	.10E-01
3	1	3	0.29700	-0.01000	.50E-02	.54E-01
4	3	1	-0.20400	0.09000	.50E-02	.55E-01
5	1	10	0.08400	0.00300	-.19E-04	-.44E-07
6	4	10	0.06600	-0.01400	-.23E-06	-.14E-06
7	1	15	0.41500	0.06200	.61E-07	-.29E-05
8	2	17	0.49600	0.22500	-.23E-04	.17E-05
9	2	19	0.42000	0.17100	.43E-05	.26E-06
10	3	5	-0.04600	-0.02000	-.56E-02	.31E-01
11	5	3	0.03500	-0.04800	-.56E-02	.32E-01
12	3	15	-0.20900	0.00200	-.67E-05	.12E-05
13	4	10	-0.26400	-0.00900	-.13E-04	-.14E-06
14	4	20	-0.25000	-0.06400	-.10E-04	.31E-06
15	5	11	-0.04300	0.12000	.67E-02	-.15E-02
16	7	11	0.17300	-0.00400	-.11E-01	.25E-02
17	5	12	-0.19700	0.10900	-.51E-02	.97E-03
18	6	12	0.21000	-0.13900	.16E-01	-.30E-02
19	6	13	0.14100	-0.01000	-.68E-02	.13E-02
20	7	13	-0.11900	-0.00700	.52E-02	-.99E-03
21	7	14	-0.24000	-0.02400	.29E-05	-.35E-03
22	8	14	0.31000	0.01500	-.15E-04	.40E-03
23	8	9	-0.11000	-0.05000	-.53E-03	.22E-01
24	9	8	0.11000	0.00200	-.57E-03	.21E-01
25	9	21	-0.31500	-0.07300	.79E-04	-.32E-05
26	6	22	-0.91600	-0.26400	.86E-05	.24E-05
27	1	23	-0.58600	-0.25500	.11E-06	.00E+00
28	8	24	-0.39100	0.04000	.14E-04	-.27E-05

Tabela C.3

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SCHWEPPE, F.C. - Uncertain dynamic systems. Englewood Cliffs, N. Jersey, Prentice-Hall, 1973.
- [2] HANDSCHIN, E. - "Real-time data processing using state estimation in electric power systems". In: Real-time control of electric power systems. Amsterdam, Elsevier Publ. Co., 1972, p. 29-61.
- [3] STOTT, B. & ALSAÇ, G. - "Fast decoupled load flow". IEEE Trans. Power Apparatus Systems, 93(3): 859-869, May/Jun. 1974.
- [4] HANDSCHIN, E. et alii - "Bad data analysis for power systems state estimation". IEEE Trans. Power Apparatus Systems, 94(3):329-337, Mar./Apr., 1975.
- [5] MORISBERGER, H. P. & RICHARD, J. C. - "A fast decoupled static state estimation for electric power systems", IEEE Trans. Power Apparatus Systems, 95(1):208-215, Jan./Febr., 1976.
- [6] LE ROY, A. & VILLARD, P. - "Application of state estimation to the evaluation of telemeasurement configuration for energy power systems". In: COPDS-Computerized Operation of Power Systems, São Carlos, SP, 1975, p.1-20
- [7] PETERSSON, L.O. - "Power system state estimation". Power system simulation, Stockholm, The Royal Institute of Technology, 1974.
- [8] PETERSSON, L.O. - "State estimation in the swedish TIDAS evaluation of methods". In: Proceedings PSCC, London 1975, p.1-16 (sec. 2.3/6)

- [9] ASCHMONEIT, F. et alii - "Development of an optimal state estimator and implementation in a real-time computer system". In: CIGRE-Conférence Internationale des Grands Réseaux Electriques à Haute Tension, Paris, CIGRE, 1976, p.1-12 (sec.32-16).
- [10] MONTICELLI, A. J. et alii. - "Estimação de estado em sistemas de potência usando fluxo de carga desacoplado: um método rápido e aproximado". In: Colóquio Franco-Brasileiro sobre Métodos Numéricos em Engenharia, Rio de Janeiro, 1976.
- [11] ZOLLENKOPF, K. - "Bi-factorization-basic computation algorithm and programming techniques". In: REID, J.K. ed. - Large sparse sets of linear equations. N. York, Academic Press, 1971, p. 75-97.
- [12] ZOLLENKOPF, K. "Sparse nodal impedance matrix generated by the bi-factorization method and applied to short circuit studies". In: Proceedings PSCC, London, 1975, p. 1-13 (sec. 3.1/3)
- [13] STAGG, G.W. & EL-ABIAD, A.H. - Computer methods in power systems analysis. New York, McGraw-Hill, 1968. (McGraw-Hill series in electronic systems).