TESE
338

Tese
T-338

TRABALHO DE DISSERTAÇÃO APRESENTADO A COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM CIÊNCIAS.

ANÁLISE DE FLUXO DE CARGA E CONTINGÊNCIAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA : UMA METODOLOGIA EFICIENTE.

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

Autor: Oscar Armando Maldonado Astorga

Orientador : Julio Cesar Tibúrcio

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
20 AGO 1982
BIBLIOTECA MAUÁ

CLASS. 537.222:621.316(043.2)
CUTT. A888a
TOMBO T338

Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917

A N E X O I

PRONUNCIAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, nomeada por Portaria nº 169 de 04 / 08 / 82, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "ANÁLISE DE FLUXO DE CARGA E CONTINGÊNCIAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA: UMA METODOLOGIA EFICIENTE"

apresenta pronunciamento no sentido de que a Comissão de Pós-Graduação da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registros Acadêmicos) a expedição do título de Mestre em Engenharia ELÉTRICA na Área de Concentração de Sistemas de Potência satisfeitas as demais exigências regimentais à OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA.

Itajubá, 05 de agosto de 1982

1º Examinador
Prof. Eduardo Jorge Pires Pacheco
PUC - Rio de Janeiro

2º Examinador
Prof. Renato de A. Faria Nunes
EFEI

3º Examinador
Prof. Júlio Cesar Tibúrcio
ORIENTADOR

4º Examinador

Ministério da Educação e Cultura
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

A N E X O II

FOLHA DE JULGAMENTO DA COMISSÃO EXAMINADORA

Título da Dissertação: "ANÁLISE DE FLUXO DE CARGA E CONTINGÊNCIAS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA: UMA METODOLOGIA EFICIENTE"

Autor: OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA

JULGAMENTO

EXAMINADORES	CONCEITO	RUBRICA
1º	A	
2º	A	
3º	A	

Resultado médio: Conceito A, ou seja APROVADO

Observações:

Itajubá, 05 de agosto de 1982

1º Examinador
Prof. Eduardo Jorge Pires Pacheco
PUC - Rio de Janeiro

2º Examinador
Prof. Renato de A. Faria Nunes
EFEI

3º Examinador
Prof. Júlio César Tibúrcio
ORIENTADOR

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Julio Cesar Tibúrcio pela valiosa orientação na realização deste trabalho.

Ao Prof. Antonio Eduardo Hermeto pelo incentivo constante.

A secretária Regina Maria S.Grilo pela dedicação quanto ao trabalho de datilografia.

A todos os que de uma forma ou outra colaboraram para a realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

A minha esposa Mariângela e ao meu filho Lucas.

SUMÁRIO

Esta dissertação apresenta a implantação de um programa computacional para cálculo de fluxo de carga e contingências em sistemas elétricos de potência.

Consta também deste trabalho a apresentação teórica da metodologia utilizada no programa, bem como os resultados obtidos nos diversos estudos realizados em sistemas elétricos de potência encontrados na prática e aqui apresentados como exemplos.

O trabalho apresenta ainda o manual de uso do programa implantado.

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

I N D I C E

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO 01

CAPÍTULO II

FLUXO DE CARGA E AJUSTES 04

2.1 Introdução 04

2.2 Métodos para cálculos de Fluxo de Carga 06

2.3 Desenvolvimento do Método Desacoplado Rápido 09

2.4 Derivação do algoritmo básico 16

2.5 Ajustes 18

2.5.1 Transformadores controladores de tap em fase 22

2.5.2 Limites de tensão em barras PQ 27

2.5.3 Limites de geração de reativo em barras PV 38

2.5.4 Intercambio de potência ativa entre áreas 41

CAPÍTULO III

CONTINGÊNCIAS 46

3.1 Introdução 46

3.2 Cálculo de contingências 48

3.3 Métodos para cálculo de contingências 49

3.4 Saída de linhas 52

3.4.1 Algorítmo para simulação de saída de linhas 59

3.5 Simulação de saída de geradores 63

3.5.1 Efeitos da perda de geração no próprio gerador . . . 64

3.5.2 Efeitos da simulação de perda de geração no resto do sistema 65

3.5.3 Algorítmo para simulação de saída de geradores . . . 65

3.6 Simulação de entrada e saída de cargas 66
3.7 Separação de um sistema 67
3.8 Reguladores automáticos de tensão (AVR). 69
3.9 Reguladores de velocidade 72
3.10 Redistribuição de potências ativas 73

CAPÍTULO IV

IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA 82
4.1 Apresentação do programa 82
4.2 Implantação do programa 86
4.3 Dimensionamento do programa 88

CAPÍTULO V

RESULTADOS 89
5.1 Introdução 89
5.2 Resultados de cálculos de Fluxo de Carga 90
5.3 Resultados dos cálculos de contingências 95
5.4 Estudo do sistema regional da cidade de Fortaleza - CE 99
5.5 Exemplo de saída de resultados num cálculo de Fluxo de Carga 103
5.6 Exemplo de saída de resultados num cálculo de contingências 112

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES 124

APÊNDICE 1 127

APÊNDICE 2 146

S I M B O L O G I A

PV - Barras de Geração

PQ - Barras de Carga

$\overline{YN}$ - Matriz de admitância nodal do sistema

$\overline{ZN}$ - Matriz de impedância nodal do sistema

G_{ij} - Condutância mútua entre as barras i e j

B_{ij} - Susceptância mútua entre as barras i e j

θ_{ij} - Ângulo de fase da tensão entre as barras i e j

Q_i^T - Potência reativa transmitida na barra i

V_i - Valor do módulo de tensão de fase na barra i

G_{ii} - Condutância própria da barra i

B_{ii} - Susceptância própria da barra i

$\overline{B'}$ - Matriz iterativa do método Desacoplado Rápido que relaciona o vetor de discrepância de potência ativa com o vetor de ângulo de fase das tensões.

$\overline{B''}$ - Matriz iterativa do método Desacoplado Rápido que relaciona o vetor de discrepância de potência reativa com o vetor de valores de módulo de tensão de fase.

$\overline{B'}^{-1}$ - inversa de $\overline{B'}$

$\overline{B''}^{-1}$ - inversa de $\overline{B''}$

$\overline{YN}^{-1}$ - inversa de $\overline{YN}$

$\overline{\Delta P/V}$ - Vetor de discrepância (mismatch) de potência ativa

$\overline{\Delta Q/V}$ - Vetor de discrepância (mismatch) de potência reativa

- Outros símbolos são definidos onde aparecem no texto.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A análise de sistemas elétricos de potência constitui uma disciplina importante, destinada à realização de estudos que forneçam ou mostrem o desempenho dos sistemas elétricos de potência nas diversas etapas em que isto possa ser necessário, tais como nas de planejamento, operação ou expansão destes sistemas.

Dentro da análise de sistemas elétricos de potência pode-se dizer que um dos cálculos mais importantes é o de fluxo de carga, o qual pode constituir um estudo por si mesmo, ou então, representar o ponto de partida ou chegada para a realização de outros estudos visando a segurança dos sistemas elétricos de potência, dentre os quais um dos mais importantes é o cálculo de contingências.

Dada esta importância, é então necessário que se disponha de uma ferramenta eficaz para a realização destes cálculos, cujos resultados, em razão da grandeza do problema, devem ser rápidos e confiáveis.

O trabalho aqui apresentado, nasceu do interesse em implantar-se na Escola Federal de Engenharia de Itajubá, um programa para cálculo de fluxo de carga e contingências com alta eficiência e capaz de atender não só às necessidades didáticas da Escola mas também aos problemas práticos e reais

que surgissem em trabalhos de pesquisa que viessem a ser desenvolvidos.

Para conseguir este objetivo, existiam duas opções diferentes que poderiam ser seguidas. A primeira consistiria na realização de um programa computacional a ser desenvolvido completamente na Escola. A segunda opção consistiria na implantação no computador, de um programa já existente, do qual possuia-se uma listagem original e cujo rendimento já tinha sido anteriormente constatado em outros centros.

Dentro da nossa realidade e em função do tempo que seria necessário para o desenvolvimento de um novo programa que apresentasse a esperada eficácia; optou-se pela implantação do programa já existente.

Este trabalho apresenta um levantamento teórico do problema representado pelo cálculo de fluxo de carga com ajustes e pelo cálculo de contingências em sistemas elétricos de potência, mostrando alguns dos métodos de cálculo existentes mais conhecidos, e detendo-se de maneira especial nos métodos utilizados no programa implantado, de maneira a mostrar as razões da escolha.

Pretendia-se então deixar, ao final do trabalho um programa implantado no computador da EFEI, destinado a realização destes cálculos, o qual deveria satisfazer requisitos tais como eficiência, rapidez e segurança nos seus resultados permitindo desta forma a sua pronta utilização ou servindo como recurso importante para futuros estudos que viessem a ser realizados.

Nos próximos capítulos que constituem este trabalho será apresentada, como já anteriormente citado, a metodologia utilizada no programa para os diversos cálculos. Nesta metodologia cabe ressaltar desde já, o método Desacoplado Rápido para o fluxo de carga, o qual vem sendo cada vez mais utilizado em virtude da sua rapidez, baixo requisito de memória e comprovada eficácia, e um método para cálculo de contingências que apresenta grande rapidez e confiabilidade em virtude de utilizar as mesmas matrizes do caso base, empregando vetores de correção para a obtenção dos verdadeiros valores procurados.

Apresenta-se a seguir uma explanação do processo de implantação do programa, e os resultados obtidos ante os diversos testes a que o programa foi submetido, com especial atenção para o exemplo constituído pelo sistema elétrico regional da cidade de Fortaleza,CE,da COELCE, o qual apresenta um bom exemplo da aplicabilidade prática do programa implantado.

No final serão apresentadas as diversas conclusões e aproveitamentos que possam ser tirados da realização deste trabalho.

CAPÍTULO II

FLUXO DE CARGA E AJUSTES

2.1 - INTRODUÇÃO

Até a segunda metade da década de 50 um dos grandes problemas enfrentados na área de Análise de Sistemas de Potência era o cálculo do Fluxo de Carga, o qual, devido aos métodos até então utilizados [6] e ao grande volume de cálculo necessário, apresentava sempre resultados imprecisos e demorados. Foi a partir dessa data que iniciou-se a introdução do Computador Digital, o qual é caracterizado entre outras coisas pela grande capacidade e rapidez de efetuar operações aritméticas provocando o aparecimento de métodos digitais de solução de Fluxo de Carga.

No início dos anos 60, torna-se evidente a superioridade absoluta destes métodos em relação aos utilizados até então, principalmente devido a alta precisão dos resultados obtidos e ao pouco tempo necessário para efetuar um ou mais estudos automáticamente.

Métodos mais rápidos e eficientes surgiram e continuam a surgir desde então para a solução do estudo de Fluxo de Carga pois ainda existem obstáculos a serem vencidos tais como a dificuldade de convergência, devida a própria característica não linear do problema.

Na atualidade, o cálculo de Fluxo de Carga constitui a espinha dorsal da Análise de Sistemas de Potência,

sendo constantemente utilizado nos estudos de projeto, operação ou planejamento, ou como uma primeira etapa para outros estudos, tais como curto-circuito, estabilidade ou contigências.

A solução de um Fluxo de Carga consiste na determinação das tensões e fluxos de potências ativas e reativas em todos os pontos do sistema em estudo, num determinado estado de operação, dependendo da topologia do sistema e da configuração de carga durante esse estado.

Na sua maioria, os métodos utilizados no cálculo de Fluxo de Carga são processos iterativos para solução das equações que representam o sistema, esta solução consiste em supor valores iniciais para as grandezas desconhecidas como uma primeira aproximação, executando algum tipo de correção neste valor, até chegar a uma segunda aproximação. Quando isto é feito para todas as variáveis desconhecidas, tem-se completado uma iteração. São então feitas as iterações necessárias até atingir a convergência, dentro da precisão especificada.

No cálculo de Fluxo de Carga, as variáveis desconhecidas (chamadas de variáveis de estado) são as que serão calculadas em cada barra, partindo das variáveis conhecidas (chamadas variáveis de controle) que são aquelas especificadas em cada barra.

Dependendo das variáveis nelas especificadas, as barras de um Sistema de Potência são divididos em :

a) Barras de Geração (PV): São barras nas quais as variáveis conhecidas ou especificadas são a magnitude da tensão e a potência ativa gera

da; e as variáveis desconhecídas são o ângulo da tensão e a potência reativa.

b) Barras de Carga (PQ): São barras nas quais as variáveis especificadas são a potência ativa e potência reativa gerada e as variáveis desconhecida a serem calculadas são a magnitude e o ângulo da tensão.

c) Barra de Referência : Também conhecida como barra Swing, slack ou flutuante; é uma barra de geração variável na qual o ângulo e módulo de tensão são conhecidos, e as potências ativas e reativas são as variáveis desconhecidas a serem determinadas. Esta barra serve para balancear as perdas de potência ativa na transmissão e, ao mesmo tempo, fornece a referência para os ângulos de fase das tensões.

2.2 - *MÉTODOS PARA CÁLCULO DE FLUXO DE CARGA*

As técnicas ou métodos de solução mais conhecidos são:

- Gauss Seidel ou método iterativo da matriz de admitância nodal $\overline{Y_N}$
- Método iterativo da matriz de impedância nodal $\overline{Z_N}$
- Método de Newton Raphson
- Métodos Desacoplados

Os métodos iterativos das matrizes de admi

tância e impedância nodais são pouco utilizados devido às restrições por eles apresentadas[6 e 7], razão pela qual só serão citados nesta seção.

O método de Newton Raphson é um processo amplamente utilizado na atualidade, pois apresenta entre outras vantagens[8], um grande velocidade de convergência.

A formulação mais utilizada é a encontrada na forma polar e consiste em solucionar a seguinte equação de iteração.[9]

$$\left| -\frac{\overline{\Delta P}}{\overline{\Delta Q}} \right| = -\left| \overline{J} \right| \left| \frac{\overline{\Delta \Theta}}{\overline{\Delta V/V}} \right| \qquad (1)$$

onde :

$\overline{\Delta P}$ - é o vetor de discrepância ou mismatch de potência ativa

$\overline{\Delta Q}$ - é o vetor de discrepância ou mismatch de potência reativa

$\overline{\Delta \Theta}$ - é o vetor de correção dos ângulos de tensão de fase

$\overline{\Delta V/V}$ - é o vetor de correção dos módulos de tensão de fase

$\overline{J}$ - é a matriz jacobiana do sistema e é formada da seguinte forma:

$$\overline{J} = \begin{vmatrix} \overline{H} & \overline{N} \\ \overline{J} & \overline{L} \end{vmatrix}$$

onde : os elementos das submatrizes $\overline{H}, \overline{J}, \overline{N}$ e $\overline{L}$ são formados por derivadasparciais dos vetores de discrepância das potências ativa e reativa com relação aos módulos e ângulos das tensões.

Por tratar-se de uma técnica bastante conhecida e por não constituir parte integral deste trabalho, evita-se entrar em maiores detalhes a cerca deste método.

Entre os vários métodos Desacoplados existentes o mais importante é o método Desacoplado Rápido, o qual constitui a base deste estudo, devido às muitas vantagens que apresenta em relação aos outros no que diz respeito a gastos de memória, velocidade de convergência e outras características, o que torna a sua utilização mais eficiente.

Em comparação com o método de Newton Raphson que é atualmente o mais usado, o Desacoplado Rápido apresenta os seguintes resultados: [6]

a) A velocidade de cada iteração do método Desacoplado Rápido é da ordem de 5 vezes maior do que o Newton Raphson.

b) Os gastos de memória são em torno de 40% menores do que o Newton Raphson. Isto sem utilizar o recurso de transferência em bloco de memória o que tornaria ainda menores estes gastos, mas aumentaria o tempo de computação.

c) O método Desacoplado Rápido não é sensível à forma das funções envolvidas na definição do Fluxo de Car

gá, o que o torna bastante confiável mesmo em situações consideradas difíceis do ponto de vista de convergência.

d) A convergência do método Desacoplado Rápido é geométrica, o que significa que não é tão rápida quanto o do Newton Raphson, que é quadrática.

e) A programação do método Desacoplado Rápido é fácil desde que se disponhe de rotinas para exploração da esparsidade das equações.

Estes e outros méritos a serem vistos posteriormente justificam plenamente a escolha do método Desacoplado Rápido de Stott e Alsaç para o estudo de Fluxo de Carga no programa utilizado neste trabalho.

2.3 - *DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO DESACOPLADO RÁPIDO*

O método Desacoplado Rápido baseia-se em uma característica física inerente aos sistemas práticos de transmissão de potência, a qual consiste na forte ligação existente entre as potências ativas e os ângulos de fase das tensões, assim como entre as potências reativas e os módulos de tensão, e em um fraco acoplamento existente entre potências ativas e reativas e módulos e ângulos de fase das tensões, respectivamente. De forma mais clara pode-se dizer que os fluxos de potência ativa num sistema elétrico de potência, são fortemente influenciados pelos ângulos de fase das tensões (e vice-versa), e praticamente independem dos módulos das tensões, enquanto que os

fluxos de potência reativa são influenciados pelos módulos das tensões (e vice-versa), e praticamente não sofrem influência nenhuma dos ângulos de fase das tensões.

Em termos da equação de iteração do método de Newton Raphson, a característica anterior se traduz no seguinte. Seja a equação de iteração já apresentada :

$$\left|\begin{array}{c}\overline{\Delta P}\\ \overline{\Delta Q}\end{array}\right| = - \left|\begin{array}{cc}\overline{H} & \overline{N}\\ \overline{J} & \overline{L}\end{array}\right| \left|\begin{array}{c}\overline{\Delta\theta}\\ \overline{\Delta V/V}\end{array}\right|$$

Observa-se que as submatrizes $\overline{N}$ e $\overline{J}$ representam, respectivamente, o acoplamento existente entre fluxos de Potência Ativa e módulos e tensão e Fluxos de Potência Reativa e ângulo de fase das tensões. Estes acoplamentos, como visto anteriormente, são pequenos e podem ser desprezados, isto é:os valores numéricos dos elementos das submatrizes $\overline{N}$ e $\overline{J}$ são pequenos(em magnitude), em comparação com os valores dos elementos das submatrizes $\overline{H}$ e $\overline{L}$.[9]

Considerando o anterior, a equação fica:

$$\left|\begin{array}{c}\overline{\Delta P}\\ \overline{\Delta Q}\end{array}\right| = - \left|\begin{array}{cc}\overline{H} & 0\\ 0 & \overline{L}\end{array}\right| \left|\begin{array}{c}\overline{\Delta\theta}\\ \overline{\Delta V/V}\end{array}\right| \qquad (2)$$

Biblioteca Mário Boaventura Martins - EFEI - Escola de Engenharia de Itajubá

Esta é evidentemente uma equação desacoplada e pode ser separada nas duas equações seguintes:

$$|\overline{\Delta P}| = - |\overline{H}||\overline{\Delta\theta}|$$

$$|\overline{\Delta Q}| = - |\overline{L}||\overline{\Delta V/V}| \qquad (3)$$

onde os elementos das matrizes $\overline{H}$ e $\overline{L}$ são dados por :[9]

$$H_{ij} = - V_i V_j (G_{ij} \operatorname{sen}\theta_{ij} - B_{ij} \cos\theta_{ij})$$

e

$$H_{ii} = B_{ii} V_i^2 + Q_i^T$$

$$L_{ii} = B_{ii} V_i^2 - Q_i^T$$

As equações anteriores podem ser resolvidas separadamente, constituindo em si um método desacoplado, porém, outras simplificações são feitas para melhorar consideravelmente a eficiência e rapidez do processo de desacoplamento.

Considerando que em sistemas práticos de potência, operando em condições normais, os ângulos de fase dos ramos θ_{ij} são quase sempre pequenos, as seguintes aproxima

ções são sempre válidas ; [9]

$$\cos\theta_{ij} \cong 1$$

$$G_{ij} \operatorname{sen}\theta_{ij} << B_{ij}$$

e ainda

$$Q_i^T << B_{ii} V_i^2 \text{ (em valores por unidade)}$$

Os termos de $\overline{H}$ e $\overline{L}$ podem então ser aproximados por:

$$H_{ij} = L_{ij} \cong V_i V_j B_{ij}$$

$$H_{ii} = L_{ii} \cong V_i V_i B_{ii}$$

E as equações desacopladas são agora :

$$|\overline{\Delta P}| = -|\overline{VB'V}| \; |\overline{\Delta\theta}| \qquad (5)$$

$$|\overline{\Delta Q}| = -|\overline{VB''V}| \, |\overline{\Delta V/V}| \qquad (6)$$

Na atual etapa, as seguintes considerações são feitas para chegar às equações finais.

a) Omite-se da matriz $\overline{B'}$ os elementos do sistema que afetam predominantemente os fluxos de reativo tais como reatâncias shunt e taps em fase de transformadores controladores.

b) Omite-se da matriz $\overline{B''}$ a representação dos elementos do sistema que afetam os fluxos de potência ativa tais como taps em quadratura de transformadores controladores.

c) Os termos de V a esquerda de $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ nas equações (5) e (6) são passados para os primeiros membros dessas equações. Na equação (5), o termo V a direita de B' afeta os fluxos de reativo. Este acoplamento é eliminado considerando estes termos V como sendo fixos no valor de 1p.u. Na equação (6), os termos V a direita de $\overline{B''}$ cancelam-se com os termos V do vetor $\overline{\Delta V/V}$.

d) As resistências serie das linhas são desprezadas no cálculo dos elementos de $\overline{B'}$, fazendo com que esta matriz seja igual a utilizada na aproximação D.C. de Fluxo de Carga.

Com as considerações anteriores, as equações finais do método Desacoplado Rápido são:

$$|\overline{\Delta P/V}| = - |\overline{B'}| \; |\overline{\Delta\theta}| \qquad (7)$$

$$|\overline{\Delta Q/V}| = -|\overline{B''}||\overline{\Delta V}| \qquad (8)$$

As matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ tem as mesmas estruturas das matrizes $\overline{H}$ e $\overline{L}$ respectivamente ou seja :

$\overline{B'}$ tem dimensão (n-1)x(n-1) onde n é o número de barras do sistema

$\overline{B'}$ portanto, é composta de todas as barras do sistema menos a referência e seus elementos são dados por:

$$B'_{ij} = \frac{1}{X_{ij}} \qquad B'_{ii} = \sum_{k\alpha i} - \frac{1}{X_{ik}}$$

A matriz $\overline{B''}$ por sua vez, tem dimensão(npq) x (npq) onde npq é o número de barras (PQ) do Sistema.

Os elementos da matriz $\overline{B''}$ são dados por:

$$B''_{ij} = B_{ij} \qquad B''_{ii} = B_{ii}$$

Ambas as matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ são portanto reais, esparsas e constantes e necessitam ser fatoradas somente uma vez no começo da solução do Fluxo de Carga. $\overline{B''}$ é simétrica, portanto, somente o triângulo superior precisa ser fatorado e armazenado. Se os transformadores defaseadores são considerados alternativamente, $\overline{B'}$ também será simétrica e o recurso anterior é também utilizado.

Para sistemas que tem um só ponto de alimentação (não tem barras PV), as matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ tem a mesma estrutura, e desde que o sistema não contenha susceptancias shunt significativamente grandes (as quais para melhor convergência são excluídas de $\overline{B'}$), $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ tem ambas os mesmos valores, portanto só uma matriz precisa ser utilizada[9]. Isto economiza memória e tempo de computador.

A atração do método Desacoplado Rápido de Stott e Alsaç é indiscutivel e imediata, pois utilizando os fatores constantes de $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ nas equações (7) e (8), as soluções para os vetores de correção $\overline{\Delta\theta}$ $\overline{\Delta V}$ são extremamente rápidas. Estas soluções são alternadas de uma forma tal que leva a solução exata, o que acontece quando $|\overline{\Delta P/V}|$ e $|\overline{\Delta Q/V}|$ são iguais a zero, dentro de uma certa tolerância. Pode-se[5] mostrar que os elementos dos vetores de discrepância ou mismatches de potência são determinados por :

$$\Delta P_i/V_i = \frac{P_i^G - P_i^C}{V_i} - \sum_{k\eta i} V_k(G_{ik}\cos\theta_{ik} + B_{ik}\operatorname{sen}\theta_{ik}) \qquad (10)$$

$$\Delta Q_i/V_i = \frac{Q_i^G - Q_i^C}{V_i} - \sum_{k\eta i} V_k(G_{ik}\operatorname{sen}\theta_{ik} - B_{ik}\cos\theta_{ik}) \qquad (11)$$

Convêm lembrar que o princípio de desacoplamento é aplicado somente à matriz Jacobiana, sendo que os vetores de discrepância $|\overline{\Delta P/V}|$ e $|\overline{\Delta Q/V}|$ são calculados de maneira

exata o que garante a obtenção da solução exata.

2.4 - DERIVAÇÃO DO ALGORÍTMO BÁSICO

O algorítmo básico para solução do cálculo de Fluxo de Carga num computador digital através do presente método consiste em resolver as equações (7) e (8), alternadamente, utilizando em cada nova interação os valores mais recentes dos vetores $\bar{\theta}$ e $\bar{V}$ até atingir a convergência desejada ou seja até que os vetores de discrepância $|\overline{\Delta P/V}|$ e $|\overline{\Delta Q/V}|$ se tornem nulos dentro de uma certa tolerância especificada.

O processo a ser seguido para a realização deste cálculo é o seguinte :

1) Montar e fatorar as matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ utilizando para isto técnicas de esparsidade.

2) Assumir condições iniciais para os vetores $\overline{V}$ e $\overline{\theta}$

3) Calcular o vetor de discrepância $\overline{\Delta P/V}$ segundo a expressão (10)

4) Resolver a equação (7) : $\overline{\Delta P/V} = -\overline{B'}\ \overline{\Delta\theta}$, para obter $\overline{\Delta\theta}$

5) Atualizar os valores de $\overline{\theta}$ fazendo

$$\overline{\theta}_{k+1} = \overline{\theta}_k + \overline{\Delta\theta}_k$$

6) Calcular o vetor de discrepância $|\overline{\Delta Q/V}|$ segundo a expressão (11)

7) Solucionar a equação (8) : $\overline{\Delta Q/V} = -\overline{B''}\ \overline{\Delta V}$ para obter $\overline{\Delta V}$

8) Atualizar o valor de $\overline{V}$ fazendo $\overline{V}_{k+1} = \overline{V}_k + \overline{\Delta V}_k$

9) Voltar ao item 3º. A convergência é testada a cada novo cálculo de $\overline{\Delta P/V}$ ou $\overline{\Delta Q/V}$ e só ocorre quando ambos são aproximadamente nulos, ao mesmo tempo.

Os teste de convergência são:

$$\max |\Delta P| \leq C_p \ ; \quad \max |\Delta Q| \leq C_q$$

Escola Federal de Engenharia Biblioteca MAUÁ Itajubá

onde : C_p e C_q são valores de tolerância especificados.

Cada solução de (7) e (8) produz rápidas reduções de $|\overline{\Delta P/V}|$ e $|\overline{\Delta Q/V}|$ respectivamente, conduzindo à solução exata do problema de Fluxo de Carga.

2.5 - AJUSTES

Todo programa para cálculo de Fluxo de Carga, para ser completo deve conter ajustes ou controles, os quais tem como principal finalidade representar ou simular as características reais de funcionamento num ponto ou estado de operação do sistema elétrico de potência em estudo.

Pouco existe atualmente na literatura acerca do problema de introdução dos ajustes num programa para cálculo de Fluxo de Carga. Isto pode atribuir-se entre outras coisas à falta de formalismo matemático existente nos processos atualmente em uso para a incorporação de ajustes nos metodos de Fluxo de Carga. Tal incorporação tende a deteriorar a performance dos métodos através do aumento considerável do número de iterações necessárias para a convergência.

Os ajustes nada mais são do que a simulação no programa de Fluxo de Carga, do funcionamento de dispositivos automáticos de controle do sistema elétrico, operando sob critérios simples.

Os mais importantes são : transformadores controlados com taps em fase, transformadores controladores com taps em quadratura, barras de geração(PV) com limites de potência reativa gerada, barras de carga(PQ) com limites de tensão e Intercâmbio de potência ativa entre áreas de um sistema.

Três são as técnicas ou processos normalmente utilizados para a implantação de ajustes:

1º) Introdução dos ajustes diretamente nas equações do modelo de Fluxo de Carga

2º) Reespecificação de tipos de Barra

3º) Introdução dos ajustes através de lógica de realimentação.

O método de introdução dos ajustes diretamente nas equações do modelo de Fluxo de Carga, consiste, como o seu próprio nome o diz, em representar a atuação dos controles, nas próprias equações do processo iterativo o que é feito, substituindo as variáveis controláveis pelas variáveis controladoras nas referidas equações [10]. Este processo é eficaz para transformadores controladores de taps em fase e em quadratura.

O método de cálculo de Fluxo de Carga que mais se adapta a este processo é o método de Newton Raphson, sendo ineficaz ou impossível a sua utilização nos outros métodos conhecidos.

A principal desvantagem desta técnica de introdução de ajustes é a necessária modificação da estrutura da matriz Jacobiana nas equações do método de Newton Raphson o que pode acarretar dificuldades na exploração de sua esparsidade.

Por tratar-se de um processo aplicado ao método de Newton Raphson e por não ser este o método de cálculo de Fluxo de Carga utilizado neste trabalho, não se entra num estudo mais apurado desta técnica.

O processo denominado como reespecificação de

tipos de barras é utilizado nos casos de barras de geração com controle de reativo gerado e barras de carga com controle de tensão. A técnica consiste em reespecificar a barra na qual acontece uma violação nos limites da grandeza que se quer controlar ou seja, numa barra (PV), quando ocorre violação nos limites de potência reativa gerada, esta barra é convertida em barra (PQ) com o valor da potência reativa gerada igual ao limite violado. A barra então permanece como (PQ) até o final da solução a menos que possa ser reconvertida ao tipo (PV) durante algum estágio posterior.

Barras (PQ) com limites de tensão são analizadas de maneira análoga a anterior considerando-se a diferença nas grandezas envolvidas.

Nesta curta apresentação torna-se já evidente que, no caso do método desacoplado, a mudança de tipos de barras provoca necessariamente a refatoração da matriz $\overline{B''}$, o quetorna a utilização deste processo ineficiente no presente trabalho podendo ser util no entanto em métodos de solução de Fluxo de Carga tais como Gauss-Seidel e o da Matriz $\overline{ZN}$.

O processo de introdução de ajustes atraves de lógica de realimentação [6] tem o seu nome derivado da semelhança que apresenta com o modelo de um sistema de controle realimentado. Pode ser aplicado a qualquer dos tipos de ajustes aqui apresentados, utilizando técnicas simples de programação.

Neste processo o problema é tratado como a determinação de um parametro controlador X de um equipamento automático de controle de forma a ajustar uma grandeza Y(varia

vel controlada), em um valor especificado dentro de uma certa tolerância. Estas grandezas controladoras (X) e controladas(Y) variam para cada tipo de controle sendo que num transformador controlador com tap em fase a grandeza controladora(X) é o tap do transformador, e a variável controlada (Y) será a tensão numa barra(PQ) ligada ao mesmo. Já no caso de um transformador com tap em quadratura (X) seria o tap em quadratura,e(Y) o fluxo de Potência ativa na linha e assim para os outros controles aqui citados.

A atuação deste processo de introdução de ajustes pode ser representado pela seguinte equação geral.

$$\Delta X = \pm \alpha \Delta Y$$

onde ΔX é a variação na grandeza controladora, ΔY é o erro na grandeza controlada ou seja a diferença entre os valores atuais e os especificados de Y. O fator α representa o "ganho de realimentação" do ajuste, o seu valor é escolhido empiricamente e varia segundo o método de cálculo de Fluxo de Carga utilizado e o tipo de ajuste a ser incorporado. α determina também uma medida da sensitividade da variável(X) com relação a variável(Y).

Existem técnicas apropriadas para o cálculo aproximado do valor de α o qual depende do método de cálculo de Fluxo de Carga utilizado e do sistema elétrico em estudo.

A introdução dos ajustes através deste pro

cesso só deve ser feita após obtida uma convergência inicial, o que garante uma maior segurança nos resultados do erro da variável controlada e evita oscilações desnecessárias que provocam o retardamento da convergência ou até a divergência do processo iterativo.

Neste trabalho a introdução dos ajustes é feita através de lógica de realimentação devido às vantagens ja apresentadas em relação às outras técnicas comentadas.

Os ajustes aqui considerados e a sua incorporação no programa principal são apresentados e explicados a seguir.

2.5.1 - *Transformadores Controladores de tap em fase*

A introdução deste ajuste, como visto anteriormente, tem por finalidade controlar o módulo de tensão numa barra(PQ) à qual está ligado um transformador controlador com tap em fase. Esse controle é feito através do tap em fase do transformador.

O algorítmo de ajuste apropriado para representar este tipo de controle é :

$$P_j^{i+1} - P_j^i = \pm (V_k^{esp} - V_k^i) \qquad (20)$$

onde :

P_j^{i+1} = valor novo já corrigido do tap p do transformador j

P_j^{i} = valor do tap p do transformador j antes da correção

V_k^{esp} = magnitude de tensão especificada na barra k

V_k^{i} = valor atual da magnitude da tensão controlada da barra k antes da variação.

O sinal (+) da equação (20) aplica-se quando a barra(k) cuja tensão deseja-se controlar está do lado do tap. O sinal (-) é usado quando a barra (k) está do lado fixo do transformador.

Duas observações tornam-se importantes na incorporação deste tipo de ajuste; a primeira consiste na mudança dos elementos da matriz $|\overline{Y_N}|$ afetados pela mudança do valor p do tap em fase do transformador. Embora os elementos da matriz $\overline{B''}$ também devessem a rigor ser modificados, isto não é feito a fim de evitar-se a refatoração dessa matriz. Essa simplificação não afeta significativamente os resultados.

A segunda observação que cabe é que a variação do tap é considerada no ajuste como sendo contínua o que não representa a realidade, pois nesta a variação é discreta. Isto faz com que após a obtenção do valor final do tap, ele seja aproximado para o valor discreto existente mais próximo o que implica num novo cálculo de Fluxo de Carga para este novo valor.

O algoritmo utilizado neste programa para a implantação do ajuste, considerando o retorno da variável controladora, ao seu valor original, mantendo a variável controlada dentro dos limites especificados é o seguinte :

1º) Calcular $\Delta P_j^i = P_j^{inic.} - P_j^i$

2º) Se $\Delta P_j^i \geq 0$, calcular $\Delta V_k^i = V_k^{esp} - V_k^i$ + tolerância

3º) Se $\Delta P_j^i < 0$, calcular $\Delta V_k^i = V_k^i - V_k^{esp}$ + tolerância

4º) Se $|\Delta P_j^i| \leq \Delta V_k$, voltar ao início do processo fazendo $P_j^{i+j} = P_j^{inic.}$

$P_j^{inic.}$ = valor inicial do tap P

O Fluxograma é mostrado na figura 2.1 onde:

NOTV = Número de transformadores controláveis

KQ1 = Chave para indicar se houve variação em algum tap

V_k = Módulo de tensão na barra k

$p^{inic.}$, p^i, p^{i+1} = valores inicial, velho e novo do tap P respectivamente.

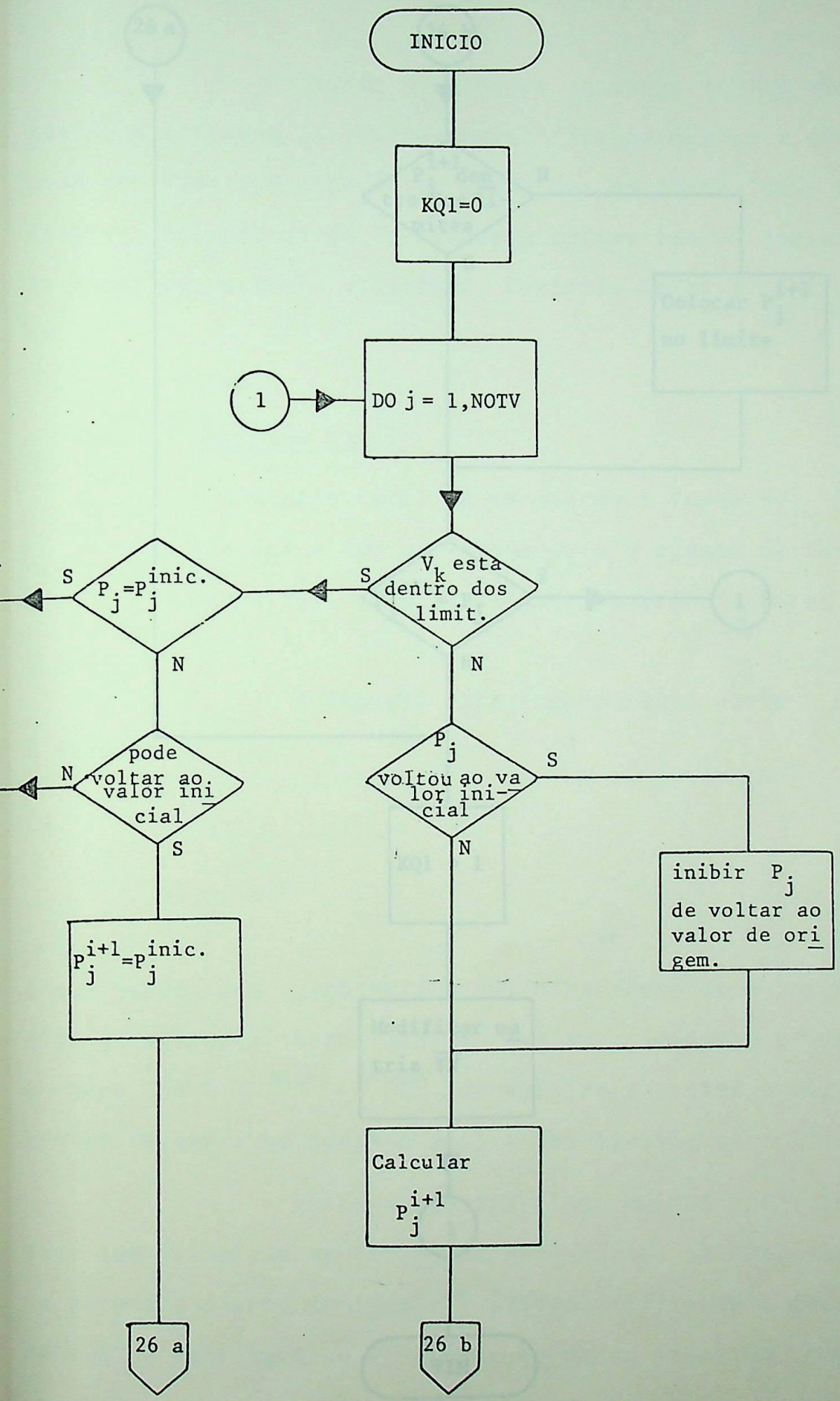
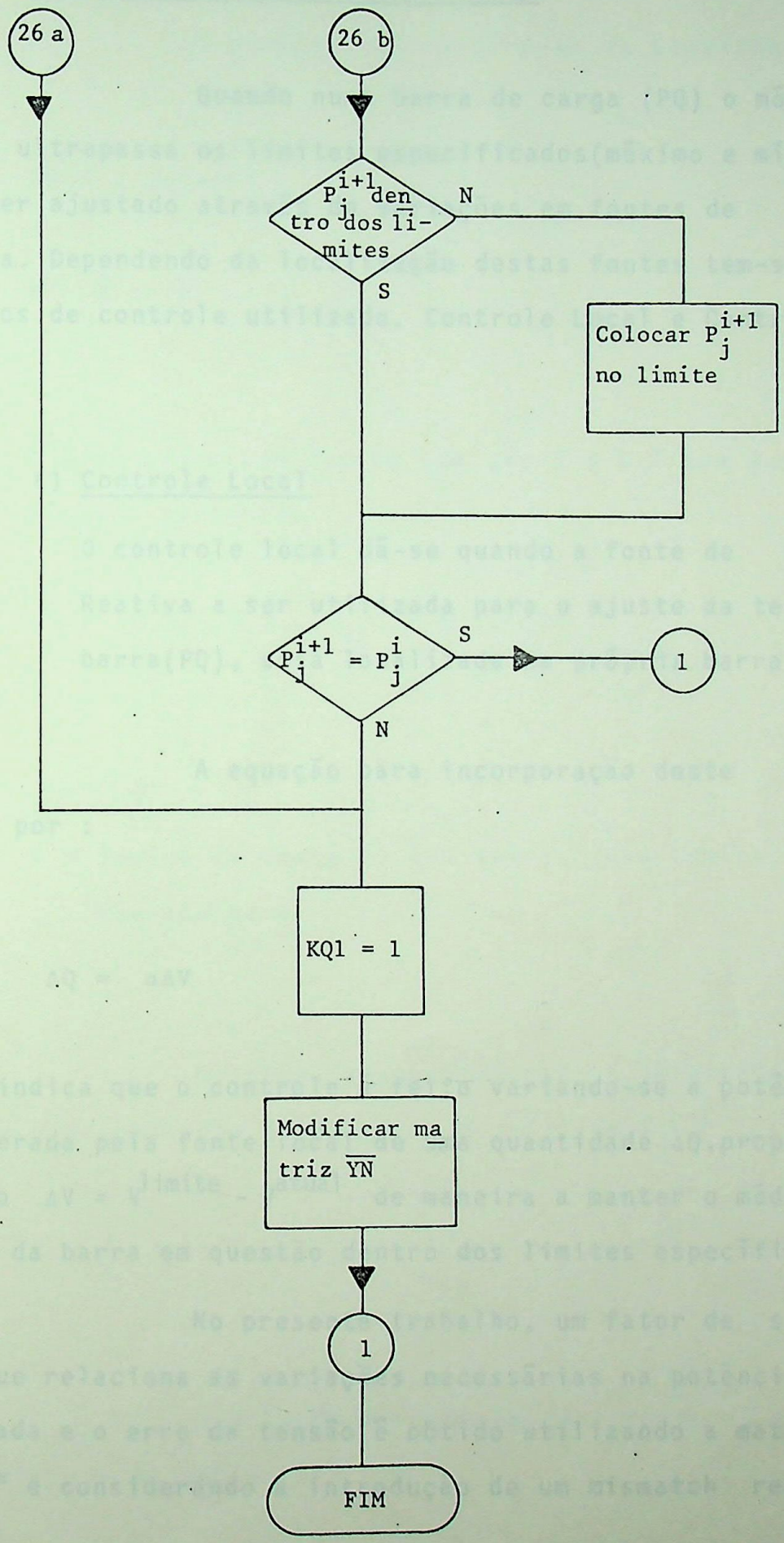


Figura 2.1 - Fluxograma para transformadores com tap controlável


26 a
26 b
P_j^{i+1} dentro dos limites
N
S
Colocar P_j^{i+1} no limite
$P_j^{i+1} = P_j^i$
S
1
N
KQ1 = 1
Modificar matriz $\overline{YN}$
1
FIM

2.5.2 - *Limites de Tensão em Barras (PQ)*

Quando numa barra de carga (PQ) o módulo de tensão ultrapassa os limites especificados(máximo e mínimo)ele pode ser ajustado através de variações em fontes de potência Reativa. Dependendo da localização destas fontes tem-se os dois tipos de controle utilizado. Controle Local e Controle Remoto.

a) Controle Local

O controle local dá-se quando a fonte de Potência Reativa a ser utilizada para o ajuste da tensão da barra(PQ), está localizada na própria barra.

A equação para incorporação deste controle é dada por :

$$\Delta Q = \alpha \Delta V$$

o que indica que o controle é feito variando-se a potência reativa gerada pela fonte local de uma quantidade ΔQ, proporcional ao erro $\Delta V = V^{limite} - V^{atual}$ de maneira a manter o módulo de tensão da barra em questão dentro dos limites especificados.

No presente trabalho, um fator de sensitividade que relaciona as variações necessárias na potência reativa gerada e o erro da tensão é obtido utilizando a matriz fatorada $\overline{B''}$ e considerando a introdução de um mismatch reativo de

1 p.u.

O processo desenvolve-se da seguinte maneira :

Seja a equação :

$$\overline{B''}\ \overline{X} = \overline{b} \qquad (21)$$

onde :

$\overline{b}$ é um vetor com 1,0 na posição i e 0,0 nas demais posições, portanto:

$$\overline{b}^t = |0,0...0,0...b_i...0,0...0,0|$$

onde:

$b_i = 1.0$

i = índice da barra PQ que tem os seus limites de tensão violados.

O fator de sensitividade S_i é definido como o inverso do elemento X_i do vetor de solução $\overline{X}$ |4|

$$S_i = \frac{1}{X_i}$$

A solução da equação (21) fornece, no vetor $\overline{X}$, a coluna i da matriz $\overline{S}$.

Após esta solução a seguinte aplicação é feita

1.p.u. adicionado ——— X_i

y ——————————— ΔV_i requerido

onde:

$$\Delta V_i \text{ requerido} = V_i^{\text{limite}} - V_i^{\text{atual}}$$

y = Quantidade necessária de $\Delta Q_i / V_i$

Portanto, a quantidade de potência reativa necessária a ser injetada na barra i é dada por:

$$y = \Delta Q_i / V_i = S_i \cdot \Delta V_i \text{ requerido} \qquad (22)$$

$$\Delta Q_i = V_i \cdot \Delta V_i \text{ requerido} . S_i$$

Cabe observar que como consequência da injeção de potência reativa ΔQ_i na barra i, acontecem também variações de tensão em todas as outras barras PQ do sistema. Estas variações são calculadas da seguinte forma :

$$V_k^{i+1} = V_k^i + S_i \cdot \Delta V_i \text{ requerido } X_k \qquad (23)$$

onde :

V_k^{i+1} = valor da tensão na barra k após a correção

V_k^i = valor atual da tensão na barra k antes da correção.

X_k = é o elemento k do vetor $\overline{X}$ e

k = é o índice da barra na qual se deseja calcular a variação de tensão.

b) Controle Remoto

O controle remoto da tensão de uma barra PQ acontece quando a fonte de potência reativa utilizada para ajustar a tensão na barra não está diretamente ligada à barra em questão. Na prática, este controle representa o efeito da compensação introduzida no AVR(regulador de tensão) de uma barra do tipo (PV), ou seja, corrige-se o módulo de tensão da barra(PV) controlando remotamente a violação de tensão na barra(PQ) (cuja tensão se deseja controlar), de uma quantidade diretamente proporcional ao erro $\Delta V = V^{limite} - V^{atual}$ de forma a manter este erro dentro dos limites desejados. Um fator de sensitividade relacionando essas variações necessárias é obtido utilizando a matriz fatorada $\overline{B}^{\prime\prime}$ e considerando a variação de tensão na barra PV como sendo igual a 1.0PU.

A seguir tem-se a derivação matemática de como isto é feito :

Para uma barra do tipo PQ tem-se : [4]

$$Q_{iT} = V_i \sum_{k=1}^{n} V_k a_{ik} \qquad (24)$$

onde :

Q_{iT} = Potência Reativa transferída na barra i

$$a_{ik} = G_{ik} \operatorname{sen}\theta_{ik} - B_{ik} \cos\theta_{ik} \qquad (25)$$

Após uma variação ΔV_j na barra PV tem-se :

$$\frac{Q_{iT}}{V_i+\Delta V_i} = \sum_{k=1}^{m} (V_k+\Delta V_k)\, a_{ik} + \sum_{\substack{k=m+1 \\ k\neq j}}^{n} V_k a_{ik} + (V_j+\Delta V_j) a_{ij} \qquad (26)$$

Onde :

de 1 até m são barras do tipo PQ

de m+1 até n são barras do tipo PV

O termo a esquerda da expressão (26) pode ser aproximado para [5]

$$\frac{Q_{iT}}{V_i} \left(1 - \frac{\Delta V_i}{V_i}\right) \qquad (27)$$

A expressão (27) após sofrer manipulações algébricas [4] pode ser aproximada para

$$\sum_{k=1}^{m} V_k a_{ik} + \frac{Q_{iT}}{V_i^2} \Delta V_i = -\Delta V_j a_{ij} \qquad (28)$$

Esta expressão pode ser escrita para todas as barras do tipo(PQ). O termo a direita sendo igual a zero, indica que não existe ligação direta entre a barra(PQ) e a barra (PV), controladora.

A seguinte relação pode ser estabelecida:

$$\overline{A}\ \overline{\Delta V} = \overline{b} \qquad (29)$$

onde :

$$A_{ii} = a_{ii} + \frac{Q_{iT}}{V_i^2} \quad \text{e} \quad A_{ik} = a_{ik}$$

$$\overline{b}^t = |0 \ldots b_h \ldots 0 \ldots b_i \ldots 0|$$

b_h e b_i são barras PQ diretamente ligadas a j

$$b_h = - a_{hj} \Delta V_j$$

$$b_i = - a_{ij} \Delta V_j$$

A matriz $\overline{A}$ torna-se a matriz $\overline{B''}$ por imposição das suposições do método Desacoplado Rápido.

Utilizando então $\Delta V_j = 1.0$ p.u, a equação

$$\overline{B''}\ \overline{X} = \overline{b}$$

pode ser resolvida para o vetor $\overline{X}$.

Como no ajuste anterior $S_i = \dfrac{1}{X_i}$

Após a solução temos o seguinte processo de aplicação.

1.0 P.U adicional ——————— V_i

y ——————— ΔV_i requerido

onde :

$$\Delta V_i \text{ requerido} = V_i^{\text{LIMITE}} - V_i$$

y = quantidade ou valor de variação necessária no módulo de tensão ΔV_j

A variação de tensão necessária na barra PV é então dada por :

$$\Delta V_j = S_i \, \Delta V_i \text{ requerido} \qquad (30)$$

Como consequência desta variação de tensão ocorrerão mudanças nas tensões de todas as outras barras (PQ) do Sistema. Estas mudanças podem ser determinadas por:

$$V_k^{i+1} = V_k^{i} + S_i . \Delta V_i \text{req} . X_k \qquad (31)$$

Onde :

X_k é o elemento k do vetor $\overline{X}$

O algorítmo utilizado no programa implantado neste trabalho para este tipo de ajuste é :

1º) Calcular $\Delta V_j = V_j^{\text{inicial}} - V_j^{i}$

2º) Se $\Delta V_j \geq 0$, Calcular $\Delta V_i = V_i^{\max} - V_i$

3º) Se $\Delta V_j < 0$, Calcular $\Delta V_i = V_i - V_i^{\min}$

4º) Se $|\Delta V_j| \leq S_i . \Delta V_i$, voltar ao processo de ajuste fazendo-se $V_j = V_j^{\text{inicial}}$

A lógica para a introdução de controle local e remoto de tensão é mostrada no fluxograma da fig. 2.2

KQ2 = Chave para indicar se houve variação em alguma fonte de reativo local ou num controle remoto de tensão.

NOVR= Número de barras PQ com limites de tensão.

$V_j^{inic.}$, V_j^1, V_j = valores inicial, atual e novo de V_j.

V_i = Módulo de tensão na barra i.

$Q_i^{inic.}$, Q_i = valores inicial e novo da fonte controladora de potência reativa.

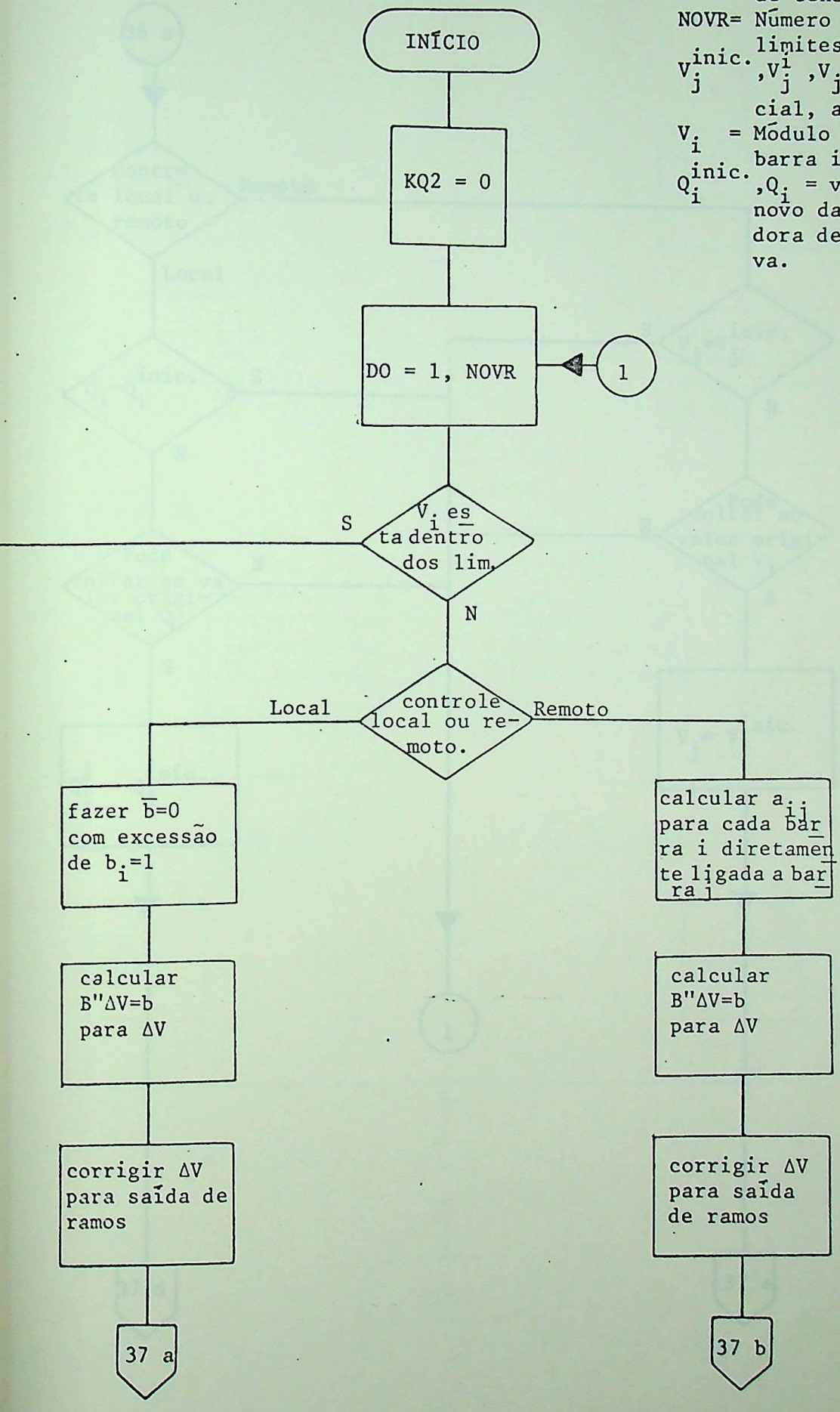
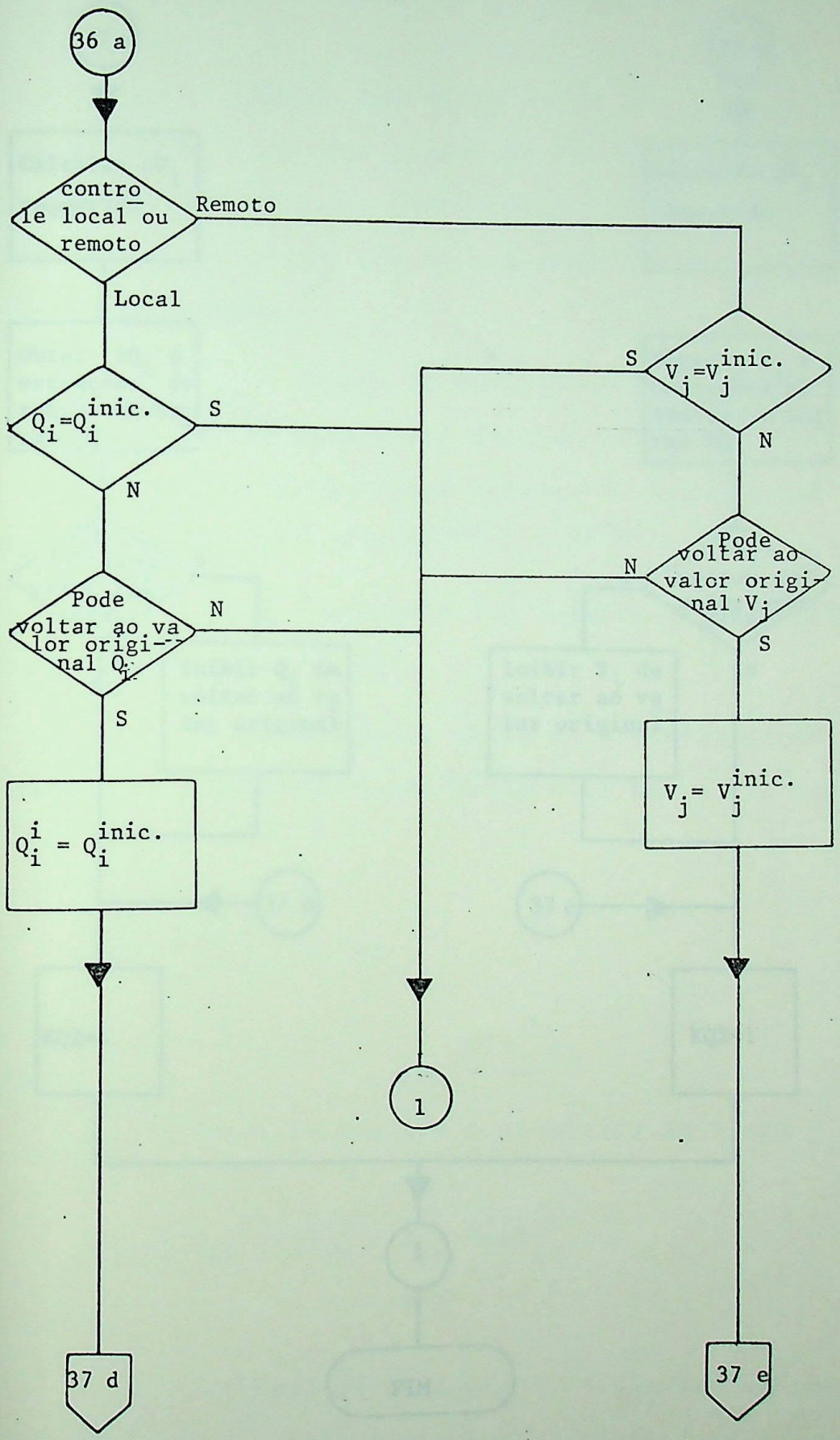
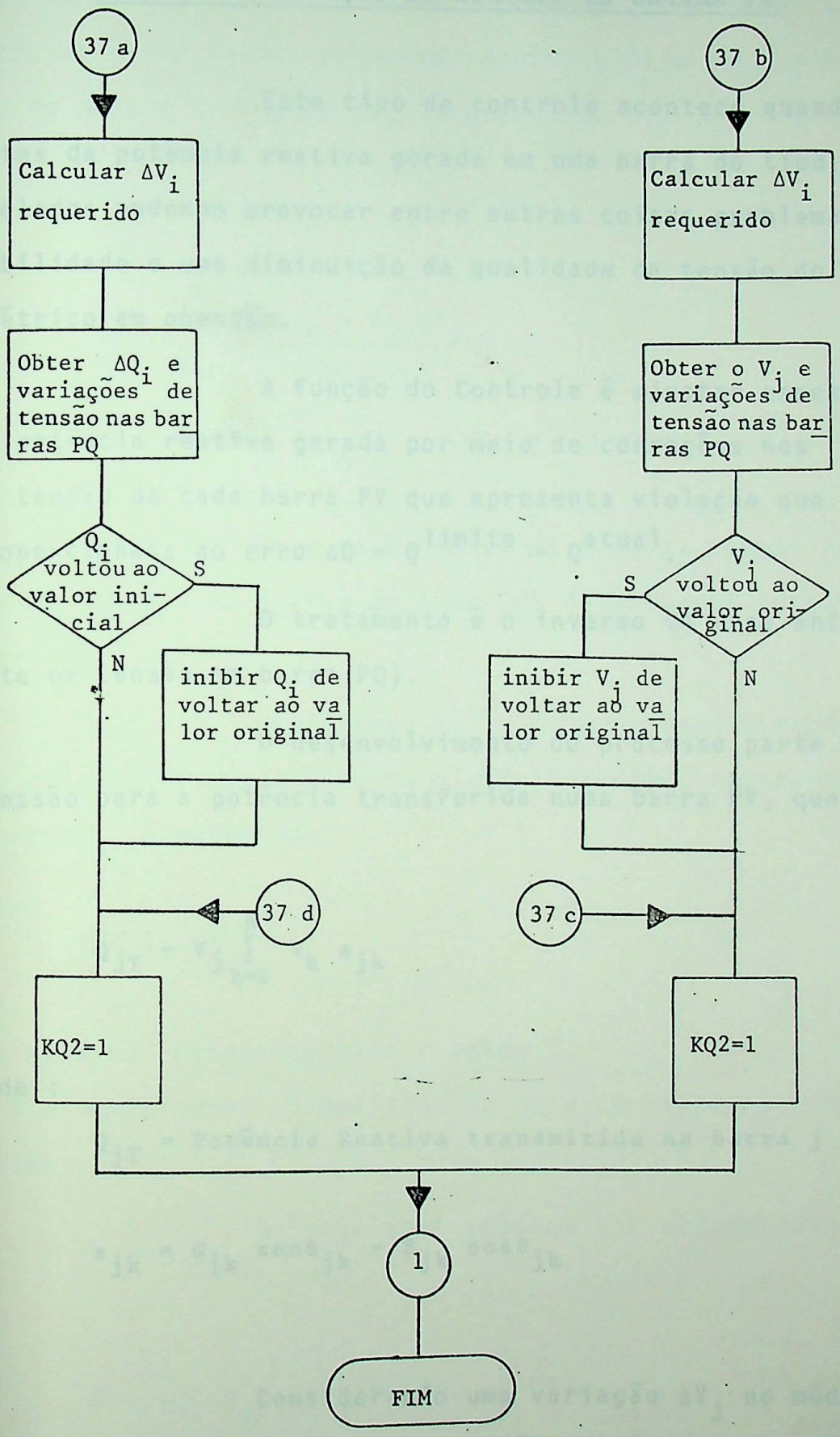


Figura 2.2 - Fluxograma para controle de limites de tensão



Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá


37 a
Calcular ΔV_i requerido
Obter ΔQ_i e variações de tensão nas barras PQ
Q_i voltou ao valor inicial
S
N
inibir Q_i de voltar ao valor original
37 d
KQ2=1
37 b
Calcular ΔV_i requerido
Obter o V_j e variações de tensão nas barras PQ
V_j voltou ao valor original
S
N
inibir V_j de voltar ao valor original
37 c
KQ2=1
1
FIM

2.5.3 - *Limites de Geração de Reativo em barras PV.*

Este tipo de controle acontece quando os limites da potência reativa gerada em uma barra do tipo PV são violados podendo provocar entre outras coisas problemas de estabilidade e uma diminuição da qualidade da tensão do Sistema Elétrico em questão.

A função do Controle é ajustar esses valores de potência reativa gerada por meio de correções nos módulos de tensão de cada barra PV que apresenta violação que sejam proporcionais ao erro $\Delta Q = Q^{limite} - Q^{atual}$.

O tratamento é o inverso do caso anterior(limite de tensão em barra PQ).

O desenvolvimento do processo parte da expressão para a potência transferida numa barra PV, que é :

$$Q_{jT} = V_j \sum_{k=1}^{n} V_k \, a_{jk} \qquad (32)$$

onde :

Q_{jT} = Potência Reativa transmitida na barra j

$$a_{jk} = G_{jk} \operatorname{sen}\theta_{jk} - B_{jk} \cos\theta_{jk}$$

Considerando uma variação ΔV_j no módulo de tensão da barra j e após manipulações algébricas e aproxima

ções numéricas [5] , obtem-se a expressão que fornece a relação entre as variações da potência reativa gerada ΔQ_j, e a variação do módulo de tensão ΔV_j. A expressão é :

$$\frac{\Delta Q_j}{V_j} = \sum_{k=1}^{m} \frac{V_k a_{jk} + a_{jj} \Delta V_j}{1 - \Delta V_j / V_j} \qquad (35)$$

Da equação anterior tira-se também a variação de tensão nas barras do tipo(PQ) diretamente conectada a barra j.

Utilizando ΔV_j = 1.0p.u.e considerando o fator de sensitividade como no ajuste anterior, tem-se a equação matricial já conhecida:

$$\overline{B''}\ \overline{X} = \overline{b}$$

que pode ser resolvida para o vetor $\overline{X}$.
$\overline{b}$ é o mesmo vetor já definido no caso de controle remoto de tensão.

Os seguintes valores são determinados a seguir :

$$C = \Delta Q_j / V_j = (Q_j^{Limite} - Q_j^{atual}) / V_j$$

$$D = \sum_{k=1}^{m} \Delta V_k a_{jk} + a_{jj} \qquad (p/\Delta V_j = 1)$$

E a correção do módulo de tensão da barra j pode ser calculado por [6]:

$$\Delta V_j = \frac{C}{D + C/V_j^2}$$

As variações de tensão nas barras PQ do sistema, como consequencia da variação ΔV_j na barra PV são determinadas por :

$$V_k^{i+1} = V_k^{i} + \Delta V_j X_k$$

onde :

X_k é o elemento k do vetor $\overline{X}$

V_k^{i+1} novo valor ja corrigido da tensão na barra k

V_k^{i} valor anterior a variação da tensão na barra k

O algoritmo para a introdução deste ajuste é o seguinte :

1º) Calcular $\Delta V_j = V_j^{inicial} - V_j^{i}$

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ B.M

2º) Se $\Delta V_j \geq 0$, calcular $\Delta Q_j = Q_j^{máx} - Q_j^{atual}$

3º) Se $\Delta V_j < 0$, calcular $\Delta Q_j = Q_j^{atual} - Q_j^{min}$

4º) Se $|\Delta V_j| \leq \frac{\Delta Q_j}{S_j}$ voltar ao processo inicial fazendo

$$V_j^{i+1} = V_j^{inicial}$$

V_j^i = valor atual da tensão na barra j antes da correção.

O Fluxuograma do algorítmo deste ajuste é mostrado na figura 2.3.

2.5.4 - *Intercâmbio de Potência Ativa entre áreas*

Com a finalidade de obter uma maior confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica, os sistemas elétricos de potência procuram trabalhar [13] interconectados com outros sistemas. Isto origina vários sub sistemas (áreas) que operam de maneira interligada sendo que cada uma destas áreas pode receber ou fornecer potência ativa de e para as outras áreas, segundo a necessidade do momento.

O controle do intercâmbio de potência ativa entre áreas tem a finalidade de ajustar esses intercambios de forma que não ultrapassem os limites especificados. Estes limites são especificados em função de determinações técnicas e em

KQ3 = Chave para indicar se ocorreu variação em alguma tensão

NK5 = Número de barras com limites de geração de reativo

$V_j^{inic.}$; V_j^i , V_j^{i+1} = valor inical, atual e novo de V_j

Q_i = Geração do reativo na barra j

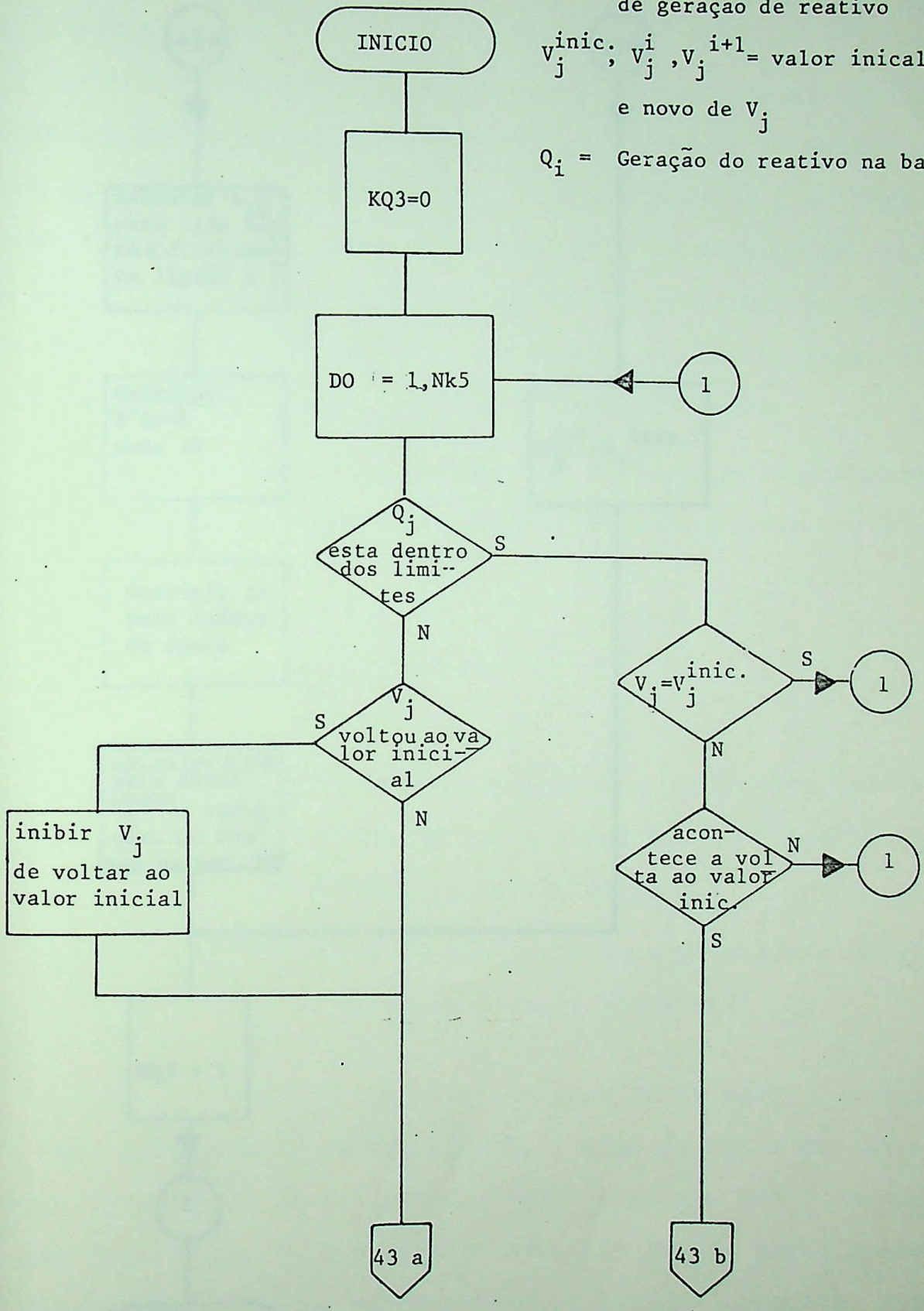
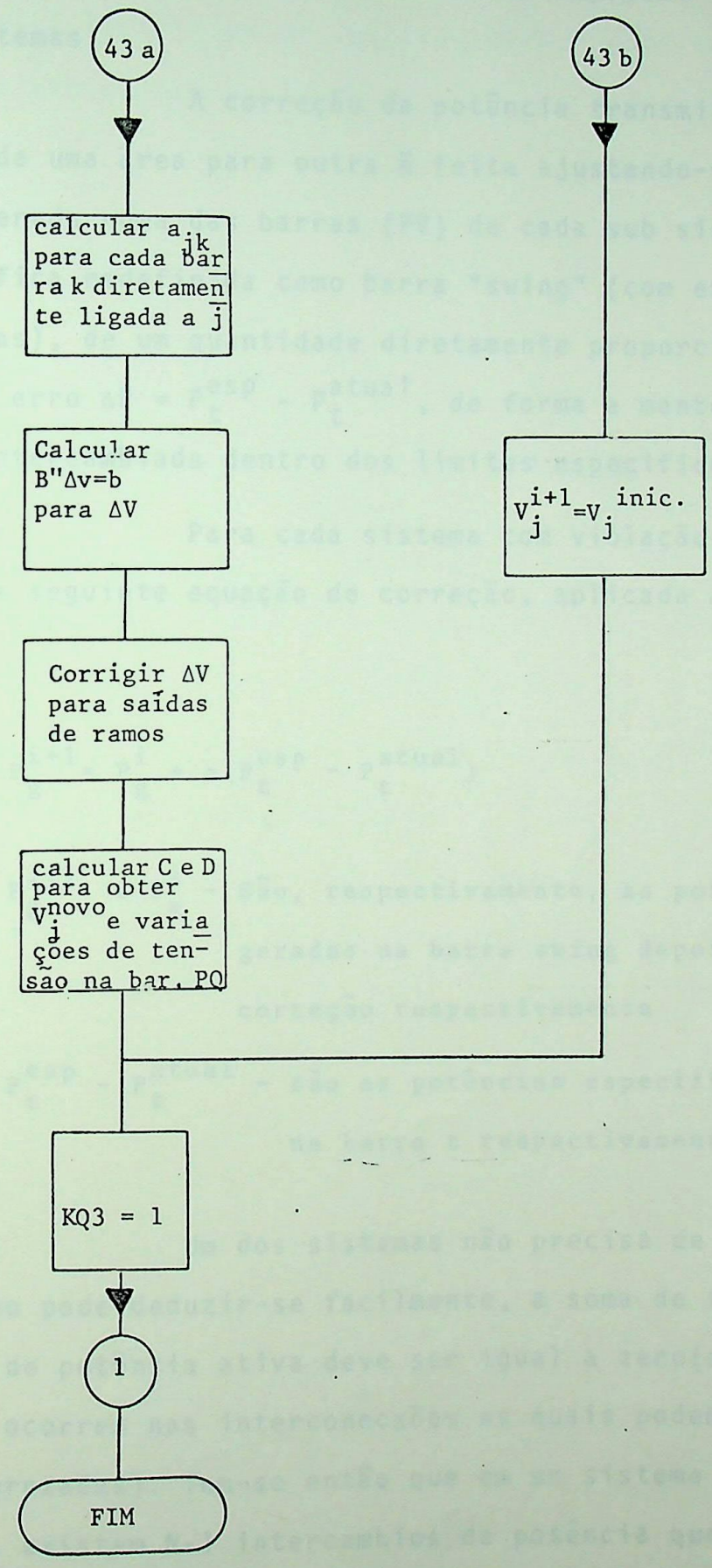


Figura 2.3 - Fluxograma para controle de limites do reativo gerado


43 a
43 b
calcular a_{jk} para cada barra k diretamente ligada a j
Calcular B"Δv=b para ΔV
Corrigir ΔV para saídas de ramos
calcular C e D para obter V_j^{novo} e variações de tensão na bar. PQ
$V_j^{i+1} = V_j$ inic.
KQ3 = 1
1
FIM

função de determinações comerciais das empresas que operam estes sistemas.

A correção da potência transmitida ou transferida de uma área para outra é feita ajustando-se a potência ativa gerada numa das barras (PV) de cada sub sistema ou área, a qual fica redefinida como barra "swing" (com exceção de uma das áreas), de um quantidade diretamente proporcional à magnitude do erro $\Delta P = P_t^{esp} - P_t^{atual}$, de forma a manter a potência ativa intercambiada dentro dos limites especificados.

Para cada sistema com violação de intercambio tem-se a seguinte equação de correção, aplicada a cada iteração.

$$P_g^{i+1} = P_g^i + \alpha(P_t^{esp} - P_t^{atual})$$

P_g^{i+1} e P_g^i - São, respectivamente, as potências ativas geradas na barra swing depois e antes da correção respectivamente

$P_t^{esp} - P_t^{atual}$ - são as potências especificadas e atual na barra t respectivamente

Um dos sistemas não precisa de barra swing pois como pode deduzir-se facilmente, a soma de todos os intercambios de potência ativa deve ser igual a zero(a menos das perdas que ocorrem nas interconecxões as quais podem normalmente ser desprezadas). Tem-se então que em um sistema composto por N áreas, existem N-1 intercambios de potência que precisam ser controlados.

O algorítmo utilizado para a introdução deste ajuste é similar ao já descrito para o caso dos transformadores controladores.

CAPÍTULO III

CONTINGÊNCIAS

3.1 - INTRODUÇÃO

Todo Sistema Elétrico de Potência num ponto de operação qualquer está sujeito a sofrer uma série de possíveis perturbações que podem provocar mudança na configuração do sistema em questão, assim como também danos nos equipamentos e deficiencias na distribuição de energia aos pontos ou regiões do sistema afetadas pela perturbação.

As perturbações ou contingências mais importantes ou cuja ocorrência mais afeta os Sistemas Elétricos de Potência são saídas de uma ou mais linhas (com transformador ou não), saídas de geradores (perda total ou parcial), perdas de cargas, saídas de elementos shunt, ou perturbações que resultam da ação combinada das anteriores.

É importante então, que o Sistema Elétrico de Potência esteja capacitado para suportar as contingências que maior dano possam provocar.

O estudo de contingências visa principalmente determinar se um sistema a ser instalado (fase de planejamento) ou um sistema já em funcionamento(fase de operação),oferece a segurança necessária que garanta o seu bom funcionamento, em virtude das perturbações já citadas.

O estudo de contingências é então um estudo de segurança de sistemas elétricos de potência, dentro do que se denomina como segurança em estado permanente, o que significa que o interesse do estudo esta voltado para o período após o transitório provocado pela contingência, de forma a verificar se neste novo estado de operação(que pode ou não acontecer), existem modificações que afetem o sistema (ou parte dele) ou seus equipamentos; estas modificações podem ser sobrecargas, sobretensões, etc...

Uma forma muito eficaz para melhorar a segurança dos sistemas de potência é através da redundância de equipamentos, de maneira a fazer com que, no caso de perda de um equipamento, outro igual possa ser ligado a fim de manter a configuração original. Como exemplo podemos citar linhas e transformadores em paralelo. Torna-se evidente no entanto, que esta maneira de tratar o problema aumenta assustadoramente o custo de implantação e/ou operação de um sistema qualquer, o que provoca um encarecimento muito alto da energia obtida deste sistema tornando o projeto proibitivo. Além disto existe a impossibilidade técnica de se obter redundância para todo o sistema.

É necessária então a realização de um estudo destinado a obter os novos estados de operação a que pode ser levado um sistema,em virtude das contingências que possa sofrer,a fim de se tomarem as medidas necessárias para evitar ou minimizar os prejuizos que isto possa trazer.

Estas medidas são classificadas como preven

Escola Fed... Bibliote... MAUA

tivas ou corretivas dependendo de serem tomadas antes ou depois da contingência respectivamente.

Entre as medidas de caráter corretivo que podem ser tomadas afim de minimizar os efeitos de uma contingencia estão : chaveamentos do circuito, rejeição de carga e reprogramação da geração de potências ativas e reativas.

Como medida preventiva ,pode-se citar a duplicação de circuitos e componentes.

3.2 - *CÁLCULO DE CONTINGÊNCIAS*

O primeiro passo para o cálculo de contingências é efetuar um fluxo de carga no sistema em estudo na sua configuração original ao qual dá-se o nome de *"caso base"*. Ao considerar-se uma contingência qualquer(por exemplo a saída de uma determinada linha) o caso base sofre modificação e um novo fluxo de carga é realizado a fim de verificar-se a segurança do sistema no novo ponto de operação.

Da mesma forma, para cada nova contingência um novo fluxo de carga é necessário.

Se após efetuados todos os fluxos de carga a segurança do sistema é mantida, diz-se que o *"caso base"* é seguro,caso contrário o caso base é dito inseguro e alguma medida das já citadas deve ser tomada em relação ao caso base, a fim de melhorar a sua segurança.

Fica evidente que o cálculo de contingêcias é a solução de vários fluxos de carga cujo número é proporcional

ao tamanho do sistema e às contingências consideradas, e como tal precisa de um método de solução de grande rapidez,além do que, devido às muitas modificações que o sistema pode sofrer durante as contingências, o método de solução deve ser muito confiável.

A precisão dos resultados não deixa de ser importante, mas em virtude de tratar-se de um cálculo preditivo no qual o que se procura é uma boa noção da segurança do sistema, ela não é exigida em grau muito elevado.

3.3 - MÉTODOS PARA CÁLCULO DE CONTINGÊNCIAS

Os métodos mais conhecidos utilizados para o cálculo de contingências são:

a) *Método dos Fatores de Distribuição*

Este método baseia-se na técnica de aproximação D.C. para cálculo de Fluxo de Carga no qual o modelo do sistema é linearizado por meio de várias suposições e aproximações [11].

O método utiliza dois tipos de fatores de distribuição denominados como "*fator de distribuição de saída de linha*" e "*fator de distribuição de perda de geração*" os quais determinam niveis seguros para a operação do sistema.

O "*fator de distribuição de saída de linha*", Lab, é definido como o incremento no fluxo de potências da linha a provocada pela saída da linha b considerando que a linha

b transportava uma corrente igual a 1 p.u. antes da saída.

Este fator Lab, pode ser facilmente calculado a partir da matriz de impedância do sistema [11].

O "*fator de distribuição de perda de geração*" Gag, é definido como o incremento no carregamento da linha a quando acontece um aumento de 1p.u. na geração da barra g.

O fator Gag é também calculado a partir da matriz de impedâncias do sistema.

Os dois tipos de fatores citados variam de uma contingência para outra, assim como a matriz de impedância do sistema em virtude de modificação da topologia provocada pela contingência.

A utilização dos dois tipos de fatores, permite então através de simples operações aritméticas [11] determinar as modificações provocadas pelas contingências que venham a ocorrer no sistema.

A rapidez do método é considerado boa mas em virtude de basear-se num método aproximado não apresenta uma precisão satisfatória em alguns casos.

Sendo que o cálculo por aproximação DC não faz parte deste trabalho o que se pretende aqui é tão somente chamar a atenção para a existência deste método de cálculo de contingências.

b) *Método da Matriz ZN*

Baseia-se no método da matriz de impedância nodal (ZN), para cálculo de fluxo de carga.

Neste método, a matriz $\overline{ZN}$ deve ser modificada para cada contingência que se queira estudar[12].

As modificações produzidas num sistema pela remoção de uma linha, são determinadas a partir da matriz $\overline{ZN}$ do sistema,modificada, considerando que a abertura de uma linha de transmissão não modifica totalmente a carga do sistema.

Quando a contingência consiste na perda de geração, os seus efeitos são calculados a partir da matriz modificada $\overline{ZN}$ de dimensão NxM onde N são as linhas a serem afetadas e M representa os geradores ou barras de geração cuja modificação deseja-se estudar.

Esta matriz é multiplicada pela diferença de dois vetores de corrente correspondentes aos estados antes e depois da mudança na geração obtendo um vetor que fornece a variação de tensão nas barras,provocada pelas mudanças na geração.[12]

Por ser este um método a utilizar a técnica da matriz $\overline{ZN}$ e por não ser isto do interesse deste trabalho não se entra em maiores detalhes ao seu respeito.

c) *Processo Diacóptico*

Este método apresenta grandes vantagens no que diz respeito à rapidez e confiabilidade.O método utiliza o desacoplado rápido para o cálculo de fluxo de carga do caso base e de todos os outros fluxos de carga que se tornam necessários, aproveitando para isto as matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ fatoradas no início do processo e obtendo o resultado exato para a contingência, através de vetores de correção. Maiores detalhes são

apresentados a seguir no estudo específico de cada tipo de contingência a ser estudado.

3.4 - SAÍDA DE LINHAS

A saída de uma linha num sistema elétrico de potência traz como consequência a modificação de topologia do sistema e, portanto, a mudança das matrizes $\overline{YN}$, $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ representativas do estado anterior à ocorrência da contingência.

No presente método, a saída da linha a-b, faz com que os elementos aa, bb, ab, ba da matriz $\overline{YN}$ se modifiquem de maneira a obter valores exatos para os vetores de discrepância $\overline{\Delta P/V}$ e $\overline{\Delta Q/V}$. No entanto, a fim de garantir a rapidez do método, as matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ são mantidas constantes, evitando a sua refatoração após cada contingência, e os vetores $\overline{\Delta\theta}$ e $\overline{\Delta V}$, calculados a partir destas matrizes, terão o seu valor exato encontrado através de vetores de correção a serem utilizados.

O desenvolvimento matemático do processo é o seguinte :

Seja a matriz $\overline{YN}$ antes da contingência

Seja a matriz $\overline{YN}^{-1}$ a inversa de $\overline{YN}$

A saída da linha ab provoca uma mudança na matriz $\overline{YN}$ que passa ser $\overline{YN}_1$ e pode ser determinada por :

$$\overline{YN}_1 = \overline{YN} - y_{ab}\ \overline{M}\ \overline{M}^t \qquad (30)$$

onde :

$\overline{M}$ - é um vetor no qual todos os elementos são nulos com exceção dos elementos de índices a=1 e b=-1.

y_{ab} - é a admitância série do ramo a-b que saiu.

Se o ramo for um transformador regulador, o elemento de índice a do vetor $\overline{M}$ é igual ao tap inicial do transformador.

Tem-se então que $\overline{YN}_1$ é a matriz $\overline{YN}$ modificada, após a saída do ramo a-b.

A inversa da matriz $\overline{YN}_1$ pode ser determinada a partir da matriz $\overline{YN}$ da seguinte forma[14] .

$$\overline{YN}_1^{-1} = (\overline{YN} - y_{ab}\ \overline{M}\ \overline{M}^t)^{-1} \qquad (31)$$

$$\therefore \quad (\overline{YN} - y_{ab}\ \overline{M}\ \overline{M}^t)^{-1} = \overline{YN}^{-1} + \left(\frac{1}{y_{ab}} + \overline{M}^t\overline{YN}^{-1}\overline{M}\right)^{-1} \cdot \overline{YN}^{-1}\overline{M} \cdot \overline{M}^t\overline{YN}^{-1} \qquad (32)$$

ou então :

$$\overline{YN}_1^{-1} = \overline{YN}^{-1} + C\ \overline{YN}^{-1}\ \overline{M}\ \overline{M}^t\ \overline{YN}^{-1}$$

onde :

$$C = \frac{1}{\frac{1}{y_{ab}} + \overline{M}^t\overline{YN}^{-1}\overline{M}}$$

De forma análoga, as novas matrizes modificadas $\overline{B_1'}$ e $\overline{B_1''}$ após a contingência são determinadas a partir das matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ antes da contingência.

As modificações nas matrizes $\overline{B'}$ e $\overline{B''}$ dependem do tipo das barras que compõem o ramo que saiu.

Considerando-se um ramo a-b cujas barras a e b são ambas do tipo P-Q e no qual não existe transformador temos :

$$\overline{B_1'} = \overline{B'} - \left(-\frac{1}{x_{ab}} \right) \overline{M}_\theta \overline{M}_\theta^t$$

e

$$\overline{B_1''} = \overline{B''} - \left(-\frac{x_{ab}}{r_{ab}^2 + x_{ab}^2} \right) \overline{M}_V \overline{M}_V^t$$

Os vetores $\overline{M_\theta}$ e $\overline{M_V}$ são apresentados mais adiante.

A inversa das duas matrizes é dada, então por:

$$(\overline{B_1'})^{-1} = (\overline{B'})^{-1} + C_\theta (\overline{B'})^{-1} \overline{M}_\theta \overline{M}_\theta^t (\overline{B'})^{-1} \qquad (33)$$

e

$$(\overline{B_1''})^{-1} = (\overline{B''})^{-1} + C_V (\overline{B''})^{-1} \overline{M}_V \overline{M}_V^t (\overline{B''})^{-1} \qquad (34)$$

os valores de C_θ e C_V são dados por:

$$C_\theta = - \frac{1}{x_{ab} + \bar{M}_\theta^t (\bar{B}')^{-1} \bar{M}_\theta}$$

$$C_V = - \frac{1}{\frac{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}{x_{ab}} + \bar{M}_V^t (\bar{B}'')^{-1} \bar{M}_V}$$

A partir das expressões (33) e (34) podem então ser aplicadas as equações do método desacoplado Rápido a fim de calcular as tensões e ângulos do sistema após a contingência.

$$\overline{\Delta\theta_1} = -(\bar{B}_1')^{-1} \overline{\Delta P/V_1}$$

$$\overline{\Delta V_1} = -(\bar{B}_1'')^{-1} \overline{\Delta Q/V_1}$$

É bom observar que $\overline{\Delta P/V_1}$ e $\overline{\Delta Q/V_1}$ são calculados de maneira exata a partir da matriz $\overline{YN}$ modificada ($\overline{YN_1}$).

Colocando as inversas das matrizes modifica

das em função das inversas das matrizes antes da contingência segundo as expressões (33) e (34) tem-se :

$$\overline{\Delta\theta}_1 = - \left[(\overline{B}')^{-1} + C_\theta (\overline{B}')^{-1} \overline{M}_\theta \overline{M}_\theta^t (\overline{B}')^{-1} \right] \overline{\Delta P/V}_1 \qquad (35)$$

e

$$\overline{\Delta V}_1 = - \left[(\overline{B}'')^{-1} + C_V (\overline{B}'')^{-1} \overline{M}_V \overline{M}_V^t (\overline{B}'')^{-1} \right] \overline{\Delta Q/V}_1 \qquad (36)$$

Trabalhando as expressões mais um pouco tem-se :

$$\overline{\Delta\theta}_1 = \overline{\Delta\theta_{1_A}} + \overline{\Delta\theta_{1_B}} \qquad (37)$$

$$\overline{\Delta V}_1 = \overline{\Delta V_{1_A}} + \overline{\Delta V_{1_B}} \qquad (38)$$

onde :

$$\overline{\Delta\theta_{1_A}} = - (\overline{B}')^{-1} \overline{\Delta P/V}_1 \qquad (39)$$

$$\overline{\Delta\theta_{1_B}} = C_\theta \, \overline{T}_\theta \, \overline{M}_\theta^t \, \overline{\Delta\theta_{1_A}} \qquad (40)$$

$$\overline{T}_\theta = (\overline{B}')^{-1} \overline{M}_\theta \qquad (41)$$

e ainda

$$\overline{\Delta V_{l_A}} = -(\overline{B}'')^{-1}\overline{\Delta Q/V_l} \tag{42}$$

$$\overline{\Delta V_{l_B}} = C_V\ \overline{T}_V\ \overline{M}_V^t\ \overline{\Delta V_{l_A}} \tag{43}$$

$$\overline{T}_V = (\overline{B}'')^{-1}\overline{M}_V \tag{44}$$

Os valores de $\overline{\theta}$ e $\overline{V}$ após a simulação de saída do ramo a-b, dependem então de uma parcela dada pelas matrizes $\overline{B}'$ e $\overline{B}''$ originais e de outra fornecida pelas equação (40) e (43).

Na expressão (40) é fácil verificar que o produto do vetor $\overline{M}_\theta^t$ pelo vetor de variação de ângulos de fase $\overline{\Delta\Theta_{l_A}}$ dá como resultado o escalar.

$$(M_{\theta a}\ \Delta\theta_{l_{Aa}} - M_{\theta b}\ \Delta\theta_{l_{Ab}})$$

e a expressão fica. então :

$$\overline{\Delta\theta_{l_B}} = C_\theta\overline{T}_\theta\ (M_{\theta a}\ \Delta\theta_{l_{Aa}} - M_{\theta b}\ \Delta\theta_{l_{Ab}}) \tag{45}$$

Por analogia, a expressão (43) também será composta por um escalar dado pelo produto de $\overline{M}_V^t\ \overline{\Delta V_{l_A}}$ de tal forma que :

$$\overline{\Delta V_{l_B}} = C_V \overline{T}_V \left(M_{Va} \Delta V_{l_{Aa}} - M_{Vb} \Delta V_{l_{Ab}}\right) \tag{46}$$

A partir das expressões (41) e (44) os termos escalares C_θ e C_V podem ser prescritos como :

$$C_\theta = - \frac{1}{x_{ab} + \left(M_{\theta a} T_{\theta a} - M_{\theta b} T_{\theta b}\right)} \tag{47}$$

$$C_V = - \frac{1}{\frac{r_{ab}^2 + x_{ab}^2}{x_{ab}} \left(M_{Va} T_{Va} - M_{Vb} T_{Vb}\right)} \tag{48}$$

Observar que r_{ab} e x_{ab} são respectivamente a resistência e reatância série da linha a-b.

Neste processo de cálculo pode-se observar que a solução do problema ocasionado pela saída da linha, é conseguida utilizando-se as matrizes $\overline{B}'$ e $\overline{B}''$ do caso base e apenas os vetores de discrepância ou mismatch de potências da contingência, garantindo desta forma a boa confiabilidade e a extrema rapidez que determinaram a escolha deste processo de cálculo de contingências.

3.4.1 - Algoritmo para simulação de saída de linha

O algoritmo para a simulação de saída de linhas é dividido em três partes :

a) No começo da simulação da saída, antes do processo iterativo.

1 - Obter o vetor $\overline{T\theta}$ através da expressão (41) utilizando para isto a matriz $\overline{B}'$ já fatorada utilizada no caso base, e o vetor $\overline{M}_\theta$ no qual todos os elementos são nulos com exceção de $M_{\theta a}$ e $M_{\theta b}$ que são determinados de acordo ao tipo de linha como segue :

- Se a for a barra de referência, todos os elementos do vetor $\overline{M}_\theta$ são nulos, com exceção do elemento $M_{\theta b} = 1$.
- Se a barra de referência não for a ou b os únicos elementos não nulos de $\overline{M}_\theta$ são: $M_{\theta a}=1$ $M_{\theta b} = -1$

2 - Obter o escalar C_θ através da expressão (47).

3 - Obter o vetor $\overline{T}_V$ de acordo com a expressão (44), utilizando para isto a matriz $\overline{B''}$ já fatorada, usada no caso base e o vetor $\overline{M}_V$.

$$\overline{M}_{\theta} = \begin{vmatrix} o \\ o \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{\theta a} \\ \cdot \\ \cdot \\ o \\ o \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{\theta b} \\ \cdot \\ \cdot \\ o \\ o \end{vmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ a \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ b \\ \\ \\ \\ \end{matrix} \qquad \overline{M}_{V} = \begin{vmatrix} o \\ o \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{Va} \\ \cdot \\ \cdot \\ o \\ o \\ \cdot \\ \cdot \\ M_{Vb} \\ \cdot \\ \cdot \\ o \\ o \end{vmatrix} \begin{matrix} \\ \\ \\ \\ a \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ b \\ \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Vetores $\overline{M_{\theta}}$ *e* $\overline{M_{V}}$

Os elementos M_{Va} e M_{Vb} são determinados da seguinte maneira :

- Se as barras a e b forem ambas do tipo (PQ), $M_{Va} = m_a$ e $M_{Vb} = m_b$
- Se só a barra a for do tipo (PQ), (Podendo a barra b ser referncia ou (PV)), $M_{Va} = m_a$ e $M_{Vb} = 0$
- Se só a barra b for do tipo (PQ), (Podendo a a barra a ser referência ou (PV)), $M_{Va} = 0$ e $M_{Vb} = -m_b$
- Se nenhuma das abarras a ou b for do tipo(PQ), o vetor $\overline{M}_V$ é totalmente nulo e a parcela $\overline{\Delta V_{1B}}$ dada pela equação (43) é zero.

Ainda, se a linha ab for linha de Transmissão ou interconexão ou transformador sem tap tem-se que $m_a = 1$ e

$m_b = -1$

- Se a linha ab for um transformador com tap em fase tem-se

  $m_a = p$ e $m_b = -1$ se o tap esta do lado b

  $m_a = 1$ e $m_b = -p$ se o tap está de lado a

  p = valor do tap em p.u.

- Se a linha ab for um transformador com taps em quadratura o tratamento é igual ao dado para taps em fase sendo p= valor do tap em quadratura.

4 - Obter o escalr C_V conforme expressão (48)

5 - Determinar a matriz modificada $\overline{YN_1}$ após a saída da linha ab através da matriz $\overline{YN}$ do caso base conforme expressão (30)

b) Solução das equações de Fluxo de Carga, processo iterativo.

1 - O processo iterativo é iniciado com as condições iniciais do caso base.

2 - Obter o valor do vetor de discrepância de potência ativa $\overline{\Delta P/V_1}$, usando para isto a matriz $\overline{YN_1}$ de admitância nodal modificada.

3 - Calcular os ângulos das tensões obtendo os valores de $\overline{\Delta\theta_{1A}}$ e $\overline{\Delta\theta_{1B}}$ através das expressões (39)

e (40) para determinar o acréscimo $\overline{\Delta\theta}_1$, após o que atualiza-se o valor de $\overline{\theta}_1$.

4 - Calcular os módulos das tensões obtendo para isto em primeiro lúgar o vetor de discrepância de Potência reativa $\overline{\Delta Q/V}_1$ a partir da matriz de impedâncias modificada $\overline{YN}_1$. Após isto, obter os valores das parcelas $\overline{\Delta V}_{1A}$ e $\overline{\Delta V}_{1B}$ através das equações (42) e (43), chegando-se ao acréscimo $\overline{\Delta V}_1$ após o que atualiza-se o valor de $\overline{V}_1$. Voltar ao ítem 2 até obter convergência o que normalmente ocorre em poucas iterações.

C) Após o processo iterativo de solução de Fluxo de Carga.

1 - Verificar se existem sobrecargas no sistema.

2 - Verificar se as tensões e as gerações de reativo se mantêm dentro dos limites especificados.

3 - Verificar as variações nas tensões de barras afim de comparar com o caso base.

4 - A matriz de admitância do Sistema $\overline{YN}$ deve ser restaurada à sua forma original a fim de poder processar o próximo caso de contingência.

Para a simulação de saídas de linhas em paralelo, o algorítmo se mantêm o mesmo com a observação de que os

escalares C_θ e C_V devem ter o seu valor modificado em virtude da mudança dos valores de r e x, os quais, neste caso são dados pelo paralelismo das duas linhas em questão.

Para a simulação de saídas simultâneas de linhas, os passos A e B do algorítmo são aplicados repetidamente para cada linha e a análise do passo C é feita ao final.

No caso de saídas simultâneas de linhas o processo continua eficiente em termos de rapidez para a saída de até 3 linhas, após o que torna-se conveniente utilizar a refatoração das matrizes $\overline{B}'$ e $\overline{B}''$.

3.5 - *SIMULAÇÃO DE SAÍDA DE GERADORES*

A saída de Geradores de um Sistema de Potência pode ser simulada como sendo uma saída parcial de geração ou como uma perda total da geração numa barra.

O primeiro tipo é representativo de uma usina geradora na qual algumas de suas unidades deixam de fornecer energia e na qual todas as unidades são consideradas com as mesmas características.

O segundo é o caso, por exemplo, de quando a usina inteira sai de serviço.

Sendo as barras de geração geralmente especificadas como barras PV (com exceção da referência cuja saída não é considerada), tem-se que na saída parcial de geração a barra em questão continua como barra PV, pois sua tensão continua como especificada no caso base.

Quando a saída da geração é total, a barra deixa de ser uma barra PV, sendo redefinida como barra PQ. Isto traz como consequência, a refatoração da matriz $\overline{B}$".

Os efeitos de simulação da perda de geração se manifestam em duas direções: os efeitos no próprio gerador, e os efeitos no resto do sistema.

3.5.1 - *Efeitos da perda de Geração no próprio Gerador*

A primeira consideração que deve ser feita é a réspeito da variação da potência ativa gerada na barra. Para tanto, a seguinte expressão fornece a nova geração.

$$P_1^G = (1-f)P^G$$

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ B M

onde :

P^G - é a potência gerada antes da contingência

P_1^G - é a potência gerada após a contingência

f - é a fração de potência ativa gerada perdida

Outra consideração a ser efetuada é se há necessidade de reespecificar o tipo de barra. No caso de perda total de geração, como já foi visto, a barra passa de (PV) para (PQ) e as potências ativa e reativa geradas são iguais a zero.

No caso de perda parcial de Geração a potência reativa gerada após a contingência não é calculada pois

numa barra PV ela não está especificada.

Ainda outras considerações a serem levadas em conta são a atuação ou não de reguladores automáticos de tensão (AVR), e reguladores de velocidade. A atuação destes equipamentos será tratada de forma separada mais adiante.

3.5.2 - *Efeitos da Simulação de perda de Geração no resto do Sistema*

A perda total ou parcial de geração se manifesta como um desequilíbrio das potências do sistema tornando-se necessário que se efetue uma redistribuição das potências ativas fornecidas pelas outras barras de geração a fim de substituir a parcela perdida pela contingência. Isto significa que o despacho de potência ativa dos outros geradores que permanecem no sistema deve ser recalculado.

A redistribuição de potência ativa num sistema de potência é feita de acordo com critérios a serem apresentados mais adiante.

3.5.3 - *Algorítmo para simulação de saída de geradores*

O algorítmo é constituído de três etapas diferentes, da seguinte maneira :

A) No começo de simulação da perda de geração :

1 - Calcular o novo valor de potência ativa gerada.

2 - fazer as modificações próprias do gerador

3 - efetuar a redistribuição de potência ativa gerada no sistema.

B) Durante o processo iterativo para solução do Fluxo de Carga.

1 - O Fluxo de Carga é executado de maneira normal, a partir das condições anteriores a contingência ou seja, utilizando o perfil de tensões do caso base.

C) Depois da solução do Fluxo de Carga

1 - Verificar se existem ou não sobrecargas nas linhas

2 - Constatar se as tensões e gerações de reativo do sistema se mantêm dentro dos limites especificados.

A fim de simular a saída simultânea de varios geradores, é necessário repetir os ítens 1 e 2 da primeira etapa do algorítmo para cada perda de geração, sendo que o resto do algorítmo continua a ser aplicado como no caso de uma única saída.

3.6 - *SIMULAÇÃO DE ENTRADA E SAÍDA DE CARGAS*

Num sistema operando normalmente a perda ou a entrada brusca de cargas provoca um desequilíbrio nas potências do sistema, havendo portanto necessidade de proceder-se a

uma redistribuição das potências do sistema.

Sendo as barras de carga geralmente especificadas como barras PQ, os valores de P_c e Q_c (Potência ativa e reativa consumidas na barra), devem ser modificados de forma a representar os novos valores da carga. Isto é feito de forma análoga ao cálculo da nova potência ativa gerada quando de saída de geradores.

Durante a saída de carga:

$$P_{cl} = (1-f)\ P_c$$

$$Q_{cl} = (1-f)\ Q_c$$

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

onde :

P_{cl} e P_c - são as potências ativas consumidas depois e antes da saída de carga, respectivamente.

idem para as potências reativas Q_{cl} e Q_c

Para entrada de cargas no sistema a formulação é a mesma mas com sinal trocado.

3.7 - *SEPARAÇÃO DE UM SISTEMA*

A separação ou divisão de um sistema elétrico de Potência em dois sub-sistemas isolados pode ser provocada pela simulação da saída de uma linha.

Neste caso passarão a existir dois sub-sistemas independentes um do outro, havendo em ambos um desequili

brio de potência ativa provocada,num pelo excesso e noutro pela falta de potência ativa gerada em cada um deles.

No caso de procurar-se saber o estado final após a contingência, uma redistribuição de potência ativa deve ser efetuada.

Para a realização do Fluxo de Carga, é necessário selecionar uma segunda barra de referência no sub-sistema que fica desligado do original, de maneira a absorver as discrepâncias de potência do próprio sistema.

Neste trabalho, para segunda referência é escolhida a barra do sub-sistema que tinha a maior geração de potência ativa antes de ocorrer a contingência, entre os geradores especificados para participar da redistribuição de potência ativa.

Nos casos em que isto não é possível, escolhe-se então como segunda referência a barra do segundo subsistema que se encontrava ligada à linha que saiu, provocando a separação do sistema.

Neste último caso, desde que não exista redistribuição de potência ativa, os resultados obtidos após a contingência serão iguais, aos resultados de antes da contingência.

Quando há necessidade de efetuar-se a redistribuição de potência ativa, isto é feito levando-se em conta os reguladores de velocidade dos geradores.

3.8 - REGULADORES AUTOMÁTICOS DE TENSÃO (AVR)

Os reguladores automáticos de tensão são equipamentos destinados a controlar ou regular a tensão na barra do gerador, de forma a mantê-la dentro dos valores desejados.

Sendo as barras de geração normalmente especificadas como barras PV, elas tem a sua tensão especificada no início do cálculo de Fluxo de Carga. Não obstante, uma contingência que aconteça no sistema pode provocar mudanças nessas tensões, havendo a necessidade de reespecificar tais barras.

A representação dos reguladores automáticos de tensão é feita a partir da decisão sobre a atuação ou não dos mesmos durante o período de interesse do estudo de contingência.

No primeiro caso, quando o regulador automático de tensão atua tem-se que a barra de geração mantém a sua tensão constante após a contingência, havendo no entanto uma variação na tensão atrás da reatância síncrona do gerador, de acordo com a variação da corrente de campo provocada pela atuação do regulador.

A barra então permanece uma barra PV não havendo necessidade de modificações.

Quando se decide pela não atuação do regulador automático de tensão, a tensão na barra de geração não permanece a mesma após a contingência mas pode-se supor que a tensão atrás da reatância síncrona do gerador permanece constante.

A maneira certa de representar esta mudança no problema do fluxo de carga seria acrescentar uma nova barra ao problema e transformar a barra PV para PQ. Isto traz como consequência a necessidade de refatorar as matrizes $\overline{B}'$ e $\overline{B}''$.

O procedimento utilizado neste trabalho minimiza o problema evitando o aumento do número de barras do sistema, havendo só a necessidade de transformar a barra de geração de PV para PQ. Isto faz com que a matriz $\overline{B}'$ permaneça a mesma e só a matriz $\overline{B}''$ precise ser refatorada.

Este tratamento é possível através de uma injeção de corrente constante na barra em questão a qual é obtida a partir da transformação de uma fonte de tensão em série com uma reatância (reatância sincrona do gerador + reatância do transformador), numa fonte de corrente constante em paralelo com essa reatância (que passa a constituir um novo elemento shunt).

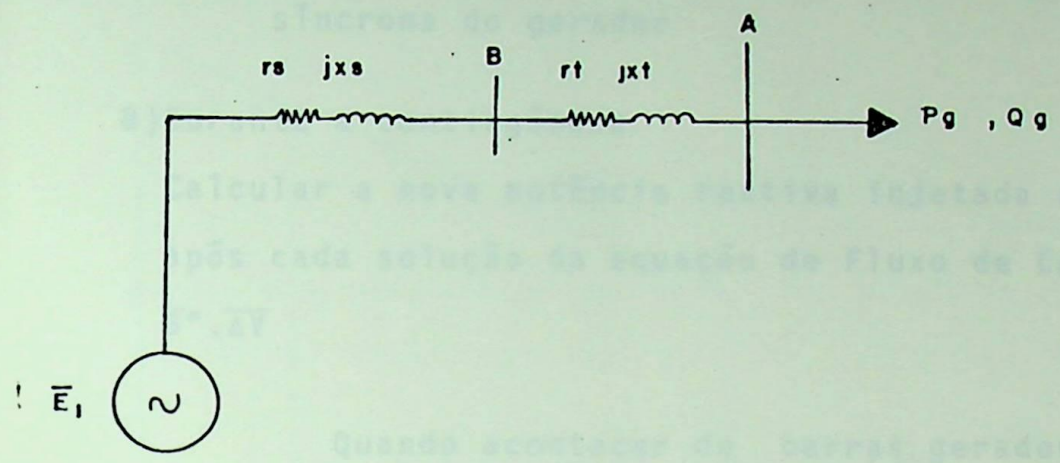
O novo elemento shunt deve ser incluido nas matrizes $\overline{B}''$ e $\overline{YN}$ este procedimento está ilustrado na figura 3.1.

O algorítmo utilizado para a inclusão destas barras é o seguinte:

A) Antes da contingência acontecer

1 - transformar a barra de geração do tipo PV para PQ modificando as matrizes $\overline{YN}$ e $\overline{B}''$

2 - Corrigir o valor da nova potência reativa gerada (acrescida da parcela provocada pelo novo elemento shunt)



Representação da conexão gerador- transformador numa barra do tipo PV (barra A)

$\overline{E_1}$ = tensão do gerador atrás da reatância síncrona

rs = resistência do gerador

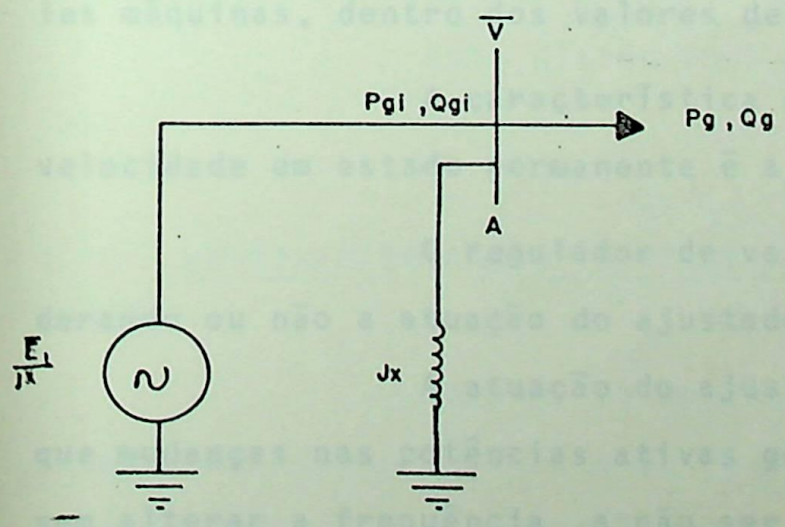
xs = reatância síncrona do gerador

rt = resistência do transformador

xt = reatância do transformador

Pg, Qg = potências ativa e reativa geradas

O modelo equivalente para uma corrente constante injetada na barra A, considerando rs = rt = 0, é :



onde:

x = (xs+xt)

Pgi, Qgi = Potências ativa e reativa injetadas na barra A

$\overline{V}$ = tensão na barra A

$$Pgi = Pg \; ; \; Qgi = Qg = V^2/x \; ; \; Qgi = \sqrt{\frac{V^2E^2}{x^2} - Pg^2}$$

Figura 3.1

3 - Calcular o valor da tensão atrás da reatância síncrona do gerador

B) Durante a contingência

Calcular a nova potência reativa injetada no sistema após cada solução da equação de Fluxo de Carga $\overline{\Delta Q/V} = \overline{B}'' . \overline{\Delta V}$

Quando acontecer de barras geradoras serem especificadas com a barra PQ, o tratamento dos reguladores automáticos de tensão será o mesmo mas em função da potência reativa especificada na barra e não mais em função da tensão.

Como a decisão sobre a atuação ou não dos reguladores automáticos de tensão deve ser tomada no inicio do estudo a refatoração da matriz $\overline{B}''$ é feita só uma vez.

3.9 - *REGULADORES DE VELOCIDADE*

Os reguladores de velocidade são equipamentos que atuam de maneira a manter a potência ativa gerada pelas máquinas, dentro dos valores desejados.

A caracterîstica da atuação do regulador de velocidade em estado permanente é a mostrada na figura a seguir.

O regulador de velocidade pode operar considerando ou não a atuação do ajustador de frequência.

A atuação do ajustador de frequência permite que mudanças nas potências ativas geradas possam ser feitas, sem alterar a frequência a não ser de forma desprezîvel.

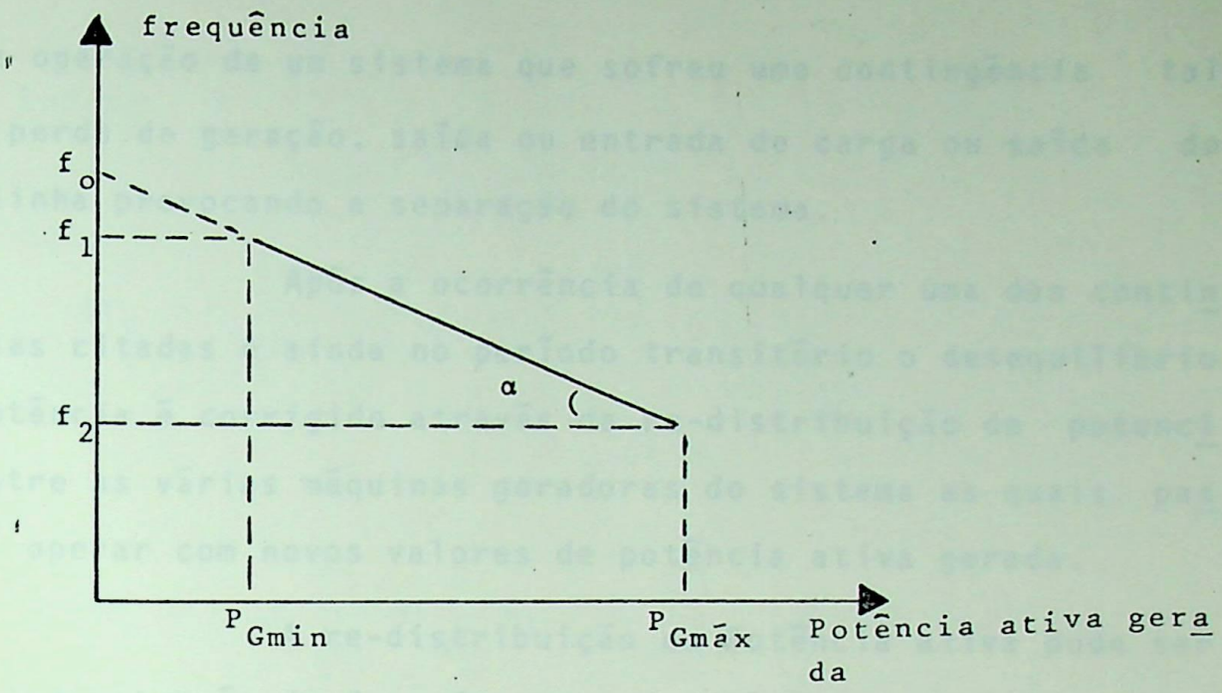


Figura 3.2

f_o = frequência em vazio (sem carga)

$tg\alpha = R$ = Estatismo do regulador

P_{Gmin}, $P_{Gmáx}$, são as potências geradas mínima e máxima respectivamente.

No caso em que a atuação do ajustador de frequência não é considerada, a participação do gerador na redistribuição de potência é feita com base na inclinação da característica ou seja em função do estatismo do regulador [4] .

Este último caso é o utilizado neste trabalho.

3.10 - RE-DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIAS ATIVAS

Através do apresentado até aqui, constatou-se a importância que o cálculo da re-distribuição de potência ativa tem no que diz respeito à analise da segurança do novo pon

to de operação de um sistema que sofreu uma contingência tal como perda de geração, saída ou entrada de carga ou saída de uma linha provocando a separação do sistema.

Após a ocorrência de qualquer uma das contingências citadas e ainda no período transitório o desequilibrio de potência é corrigido através da re-distribuição de potencias entre as várias máquinas geradoras do sistema as quais passam a operar com novos valores de potência ativa gerada.

A re-distribuição de Potência ativa pode ser calculada através de duas formas ou modelos que denominaremos, modelo "exato" e modelo "aproximado".

O modelo "exato" calcula a re-distribuição através da utilização do estatismo dos reguladores de velocidade e o modelo "aproximado" utiliza a reserva de potência ativa dos geradores.

No modelo "exato" a re-distribuição é feita da seguinte maneira:

Seja ΔP_t a variação total de potência ativa ocorrida num sistema com n geradores, após uma contingência.

A variação de potência ativa em cada gerador ΔP_i é calculada como segue:

$$\Delta P_t = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \ldots + \Delta P_n$$

Sendo a variação de frequência provocada pela contingência, constante para todos os geradores e igual

a Δf tem-se ;

$$\Delta P_t = - \left(\frac{\Delta f}{R_1} + \frac{\Delta f}{R_2} + \ldots \frac{\Delta f}{R_n} \right)$$

$$\Delta P_t = - \Delta f \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n} \right)$$

mas :

$$\Delta f = -R_i \ \Delta P_i$$

R_i = estatismo do gerador i, i = (1,2,3,...,n)

$$\Delta P_t = R_i \ \Delta P_i \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n} \right)$$

e a variação de potência em cada gerador é dada por :

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P_t}{R_i \sum_{k=1}^{n} 1/Rk}$$

Somente tomam parte na re-distribuição de potência ativa os geradores capazes de operar entre os limites de frequência estabelecidos.

Quando a variação de potência ΔP_i no gerador i viola os seus limites de geração, a potência ativa é mantida fixa no limite violado e a diferença é de novo distribuida entre os outros geradores cuja capacidade não esteja esgotada.

O modelo "aproximado", como já citado, calcula a redistribuição de potência ativa de um sistema, utilizando a reserva de potência ativa dos geradores que tomarão parte na re-distribuição.

A reserva de um gerador é definida como sendo a diferença entre a máxima potência ativa que o gerador pode fornecer e a potência ativa gerada no instante anterior à contingência.

Considerando de novo ΔP_t como sendo a variação de potência ativa ocorrida num sistema de n geradores tem-se como no caso anterior.

$$\Delta P_t = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \ldots + \Delta P_n$$

Sendo que a variação de potência em cada gerador é proporcional à sua capacidade de reserva tem-se

$$P_t = kRES1 + kRES2 + \ldots + kRESn$$

onde:

k = fator de proporcionalidade

sendo

$$\Delta P_i = kRESi$$

$$k = \frac{\Delta P_i}{RESi}$$

portanto

$$\Delta P = \frac{\Delta P_i}{RESi}(RES1 + RES2 + \ldots + RESn)$$

finalmente

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P . RESi}{\sum_{j=1}^{n} RESj}$$

onde :

ΔP_i é a variação da potência ativa no gerador i

RESi é a reserva de potência ativa da barra i

j é o índice dos geradores que participam da re-distribuição.

As considerações sobre os limites das potências ativas geradas são as mesmas que para o modelo exato e as consierações acerca da frequência não são levadas em contas neste modelo.

No caso da reserva dos geradores especificados para participar da redistribuição não for suficiente para atender ao desequilíbrio provocado pela contingência, a barra de referência absorve a diferença.

Quando existe a separação do sistema devido a uma contingência, a re-distribuição de potência ativa é feita separadamente em cada sub-sistema escolhendo o gerador de maior reserva como referência para o sub-sistema separado do original.

O fluxograma que ilustra o cálculo da re-distribuição da potência ativa é mostrado a seguir, onde :

IGEN = Número de geradores especificados

DPT1,DPT2 = Variações nas potências ativas dos subsistemas 1 e 2.

FR = Frequência da operação antes da contingência

F1,F2 = frequências limites do regulador

P_{gi} = Potência ativa no gerador i

ΔP_i = Variação na potência ativa do gerador i

$P_{GA} = P_{Gi} + \Delta P_i$

k1 e k2 são os somatórios das inversas das características dos reguladores dos subsistemas 1 e 2.

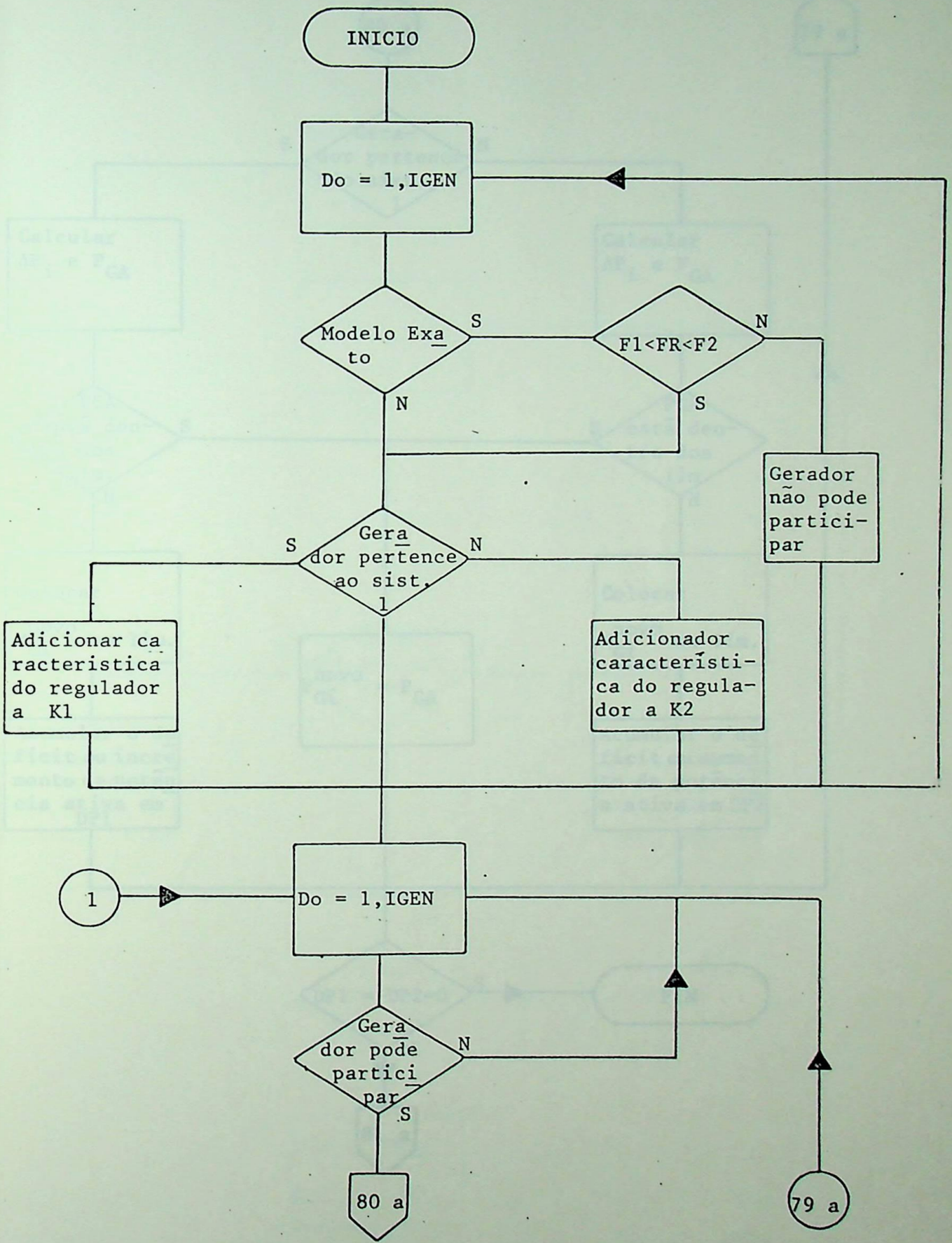
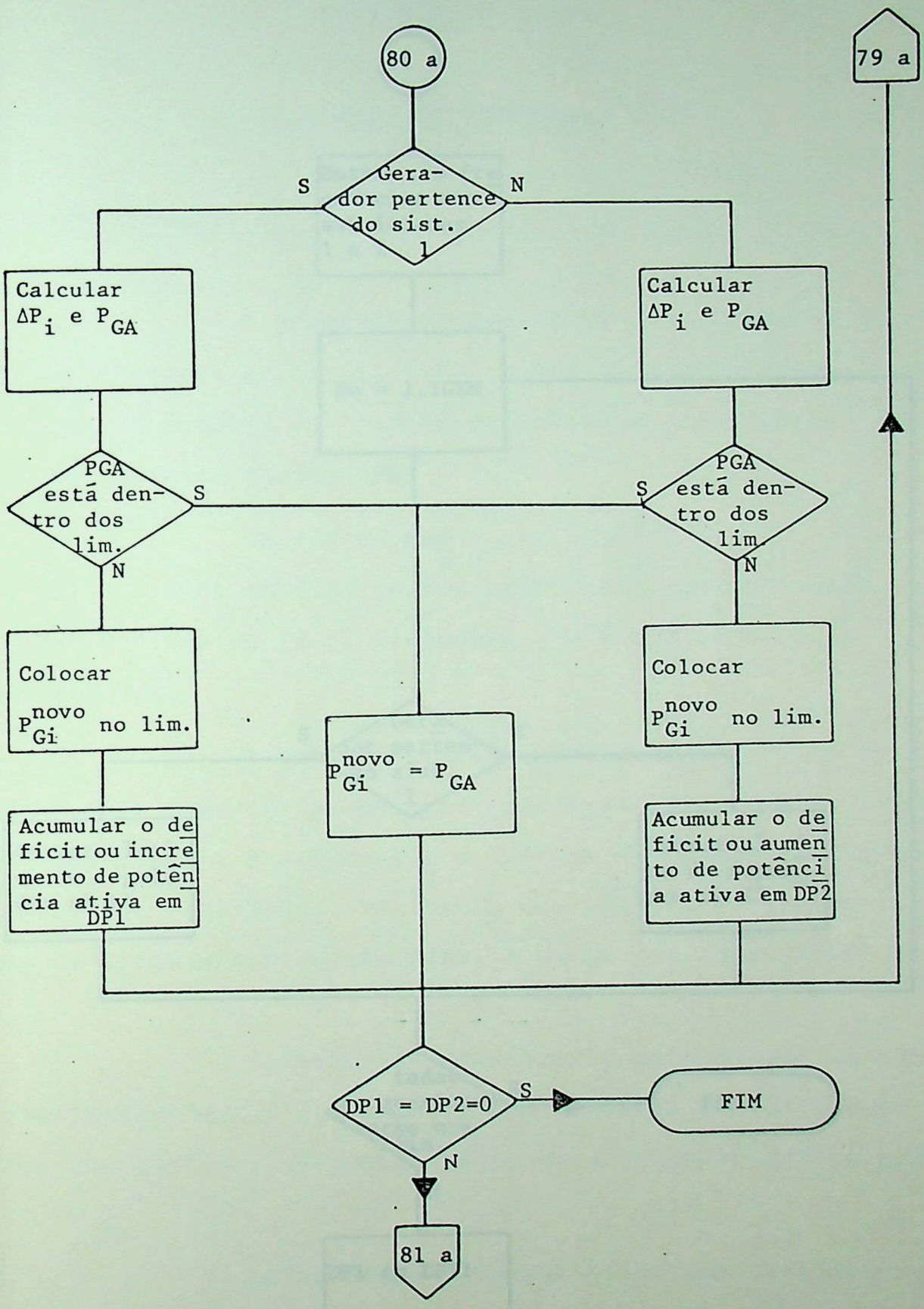
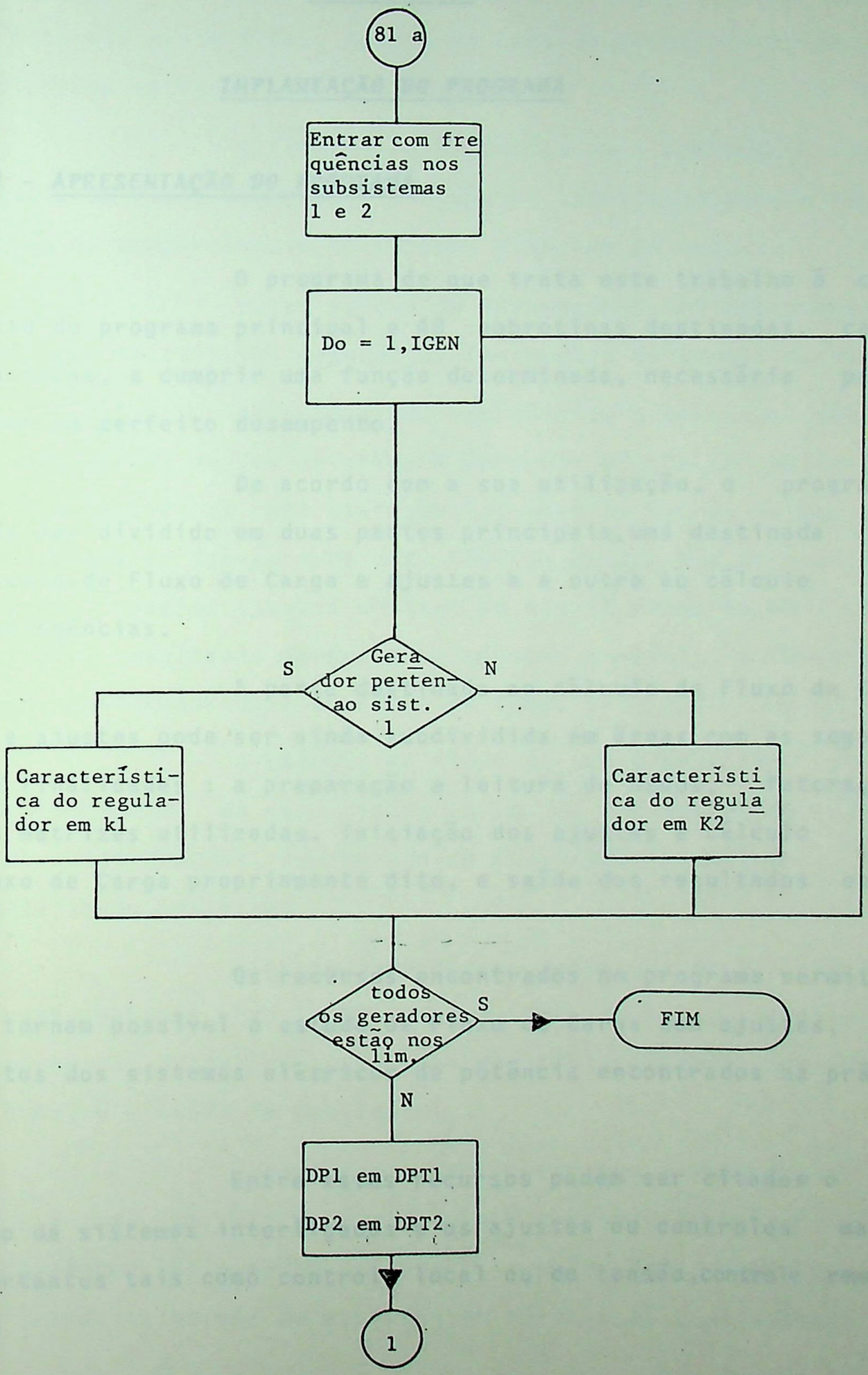


Figura 3.3 Fluxograma para redistribuição de potência ativa


80 a
79 a
Gera-dor pertence do sist. 1
S
N
Calcular ΔP_i e P_{GA}
Calcular ΔP_i e P_{GA}
PGA está dentro dos lim.
S
N
PGA está dentro dos lim.
S
N
Colocar P_{Gi}^{novo} no lim.
$P_{Gi}^{novo} = P_{GA}$
Colocar P_{Gi}^{novo} no lim.
Acumular o deficit ou incremento de potência ativa em DP1
Acumular o deficit ou aumento de potência ativa em DP2
DP1 = DP2=0
S
FIM
N
81 a


81 a
Entrar com frequências nos subsistemas 1 e 2
Do = 1,IGEN
Gerador pertenao sist. 1
S
N
Característica do reguladordor em k1
Característica do regulador em K2
todos os geradores estão nos lim.
S
FIM
N
DP1 em DPT1
DP2 em DPT2
1

CAPÍTULO IV

IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA

4.1 - APRESENTAÇÃO DO PROGRAMA

O programa de que trata este trabalho é composto do programa principal e 48 subrotinas destinadas, cada uma delas, a cumprir uma função determinada, necessária para obter um perfeito desempenho,

De acordo com a sua utilização, o programa pode ser dividido em duas partes principais, uma destinada ao cálculo de Fluxo de Carga e ajustes e a outra ao cálculo de contingências.

A parte destinada ao cálculo de Fluxo de Carga e ajustes pode ser ainda subdividida em áreas com as seguintes finalidades : a preparação e leitura de dados, fatoração das matrizes utilizadas, iniciação dos ajustes e cálculo do Fluxo de Carga propriamente dito, e saída dos resultados obtidos.

Os recursos encontrados no programa permitem ou tornam possível o estudo de Fluxo de Carga com ajustes, de muitos dos sistemas elétricos de potência encontrados na prática.

Entre estes recursos podem ser citados o estudo de sistemas interligados e os ajustes ou controles mais importantes tais como controle local ou de tensão,controle remoto

de tensão, controle de geração de potência reativa, intercâmbio de potência entre áreas, ajuste de taps de transformadores controladores em fase, etc.

A informação fornecida pelo programa após cálculo de Fluxo de Carga é plenamente suficiente para a apreciação do comportamento do sistema elétrico em estudo.

Estas saídas de informações são opcionais e podem ser solicitadas segundo as instruções do manual de uso.

As saídas são admitâncias próprias e mútuas de cada barra; máxima tolerância de convergência de potências ativa e reativa em cada iteração; ajustes em barras Swing, PQ com limites de tensão e PV com limites de geração do reativo, em cada iteração; ajustes em taps de transformadores em cada iteração; resultados de todos os ajustes ao final do Fluxo de Carga; resultado total do Fluxo de Carga.

O cálculo de Fluxo de Carga pode ser feito independentemente da necessidade ou não da realização do cálculo de contingências, dependendo da finalidade do estudo que esteja sendo realizado.

A parte do programa destinada ao cálculo de contingências pode também ser dividida em áreas destinadas a introdução de dados; ao cálculo das contingências propriamente dito, e a saída de resultados.

É importante esclarecer que a introdução de dados à qual se refere esta seção é constituida pelas opções de contingências a serem calculadas e pelos dados dos geradores quando estes são necessários ao cálculo da contingência.

O cálculo de contingências pode ser dividido nas seguintes etapas:

a) Cálculo automático da saída de todas as linhas simples do sistema em estudo.

b) Cálculo automático de todas as linhas em paralelo do sistema em estudo

c) Cálculo de saída de linhas especificadas do sistema em estudo

d) Cálculo automático de saída de geradores podendo ser consideradas a perda total da geração ou a perda da metade da geração

e) Cálculo de saída especificada de geradores.

Da mesma forma, saídas de cargas e elementos shunt podem ser calculadas seguindo para isto as instruções do manual de uso do programa.

O programa permite a realização de calculos de contingências que provoquem uma separação do sistema realizando redistribuição de potência ativa nesta e nas outras contingências em que isto se torne necessário e desde que seja solicitado.

Outros controles que podem ser utilizados são controle de intercâmbio entre áreas, controle de limite de tensão e controle de limites de reativo gerado.

As opções de saída de informações de que o programa dispõe para o cálculo de contingências também satisfa

zem amplamente as necessidades principais para uma análise do desempenho do sistema elétrico em estudo.

Algumas técnicas utilizadas pelo programa merecem ser citadas em função de contribuirem consideravelmente para o seu bom rendimento. Entre estas estão:

- Compactação de informações; permitindo juntar várias informações num mesmo dado.
- Buscas binárias, cuja utilização traz como conseqüência uma maior rapidez e portanto uma diminuição no tempo de processamento necessário.
- Exploração da esparsidade. Esta é uma das características mais importantes apresentadas pelo programa pois permite que a fatoração das matrizes representativas do sistema a serem utilizadas para os cálculos desejados, seja feita aproveitando-se ou explorando-se a esparsidade característica dos sistemas elétricos de potência. Isto significa que só serão armazenados e processados, os elementos não nulos das matrizes. Como consequência deste procedimento tem-se uma diminuição muito importante do tempo necessário para a execução de um estudo; assim como uma não menos importante diminuição da memória necessária do computador. [17]
- Afim de obter uma maior economia de memória central em virtude de serveras limitações existentes no computador das instalações da EFEI onde o trabalho foi executado, o programa executa transferências de in

formações para cinco arquivos em disco denominados aqui como tape,tepe,tipe,tope e tupe, os quais devem ser criados em memória auxiliar, e onde ficam guardadas informações geradas pelo próprio programa e que serão posteriormente por ele mesmo utilizadas.

- O programa apresenta também diagnóstico de consistência de dados.
- A formulação de saída de informações é feita de maneira muito clara e seguindo a nomenclatura tradicional em análise de sistemas de potência. Isto permite uma interpretação direta dos valores de todas as variáveis a serem analisadas.
- A utilização do programa, portanto, não apresenta grandes dificuldades desde que se observem as informações fornecidas no manual de uso apresentado.

4.2 - *IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA*

A implantação do programa foi realizada através de um trabalho cuidadoso durante o qual foram encontrados e superados muitos problemas na sua maioria decorrentes das características técnicas do computador existente nas instalações da EFEI.

Isto deve-se ao fato do programa ter sido elaborado originalmente para a sua utilização no computador CDC 7600 o qual apresenta uma grande superioridade em relação ao computador HP3000 agora utilizado,no que diz respeito à capaci

dade de memória, velocidade de processamento, facilidade de utilização, etc.

Entre as modificações que se fizeram necessárias afim de superar alguns destes problemas podem-se citar:

- Segmentação do programa a fim de tornar possível a sua compilação.
- Necessidade de aumentar o número de algarismos significativos nos números reais, para o que foi necessário utilizar dupla precisão.
- Adaptações no dimensionamento das várias variaveis necessárias,devido à característica de dimensionamento estático do computador HP3000.
- Adaptaçao de formatos para entrada e saída de dados.
- Incorporação ao programa de declarações tais como MAXDATA, INTEGER*4, etc, afim de facilitar a sua execução.

A implantação tornou-se a parte deste trabalho que mais tempo solicitou em virtude do tamanho do programa, havendo-se realizado ainda todos os testes considerados necessários a fim de garantir o perfeito funcionamento do programa.

Os testes foram feitos comparativamente com resultados de outros programas de comprovada eficácia,garantindo desta maneira o perfeito funcionamento.

Escola Federal de Engenharia
Biblioteca
MAUÁ
Itajubá

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 - INTRODUÇÃO

O desempenho ou rendimento do programa implantado na realização deste trabalho, pode ser avaliado a partir dos resultados obtidos nos cálculos de Fluxo de Carga e contingências realizados em sistemas testes e apresentados neste capítulo.

Os sistemas utilizados foram escolhidos de maneira a testar e observar o comportamento do programa implantado frente a uma diversividade de características que possam ser encontradas na prática no que diz respeito, por exemplo, a topologia, níveis de tensão, concentração de cargas e aos diferentes tipos de ajustes ou controles que possam ser encontrados num sistema.

Neste capítulo são apresentados os resultados de cálculos de Fluxo de Carga e contingências e ainda um exemplo de cálculo de ajustes em taps de transformadores controladores e cálculo de contingência do sistema elétrico da cidade de Fortaleza - CE, afim de demonstrar a praticidade do programa.

Todos estes resultados são apresentados na forma de tabelas onde as principais características dos siste

mas em questão podem ser observadas mais facilmente.

5.2 - RESULTADOS DE CÁLCULOS DE FLUXO DE CARGA

Os sistemas elétricos de potência utilizados como exemplos para o cálculo de fluxo de carga assim como os seus componentes principais e os vários tipos de ajustes neles existentes, são mostrados na tabela 5.2.1, na qual podem ser observados também o tempo e as iterações necessárias a cada solução.

A simbologia utilizada nesta tabela é a seguinte:

PQV : Barra PQ com controle local de tensão

PQRV: Barra PQ com controle remoto de tensão

PVQ : Barra PV com controle de geração de reativo

TFF : Transformador com tap fixo em fase

TCF : Transformador com tap controlável em fase

TDF : Transformador controlador com tap em quadratura fixo

IPA : Intercâmbio de potência entre áreas

ITERAÇÕES : Número de iterações que foram necessárias para a solução.

t.d.p.: tempo de processamento (Não inclui entrada de dados e saída de resultados), em segundos

A relação entre os tempos de fatoração das matrizes e execução do Fluxo de Carga e os tempos necessários para entrada e saída de dados é mostrado na tabela 5.2.2.

SISTEMAS			AJUSTES OU CONTROLES							CONVERGÊNCIA	
Nº Barras	Nº Linhas	Subsistemas	PQV	PQRV	PVQ	TFF	TCF	TDF	IPA	Iterações	t.d.p.(s)
3	3		1							7	0,539
5	6							1		7	0,722
10	13			3	5					5	0,780
11	13					2				7	0,791
14	16									3	0,584
14	16						5			14	2,315
22	23			1	1	3				8	1,678
30	41			1		7				9	2,640
32	63	2		4	8	15			1	9	4,198
57	80					16				8	4,004
100	190	4			4	40	14		1	8	9,918

Tabela 5.2.1 - Resultados de cálculos de Fluxo de Carga

SISTEMAS			TEMPO EM SEGUNDOS PARA:				
Nº Barras	Nº Linhas	Subsistemas	Leitura de dados	Fatoração de matrizes	Execução do Cálculo	Saída de resultados	TOTAL
3	3		4,727	0,075	0,464	3,51	8,776
5	6		5,151	0,092	0,63	3,454	9,327
10	13		5,817	0,099	0,681	4,085	10,682
11	13		5,127	0,117	0,674	3,789	9,707
14	16		6,211	0,125	0,459	3,996	10,791
14	16		5,435	0,122	2,193	4,416	12,166
22	23		6,218	0,172	1,506	4,27	12,582
30	41		7,387	0,275	2,365	5,518	15,545
32	63	2	9,006	0,277	3,921	7,481	20,685
57	80		14,306	0,545	3,459	7,562	25,872
100	190	4	20,074	1,159	8,759	15,398	45,39

Tabela 5.2.2 - Comparação de tempos para cálculos de Fluxo de Carga

Alguns dos exemplos são comentados a seguir:

O primeiro exemplo apresentado na tabela 5.2.1 é constituido por um sistema composto de 3 barras e 3 linhas e a sua escolha deriva do fato de ser um exemplo fácil de ser verificado manualmente.

O sistema é um exercicio proposto no livro "Introdução à teoria de sistemas de energia elétrica" de Olle I.Elgerd, á página 288, com uma pequena modificação afim de aumentar um pouco o seu grau de dificuldade. Esta modificação consiste em introduzir o controle de tensão numa das duas barras do tipo PQ, através de uma fonte local de potência reativa.

A solução obtida apresenta a tensão da barra em questão dentro dos limites especificados e na tabela podem ser observadas o tempo e as iterações necessárias a esta solução.

O segundo exemplo na tabela, é um sistema de 5 barras e 6 linhas, sendo todas as barras do tipo PQ com exceção da barra de referência.

Este caso é importante por constituir um exemplo da utilização de transformadores defaseadores com taps fixos em fase e quadratura. O defaseamento é igual a 45^0 e a solução em termos de número de iterações e tempo é mostrado na tabela.

O terceiro sistema que aparece na tabela é um exemplo da utilização de 2 tipos diferentes de ajustes num mesmo cálculo de fluxo de carga. O sistema é composto por 10 barras, das quais 5 são barras do tipo PV com limites de potência

reativa gerada e 3 são do tipo PQ com limites de tensão controlados remotamente. O sistema é composto ainda por 13 linhas.

A solução é obtida rapidamente em 5 iterações mantendo os valores de reativo gerado nas barras PV e de tensão nas barras PQ dentro dos limites especificados.

O sistema formado por 14 barras e 16 linhas é um sistema quase radial e aparece de duas maneiras diferentes na tabela 5.2.1. O objetivo da inclusão deste exemplo é mostrar como a solução do cálculo de Fluxo de Carga é influenciada pela introdução de ajustes no sistema.

Na primeira situação, o sistema é apresentado sem nenhum tipo de ajuste e a solução é obtida rapidamente com 3 iterações.

A seguir o mesmo sistema é apresentado agora com a introdução de 5 transformadores com tap controlável afim de manter as tensões nas barras às quais estão ligados os enrolamentos secudários destes transformadores, dentro de limites especificados.

O ajuste de taps nos transformadores aumenta consideravelmente o número de iterações e o tempo necessário a solução comparado com o caso da não inclusão de ajuste como pode ser visto na tabela.

O exemplo constituído pelo sistema de 32 barras e 63 linhas da tabela 5.2.1, representa dois sub - sistemas interligados da região central do Peru. A interligação é feita por 4 linhas simples e os dados representam a operação com car

ga máxima sendo que alguns destes dados são estimados.

O presente exemplo, além de apresentar a particularidade de ser constituído por dois sistemas interligados, apresenta ainda 4 tipos diferentes de ajustes, considerando o intercâmbio de potência a ser realizado entre as duas áreas ou sistemas. Os resultados do cálculo são também apresentados na tabela.

O último exemplo da tabela 5.2.1,destina-se a testar, além do funcionamento do programa, o seu atual dimensionamento.

Este sistema é formado por 4 sistemas diferentes interligados por meio de 14 interconexões e acumulando um total de 100 barras das quais 5 são do tipo PV, 4 do tipo PV com controle de geração de reativo e 90 do tipo PQ.

O sistema é composto também por 190 linhas.O exemplo está dentro do limite máximo do número de barras para o qual o programa está dimensionado. O resultado deste cálculo é obtido em 8 iterações como pode ser observado na tabela, mostrando mais uma vez a eficiência do programa implantado.

5.3 - *RESULTADOS DOS CÁLCULOS DE CONTINGÊNCIAS*

Os resultados obtidos nos cálculos de contingências dos sistemas elétricos aqui utilizados como exemplos, podem ser avaliados através da tabela 5.3.1,a qual apresenta os vários sistemas utilizados, as diferentes opções de contingências às quais foram submetidos, e o tempo total gasto no pro

SISTEMAS			TIPO DE CONTINGÊNCIAS REALIZADAS :					TEMPO TOTAL DE PROCESSAMENTO (SEG)
Nº Barras	Nº Linhas	Subsistemas	Saída de linhas simples	Saída de linhas paralelas	Perda de geradores 50%	Perda de geradores 100%	Saídas especificadas	
3	3		SIM					10,446
5	6		SIM					25,016
10	13		SIM					35,656
11	13		SIM					31,863
14	21		SIM	SIM			SIM	82,598
22	23				SIM	SIM		39,573
30	41		SIM	SIM	SIM .	SIM		174,539
32	63	2	SIM	SIM				270,230
57	80				SIM			50,510
100	190	4	SIM					1568,66

Tabela 5.3.1 - Resultados do cálculo de contingências

cessamento destes cálculos.

Este tempo, encontrado na tabela 5.3.1, compreende, além dos tempos destinados aos cálculos das contingencias propriamente ditas; também os tempos utilizados para entrada de dados e saída de resultados à cada contingência. Isto provoca um aumento considerável no tempo de processamento gasto, principalmente em razão das limitações próprias do computador aqui utilizado.

Nos dois primeiros exemplos apresentados, o primeiro formado pelo sistema de 3 barras e 3 linhas e o segundo sendo o sistema de 5 barras e 6 linhas, foi realizada a simulação da saída de todas as linhas individualmente. O tempo gasto em cada um dos exemplos é mostrado na tabela.

No sistema formado de 14 barras e 21 linhas, é feita a simulação de saída de todas as linhas individualmente, de todas as linhas paralelas do sistema e ainda é feita a simulação da saída simultânea de 3 linhas especificadas. A solução é obtida rapidamente após cada contingência e o tempo total gasto no estudo é mostrado na tabela.

Outro exemplo é representado pelo sistema de 22 barras e 23 linhas; na qual, o cálculo de contingências realizado compreende a simulação da perda de 50% de geração para todos os geradores e a saída ou perda de toda a geração individualmente.

O sistema de 30 barras e 41 linhas, é submetido a 4 tipos diferentes de contingências ou seja: simulação da saída de todas as linhas individualmente, simulação da saí

da de todas as linhas paralelas, simulação da perda de 50% da geração individualmente e simulação da perda total de geração individualmente.

Neste exemplo são considerados as situações em que a saída de uma linha provoca a separação do sistema.

Ainda é feita a redistribuição de potência de acordo com as características dos reguladores de velocidade quando isto se faz necessário.

O tempo total do processamento para execução destes cálculos é mostrado na tabela.

Da mesma tabela consta ainda, o exemplo dado pelo sistema de 100 barras e 190 linhas, constituido por 4 sistemas interconectados. Neste sistema realizou-se a simulação de saída de todas as linhas simples com a finalidade de testar o funcionamento e o dimensionamento do programa visto que 100 barras é o limite para o qual ele está dimensionado.

Em alguns dos exemplos apresentados não foi possível obter convergência ante algumas das contingências às quais foram submetidas, entre estes exemplos estão os sistemas de 5 barras e 6 linhas e o sistema de 57 barras e 80 linhas da tabela 5.3.1. Isto pode ser atribuido à severidade das condições da contingência, podendo significar, por exemplo, tensões muito baixas ou sobrecargas excessivas nas linhas e geradores.

5.4 - ESTUDO DO SISTEMA REGIONAL DA CIDADE DE FORTALEZA - CE

O objetivo deste estudo é mostrar a aplicabilidade prática do programa implantado a sistemas típicos brasileiros.

O estudo é constituido por um cálculo de fluxo de carga onde é realizado o ajuste de taps de transformadores controladores, e por um cálculo de contingências onde é feita a simulação da saída de todas as linhas separadamente do sistema.

A procura de uma situação real que servisse de teste ao programa, levou à escolha deste sistema em razão do conhecimento adquirido junto a um representante da COELCE de problemas na operação do sistema, e ainda em virtude da colaboração da empresa em fornecer os dados necessários.

Estes problemas dizem respeito ao perfil de tensões do sistema, o qual depende muito da configuração dos taps dos transformadores.

A escolha desses taps é feita na empresa segundo critérios práticos baseados na experiência anterior de operação do sistema.

Tenta-se mostrar aqui que os ajustes dos taps destes transformadores, pode ser realizado de uma maneira mais rápida e eficiente através da utilização do programa implantado.

A maneira como esta tentativa foi realizada e os seus resultados são mostrados a seguir.

O sistema em questão é formado por 80 barras e 97 linhas, possuindo uma única barra de alimentação e sendo eminentemente radial. O sistema possui 45 transformadores controláveis com tap em fase cujos valores serão aqui determinados na procura de um melhor ponto de operação do sistema.

Os dados do sistema nas condições de carga máxima, obtidos junto a COELCE, foram em primeiro lugar adaptadoa ao programa e um cálculo de Fluxo de Carga foi realizado comparando os resultados obtidos, com os resultados do programa da PECO fornecido pela COELCE, constatando-se que os resultados são os mesmos.

A seguir, especificam-se as tensões nas barras emissoras ou receptoras (as quais os transformadores estão ligados, segundo o caso), em 1 p.u. com uma tolerância de 0,05%, e realiza-se um novo Fluxo de Carga para determinar os valores dos taps que manterão estas tensões nos valores especificados.

A solução obtida após esta execução, apresenta um perfil de tensões consideravelmente melhor que o anterior. No entanto, como a variação dos taps na simulação foi imposta continua, os valores obtidos para estes taps na sua maioria são fisicamente impossiveis de se conseguir.

É realizado então um novo Fluxo de Carga no qual os valores obtidos anteriormente são ajustados aos valores reais mais próximos. O resultado deste cálculo apresenta um perfil de tensões igual e em alguns casos superior ao original. Outras grandezas tais como perdas e fluxos de potências não apresentam variações consideráveis.

Tem-se então a configuração final dos taps dos transformadores controláveis do sistema, obtida de forma eficiente e com enorme economia de tempo.

A tabela 5.4.1 mostra algumas caracteristicas deste sistema e do estudo aqui realizado.

O cálculo de contingências do sistema regional de Fortaleza - CE, como já mencionado, limita-se à simulação da saída de todas as linhas simples do sistema, sem considerar as condições de separação de sistemas e sem considerar redistribuição de potências, uma vez que o sistema é totalmente radial e alimentado apenas de um ponto.

Na tabela 5.4.2 são mostradas algumas características da realização deste estudo.

Consta ainda deste capítulo a saída de resultados de um exemplo de cálculo de Fluxo de Carga, assim como, a saída de resultados de um exemplo de cálculo de contingências.

Neste último exemplo são apresentados somente os resultados da simulação da saída de uma linha simples, e os resultados da simulação da saída especificada de 3 linhas simples.

SISTEMA REGIONAL DE FORTALEZA - CEARÁ			CÁLCULO DE FLUXO DE CARGA		CÁLCULO DE CONTINGÊNCIAS
Nº Barras	Nº Linhas	Nº TCF	Nº Iterações	tempo de processamento (seg)	tempo de processamento (seg)
80	97	45	5	3,327	213,205

Tabela 5.4.1 -

Observações :

- *TCF : Transformador com tap controlável em fase*
- *Todas as barras são do tipo PQ, com exceção da barra de referência*
- *O cálculo de contingências compreende somente simulação de todas as linhas simples individualmente, sem considerar a separação do sistema*
- *O tempo de processamento para cálculo de Fluxo de Carga não inclui o tempo necessário para leitura de dados e saída de resultados*
- *O tempo de processamento para o cálculo de contingências inclui entrada de dados e saída de resultados.*

S I S T E M A M O D E L O P A R A S O L U C A O D E F L U X O
D E C A R G A

STUDY 1 CASE 3

MW/MVAR MISMATCH .100 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 30 MVA BASE 100.

COMMENTS CARDS

SISTEMA TESTE QUASI-RADIAL COMPOSTO DE 14 BARRAS 11 LINHAS
E 5 TRANSFORMADORES EM FASE
REFERENCIA:CIGRE-72

*** SISTEMA 14 BARRAS Q. RADIAL ***

BUSBAR DATA

, NAME	VOLTAGE P.U.	P. GEN. P.U.	Q. GEN. P.U.	P. LOAD P.U.	Q. LOAD P.U.	Q. GEN. MIN. P.U.	Q. GEN. MAX. P.U.	VOLTAGE MIN. P.U.	VOLTAGE MAX. P.U.	CONTROL BUSBAR
A	1.0100	3.150	.000	.000	.000					
B		.000	.000	.400	.250					
C		.000	.000	.600	.300					
D		.000	.000	.000	.000					
E		.000	.000	.000	.000					
F		.000	.000	.000	.000					
G		.500	.200	1.200	.550					
H		.000	.000	.000	.000					
I		.000	.000	.000	.000					
J	1.0100	4.000	.000	5.000	3.000					
K		.000	.000	.200	.100					
L	1.0000	.700	.000	.400	.100					
M		.000	.000	.000	.000					
N	1.0100	.263	.000	.800	.420					

*** SISTEMA 14 BARRAS Q. RADIAL ***

BRANCH DATA

SENDING BUSBAR	RECEIVING BUSBAR	N	RESIST. P.U.	REACTANCE P.U.	TOTAL SUSC. P.U.	INITIAL TAP P.U.	LOWER TAP P.U.	INCR. TAP P.U.	UPPER TAP P.U.	VOLTAGE SPECIFIED P.U.	TOLER.	POWER LIM 1 MVA	POWER LIM 2 MVA
N	M	1	.00000	.12000	.00000	1.0000	.8000	.0000	1.2000	1.0000	.0010	0	0
K	M	0	.01467	.10537	.34074							0	0
B	K	1	.01219	.08719	.28652							0	0
C	B	1	.01983	.14350	.46368							0	0
C	I	1	.00585	.04215	.13648							0	0
J	I	1	.00000	.08000	.00000	1.0000	.8000	.0000	1.2000	1.0000	.0010	0	0
D	C	1	.01405	.10124	.32718							0	0
B	A	1	.02108	.15206	.46980							0	0
A	D	1	.01405	.10124	.32718							0	0
E	D	1	.00000	.08000	.00000	1.0000	.8000	.0000	1.2000	-1.0000	.0010	0	0
E	F	1	.03886	.11762	.04856							0	0
F	H	1	.03886	.11762	.04856							0	0
G	F	1	.00000	.08000	.00000	1.0000	.8000	.0000	1.2000	1.0000	.0010	0	0
L	H	1	.00000	.12000	.00000	1.0000	.8000	.0000	1.2000	1.0000	.0010	0	0
B	A	2	.02108	.15206	.46980							0	0
A	D	2	.01405	.10124	.32718							0	0

Escola Federal de Engenharia de Itajubá - EFEI
Biblioteca MAUÁ BINI

ADDITIONAL BUSBAR LISTING

NAME	ITAB2	NODE	YSR P.U.	YSI P.U.	BK P.U.
A	1	1	4.47875	-31.46947	.81698
B	2	3	4.30551	-30.12305	.86490
C	3	3	5.51920	-39.33757	.46367
D	4	3	4.03467	-41.08186	.49077
E	5	3	2.53249	-20.14098	.02428
F	6	3	5.06499	-27.78195	.04856
G	7	3	.00000	-12.50000	.00000
H	8	3	2.53249	-15.97431	.02428
I	9	3	3.23054	-35.70819	.06824
J	10	2	.00000	-12.50000	.00000
K	11	3	2.86892	-20.24560	.31363
L	12	2	.00000	-8.33333	.00000
M	13	3	1.29616	-17.47287	.17037
N	14	2	.00000	-8.33333	.00000

ADDITIONAL BRANCH LISTING

JUMP	NBRANC	YR P.U.	YI P.U.	GL P.U.	JOL1L2
2001001	81	-.89449	6.45235	6.57635	0
2001002	151	-.89449	6.45235	6.57635	0
3002001	41	-.94378	6.83394	6.96427	0
4001001	91	-1.34489	9.69088	9.87752	0
4001002	161	-1.34489	9.69088	9.87752	0
4003001	71	-1.34489	9.69088	9.87752	0
5004001	103	.00000	12.50000	12.50000	0
6005001	111	-2.53249	7.66526	8.50196	0
7006001	133	.00000	12.50000	12.50000	0
8006001	121	-2.53249	7.66526	8.50196	0
9003001	51	-3.23054	23.27643	23.72479	0
10009001	63	.00000	12.50000	12.50000	0
11002001	31	-1.57276	11.24932	11.46921	0
12003001	143	.00000	8.33333	8.33333	0
13011000	21	-1.29616	9.30991	9.49037	0
14013001	13	.00000	8.33333	8.33333	0

SYSTEM DATA

NAME OF SYSTEM	N.	NODES	BRANCS	SWING BUS	POWER EX- CHANGE (P.U.)	TOL.
SISTEMA 14 BARRAS Q. RADIAL	1	14	16			

TOTAL NUMBER OF NODES 14
TOTAL NUMBER OF BRANCHES 16

NUMBER OF PV BUSES 3 NUMBER OF PQ BUSES 10 NUMBER OF SWING BUSES 0
NUMBER OF PV BUSES WITH Q LIMITS 0 NUMBER OF PQ BUSES WITH V LIMITS BY Q CONTROLLABLE 0
NUMBER OF PQ BUSES WITH V LIMITS BY REMOTE VOLTAGE CONTROL 0

NUMBER OF LINES 11 NUMBER OF FIXED IN-PHASE TRANSFORMERS 0
NUMBER OF CONTROLLALBE IN-PHASE TRANSFORMERS 5
NUMBER OF FIXED IN-PHASE AND QUADRATURE TAPS PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS , 0

NUMBER OF CONTROLLABLE IN-PHASE TAP AND FIXED QUADRATURE TAP PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0
NUMBER OF FIXED IN-PHASE TAP AND CONTROLLABLE QUADRATURE TAP PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0
NUMBER OF CONTROLLABLE IN-PHASE AND QUADRATURE TAPS PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0

NUMBER OF FIXED INTERCONECTIONS 0 NUMBER OF CONTROLLABLE INTERCONECTIONS 0

L O A D F L O W S O L U T I O N-----B A S E C A S E-----

SOLUTION CONVERGED WITH SPECIFIED ACCURACY IN. 14 ITERATIONS

LARGEST MISMATCHES = -.05609 (MW)
-.03893 (MVAR)

BUSBAR LIMITS						BUSBAR CONTROLLING VARIABLES
NAME	SYS. N.	VIOLATED LIMIT	LIMIT OR SPECIF. (P.U.)	VOLTAGE/REACTIVE TOLER. (P.U.)	ACTUAL (P.U.)	DIFER. (P.U.)	
							TRANSFORMER ,N TO M CIR. 1 SYSTEM 1
							TAP= LOW,INIT,ACT.,DIF.,TOP .8000 1.0000 .9571 -.0429 1.2000
							TRANSFORMER ,J TO I CIR. 1 SYSTEM 1
							TAP= LOW,INIT,ACT.,DIF.,TOP .8000 1.0000 .9866 -.0134 1.2000
F		1	MIN. VOLTAGE	1.0000-	.0010	.9637	-.0353
							TRANSFORMER ,G TO F CIR. 1 SYSTEM 1
							TAP= LOW,INIT,ACT.,DIF.,TOP .8000 1.0000 1.2000 .2000 1.2000
							TRANSFORMER ,L TO H CIR. 1 SYSTEM 1
							TAP= LOW,INIT,ACT.,DIF.,TOP .8000 1.0000 1.0237 .0237 1.2000

*** SISTEMA 14 BARRAS Q. RADIAL ***

BUSBAR LOADINGS

NAME	TYPE	VOLTAGE MAGNITUDE (P.U.)	VOLTAGE ANGLE (DEG.)	GENERATION ACTIVE (MW)	GENERATION REACTIVE (MVAR)	LOAD ACTIVE (MW)	LOAD REACTIVE (MVAR)	SHUNT REACTIVE (MVAR)
A	REF.	1.0100	.00	323.7	-144.6	0	.0	.0
B	PQ	1.0289	-7.23	.0	.0	40.0	25.0	.0
C	PQ	1.0086	-11.03	.0	.0	60.0	30.0	.0
D	PQ	1.0142	-4.54	.0	.0	.0	.0	.0
E	PQ	1.0007	-6.40	.0	.0	.0	.0	.0
F	PQ	.9637	-8.86	.0	.0	.0	.0	.0
G	PQ	.7765	-12.43	50.0	20.0	120.0	55.0	.0
H	PQ	1.0002	-7.26	.0	.0	.0	.0	.0
I	PQ	1.0008	-13.41	.0	.0	.0	.0	.0
J	PV	1.0100	-18.01	400.0	298.7	500.0	300.0	.0
K	PQ	1.0237	-10.80	.0	.0	20.0	10.0	.0
L	PV	1.0000	-5.24	70.0	30.6	40.0	10.0	.0
M	PQ	1.0006	-13.86	.0	.0	.0	.0	.0
N	PV	1.0100	-17.68	26.3	16.4	80.0	42.0	.0
				870.0	221.1	860.0	472.0	.0

Escola Federal de Itajubá
Biblioteca
MAUÁ

*** SISTEMA 14 BARRAS Q. RADIAL ***

BRANCH LOADINGS

SENDING BUS	RECEIVING BUS	IN.	POWER SENT ACTIVE (MW)	POWER SENT REACTIV (MVAR)	POWER RECEIVED ACTIVE (MW)	POWER RECEIVED REACTIV (MVAR)	LINE LOSSES ACTIVE (MW)	LINE LOSSES REACT. (MVAR)	PERCENTAGE	MVA ACTUAL MVA	MVA LIM1 MVA	MVA LIM2 MVA	OVER-LOAD	TAP SETTING (P.U.)
A	B	1	83.5	-43.7	81.9	-3.7	1.51	-40.00		94	0	0		
A	B	2	83.5	-43.7	81.9	-3.7	1.51	-40.00		94	0	0		
B	C	1	49.1	-15.2	48.6	29.6	.47	-44.74		56	0	0		
A	D	1	78.4	-28.6	77.5	-1.3	.87	-27.28		83	0	0		
A	D	2	78.4	-28.6	77.5	-1.3	.87	-27.29		83	0	0		
D	C	1	113.7	-20.5	111.9	.3	1.77	-20.73		115	0	0		
E	F	1	41.3	16.2	40.5	18.5	.80	-2.28		44	0	0		
H	F	1	30.0	19.1	29.5	22.1	.53	-3.00		36	0	0		
C	I	1	100.6	-.2	100.0	9.4	.58	-9.56		100	0	0		
B	K	1	74.8	-17.2	74.1	8.4	.64	-25.57		76	0	0		
K	M	0	54.1	-1.6	53.7	30.1	.45	-31.70		61	0	0		
M	N	1	53.7	30.1	53.7	25.6	.00	4.54		61	0	0		.9571:1
I	J	1	100.0	9.4	100.0	1.3	.00	8.06		100	0	0		.9866:1
D	E	1	41.3	17.8	41.3	16.2	.00	1.57		44	0	0		1.0000:1
F	G	1	70.0	40.6	70.0	34.9	.00	5.63		80	0	0		1.2000:1
L	H	1	30.0	20.6	30.0	19.1	.00	1.51		36	0	0		1: 1.0237

SYSTEM LOSSES

	ACTIVE MW	REACTIVE MVAR
SERIES	9.99	87.78
SHUNT		-338.68
TOTAL	9.99	-250.90

SISTEMA ELETRICO DE POTENCIA PARA CALCULO DE FLUXO DE CARGA E CONTINGENCIAS
22 JUNHO 1982 STUDY 1 CASE 2

MW/MVAR MISMATCH .010 MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS 30 MVA BASE 100.

COMMENTS CARDS

OBJETIVO=CHECAR AS ROUTINAS PARA FLUXO DE CARGA
SISTEMA TESTE IEE 14 BARRAS
SIMULACAO DE SAIDA DE LINHAS SIMPLES
SIMULACAO DE SAIDA DE LINHAS EM PARALELO
SIMULACAO DE SAIDA ESPECIFICADA DE LINHAS
SEM CONSIDERAR AVR
SEM REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA

BUSBAR DATA

NAME	VOLTAGE P.U.	P. GEN. P.U.	Q. GEN. P.U.	P. LOAD P.U.	Q. LOAD P.U.	Q. GEN. MIN. P.U.	Q. GEN. MAX. P.U.	VOLTAGE MIN. P.U.	VOLTAGE MAX. P.U.	CONTROL BUSBAR
N1	1.0600	.000	.000	.000	.000					
N2	1.0450	.400	.000	.217	.127					
N3	1.0100	.000	.000	.942	.190					
N4		.000	.000	.478	-.039					
N5		.000	.000	.076	.016					
N6	1.0700	.000	.000	.112	.075					
N7		.000	.000	.000	.000					
N8	1.0900	.000	.000	.000	.000					
N9		.000	.000	.295	.166					
N90		.000	.000	.090	.058					
N91		.000	.000	.035	.018					
N92		.000	.000	.061	.016					
N93		.000	.000	.135	.058					
N94		.000	.000	.149	.050					

BRANCH DATA

SENDING BUSBAR	RECEIVING BUSBAR	N	RESIST. P.U.	REACTANCE P.U.	TOTAL SUSC. P.U.	INITIAL TAP P.U.	LOWER TAP P.U.	INCR. P.U.	UPPER TAP P.U.	VOLTAGE SPECIFIED P.U.	TOLER.	POWER LIM 1 MVA	POWER LIM 2
N1	N5	1	.05403	.22304	.02460							0	0
N1	N5	2	.05403	.22304	.02460							0	0
N1	N2	1	.01938	.05917	.02640							0	0
N2	N3	1	.04699	.19797	.02190							0	0
N2	N4	1	.05811	.17632	.01870							0	0
N2	N5	1	.05695	.17388	.01700							0	0
N3	N4	1	.06701	.17103	.01730							0	0
N4	N5	1	.01335	.04211	.00640							0	0
N4	N7	1	.00000	.20912	.00000							0	0
N4	N9	1	.00000	.55618	.00000							0	0
N5	N6	1	.00000	.25202	.00000							0	0
N6	N91	1	.09498	.19890	.00000							0	0
N6	N92	1	.12291	.25581	.00000							0	0
N6	N93	1	.06615	.13027	.00000							0	0
N7	N8	1	.00000	.17615	.00000							0	0
N7	N9	1	.00000	.11001	.00000							0	0
N9	N90	1	.03181	.08450	.00000							0	0
N9	N94	1	.12711	.27038	.00000							0	0
N93	N94	1	.17093	.34802	.00000							0	0
N90	N91	1	.08205	.19207	.00000							0	0
N92	N93	1	.22092	.19988	.00000							0	0
N9				-5.260									

SYSTEM DATA

NAME OF SYSTEM	N.	NODES	BRANCS	SWING BUS	POWER EX- CHANGE (P.U.)	TOL.
SISTEMA ELETRICO AMERICANO	1	14	21			

TOTAL NUMBER OF NODES 14
TOTAL NUMBER OF BRANCHES 21

NUMBER OF PV BUSES 4 NUMBER OF PQ BUSES 9 NUMBER OF SWING BUSES 0
NUMBER OF PV BUSES WITH Q LIMITS 0 NUMBER OF PQ BUSES WITH V LIMITS BY Q CONTROLLABLE 0
NUMBER OF PQ BUSES WITH V LIMITS BY REMOTE VOLTAGE CONTROL 0

NUMBER OF LINES 21 NUMBER OF FIXED IN-PHASE TRANSFORMERS 0
NUMBER OF CONTROLLALBE IN-PHASE TRANSFORMERS 0
NUMBER OF FIXED IN-PHASE AND QUADRATURE TAPS PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS , 0

NUMBER OF CONTROLLABLE IN-PHASE TAP AND FIXED QUADRATURE TAP PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0
NUMBER OF FIXED IN-PHASE TAP AND CONTROLLABLE QUADRATURE TAP PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0
NUMBER OF CONTROLLABLE IN-PHASE AND QUADRATURE TAPS PHASE-SHIFTER TRANSFORMERS 0

NUMBER OF FIXED INTERCONECTIONS 0 NUMBER OF CONTROLLABLE INTERCONECTIONS 0

L O A D F L O W S O L U T I O N-----B A S E C A S E-----

SOLUTION CONVERGED WITH SPECIFIED ACCURACY IN 4 ITERATIONS

LARGEST MISMATCHES = -.00245 (MW)
                      -.00008 (MVAR)

O U T A G E S T U D Y

OUTAGE DATA

MW/MVAR MISMATCH .010
MW/MVAR MISMATCH TO INTRODUCE CONTROLS .500
CONVERGENCE FOR REACTIVE POWER
AT NODES WITH FIXED VOLTAGE
BEHIND SYNC. IMPEDANCE .010

AUTOMATIC CALCULATION OF SINGLE LINE OUTAGES = YES
AUTOMATIC CALCULATION OF DOUBLE OUTAGES FOR PARALEL BRANCHES = YES
SPECIFIED CALCULAT. OF BRAN. OUT.= YES
AUTOMATIC CALCULATION OF SINGLE GENERATOR OUTAGES (HALF LOSS) = NO
AUTOMATIC CALCULATION OF SINGLE GENERATOR OUTAGES (TOTAL LOSS) = NO
SHUNT OUTAGE CALCUL.=
SPECIFIED CALCULATION OF GENERATOR OUTAGES = NO

FOR THE AUTOMATIC CALCULATIONS THE FOLLOWING CONTROLS ARE CONSIDERED AS FOLLOWS

-AREA INTERCHANGES =YES
-REDISTRIBUTION OF ACTIVE POWER
WHEN SPLIT CONDITION = NO
-ON LINE TAP CHANGING = YES
-V LIMITS ON PQ V OR PQRV BUSES = YES
-Q LIMITS ON PV Q BUSES = YES

,AND SPLIT SYSTEMS RESULTING FROM A PARTICULAR OUTAGES WILL BE CONSIDERED... YES
,AND VOLTAGE DROP LIMIT :
SINGLE OUTAGE = .060
DOUBLE OR MORE OUTAGES = .100

Escola Politècnica de Barcelona
Biblioteca
MAIA

O U T A G E S O L U T I O N

BRANCH(ES) OUT =

N2 N1 1

SOLUTION CONVERGED WITH SPECIFIED ACCURACY IN 5 ITERATIONS

LARGEST MISMATCHES = -.00149 (MW)
-.00629 (MVAR)

*** SISTEMA ELETRICO AMERICANO ***

BUSBAR LOADINGS

NAME	TYPE	VOLTAGE MAGNITUDE (P.U.)	VOLTAGE ANGLE (DEG.)	GENERATION ACTIVE (MW)	GENERATION REACTIVE (MVAR)	LOAD ACTIVE (MW)	LOAD REACTIVE (MVAR)	SHUNT REACTIVE (MVAR)
N1	REF.	1.0600	.00	239.2	-5.4	.0	.0	.0
N2	PV	1.0450	-17.55	40.0	46.1	21.7	12.7	.0
N3	PV	1.0100	-22.38	.0	22.0	94.2	19.0	.0
N4	PQ	1.0286	-17.47	.0	.0	47.8	-3.9	.0
N5	PQ	1.0331	-14.14	.0	.0	7.6	1.6	.0
N6	PV	1.0700	-20.47	.0	40.4	11.2	7.5	.0
N7	PQ	1.0548	-20.29	.0	.0	.0	.0	.0
N8	PV	1.0900	-20.29	.0	21.8	.0	.0	.0
N9	PQ	1.0476	-21.74	.0	.0	29.5	16.6	20.9
N90	PQ	1.0439	-21.80	.0	.0	9.0	5.8	.0
N91	PQ	1.0531	-21.27	.0	.0	3.5	1.8	.0
N92	PQ	1.0547	-21.37	.0	.0	6.1	1.6	.0
N93	PQ	1.0490	-21.48	.0	.0	13.5	5.8	.0
N94	PQ	1.0301	-22.64	.0	.0	14.9	5.0	.0
				279.2	124.9	259.0	73.5	20.9

BRANCH LOADINGS

SENDING BUS	RECEIVING BUS	IN.	POWER SENT ACTIVE (MW)	POWER SENT REACTIVE (MVAR)	POWER RECEIVED ACTIVE (MW)	POWER RECEIVED REACTIVE (MVAR)	LINE LOSSES ACTIVE (MW)	LINE LOSSES REACT. (MVAR)	PERCENTAGE	MVA ACTUAL MVA	MVA LIM1 MVA	MVA LIM2 MVA	OVER-LOAD	TAP SETTING (P.U.)
N1	N2	1	.0	.0	.0	.0	.00	.00		0	0	0		
N2	N3	1	47.1	8.0	46.1	6.1	.99	1.86		47	0	0		
N2	N4	1	2.1	8.0	2.1	9.8	.05	-1.87		10	0	0		
N4	N3	1	49.7	-6.9	48.1	-9.2	1.58	2.25		50	0	0		
N1	N5	1	119.6	-2.7	112.7	-28.4	6.88	25.69		119	0	0		
N1	N5	2	119.6	-2.7	112.7	-28.4	6.88	25.69		119	0	0		
N5	N2	1	31.6	-17.2	30.9	-17.4	.68	.23		36	0	0		
N5	N4	1	137.8	-28.8	135.3	-35.9	2.48	7.13		140	0	0		
N5	N6	1	48.4	-12.4	48.4	-18.3	.00	5.90		51	0	0		
N4	N7	1	25.5	-12.2	25.5	-13.8	.00	1.58		29	0	0		
N7	N8	1	.0	-21.1	.0	-21.8	.00	.70		21	0	0		
N4	N9	1	14.4	-3.0	14.4	-4.1	.00	1.14		15	0	0		
N7	N9	1	25.5	7.3	25.5	6.6	.00	.69		26	0	0		
N9	N90	1	2.7	3.5	2.7	3.5	.01	.02		4	0	0		
N6	N91	1	10.0	4.4	9.9	4.2	.10	.21		10	0	0		
N91	N90	1	6.4	2.4	6.3	2.3	.03	.08		6	0	0		
N6	N92	1	8.1	2.6	8.1	2.4	.08	.16		8	0	0		
N6	N93	1	19.1	7.7	18.9	7.2	.24	.48		20	0	0		
N92	N93	1	2.0	.8	2.0	.8	.01	.01		2	0	0		
N9	N94	1	7.7	3.2	7.7	3.0	.08	.17		8	0	0		
N93	N94	1	7.3	2.2	7.2	2.0	.09	.18		7	0	0		

SYSTEM LOSSES

	ACTIVE MW	REACTIVE MVAR
SERIES	20.17	86.34
SHUNT		-14.03
TOTAL	20.17	72.31

O U T A G E S O L U T I O N

BRANCH(ES) OUT =

N5	N6	1
N1	N5	2
N2	N3	1

SOLUTION CONVERGED WITH SPECIFIED ACCURACY IN 18 ITERATIONS

LARGEST MISMATCHES = -.00850 (MW)
-.00148 (MVAR)

BUSBAR LOADINGS

NAME	TYPE	VOLTAGE MAGNITUDE (P.U.)	VOLTAGE ANGLE (DEG.)	GENERATION ACTIVE (MW)	GENERATION REACTIVE (MVAR)	LOAD ACTIVE (MW)	LOAD REACTIVE (MVAR)	SHUNT REACTIVE (MVAR)
N1	REF.	1.0600	.00	248.2	-14.7	.0	.0	.0
N2	PV	1.0450	-4.86	40.0	29.4	21.7	12.7	.0
N3	PV	1.0100	-25.55	.0	63.8	94.2	19.0	.0
N4	PQ	1.0131	-14.75	.0	.0	47.8	-3.9	.0
N5	PQ	1.0209	-11.15	.0	.0	7.6	1.6	.0
N6	PV	1.0700	-31.97	.0	43.9	11.2	7.5	.0
N7	PQ	1.0523	-21.27	.0	.0	.0	.0	.0
N8	PV	1.0900	-21.27	.0	23.3	.0	.0	.0
N9	PQ	1.0545	-24.56	.0	.0	29.5	16.6	21.1
N90	PQ	1.0499	-26.14	.0	.0	9.0	5.8	.0
N91	PQ	1.0563	-29.13	.0	.0	3.5	1.8	.0
N92	PQ	1.0531	-32.27	.0	.0	6.1	1.6	.0
N93	PQ	1.0504	-31.75	.0	.0	13.5	5.8	.0
N94	PQ	1.0332	-28.69	.0	.0	14.9	5.0	.0
				288.2	145.7	259.0	73.5	21.1

BRANCH LOADINGS

SENDING BUS	RECEIVING BUS	IN.	POWER SENT ACTIVE (MW)	POWER SENT REACTIVE (MVAR)	POWER RECEIVED ACTIVE (MW)	POWER RECEIVED REACTIVE (MVAR)	LINE LOSSES ACTIVE (MW)	LINE LOSSES REACT. (MVAR)	PERCENTAGE	MVA ACTUAL MVA	MVA LIM1 MVA	MVA LIM2 MVA	OVER-LOAD	TAP SETTING (P.U.)
N1	N2	1	153.2	-18.1	149.1	-27.6	4.09	9.58		154	0	0		
N2	N3	1	.0	.0	.0	.0	.00	.00		0	0	0		
N2	N4	1	101.3	-6.6	95.8	-21.2	5.48	14.63		101	0	0		
N4	N3	1	101.4	-28.2	94.2	-44.8	7.20	16.61		105	0	0		
N1	N5	1	95.0	3.4	90.6	-11.9	4.35	15.29		95	0	0		
N1	N5	2	.0	.0	.0	.0	.00	.00		0	0	0		
N2	N5	1	66.1	-4.4	63.8	-9.6	2.29	5.16		66	0	0		
N5	N4	1	146.9	-23.1	144.0	-31.4	2.83	8.26		148	0	0		
N5	N6	1	.0	.0	.0	.0	.00	.00		0	0	0		
N4	N7	1	57.9	-15.7	57.9	-23.0	.00	7.33		62	0	0		
N7	N8	1	.0	-22.5	.0	-23.3	.00	.81		23	0	0		
N4	N9	1	32.7	-4.7	32.7	-10.7	.00	5.93		34	0	0		
N7	N9	1	57.9	-.5	57.9	-3.8	.00	3.33		58	0	0		
N9	N90	1	33.8	-6.5	33.4	-7.4	.34	.90		34	0	0		
N91	N6	1	20.4	-16.3	19.8	-17.5	.58	1.21		26	0	0		
N90	N91	1	24.4	-13.2	23.9	-14.5	.57	1.34		27	0	0		
N6	N92	1	4.6	4.8	4.6	4.7	.05	.10		6	0	0		
N6	N93	1	4.0	14.1	3.8	13.8	.12	.24		14	0	0		
N93	N92	1	1.5	-3.1	1.5	-3.1	.02	.02		3	0	0		
N9	N94	1	27.4	-3.5	26.5	-5.4	.87	1.85		27	0	0		
N94	N93	1	11.6	-10.4	11.2	-11.1	.39	.79		15	0	0		

SYSTEM LOSSES

	ACTIVE MW	REACTIVE MVAR
SERIES	29.18	105.20
SHUNT		-11.82
TOTAL	29.18	93.39

NUMBER OF ITERATIONS FOR FIRST OUTAGE = 6
NUMBER OF ITERATIONS FOR SECOND OUTAGE = 9
NUMBER OF ITERATIONS FOR THIRD OUTAGE = 4

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

Neste capítulo serão apresentadas algumas das principais considerações acerca do aproveitamento que a realização deste trabalho acarreta ou pode acarretar, bem como as conclusões principais que dele possam ser tiradas.

Um dos aspectos mais importantes no que diz respeito ao aproveitamento do próprio autor, é a familiarização com os diversos métodos de cálculo aqui apresentados, permitindo através disto, uma solidificação dos conhecimentos teóricos até então adquiridos.

Isto permite ter uma visão melhor acerca do que representa o problema de cálculo de fluxo de carga e o cálculo de contingências em sistemas elétricos de potência, em razão da vasta bibliografia pesquisada para levar a bom termo a exposição teórica sôbre a qual fundamenta-se a implantação do programa computacional aqui realizada, bem como a sua perfeita utilização.

Da mesma forma, o cuidadoso trabalho da implantação do programa propriamente dito, permitiu adquirir um maior conhecimento das diversas técnicas computacionais nele utilizadas; compreender melhor a necessidade primordial da utilização do computador digital na análise de sistemas elétricos de potência e além disto, familiarizar-se com as dificuldades

que esta utilização implica,

Em relação ao programa implantado, pode-se afirmar que a eficiência demonstrada ante os vários testes a que foi submetido permitem constatar que a escolha da implantação deste programa como base deste trabalho foi acertada.

Os resultados apresentados no capítulo V mostram que o programa satisfaz os objetivos traçados no início deste trabalho, ou seja, o programa implantado constituí uma ferramenta capaz de permitir a realização de cálculos de fluxo de carga e/ou contingências em sistemas elétricos de potência, com a certeza de se chegar a resultados verdadeiros,de maneira eficiente.

Além da utilização atual e direta do programa implantado no computador da EFEI, a execução deste trabalho possibilita o desenvolvimento de novos estudos que, tendo como base o aqui realizado, dediquem-se a outras áreas da análise de sistemas elétricos de potência.

O campo para futuras utilizações deste trabalho é amplo, e considerando que os métodos utilizados ainda não foram totalmente explorados; o tempo de vida util do presente trabalho é bastante promissor.

Além das futuras possíveis utilizações que possam ser realizadas, cabe citar que o programa implantado já foi utilizado na realização de alguns cálculos de fluxo de carga que serviram de partida para estudos de estabilidade em sistemas industriais necessários para tese de mestrado realizada nesta Escola e já defendida com êxito.

Uma outra aplicação que vem sendo dada ao programa, é a sua utilização para o desenvolvimento de estudos de fluxosde carga probabilisticos em um trabalho de tese de mestrado com bons resultados.

Na parte destinada ao cálculo de contingências, as possibilidades de futuros trabalhos a serem realizados tambem é grande, entre estas aplicações podem contar-se,por exemplo, estudos probabilísticos envolvendo saídas de linhas, cargas ou gerações.

Ante todo o apresentado e fora algumas observações enquanto a características tais como dimensionamento do programa e rapidez de execução (as quais dependem muito mais do computador utilizado), o objetivo determinado no inicio deste trabalho foi alcançado.

Cabe justificar que, os títulos das listagens de saídas e entradas de dados do programa implantado foram mantidas em lingua inglesa por considerar-se que isto não afeta o resultado final do trabalho, devendo porem ser providenciada a rápida tradução destes títulos.

**** APENDICE 1 ****

**** MANUAL DE USO DO PROGRAMA ****

ESTE MANUAL MOSTRA A MANEIRA COMO OS DADOS DEVEM SER INTRODUZIDOS NESTE PROGRAMA PARA A SUA PERFEITA UTILIZACAO.

OS DADOS NECESSARIOS PODEM SER DIVIDIDOS EM DUAS PARTES:

PRIMEIRA PARTE: DADOS PARA O ESTUDO DE FLUXO DE CARGA.
SEGUNDA PARTE: DADOS PARA O ESTUDO DE CONTINGENCIAS.

```
**********************************************
*                                            *
*   DADOS PARA ESTUDO DE FLUXO DE CARGA:     *
*                                            *
**********************************************
```

OS DADOS SAO DIVIDIDOS NOS SEGUINTES CONJUNTOS:

CONJUNTO-1
DOIS (2) CARTOES OBRIGATORIOS

NESTE CONJUNTO ESPECIFICA-SE UMA SERIE DE PALAVRAS CHAVES QUE PODEM IR ATE' O NUMERO DE QUINZE, DO TIPO ALFANUMERICO, ESCOLHIDAS PELO PROPRIO USUARIO, COM FORMATO DE ENTRADA A8. ESTAS PALAVRAS TEM A FINALIDADE DE INICIAR E IDENTIFICAR CONJUNTOS DE DADOS A SEREM EXPLICADOS POSTERIORMENTE. CADA VEZ QUE UM DESSES CONJUNTOS FOR UTILIZADO NO ESTUDO, A PALAVRA CHAVE CORRESPONDENTE DEVE APARECER NO CONJUNTO-1. RECOMENDA-SE COMECAR AS PALAVRAS CHAVES COM UM ASTERISCO.

CONJUNTO-2.
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLUNA	DADO	TIPO
1-8	PALAVRA-CHAVE 1	ALFANUMERICO

CONJUNTO-3
DOIS (2) CARTOES OBRIGATORIOS

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-80/1-40	TITULO DO ESTUDO	ALFANUMERICO	BRANCO
49-51	NUMERO DO ESTUDO	INTEIRO	0
52-54	NUMERO DO CASO	INTEIRO	0
55-59	TOLER. DE CONV. MW/MVA	F5.3	.1 MW/MVA
60-63	NUMERO MAXIMO DE ITERACOES	INTEIRO	30
64-67	MVA BASE	F4.0	100MVA.

O PROGRAMA APRESENTA VARIAS SAIDAS DE INFORMACAO OPCIONAIS, AS QUAIS PODEM SER SOLICITADAS PELO USUARIO COLOCANDO-SE UM NUMERO 1 NAS RESTANTES COLUNAS DESTE CARTAO, OBEDECENDO A SEGUINTE RELACAO:

68	ADMITANCIA PROPRIA DE CADA BARRA
69	ADMITANCIA MUTUA ENTRE BARRAS
70	NAO E' USADO
71	MAXIMA TOLER. DE CONV. DE POT. ATIVA E REATIVA EM CADA ITERACAO.
72	AJUSTES EM BARRAS SWING EM CADA ITERACAO
73	AJUSTES EM BARRAS PQ COM LIMITES DE TENSAO E BARRAS PV COM LIMITES DE REATIVO GERADO EM CADA ITERACAO.
74	AJUSTES EM TRANSFORMADORES NA LINHA EM CADA ITERACAO
75	RESULTADOS DOS AJUSTES AO FINAL DO FLUXO DE CARGA

76	RESULTADO TOTAL DO FLUXO DE CARGA
77	NAO E' USADO
78/80	FATOR DE ESCALA SOBRE A TOLER. DE CONV. (MW/MVAR) QUE MOSTRA A CONVERGENCIA INICIAL AO INTRODUZIR OS AJUSTES. O TIPO E' REAL (F3.0) E SE NAO FOR ESPECIFICADO SERA' TOMADO 50.0

SE A COLUNA 75 NAO CONTEM O NUMERO 1 E UMA VARIAVEL CONTROLADA ESTA FORA DOS LIMITES ESPECIFICADOS, A VARIAVEL SERA IMPRESSA.

SE A COLUNA 76 NAO CONTEM O NUMERO 1 E EXISTE SOBRECARGA OU O INTERCAMBIO DE POTENCIA ATIVA ENTRE OS SISTEMAS ESTA' FORA DOS LIMITES, ENTAO A CORRESPONDENTE LINHA SERA' IMPRESSA.

INTRODUCAO DE MULTIPLOS FATORES DE TOLER. DE CONV. MW/MVAR

POR EXEMPLO SE A TOLER. DE CONV. MW/MVAR =0,1 E O FATOR DE ESCALA E' IGUAL A 50.0, OS AJUSTES (QUALQUER UM) SOMENTE SERAO INTRODUZIDOS QUANDO A MAXIMA TOLER. DE CONV. MW/MVAR F MENOR QUE 5MW/MVAR SE ISTO NAO FOR CUMPRIDO ATE A TERCEIRA ITERACAO, O PROGRAMA AUTOMATICAMENTE INTRODUZ OS AJUSTES ESPECIFICADOS.

****** OBSERVACAO *******

DE AGORA EM DIANTE O PONTO DECIMAL E' IMPLICITO MAS PODE TAMBEM SER FORNECIDO PELO USUARIO.

CONJUNTO-4
UM (1) CARTAO OPCIONAL

COLOCACAO DA PALAVRA-CHAVE 2 EM ALFANUMERICO NAS COLUNAS 1/8

CONJUNTO-5
DE UM (1) ATE DEZ (10) CARTOES OPCIONAIS

ESTES SAO CARTOES PARA COMENTARIOS, ALFANUMERICOS.

OS CONJUNTOS 4 E 5 SAO RELACIONADOS ENTRE SI PORTANTO SE O 4 E' INCLUIDO, O CONJUNTO-5 TAMBEM DEVERA' SE-LO.

CONJUNTO-6
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLOCACAO DO PALAVRA-CHAVE 3 NAS COLUNAS 1/8, ALFANUMERICO

CONJUNTO-7
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-8	NOME DA BARRA DE REFERENCIA OU SWING	ALFANUMERICO	BRANCO
9-12	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	0
13-17	ESPECIFICACAO DA POTENCIA DE INTERCAMBIO DO SISTEMA EM MW. (SE +=EXPORT. E -=IMPORT.)	F5.0	0.0
18-20	TOLERANCIA ESPECIFICADA DA POT. INTERCAMBIO.	F3.0	5% DA POT. INTERCAMB.
21-76	NOME DO SISTEMA	ALFANUMERICO	BRANCO

QUANDO DOIS OU MAIS SISTEMAS SAO INTERCONECTADOS, SURGEM DUAS POSSIBILIDADES DE OPERACAO:

(1) O INTECAMBIO DE POTENCIA ENTRE SISTEMAS NAO E' CONTROLADO NESTE CASO, O PRIMEIRO SISTEMA A ENTRAR DEVE TER ESPECIFICADA A BARRA DE REFERENCIA (A QUAL SERA REFERENCIA PARA TODOS OS SISTEMAS), O NUMERO DO SISTEMA E O NOME DO SISTEMA. O SEGUNDO E SUBSEQUENTES SISTEMAS A ENTRAR, NECESSITAM SO DO NUMERO E NOME DO SISTEMA. O CAMPO ENTRE AS COLUNAS 1-8 DEVE SER DEIXADO EM BRANCO.

(2) O INTERCAMBIO DE POTENCIA ENTRE OS SISTEMAS E 'CONTROLADO. NESTE CASO, ALEM DA BARRA DE REFERENCIA, NUMERO E NOME NO PRIMEIRO SISTEMA, DEVEM SER FORNECIDOS A POTENCIA DE INTERCAMBIO, O SEU SINALE A TOLERANCIA. PARA O SEGUNDO E SUBSEQUENTES SISTEMAS A ENTRAREM, O NOME DE UMA BARRA SWING DEVE SER ESPECIFICADO NAS COLUNAS 1-8, ASSIM COMO O SINAL DA POTENCIA DE INTERCAMBIO, A TOLERANCIA, O NUMERO E O NOME DO SISTEMA. A BARRA SWING DEVE SER SELECIONADA NO SISTEMA EM QUESTAO ENTRE AS BARRAS QUE TENHAM SUA TENSAO FIXA E A POSSIBILIDADE DE GERACAO DE POTENCIA.

A SOMA DOS INTERCAMBIOS DE POTENCIA DEVE SER ZERO (0)

OBSERVACAO: QUANDO, ENTRE OS SISTEMAS INTERLIGADOS UNS POSSUIREM TRANSFORMADORES COM TAP CONTROLAVEIS E OUTROS NAO, O ULTIMO SISTEMA A TER SEUS DADOS FORNECIDOS DEVE SER UN DOS QUE POSSUEM.

CONJUNTO-8
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLOCAR O PALAVRA-CHAVE 4 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

CONJUNTO-9
N CARTOES OBRIGATORIOS (N=NUMERO DE BARRAS)

COLUNA	DADO	TIPO
1-8	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO
9-14	TENSAO ESPECIFICADA(PU OU KV)	F6.4
15-20	POTENCIA ATIVA GERADA (MW)	F6.1
21-26	POTENCIA REATIVA GERADA (MVAR)	F6.1
27-32	POTENCIA ATIVA CONSUMIDA (MW)	F6.1
33-38	POTENCIA REATIVA CONSUMIDA(MVAR)	F6.1
39-44	MINIMO REATIVO GERADO (MVAR)	F6.1
45-50	MAXIMO REATIVO GERADO (MVAR)	F6.1
51-56	TENSAO MINIMA (P.U. OU KV)	F6.4
57-62	TENSAO MAXIMA (P.U. OU KV)	F6.4
63-67	TENSAO BASE (KV)	F5.0
68-75	NOME DA BARRA CONTROLADORA	ALFANUMERICO

SE A TENSAO BASE NAO E' FORNECIDA, ENTAO A TENSAO ESPECIFICADA E AS TENSOES MINIMA E MAXIMA DEVEM SER EM P.U.

SE A TENSAO BASE E' FORNECIDA, ENTAO OS VALORES DE TENSAO DEVEM SER ESPECIFICADOS EM KV.

O PROGRAMA AUTOMATICAMENTE ASSUME OS TIPOS DE BARRA DE ACORDO AO SEGUINTE CRITERIO:

(1) SE A TENSAO ESPECIFICADA E' DEIXADA EM BRANCO, O TIPO DE BARRA SERA':

-PQ SE NAO SAO ESPECIFICADOS LIMITES DE TENSAO

Fe de Engenha

-PQ V SE OS LIMITES DE TENSAO SAO ESPECIFICADOS, E O NOME DA BARRA CONTROLADORA E' DEIXADO EM BRANCO, OU E IGUAL AO NOME DA BARRA.

-PQRV SE OS LIMITES DE TENSAO SAO ESPECIFICADOS, E O NOME DA BARRA CONTROLADORA E' DIFERENTE DO NOME DA BARRA.

(2) SE A TENSAO ESPECIFICADA E' FORNECIDA, O TIPO DA BARRA SERA':

-PV SE OS LIMITES DE REATIVO GERADO NAO SAO ESPECIFICADOS.

-PVQ SE OS LIMITES DE REATIVO GERADO SAO ESPECIFICADOS

-SWING COM OU SEM LIMITES DE REATIVO GERADO, SE O NOME DA BARRA FOR IGUAL AO NOME DA BARRA ESPECIFICADA PREVIAMENTE NO CONJUNTO-7 DE DADOS NO CAMPO 1-8.

-REFERENCIA
COM OU SEM LIMITES DE REATIVO GERADO, SE O NOME DA BARRA FOR IGUAL AO NOME DA BARRA PREVIAMENTE ESPECIFICADA COMO TAL NO CONJUNTO-7 DE DADOS.

UMA BARRA PQ V ASSUME QUE EXISTE UMA FONTE LOCAL DE POTENCIA REATIVA, AO PASSO QUE NUMA BARRA PQRV A TENSAO E' REMOTAMENTE CONTROLADA POR UMA OUTRA BARRA (POR EXEMPLO TRANSFORMADORES QUE TEM CONDENSADORES SINCRONOS NO ENROLAMENTO TERCIARIO E MANTEM A TENSAO SECUNDARIA CONSTANTE).

CONJUNTO-10
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 5 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

CONJUNTO-11
N+M+P CARTOES OBRIGATORIOS ONDE:
N=NUMERO DE LINHAS
M=NUMERO DE LIGACOES SHUNTS
P=NUMERO DE PHASE-SHIFTERS.

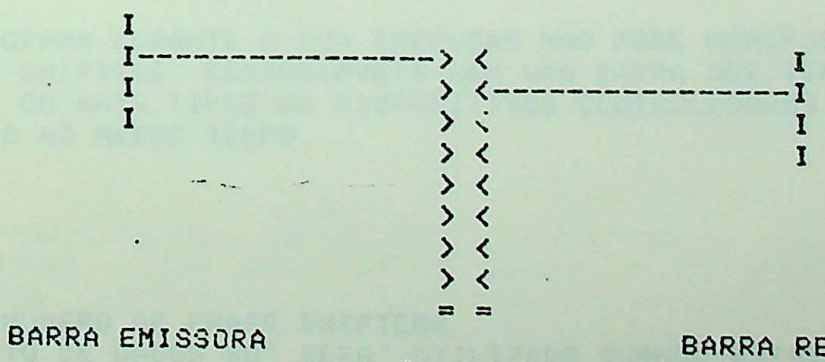
COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-8	NOME DA BARRA EMISSORA	ALFANUMERICO	
9-16	NOME DA BARRA RECEPTORA	"	
17-23	RESISTENCIA EM P.U.	F7.5	
24-30	REATANCIA EM P.U.	F7.5	
31-37	SUSCEPTANCIA TOTAL EM P.U	F7.5	

38	INDICADOR	INTEIRO	0
39-43	TAP INICIAL EM %	F5.2	100%
44-48	LIMITE INFERIOR DE TAP %	F5.2	
49-52	INCREMENTO DE TAP POR STEP EM %	F4.2	TAP CONTINUO.
53-57	LIMITE SUPERIOR DE TAP %	F5.2	
58-63	TENSAO ESPECIFICADA EM PU	F6.4	
64-69	TOLERANCIA ESPECIFICADA PU	F6.4	0.005 PU
70-74	LIMITE DE AVISO EM MVA	INTEIRO	
75-79	LIMITE CRITICO EM MVA	INTEIRO	0
80	NUMERO DO CIRCUITO.	INTEIRO	0

UM SHUNT E' ESPECIFICADO COLOCANDO-SE O NOME DA BARRA EMISSORA IGUAL AO NOME DA BARRA RECEPTORA E DETERMINANDO O VALOR DE REATANCIA X = (TENSAO NOMINAL EM P.U.)**2 / (POTENCIA REATIVA NOMINAL EM P.U.) COM A SEGUINTE CONVENCAO DE SINAIS:

+) REATOR
-) CAPACITOR

UM TRANSFORMADOR FIXO OU UM CONTROLADOR EM FASE OU EM QUADRATURA (PHASE SHIFTER), DEVEM SER REPRESENTADOS COM O TAP DO LADO DA BARRA RECEPTORA.



TRANSFORMADORES FIXOS EM FASE SAO REPRESENTADOS OCUPANDO-SE O CAMPO DO TAP INICIAL E DEIXANDO EM BRANCO OS ESPACOS PARA INDICADOR, TAP INFERIOR, INCREMENTO, TAP SUPERIOR, TENSAO ESPECIFICADA E TOLERANCIA ESPECIFICADA.

TRASFORMADORES CONTROLADORES EM FASE SAO REPRESENTEDOS PREENCHENDO-SE OS CAMPOS PARA TAP INICIAL, TAP INFERIOR, INCREMENTO, TAP SUPERIOR, TENSAO ESPECIFICADA E TOLERANCIA ESPECIFICADA, E DEIXANDO-SE EM BRANCO O CAMPO DO INDICADOR. SE A BARRA CONTROLADA ESTA' DO LADO DO TAP (BARRA RECEPTORA), NA TENSAO ESPECIFICADA E' COLOCADO O SINAL +; SE A BARRA CONTROLADA E' A BARRA EMISSORA A TENSAO ESPECIFICADA E' PRECEDIDA PELO SINAL -.

TRANSFORMADORES DEFASEADORES FIXOS SAO REPRESENTADOS PREENCHENDO-SE O CAMPO DO TAP INICIAL E COLOCANDO-SE NO CAMPO DO INDICADOR UM 1, E TAMBEM DEIXA-SE EM BRANCO OS CAMPOS DO TAP INFERIOR, INCREMENTO, TAP SUPERIOR, TENSAO ESPECIFICADA E TOLERANCIA ESPECIFICADA.(VER TAMBEM CONJUNTO-12).

DOIS NIVEIS DE LIMITES DE MVA PODEM SER ESPECIFICADOS PARA DETECTAR SOBRECARGAS PARA QUALQUER TIPO DE LINHA. O PRIMEIRO PODE SER UM LIMITE DE AVISO E O SEGUNDO UM LIMITE DE EMERGENCIA. SE AMBOS OS LIMITES SAO IGUAIS A ZERO, AS SOBRECARGAS NAO SAO CHECADAS.SE O LIMITE DE AVISO E' ZERO E O LIMITE CRITICO E' DIFERENTE DE ZERO, O PROGRAMA ASSUME QUE O LIMITE DE AVISO E' 85% DO LIMITE CRITICO.SE O LIMITE CRITICO E' ZERO E O LIMITE DE AVISO E' DIFERENTE DE ZERO, O PROGRAMA ASSUME QUE O LIMITE CRITICO E' IGUAL AO LIMITE DE AVISO.

O NUMERO DO CIRCUITO E' UM INDICADOR UTILIZADO PARA DIFERENCIAR LINHAS PARALELAS. SE FOR IGUAL A 7,8 OU 9, O RAMO NAO SERA' AUTOMATICAMENTE RETIRADO SE ESTA OPCAO E' ESPECIFICADA NO ESTUDO DE CONTINGENCIAS.

****** IMPORTANTE ******

O PROGRAMA DURANTE A SUA EXECUCAO NAO PODE MANIPULAR PHASE SHIFTERS CONTROLAVEIS NEM UMA BARRA QUE TENHA DOIS OU MAIS TIPOS DE DISPOSITIVOS CONTROLADORES ATUANDO AO MESMO TEMPO.

CONJUNTO-12
P CARTOES

P=NUMERO DE PHASE SHIFTERS

ESTE CONJUNTO DE DADOS SO' SERA' UTILIZADO QUANDO EXISTIREM PHASE SHIFTERS. CADA CARTAO DEVE SER COLOCADO IMEDIATAMENTE DEPOIS DO CORRESPONDENTE CARTAO DO CONJUNTO-11

NESTES CARTOES E' FORNECIDO O TAP EM QUADRATURA EM % NO CAMPO DAS COLUNAS 1-5 E COM FORMATO F5.2

CONJUNTO-13
UM (1) CARTAO
SOMENTE QUANDO EXISTEM DOIS OU MAIS SISTEMAS

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 6 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

CONJUNTO-14
M CARTOES (M=NUMERO DE INTERCONEXOES)
SOMENTE QUANDO EXISTEM DOIS OU MAIS SISTEMAS.

COLUNA	DADO	TIPO
1-8	NOME DA BARRA EMISSORA	ALFANUMERICO
9-16	NOME DA BARRA RECEPTORA	ALFANUMERICO
17-23	RESISTENCIA EM P.U.	F7.5
24-30	REATANCIA EM P.U.	F7.5
31-37	SUSCEPTANCIA TOTAL EM PU	F7.5
38-39	NUMERO DO SIST. EMISSOR	INTEIRO
40-41	NUMERO DO SIST. RECEPTOR	"
70-74	LIMITE DE AVISO EM MVA	"
75-79	LIMITE CRITICO EM MVA	"
80	NUMERO DO CIRCUITO	"

****** OBSERVACOES ******

- AS INTERCONEXOES DEVEM SER LINHAS

- AS MESMAS CONSIDERACOES OBSERVADAS NO CASO DAS LINHAS, RELATIVAS AOS LIMITES DE MVA E AO NUMERO DO CIRCUITO, DEVEM SER TOMADAS.

- AS INTERCONEXOES PODEM SER DE DOIS TIPOS: CONTROLAVEIS OU FIXAS. ISTO NAO E' ESPECIFICADO NESTE CONJUNTO DE CARTOES. A DISTINCAO E' FEITA DEPENDENDO SE O INTERCAMBIO DE POTENCIA ATIVA FOI OU NAO ESPECIFICADO.

CONJUNTO-15
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO.

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 8 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

****
*
* CONJUNTO DE DADOS PARA ESTUDO DE CONTINGENCIAS.
*
****

CONJUNTO-16
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

NESTE CONJUNTO DE DADOS E' FORNECIDO UM NOME PARA INDICAR SE O ESTUDO DE CONTINGENCIAS E' DESEJADO OU NAO, O NOME DEVE PREENCHER O CAMPO DAS COLUNAS 1-8, E E' DO TIPO ALFANUMERICO.

- SE O NOME FORNECIDO E' IGUAL A PALAVRA-CHAVE 9, O ESTUDO DE CONTINGENCIAS APOS A SOLUCAO DO FLUXO DE CARGA DO CASO BASE, E' REALIZADO.-

- SE O NOME FORNECIDO E' DIFERENTE DA PALAVRA-CHAVE 9, SOMENTE O ESTUDO DO FLUXO DE CARGA DO CASO BASE E' REALIZADO.

****** OBSERVACAO ******

DE AGORA EM DIANTE, OBRIGATORIO SIGNIFICA OBRIGATORIO SE, NO CONJUNTO 16 O NOME FORNECIDO E' IGUAL A PALAVRA-CHAVE 9.

CONJUNTO-17
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
2	ESTUDO DE CONTINGENCIAS	INTEIRO=1	NAO E FEITO
8	DADOS DO GERADOR SAO REQUERIDOS	INTEIRO=1	NAO SAO FORNECIDOS.

CONJUNTO-18
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO QUANDO OS DADOS DOS GERADORES SAO REQUERIDOS.

- COLOCAR PALAVRA-CHAVE 10 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO).

Biblioteca

CONJUNTO-19
M CARTOES (M=NUMERO DE GERADORES)
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO QUANDO
OS DADOS DOS GERADORES SAO REQUERIDOS NO CONJUNTO-17

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-8	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
9-10	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
11	INDICADOR	INTEIRO	
12-18	RESISTENCIA EM P.U.	F7.5	
19-25	REATANCIA SINCRONA EM P.U.	F7.5	
26-32	REATÂNCIA TRANSITORIA EM P.U.	F7.5	
33-39	REATANCIA SUB-TRANSITORIA EM P.U.	F7.5	
40-44	VARIACAO DE TAP EM %	F5.2	100%
47-53	CONSTANTE DE INERCIA EM P.U.	F7.5	
54-58	CARACTERISTICA DO REGULADOR EM %	F5.2	
64-67	MINIMA RESERVA DE POTENCIA ATIVA EM MW	INTEIRO	0 MW
68-71	MAXIMA RESERVA DE POTENCIA ATIVA EM MW	INTEIRO	9999 MW
72-75	MVA BASE	F4.0	MVA CASO BASE

********* OBSERVACOES *********

OS VALORES EM P.U. E EM % (EXCETO TAPS), SAO RELACIONADOS AO MVa DAS MAQUINAS.

O INDICADOR E' USADO PARA SELECIONAR A PARTICIPACAO OU NAO DOS GERADORES NO ESTUDO DE CONTINGENCIAS DA SEGUINTE MANEIRA:

A-) 0 - O AVR ATUA (TENSAO FIXA)
- O GERADOR TOMA PARTE NA REDISTRIBUICAO DA POTENCIA ATIVA.

B-) 1 - O AVR NAO ATUA
- O GERADOR NAO TOMA PARTE NA REDISTRIBUICAO DA POTENCIA ATIVA (POT. ATIVA GERADA=FIXA)

C-) 2 - O AVR NAO ATUA
- O GERADOR TOMA PARTE NA REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA.

D-) 3 - O AVR ATUA
- O GERADOR NAO TOMA PARTE NA REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA.

A REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA SERA' FEITA ENTRE OS GERADORES ESPECIFICADOS NESTE CONJUNTO DE DADOS (COM INDICADOR=0 OU 2), NAO IMPORTANDO COMO TENHAM SIDO DEFINIDOS PREVIAMENTE (REFERENCIA,SWING,PV,PQ,PQV OU PQRV). OUTRAS BARRAS QUE DURANTE O CASO BASE APRESENTAM ALGUMA POTENCIA ATIVA GERADA E NAO CONSTAM NESTE CONJUNTO DE DADOS, NAO TOMARAO PARTE NA REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA.

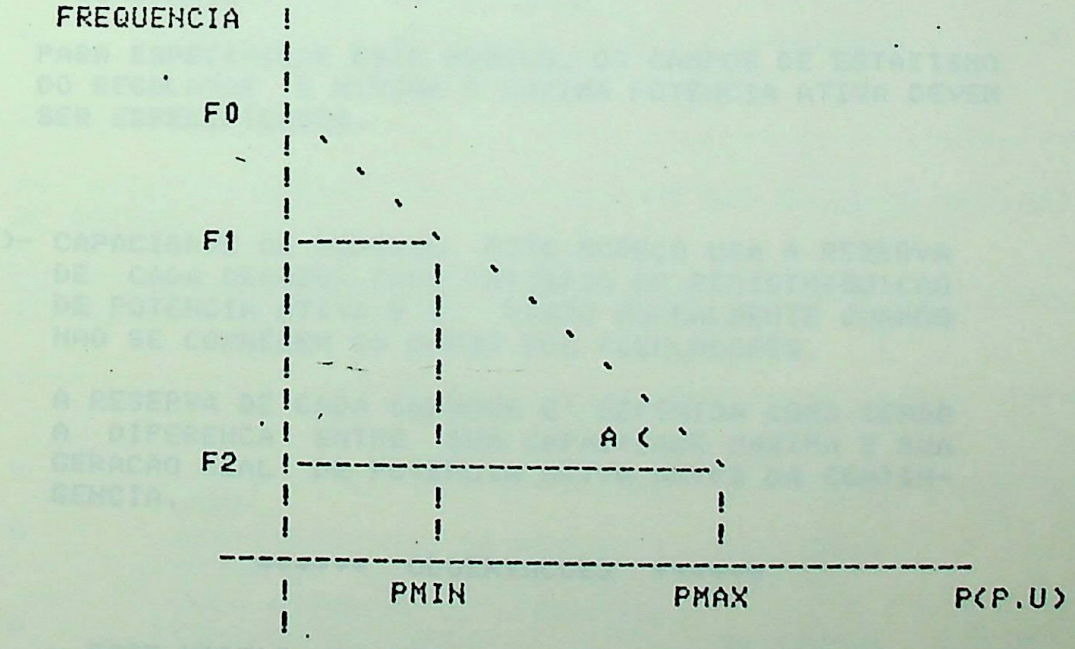
O PROCESSO DE REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA E' FEITO NOS SEGUINTES CASOS:

- SAIDA DE GERADOR(ES)
- SAIDA DE CARGA(S)
- CONDICAO DE SEPARACAO DO SISTEMA EM DOIS SUBSISTEMAS DESCONECTADOS DEVIDO A SAIDA DE UMA OU MAIS LINHAS.

NAO SE FAZ REDISTRIBUICAO PARA SAIDA DE LINHAS QUE NAO PROVOQUEM A SEPARACAO DO SISTEMA.

A REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA PODE SER FEITA DE ACORDO COM DOIS CRITERIOS:

A)- REPRESENTACAO DO REGULADOR. CADA REGULADOR DE VELOCIDADE DE UM GERADOR PODE SER REPRESENTADO EM ESTADO PERMANENTE (STEADY- STATE)PELA SEGUINTE CARATERISTICA:



TG(A) =ESTATISMO DO REGULADOR

F0 =FREQUENCIA A VAZIO

SE A FREQUENCIA DE OPERACAO DO SISTEMA ESTA' ENTRE OS LIMITES F1 E F2, ESTE GERADOR TOMARA' PARTE NA REDISTRIBUICAO. SE A FREQUENCIA ESTA' FORA DOS LIMITES, A POTENCIA ATIVA GERADA SERA' COLOCADA NO CORRESPONDENTE LIMITE.

QUANDO OS GERADORES ESPECIFICADOS NAO PODEM SUPORTAR AS MUDANCAS NA CARGA OU GERACAO, A REFERENCIA ABSORVE A DIFERENCA.

OS DADOS NECESSARIOS PARA REPRESENTAR CADA REGULADOR SAO:

- ESTATISMO DO REGULADOR

- FREQUENCIA A VAZIO

****** OBSERVACOES ******

- A FREQUENCIA A VAZIO NAO E' FORNECIDA COMO DADO, MAS E' AUTOMATICAMENTE CALCULADA NO PROGRAMA PARA A FREQUENCIA DE OPERACAO DO SISTEMA.

- SUPOE-SE ACAO LIVRE DO REGULADOR SEM ALTERACAO DO AJUSTADOR DE FREQUENCIA (SPEED-CHANGER).

- ANTES DA CONTINGENCIA, TODOS OS GERADORES DEVEM TER SEUS REGULADORES OPERANDO COM FREQUENCIA - CONSTANTE.

PARA ESPECIFICAR ESTE MODELO, OS CAMPOS DE ESTATISMO DO REGULADOR E MINIMA E MAXIMA POTENCIA ATIVA DEVEM SER ESPECIFICADOS.

B)- CAPACIDADE DE RESERVA. ESTE MODELO USA A RESERVA DE CADA GERADOR COMO CRITERIO DE REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA E E' USADO NORMALMENTE QUANDO NAO SE CONHECEM OS DADOS DOS REGULADORES.

A RESERVA DE CADA GERADOR E' DEFINIDA COMO SENDO A DIFERENCA ENTRE SUA CAPACIDADE MAXIMA E SUA GERACAO REAL DE POTENCIA ATIVA ANTES DA CONTINGENCIA.

****** OBSERVACOES ******

- ESTE MODELO E' ESPECIFICADO PREENCHENDO OS CAMPOS DE MINIMA E MAXIMA POTENCIA, E DEIXANDO-SE O CAMPO DE ESTATISMO DO REGULADOR EM BRANCO.

-IMPORTANTE:
TODOS OS GERADORES ESPECIFICADOS DEVEM SEGUIR APENAS UM DOS MODELOS ANTERIORES E NAO A MISTURA DE AMBOS.

CONJUNTO-20
UM (1) CARTAO OBRIGATORIO.

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 11 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO).

CONJUNTO-21
UM CARTAO OBRIGATORIO

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1	CALCULO AUTOMATICO DA SAIDA DE TODAS AS LINHAS SIMPLES.	INTEIRO=1	NAO CALCU-
2	CALCULO AUTOMATICO DA SAIDA DE TODAS AS LINHAS EM PARALELO.	INTEIRO=1	"
3	CALCULO DE SAIDAS DE LINHAS ESPECIFICADAS.	INTEIRO=1	"
4	CALCULO AUTOMATICO DA SAIDA DE GERADOR(MEIA PERDA).	INTEIRO=1	"
5	CALCULO AUTOMATICO DA SAIDA DE GERADOR (PERDA TOTAL).	INTEIRO=1	"
6	CALCULO DE SAIDAS DE GERADORES ESPECIFICADOS.	INTEIRO=1	"

AS OPCOES A SEGUIR SAO RELACIONADAS AOS CALCULOS AUTOMATICOS DE SAIDAS.

AS OPCOES PARA CALCULO DE SAIDAS ESPECIFICADAS SAO FORNECIDAS SEPARADAMENTE.

7	CONTROLE DE INTERCAMBIO DE AREA.	INTEIRO=1	NAO TEM
8	REDISTRIBUICAO DE POTENCIA ATIVA E' SOLICITADA APOS CADA SITUACAO DE SEPARACAO	INTEIRO=1	"
9	CONTROL DE TAPS	INTEIRO=1	"
10	CONTROLE DE LIMITES DE TENSAO.	INTEIRO=1	"

11	CONTROLE DE LIMITES DE GERACAO DE REATIVO.	INTEIRO=1	"
12	CONDICAO DE SEPARACAO DO SISTEMA SERA' ANALIZADA.	INTEIRO=1	"
13-16	TOLER. DE CONV. MW/MVAR	F4.3	IGUAL CASO BASE.
17-20	FATOR DE INTRODUCAO DE MW/MVAR PARA DAR CONVERGENCIA INICIAL PARA INTRODUCAO DE AJUSTES.	F4.0	IGUAL CASO BASE.
21-24	TOLER. DE CONV. MW/MVAR EM BARRAS PARA AS QUAIS O AVR NAO ATUOU	F4.3	MW/MVAR MISMATCH (CAMPO 13-16)
25-28	MAXIMA VARIACAO DE TENSAO PERMISIVEL EM SAIDAS SIMPLES EM %	F4.2	6%
29-32	MAXIMA VARIACAO DE TENSAO PERMISIVEL EM SAIDAS DUPLAS OU TRIPLAS EM % MAIS SAIDAS.	F4.2	10%
33	IMPRESSAO DA MAXIMA TOLER. DE CONV. DE POTENCIA ATIVA E REATIVA EM CADA ITERACAO.	INTEIRO=1	NAO IMPRIME
34	IMPRESSAO DE AJUSTES EM BARRAS SWING EM CADA ITERACAO.	INTEIRO=1	"
35	IMPRESSAO DE AJUSTES EM BARRAS PQ COM LIMITES DE TENSAO E BARRAS PV COM LIMITES DE GERACAO DE REATIVO EM CADA ITERACAO.	INTEIRO=1	"
36	IMPRESSAO DE AJUSTES EM TRANSFORMADORES EM CADA ITERACAO.	INTEIRO=1	"
37	RESULTADOS DOS AJUSTES AO FINAL DE CADA SIMULACAO DE SAIDA.	INTEIRO=1	"
38	IMPRESSAO DO RESULTADO TOTAL DO FLUXO DE CARGA FINAL DE CADA SIMULACAO DE SAIDA.	INTEIRO=1	"
39	IMPRESSAO DA NOVA POTENCIA ATIVA GERADA DEPOIS DO PROCESSO DE REDISTRIBUICAO, EM CADA SIMULACAO DE SAIDA.	INTEIRO=1	"

CONJUNTO-22
UM (1) CARTAO
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO SE NO CONJUNTO-21,
O CALCULO DE SAIDAS ESPECIFICADAS DE LINHAS
OU GERADORES FOI REQUERIDO. (COLUNAS 3 E/OU 6).

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 14 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

CONJUNTO-23
UM (1) CARTAO
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO SE O CONJUNTO-22
FOI FORNECIDO.

OS CAMPOS NESTE CARTAO CORRESPONDEM A DADOS DE UMA OU MAIS SAIDAS ESPECIFICADAS, E TEM A SEGUINTE CORRESPONDENCIA COM OS CAMPOS DO CONJUNTO 21:

- COLUNA 1 NO CONJUNTO-23=COLUNA 7 NO CONJUNTO-21, E ASSIM POR DIANTE, ATE':
- COLUNA 33 NO CONJUNTO-23=COLUNA 39 NO CONJUNTO-21

CONJUNTO-24
UM (1) CARTAO
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO SE O CONJUNTO-22
FOI FORNECIDO.

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-8	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
9-10	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
11-14	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA E REATIVA CONSUMIDA EM %	INTEIRO	0%
15-22	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
23-24	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
25-28	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA E REATIVA CONSUMIDA EM %	INTEIRO	0%
29-36	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
37-38	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
39-42	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA E REATIVA CONSUMIDA EM %	INTEIRO	0%

********** OBSERVACOES **********

UMA VARIACAO NEGATIVA SIGNIFICA UMA DIMINUICAO NA POTENCIA ATIVA E REATIVA CONSUMIDAS.

UMA VARIACAO POSSITIVA INDICA UM AUMENTO NAS POTENCIAS-ATIVA E REATIVA CONSUMIDAS.

CASO NAO SEJAM DESEJADAS VARIACOES DE CARGA EM NENHUMA BARRA, ESTE CARTAO DEVE SER DEIXADO EM BRANCO.

ATE' 3 VARIACOES DE CARGA EM DIFERENTES BARRAS PODE SER ESPECIFICADAS.

CONJUNTO-25
UM (1) CARTAO
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO SE O CONJUNTO-22 FOI FORNECIDO.

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAULT
1-8	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
9-10	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
11-14	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA GERADA EM %	INTEIRO	0%
15-22	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
23-24	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
25-28	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA GERADA EM %	INTEIRO	0%
29-36	NOME DA BARRA	ALFANUMERICO	
37-38	NUMERO DO SISTEMA	INTEIRO	
39-42	VARIACAO NA POTENCIA ATIVA GERADA EM %	INTEIRO	

********** OBSERVACOES **********

- VARIACAO POSITIVA SIGNIFICA UMA DIMINUICAO NA POTENCIA ATIVA GERADA.
- VARIACAO NEGATIVA INDICA UM AUMENTO NA POTENCIA ATIVA GERADA.

- SE VARIACOES NA GERACAO NAO SAO REQUERIDAS EM NENHUMA BARRA, ESTE CARTAO DEVE SER DEIXADO EM BRANCO.

- ATE' 3 VARIACOES NAS GERACOES EM DIFERENTES BARRAS PODEM SER ESPECIFICADAS.

CONJUNTO-26
UM (1) CARTAO
ESTE CONJUNTO DE DADOS E' OBRIGATORIO SE O CONJUNTO-22 FOI FORNECIDO.

COLUNA	DADO	TIPO	DEFAUL
1-8	NOME DA BARRA EMISSORA	ALFANUMERICO	
9-10	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA EMISSORA.	INTEIRO	
11-18	NOME DA BARRA RECEPTORA	ALFANUMERICO	
19-20	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA RECEPTORA.	INTEIRO	
21	NUMERO DO CIRCUITO DA LINHA	INTEIRO	
22-29	NOME DA BARRA EMISSORA	ALFANUMERICO	
30-31	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA EMISSORA.	INTEIRO	
32-39	NOME DA BARRA RECEPTORA	ALFANUMERICO	
40-41	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA RECEPTORA	INTEIRO	
42	NUMERO DO CIRCUITO DA LINHA	INTEIRO	
43-50	NOME DA BARRA EMISSORA	ALFANUMERICO	
51-52	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA EMISSORA.	INTEIRO	
53-60	NOME DA BARRA RECEPTORA	ALFANUMERICO.	
61-62	NUMERO DO SISTEMA DA BARRA RECEPTORA.	INTEIRO	
63	NUMERO DO CIRCUITO DA LINHA	INTEIRO	

********** OBSERVACOES **********

- SE NENHUMA SAIDA DE LINHAS E' DESEJADA, ESTE CARTAO DEVE SER DEIXADO EM BRANCO.

- ATE' 3 SAIDAS DE LINHA PODEM SER ESPECIFICADAS, E SE UMA DELAS CAUSA UMA SEPARACAO DE SISTEMAS, ELA DEVE SER ESPECIFICADA POR ULTIMO.
XADA POR ULTIMO.

- SAIDAS DE SHUNT PODEM SER ESPECIFICADAS, COLOCANDO-SE O NOME DA BARRA EMISSORA IGUAL AO NOME DA BARRA RECEPTORA.

- SAIDAS DE CARGA,GERACAO OU LINHAS, PODEM SER COMBINADAS ENTRE SI, DE QUALQUER MANEIRA.

CONJUNTO-27
UM (1) CARTAO
OBRIGATORIO SE O CONJUNTO-22 FOI ESPECIFICADO.

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 8 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

CONJUNTO-32
UM (1) CARTAO
ESTE CARTAO E' OBRIGATORIO MESMO QUE O ESTUDO
DE CONTINGENCIAS NAO TENHA SIDO REQUERIDO E
SERVE PARA TERMINAR A EXECUCAO DO PROGRAMA.-

COLOCAR PALAVRA-CHAVE 15 NO CAMPO DAS COLUNAS 1-8 (ALFANUMERICO)

***** FINAL *****

APENDICE 2

MENSAGENS DE ERROS DO PROGRAMA

As mensagens de erros do programa são apresentadas através da variável "Kill", à qual, são atribuídos valores de números inteiros que diferenciam os vários erros existentes.

A seguir são mostrados os valores que a variável pode assumir, bem como o conjunto de dados de entrada onde o erro foi cometido e a descrição do erro, afim de providenciar uma rápida correção.

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
1	1	Erro na palavra chave 1
2	4	Erro na palavra chave 2
	6	Erro na palavra chave 5
3	6	Erro na palavra chave 3
	5	Número de cartões de comentários maior que 11
4	8	Erro na palavra chave 4
5	9	O nome de uma barra é repetido num mesmo sistema
6	9	Uma tensão especificada é menor que 0,5 ou maior que 1,5 P.U.
7	9	A potência reativa mínima gerada, é maior ou igual a potência reativa máxima gerada.

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
8	9	Tensão mínima maior ou igual a tensão máxima
9	9	Barra de referência ou swing sem tensão especificada
10	9	Nome de barra coincidindo com nome da barra especificada como referência no conjunto 7
11	9	Nome de barra controladora não coincide com nenhum dos nomes de barras
12	11	Nome de barra emissora não coincide com nenhum dos nomes de barra existentes
13	11	Nome de barra receptora não coincide com nenhum dos nomes de barras existentes
14	11	Transformador com valor especificado de suceptancia, ou a barra controlada por um transformador é do tipo PV, referência ou swing, ou, a tensão especificada controlada pelo transformador é menor que 0,5 ou maior que 1,5 P.U.
15	11	O tap inicial de um transformador controlador está fora dos limites do tap
16	11	O limite superior do tap de um transformador controlador, é menor ou igual ao limite inferior do tap

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
17	11	O incremento por step para um transformador controlador, é maior ou igual a diferença entre os limites superior e inferior, ou o incremento por step é maior que o dobro da tolerância especificada para a tensão controlada.
19	14	O número do sistema emissor ou receptor não coincide com os números especificados como tais no conjunto de dados numero 7.
20	14	Nome de barra emissora não coincide com nenhum dos nomes de barras do sistema especificado como emissor.
21	14	Nome de barra receptora não coincide com nenhum dos nomes de barras do sistema especificado como receptor.
22	14	Nomes de barras emissora e receptora coincidem.
26	17	Alguns sistemas têm barra swing e outros não.
27	7	Somatório do intercâmbio de potências ativas diferente de zero.
30	17	Palavra chave 9 incorreta.
31	18	Palavra chave 10 incorreta.
	17	Especificação de dados de gerador indesejada.
32	20	Palavra chave 11 incorreta.

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
	17	Especificação de estudo de saídas indesejada.
33	10	Número de sistema não coincide com nenhum dos números de sistemas especificados no conjunto de dados 7.
34	19	Nome de barra de geração não coincide com nenhum dos nomes de barras no sistema especificado.
35	19	Resistência, reatancia, tap ou constante de inércia, negativos
36	19	O tap especificado para um transformador é menor do que 0,5 ou maior do que 1,5 P.U.
38	19	Potência ativa gerada está fora dos limites.
40	19	Frequência a vazio (calculada internamente) maior do que 1,2 ou menor do que 0,8 p.u.
41	19	Especificação incorreta de atuação do AVR para gerador conectado à barra de referência.
43		Erros na subroutina MIOS1R (Refatoração da matriz $\overline{B''}$ com consideração de AVR).
44		Erros na subroutina MIOS2R (Refatoração da matriz $\overline{B''}$ com consideração de AVR).
45		Erros na Subroutina MIOS3R (Refatoração da matriz $\overline{B''}$ com consideração de AVR).

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
46	19	Algumas redistribuições de potência ativa são especificadas de acordo com a característica do regulador e outras de acordo a capacidade de reserva, ou uso incorreto do campo do indicador.
47		A simulação da saída de uma linha é interrompida.
50		Erros na subroutina MIOS1R (fatoração da matriz B').
51		Erros na subroutina MIOS2R(fatoração da matriz B') .
52		Erros na subroutina MIOS3R (fatoração da matriz B') .
53		Igual a 50 mas para a matriz $\overline{B''}$.
54		Igual a 51 mas para a matriz $\overline{B''}$.
55.		Igual a 52 mas para a matriz $\overline{B''}$.
75	24	Número do sistema não coincide com nenhum dos números de sistemas especificados no conjunto de dados 7.
	25	Igual ao anterior.
76	24	Nome de barra não coincide com nenhum dos nomes de barras do sistema especificado.
	25	Igual ao anterior.
79	26	Nome de barra receptora em branco.
80	26	Número do sistema emissor ou receptor não coincide com nenhum número

VALOR DE KILL	CONJUNTO DE DADOS	DESCRIÇÃO DO ERRO
		de sistema especificado no conjunto de dados 7.
81	26	Nome de barra emissora ou receptora não coincide com nenhum nome de barra dos respectivos sistemas especificados.
82	26	A linha cuja saída será simulada não coincide com nenhuma das linhas da rede.
83	25	Requerida a saída total ou parcial do gerador da barra de referência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stevenson Jr., W.D. "ELEMENTOS DE ANÁLISE DE SISTEMAS DE POTÊNCIA"
   McGraw-Hill Brasil Ltda. - 1978.
2. Elgerd, O.I. "INTRODUÇÃO À TEORIA DE SISTEMAS DE ENERGIA ELÉTRICA"
   McGraw-Hill Brasil - Ltda. 1978.
3. Stagg, G.W. and El-Abiad A. "COMPUTAÇÃO APLICADA A SISTEMA DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA"
   Guanabara Dois S.A. 1979.
4. Vervloet, F.G. "A.C. SECURITY ASSEMENTS" - Tese de Mestrado. UMIST - Inglaterra - 1975.
5. Tibúrcio, J.C. "ANÁLISE DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA", Notas de Aula - Curso de Pós-graduação - EFEI-1980.
6. Stott, B. "REVIEW OF LOAD-FLOW CALCULATION METHODS" - IEEE Transactions PAS - Vol. 62, nº 7 - July 1974.
7. Sassom, A. M. and Jaimes, F. J. "DIGITAL METHODS APPLIED TO POWER FLOW STUDIES" - IEEE Transactions PAS - Vol. 86 - nº 7 - July 1967.
8. Tinney, W.F.and Hart, C.E. " POWER FLOW SOLUTION BY NEWTON'S METHOD". - IEEE transactions PAS, Vol. 86, nº 11 - November 1967.
9. Stott, B. and ALSAC, O. "FAST DECOUPLED LOAD FLOW" IEEE Transactions PAS - Vol. 93 - 1974.

10. Peterson, N. M. and Mayer, W.S. "AUTOMATIC ADJUSTMENT OF TRANSFORMER AND PHASE-SHIFTER TAPS IN THE NEWTON POWER FLOW" - IEE Transactions PAS Vol.90 - nº 1 - January/ February - 1971.

11. Limmer, H.D. "TECHNIQUES AND APPLICATION OF SECURITY CALCULATIONS APPLIED TO DISPATCHING COMPUTERS" PSCC Vol. 2, 1969.

12. Brown, H.E. "CONTINGENCIES EVALUATED BY A Z-MATRIX METHOD" IEEE Transactions PAS Vol. 88 nº 4, April 1969.

13. Britton, J.P. "IMPROVED AREA INTERCHANGE CONTROL FOR NEWTON'S METHOD LOAD FLOWS" - IEEE Transactions PAS Vol. 88 - nº 10, october 1969.

14. Peterson, N.M.; Tinney, W.F. and Bree Jr., D.W. " ITERATIVE LINEAR AC POWER FLOW SOLUTION FOR FAST APPROXIMATE OUTAGE STUDIES" - IEEE Transactions PAS Vol. 91 - nº 5 - september/october 1972

15. Brown H.E. "INTERCHANGE CAPABILITY AND CONTINGENCY EVALUATION BY A Z-MATRIX METHOD" - IEEE Transaction PAS vol.91 nº 5 - September, october 1972

16. El-Abiad, A.H. and Stagg, G.W. "AUTOMATIC EVALUATION OF POWER SYSTEM PERFORMANCE - EFFECTS OF LINE AND TRANSFORMER OUTAGES" - IEEE Transactions PAS - Fevereiro 1963.

17. Tinney and Walker J.W. - "DIRECT SOLUTIONS OF NETWORK EQUATIONS BY OPTIMALLY ORDERED TRIANGULAR FACTORIZATION - IEEE PICA 1967-Parte II.

Escola Federal de Engenharia Biblioteca MAUÁ Itajubá

DATA 20 / 08 / 1992
PROC.
PED.
DIV. CPG-EFEI
NCr$ Doação

I V [illegible] O
BI[illegible] - E[illegible]EI
DAT[illegible] | Rubrica

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
BIBLIOTECA MAUÁ – BIM
ESTE LIVRO DEVE SER DEVOLVIDO NA ÚLTIMA DATA ABAIXO:

03/05/02		
22/12/04		
15/03/06		

EFEI - BIBLIOTECA MAUÁ
8200338
NÃO DANIFIQUE ESTA ETIQUETA