



CCPgEE/CCT-UFPB

COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORÍTMO PARA MODELAGEM DE CARGA
EM FUNÇÃO DA TENSÃO E DA FREQUÊNCIA

MARIA DE FÁTIMA SANTOS FARIAS

1988

CAMPINA GRANDE - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA

CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA

Implementação de um Algoritmo Para Modelagem de Carga em
Função da Tensão e da Frequência.

MARIA DE FATIMA SANTOS FARIAS

Campina Grande, PB

AGOSTO/88

MARIA DE FATIMA SANTOS FARIAS

Implementação de um Algoritmo Para Modelagem de Carga em
Função da Tensão e da Frequência.

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica da UFPB,
em cumprimento às exigências
para obtenção do grau de
MESTRE.

AREA DE CONCENTRAÇÃO : PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO

02-11-12 121

MISAEEL ELIAS DE MORAIS, Dr.-Ing.

Orientador



F224i Farias, Maria de Fatima Santos
Implementacao de um algoritmo para modelagem de carga em funcao da tensao e da frequencia / Maria de Fatima Santos Farias. - Campina Grande, 1988.
87 p.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Modelagem de Carga 2. Tensao e Frequencia 3. Algoritmo 4. Engenharia Eletrica 5. Dissertacao I. Moraes, Misael Elias de, Dr. II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

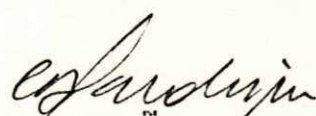
CDU 621.3.016.3(043)

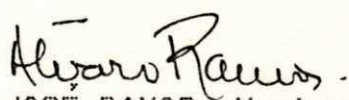
IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO PARA MODELAGEM DE CARGA
EM FUNÇÃO DA TENSÃO E FREQUÊNCIA

MARIA DE FÁTIMA SANTOS FARIAS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/08/88


MISAEEL ELIAS DE MORAES, Dr. Ing.
Orientador


CURSINO BRANDÃO JACOBINA, Dr. Ing.
Componente da Banca


ÁLVARO JOSÉ RAMOS, Mestre
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
AGOSTO - 1988

AGRADEÇO à todos que contribuíram diretamente ou indiretamente com a realização deste trabalho.

AGRADEÇO especialmente ao professor Misael pelo apoio e pela valiosa orientação, sem os quais este trabalho não se concretizaria.

AGRADEÇO à CHESF pelo grande apoio na obtenção dos dados para a conclusão deste trabalho.

AGRADEÇO também ao colega Fidel V. Pinto pela grande ajuda na apresentação de alguns programas.

AGRADEÇO aos colegas João, Fábio, Placídia, Rinaldo, Angelo e Márcio do laboratório de automação pela cooperação no desenvolvimento deste trabalho.

DEDICO, em memória, aos meus
pais: Antonio e Josefa.

DEDICO, em especial, ao meu
esposo : Beto, e aos nossos
filhos : Bruno e Aline..

CONTEUDO

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO.....	01
1.1-Importância do modelo de carga.....	02
1.2-Objetivos deste trabalho.....	05
1.3-Esboço dos capítulos.....	06

CAPITULO 2

IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS.....	08
2.1-Introdução.....	09
2.2-Estimadores de Mínimo Quadrado.....	12
2.2.1-Método Direto dos Mínimos Quadrados.....	12
2.2.2-Método Recursivo dos Mínimos Quadrados.....	16

CAPITULO 3

CONCEITOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DE CARGA.....	19
3.1-Estrutura do modelo de carga.....	20
3.2-Princípios de identificação dos parâmetros do modelo...	24
3.3-Componentes de Ruído.....	37

CAPITULO 4

ABORDAGEM BASICA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	38
4.1-Sistema de Aquisição Automática de Dados.....	39

CAPITULO 5

ALGORITMO DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARAMETROS	44
5.1-Classificação dos sinais medidos	45
5.2-Cálculos dos coeficientes de amortecimento.....	46
5.3-Identificação das constantes de tempo.....	49

CAPITULO 6

DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS.....	51
6.1-Introdução.....	52
6.2-Programa CONV.....	53
6.3-Programa MEDIA.....	55
6.4-Programa IDENT.....	57
6.5-Programa VARIA.....	59
6.6-Programa MOSTRA.....	59
6.7-Programa GRAFICOS.....	60

CAPITULO 7

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	62
7.1-Resultados obtidos.....	63
7.2-Conclusão.....	64
7.3-Aspectos adicionais a serem investigados.....	68

Figura 6.3- Diagrama geral do programa MEDIA.....	56
Figura 6.4- Diagrama geral do programa IDENT.....	57
Figura 6.5- Diagrama geral do programa VARIA.....	59
Figura 6.6- Diagrama geral do programa MOSTRA.....	60
Figura 6.7- Diagrama geral do programa GRAFICOS.....	60
Figura 7.1, Figura 7.2- Curvas medidas.....	66
Figura 7.3- Curvas medidas.....	59
Figura 7.4- Curvas medidas/identificadas.....	67
Figura 7.5- Relatório de saída.....	69

LISTA DAS ABREVIATURAS

MDMQ - Método Direto dos Mínimos Quadrados.

MRMQ - Método Recursivo dos Mínimos Quadrados.

P - Potência Ativa, em Megawatt (Mw).

Q - Potência Reativa, em Megavar (Mvar).

F - Frequência, em Hertz (Hz).

U - Tensão, em Kilovolts (KV)

$\Delta P/P_o$ - Variação percentual da potência ativa em relação a um valor inicial P_o .

$\Delta Q/Q_o$ - Variação percentual da potência reativa em relação a um valor inicial Q_o .

$\Delta F/F_o$ - Variação percentual da frequência em relação a um valor inicial F_o .

$\Delta U/U_o$ - Variação percentual da tensão em relação a um valor inicial U_o .

K_{pf}, T_{pf} - constantes de amortecimento e de tempo respectivamente, da equação do modelo de carga da potência ativa em função da frequência, T_{pf} em segundos.

K_{pu}, T_{pu} - constantes de amortecimento e de tempo respectivamente, da equação do modelo de carga da

potência ativa em função da tensão, T_{pu} em segundos.

K_{qf}, T_{qf} - constantes de amortecimento e de tempo respectivamente, da equação do modelo de carga da potência reativa em função da frequência, T_{qf} em segundos.

K_{qu}, T_{qu} - constantes de amortecimento e de tempo respectivamente, da equação do modelo de carga da potência reativa em função da tensão, T_{qu} em segundos.

SAAD - Sistema de Aquisição Automática de Dados.

θ - vetor de parâmetros desconhecidos no sistema matricial.

Y - vetor dos valores medidos (y) na saída da planta do exemplo da eq. (2.1).

U - vetor dos valores medidos na entrada (u) da planta do exemplo da eq. (2.1).

$E(\theta)$ - erro de saída da figura (2.1).

X - matriz formada pelo valores medidos de Y e U .

s - domínio- s , Laplace.

z - domínio- z , transformada- Z .

k - domínio discreto do tempo.

0 - vetor nulo, todos os elementos iguais a zero.

-

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1- IMPORTANCIA DO MODELO DE CARGA.

Para as companhias de eletricidade, a representação da carga nos estudos de análises ou simulação é extremamente importante /1/, no entanto não é uma tarefa muito fácil de se obter. A carga, no sistema elétrico de potência representa uma massa heterogênea obtida através da soma de todos os tipos de equipamentos individuais que envolvem o sistema, e, são conhecidas por cargas elementares. A característica ou o modelo da carga estabelecido pela relação funcional da potência em função da frequência e da tensão pode ser formulado analiticamente pela combinação dos efeitos das cargas elementares.

Atualmente as companhias de eletricidade utilizam testes e ensaios no sistema de interesse, com a finalidade de se modelar a carga em função da tensão e frequência, e a partir daí se obter os parâmetros para aplicação em programas digi-

tal de simulação de sistemas em regimes permanente e transitório. A metodologia mais utilizada para os testes e ensaios é a de provocar uma variação na tensão em torno de mais ou menos 5% do valor nominal, no tempo mais rápido possível e durante o período em que se tem uma carga estável na subestação de interesse. Deste modo a variação conseguida na carga será totalmente devido a esta alteração na tensão, evitando a influência da entrada e/ou saída da carga no sistema. /1/

Outras metodologias surgiram, principalmente nos Estados Unidos (Electric Power Research Institute), sem apresentarem um nível de precisão compatível com as soluções técnicas exigidas. O GTEE/SCEL do GCOI (Eletrobrás) vem desenvolvendo estudos para determinação de modelos adequados de carga.

A quantização na forma de equação do comportamento da carga é utilizada nas companhias no uso de simulação para estudos na Rede de Energia Elétrica como:

- * reprodução de perturbações ocorridas no sistema;
- * investigação da estabilidade do sistema;
- * planejamento da reserva de potência elétrica das usinas geradoras, considerando partes isoladas ou a rede como um todo ;
- * estudos para ajustes dos controladores de máquinas síncronas, compensadores e outros;

- * estudos de racionamento de energia por redução da tensão e frequência;
- * estudos de alívio de carga por subfrequência;
- * demais estudos que se utilizam de simulação do sistema e para os quais a representação da carga seja importante.

Esta quantização é representada - independente dos objetivos esperados - por equações matemáticas que descrevem a relação característica entre a carga e a geração.

As dificuldades dos procedimentos de identificação destes modelos devem-se a diversidade da carga e aos limites viáveis para realizações experimentais. Vários resultados têm sido publicados em /2-5/, mas têm apresentado discrepâncias bastantes significativas quando comparadas com a realidade, por utilizarem estímulos na aquisição dos dados necessários a identificação dos parâmetros do modelo, que não correspondem, via de regra, aos eventos transitórios próprios do sistema elétrico /6-9/.

A realização de experimentos em sistemas de grande porte exige sinais de estímulos elevados, tornando-se difícil sua realização devido a energia necessária para se produzir estímulos que sejam proporcionais às cargas. Por estas razões, têm-se realizado nos últimos anos ensaios relativos à dependência da carga com tensão e frequência somente em

sistemas elétricos ilhados /8/ .

1.2 - OBJETIVOS DESTE TRABALHO.

Este trabalho tem como objetivo implementar um algoritmo de resolução numérica com bom critério de precisão para se obter um MODELO DE CARGA em função da tensão e da frequência, utilizando o método de IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS.

O método de identificação se resume em se obter os parâmetros necessários para compor o modelo do sistema a partir de medidas efetuadas no próprio sistema. Os valores da entrada são frequência e tensão e da saída são potência ativa e reativa. Em seguida se submete o modelo encontrado ao mesmo sinal de entrada do sistema e, obedecendo aos critérios de tolerância, se compara as saídas do modelo e do sistema ou processo. Quando o erro desta comparação for mínimo, o modelo encontrado representa o processo em estudo.

Este trabalho se baseia então na possibilidade de utilizar reações naturais, isto é, variações não desejáveis de tensão e frequência que surgem normalmente no sistema elétrico, são utilizadas como sinais de estímulo. Para isto é necessário que um sistema de aquisição de dados observe continuamente o sistema elétrico, para detectar e armazenar as variações das grandezas pré-definidas, que são utilizadas na identificação. E com a técnica de identificação usada "off-line", o modelo de carga é determinado.

Este trabalho está dividido em três fases: a primeira tem como objetivo coletar os dados a serem utilizados e armazená-los em disquetes; a segunda processa o programa com os dados medidos para fazer a identificação das constantes e, a terceira fase realiza a análise dos resultados encontrados.

1.3- ESBOÇO DO TEXTO.

O capítulo 2 apresenta o conceito de um modo geral do termo: IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS. Contém os objetivos em se fazer uma identificação, o critério de erro utilizado neste trabalho e os principais métodos de estimação de mínimo quadrado.

O capítulo 3 apresenta os conceitos para a identificação de MODELOS DE CARGA utilizados nas companhias de eletricidade. Define-se a estrutura do Modelo de carga, qual o método utilizado na identificação de parâmetros do modelo e como é o modelo final do sistema utilizando a técnica de identificação.

O capítulo 4 apresenta uma abordagem básica do sistema utilizado para a aquisição de dados, sua estrutura, a instalação física e como se interliga ao sistema de processamento central.

O capítulo 5 apresenta o algoritmo utilizado para a

identificação das constantes. Inicialmente se classifica os tipos de sinais medidos, o critério de erro utilizado neste trabalho. Em seguida se mostra como se calcula os coeficientes de amortecimento e as constantes de tempo que compõem o modelo de carga. E, finalmente se faz um breve resumo sobre as componentes de ruído que se somam aos sinais medidos, quais suas influências e como reduzi-los.

O capítulo 6 apresenta um resumo dos programas utilizados neste trabalho, seus objetivos e suas utilizações.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e os resultados obtidos durante este trabalho.

CAPÍTULO 2

IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

CAPITULO 2

IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

2.1 - INTRODUÇÃO :

Entende-se por IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS como sendo o processo de construção de um modelo matemático com estimação do melhor valor de parâmetros desconhecidos, a partir de dados experimentais /10-15/.

Supondo que uma planta possua a seguinte função de transferência :

$$F(z, \theta) = \frac{1 + bz^{-1}}{1 + cz^{-1}} \quad (2.1),$$

é o caso de uma planta de primeira ordem e uma unidade de atraso com o vetor paramétrico θ dado por :

$$\theta = [c \ b]^T \quad (2.2).$$

Seja $(u(k))$ e $(y(k))$ conjuntos dos valores amostrados

na entrada e na saída respectivamente da planta descrita na equação (2.1) e, seja θ_0 algum valor verdadeiro do vetor de parâmetros. O problema da Identificação se resume em calcular a partir dos $\{u(k)\}$ e $\{y(k)\}$ um estimador θ que seja a melhor aproximação para o θ_0 .

O valor proposto de θ deve então se aproximar o máximo possível do valor verdadeiro θ_0 . Neste caso, é necessário definir também um critério para o erro existente entre o θ e o θ_0 . O erro deve ser definido de modo que se possa calculá-lo a partir dos $\{u(k)\}$ e $\{y(k)\}$. Para isto, vários critérios são propostos para estudo: /13-14/ a equação do erro, o erro de saída, o erro previsto de saída, etc.

O erro de saída é formulado na figura 2.1. O parâmetro estimado θ é usado num modelo com saída $y_m(k)$, função portanto do θ , do mesmo modo que a saída atual $y_a(k)$ é uma função do valor do parâmetro verdadeiro θ_0 .

A planta e o processo são equivalentes se o erro $E(\theta)$ entre eles for mínimo. O erro $E(\theta)$ é dado por :

$$E(\theta) = \sum_{k=1}^N e_o^2(k; \theta) \quad (2.3)$$

e, investiga-se para aquele θ cujo $E(\theta)$ seja tão pequeno quanto possível.

Pela teoria dos erros da mínima soma ao quadrado /13-14/ tem-se que o erro será mínimo quando :

$$\frac{\partial E(\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (2.4)$$

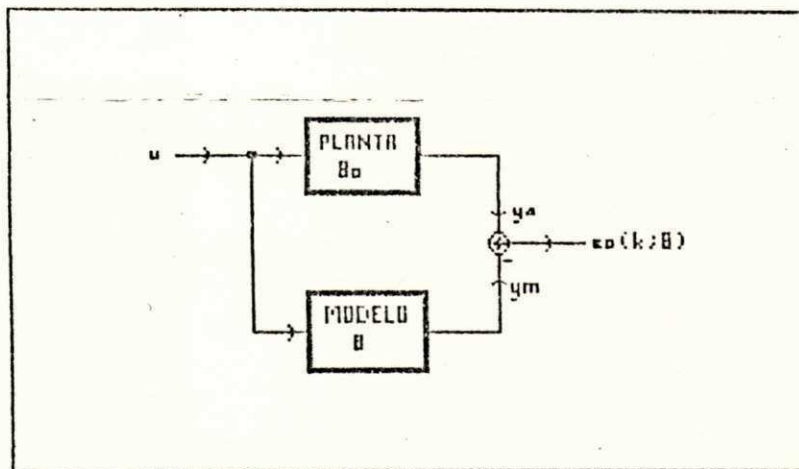


Figura 2.1 - Erro de saída.

como,

$$E(\theta) = \sum_{k=1}^N [y_a(k) - y_m(k)]^2 \quad (2.5)$$

substituindo a eq. (2.5) na eq. (2.4), fica

$$-2 \sum_{k=1}^N [y_a(k) - y_m(k)] \frac{\partial y_m(k)}{\partial \theta} = 0 \quad (2.6).$$

A escolha da melhor performance no cálculo da identificação é guiada não só pela dificuldade computacional no esforço em se obter θ , como pelas propriedades do estimador que resulta em quanto é difícil encontrar θ e no quanto este seja "bom". Várias técnicas de estimação são encontradas na literatura /10-15/, como : estimadores de mínimo quadrado, estimadores unbiased, estimadores de máximo likelihood, estimadores de Markov, etc.

2.2 - ESTIMADORES DE MÍNIMO QUADRADO :

Os estimadores mais usados com o método de mínimo quadrado são:

- i) Método Direto do Mínimo Quadrado (MDMQ) ,
- ii) Método Recursivo de Mínimo Quadrado (MRMQ).

2.2.1 - Método Direto dos Mínimos Quadrados:

O MDMQ é o método de estimação mais simples do grupo. Utiliza a teoria dos erros da soma mínima ao quadrado. Considerando $Y_a = Y$ na figura 2.1, considerando também o valor médio na saída Y_m do modelo como sendo uma função linear do vetor paramétrico θ dado por : $x(t)^T \cdot \theta$, onde $x(t)^T$ é o vetor de valores das medidas da entrada U e da saída Y , com $t = 1, 2, \dots, N$. O erro da saída será dado pela soma /10-15/:

$$E = \sum_{t=1}^N [y(t) - x(t)^T \cdot \theta]^2 \quad (2.7)$$

e, na forma vetorial é escrita da forma :

$$E = [Y(N) - X(N)^T \theta(N)]^2 \quad (2.8)$$

onde,

$$Y(N) = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ \vdots \\ y(N) \end{bmatrix} = \text{vetor de valores medidos na saída } Y \quad (2.8a)$$

$$X(N) = \begin{bmatrix} x(1)^T \\ x(2)^T \\ \vdots \\ x(N)^T \end{bmatrix} \quad (2.8b)$$

sendo que,

$$\begin{aligned} x(1)^T &= [-y(n) \quad -y(n-1) \quad \dots \quad -y(1) \mid u(n) \quad u(n-1) \dots u(1)] \\ x(2)^T &= [-y(n-1) \quad \dots \quad -y(2) \mid u(n-1) \quad \dots \quad u(2)] \\ &\vdots \\ x(N)^T &= [-y(n+N-1) \quad \dots \quad -y(N) \mid u(n+N-1) \quad \dots \quad u(N)] \end{aligned} \quad (2.8c),$$

e n é o número que indica a ordem da equação da planta em Z .

Diferenciando a eq. (2.8) em relação a $\theta(N)$, como mostrado em /10-15/, o valor que minimiza E satisfaz a equação a seguir,

$$[X(N)^T \cdot X(N)] \cdot \theta(N) = X(N)^T \cdot Y(N) \quad (2.9).$$

Se $X(N)^T \cdot X(N)$ é uma matriz que tem inversa, haverá uma única solução que é expressa como

$$\theta(N) = [X(N)^T \cdot X(N)]^{-1} \cdot X(N)^T \cdot Y(N) \quad (2.10).$$

Este estimador é conhecido como Estimador de Mínimo Quadrado pelo método direto.

Para ilustração toma-se como exemplo a mesma planta descrita na eq. (2.1). Supõe-se que o modelo matemático dado pela eq. (2.11) tenha o vetor paramétrico procurado na eq. (2.12),

$$F(z, \theta) = \frac{1 + bmz^{-1}}{1 + cmz^{-1}} \quad (2.11),$$

$$\theta = (cm \quad bm)^T \quad (2.12).$$

Neste caso $n = 1$ e $N =$ número de medidas.

Aplicando a eq. (2.8) na eq. (2.11) se faz as associações :

$$X(N) = \begin{bmatrix} -y(1) & u(1) \\ -y(2) & u(2) \\ \dots & \dots \\ -y(N) & u(N) \end{bmatrix}, \quad Y(N) = [y(1) \quad \dots \quad y(N)]$$

e,

$$X(N)^T = \begin{bmatrix} -y(1) & -y(2) & \dots & -y(N) \\ u(1) & u(2) & \dots & u(N) \end{bmatrix}.$$

Então,

$$X(N)^T \cdot X(N) = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} y^2(k) & -y(k)u(k) \\ -y(k)u(k) & u^2(k) \end{bmatrix} \quad e,$$

$$X(N)^T \cdot Y(N) = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} y^2(k) \\ y(k)u(k) \end{bmatrix}.$$

De acordo com a eq. (2.10) o vetor procurado é a solução da equação matricial

$$\begin{bmatrix} cm \\ bm \end{bmatrix} = \left[\sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} y^2(k) & -y(k)u(k) \\ -y(k)u(k) & u^2(k) \end{bmatrix} \right]^{-1} \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} y^2(k) \\ y(k)u(k) \end{bmatrix}.$$

O inconveniente deste método é que cada vez que se mede um novo par de u e y , deve-se calcular novamente o vetor $Y(N)$, a matriz $[X(N)^T X(N)]$ e a matriz inversa $[X(N)^T X(N)]^{-1}$ para a nova solução.

Como esta solução depende de medidas atuais e anteriores ao tempo N , este método só pode ser utilizado no modo de identificação OFF-LINE.

2.2.2-Método Recursivo dos Mínimos Quadrados:

O MRMQ é estabelecido a partir da situação em que um dado a mais deve ser adicionado ao sistema, ou seja o (N+1)-ésimo elemento.

Considerando a mesma solução do MDMQ, e fazendo

$$P(N) = [X(N)^T X(N)]^{-1} \quad (2.13),$$

o N+1 elemento será dado por

$$\theta(N+1) = P(N+1) [X(N+1)^T Y(N+1)] \quad (2.14)$$

onde,

$$P(N+1) = [X(N+1)^T X(N+1)]^{-1} \quad (2.15),$$

$$X(N+1) = \begin{bmatrix} X(N) \\ - - - - \\ X(N+1) \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

e,

$$Y(N+1) = \begin{bmatrix} Y(N) \\ - - - - \\ y(N+1) \end{bmatrix} \quad (2.17).$$

Substituindo as eqs. (2.16) e (2.17) na eq. (2.15) a matriz da eq. (2.15) será dada por

$$P(N+1) = \left[\begin{bmatrix} X(N) \\ - - - - \\ X(N+1) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} X(N) \\ - - - - \\ X(N+1) \end{bmatrix} \right]^{-1} \quad (2.15a)$$

e, desenvolvendo se torna

$$P(N+1) = [X(N)^T X(N) + x(N+1)x(N+1)^T]^{-1} \quad (2.18).$$

Este desenvolvimento é facilitado pela equação de inversão de matrizes de Lemma conforme /10-15/, que serve de base para o método recursivo. Assim a eq. (2.18) fica

$$P(N+1) = [I - P(N) \frac{x(N+1)x(N+1)^T}{1 + x(N+1)^T P(N) x(N+1)}] P(N) \quad (2.19).$$

Como,

$$\begin{aligned} X(N+1)^T Y(N+1) &= \begin{bmatrix} X(N)^T \\ x(N+1)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y(N) \\ y(N+1) \end{bmatrix} = \\ &= [X(N)^T Y(N) + x(N+1)^T y(N+1)] \end{aligned} \quad (2.20)$$

então, pela substituição das eqs. (2.19) e (2.20) na eq. (2.14), cujo desenvolvimento está indicado em /10-15/, e tem como solução a equação

$$\hat{\theta}(N+1) = \hat{\theta}(N) + K(N+1)[y(N+1) - x(N+1)\hat{\theta}(N)] \quad (2.21),$$

onde,

$$K(N+1) = P(N)x(N+1) / [1 + x(N+1)^T P(N) x(N+1)] \quad (2.22).$$

A eq. (2.21) é conhecida como o Estimador Recursivo do Método dos mínimos Quadrados.

A inversão da matriz no MDMQ foi substituída pela divisão escalar no MRMQ no cálculo do vetor paramétrico. Esta simplicidade engrandece a solução desejada e pode desta forma ser utilizada no modo de identificação ON-LINE.

CAPITULO 3

CONCEITOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE MODELO DE CARGA

CAPÍTULO 3

CONCEITOS PARA IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DE CARGA.

3.1 - ESTRUTURA DO MODELO DE CARGA.

A formulação estrutural de um modelo matemático adequado é a primeira etapa na identificação de carga. O modelo deve descrever as características de cada componente da carga, bem como as relações associadas entre as fontes e tais elementos.

Uma equação diferencial para a carga constitui um modelo matemático muito conveniente para a solução de parâmetros desconhecidos do modelo, com ajuda de um computador digital. Além de satisfazer as descrições das características dos componentes, a equação diferencial também fornece informações direta com respeito ao tempo. É necessário, portanto, transformar tal equação diferencial numa equação capaz de descrever a performance completa da carga em estudo.

Os elementos que compõem as cargas elétricas estão divididas em dois grandes grupos /15/:

estático : são todos os que não apresentam energia rotativa, por exemplo: lâmpadas, aquecedores, consumo capacitivo, etc.

dinâmico : são todos os que apresentam energia rotativa, como os motores.

A variação relativa da potência ativa ($\Delta P/P_o$) de cargas puramente resistivas podem ser representadas (em Laplace) por:

$$\frac{\Delta P}{P_o}(s) = 2 \frac{\Delta U}{U_o}(s) , \quad (3.1)$$

onde U_o e P_o são os pontos de trabalho da tensão da entrada e da potência ativa, respectivamente. Isto significa que uma queda de x% da tensão provocaria uma diminuição duas vezes maior de consumo. Deste modo é possível a representação matemática independente para cada componente isolado de uma carga mista.

Um somatório de todas as partes deste consumo energético, resulta numa estrutura modelar que é representada pelas equações:

$$\Delta p(s) = F_{pf}(s) \Delta f(s) + F_{pu}(s) \Delta u(s) , \quad (3.2)$$

para a Potência ativa e,

$$\Delta q(s) = F_{qf}(s) \Delta f(s) + F_{qu}(s) \Delta u(s) \quad (3.3)$$

para a Potência Reativa. Onde os termos :

$$\Delta p(s) = \frac{\Delta P}{P_o}(s) \quad (3.4) ,$$

$$\Delta f(s) = \frac{\Delta F}{F_o}(s) \quad (3.5) ,$$

$$\Delta u(s) = \frac{\Delta U}{U_o}(s) \quad (3.6) ,$$

$$\Delta q(s) = \frac{\Delta Q}{Q_o}(s) \quad (3.7) ,$$

$$F_{pf}(s) = \frac{K_{pf} + T_{pf} s}{1 + T_1 s} \quad (3.8) ,$$

$$F_{pu}(s) = \frac{K_{pu} + T_{pu} s}{1 + T_1 s} \quad (3.9) ,$$

$$F_{qf}(s) = \frac{K_{qf} + T_{qf} s}{1 + T_1 s} \quad (3.10)$$

e,

$$F_{qu}(s) = \frac{K_{qu} + T_{qu} s}{1 + T_1 s} \quad (3.11) .$$

As constantes definidas nas equações (3,2), (3,3), (3.8) a (3.11) com índices pf e pu se referem às constantes

da potência ativa com relação a frequência e tensão da entrada respectivamente e, com índices qf e qu se referem às constantes da potência reativa com relação a frequência e tensão de entrada respectivamente.

A figura 3.1 abaixo apresenta um diagrama em blocos da estrutura modelar.

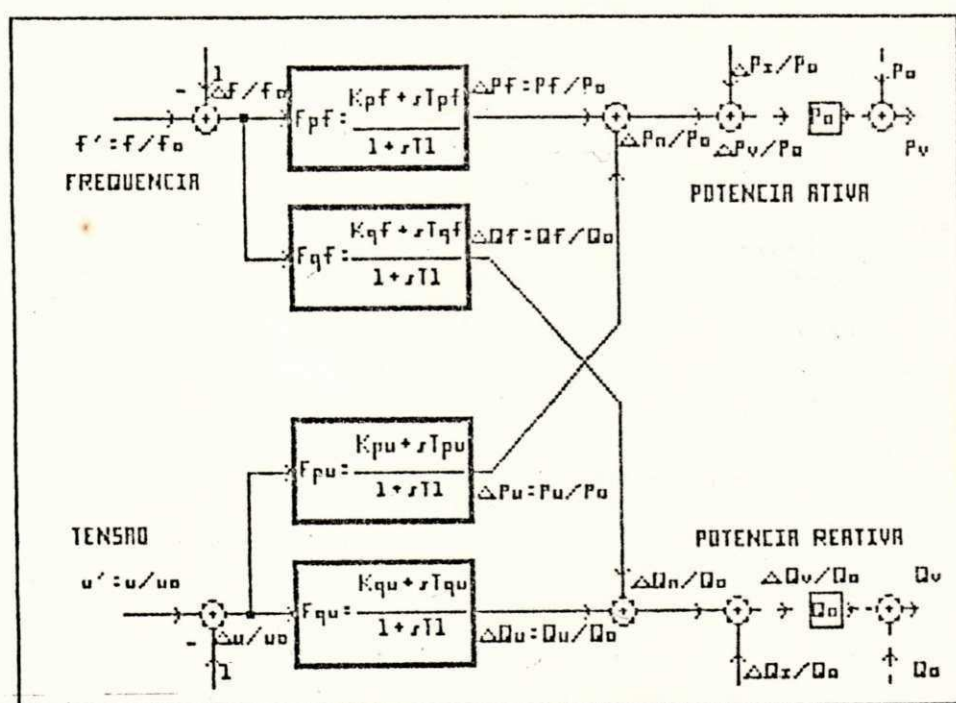


Figura 3.1 - Diagrama de bloco da estrutura do modelo de carga.

3.2 - PRINCIPIO DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARAMETROS DO MODELO.

O modelo da figura 3.1 tem estrutura p-canônica e pode, deste modo, ser implementado um algoritmo de identificação independente para a potência ativa e a potência reativa.

A amostragem de sinais contínuos no tempo, representada por $x(t)$ na figura 3.2, nos pontos normalizados $K = k.t/T = 0, 1, 2, \dots$ com uma frequência $f = 1/t = 10$ Hz, exige que as equações diferenciais para a potência ativa e reativa sejam representadas por transformada-Z.

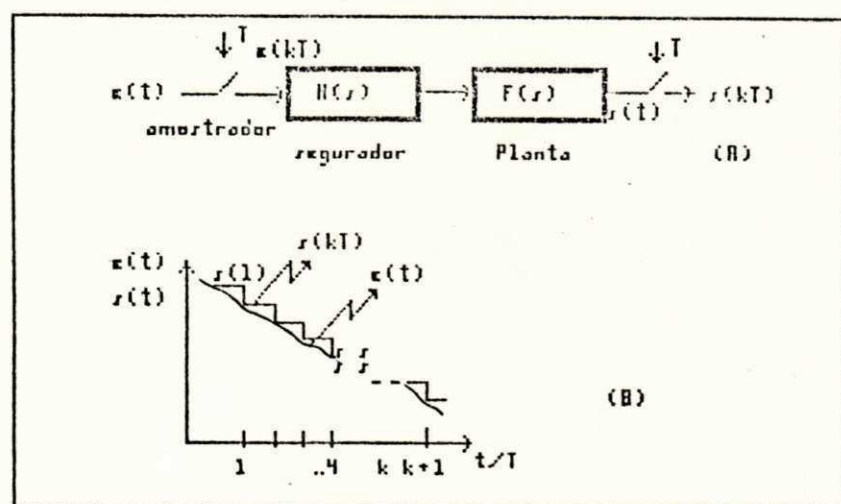


Figura 3.2 - Amostragem com segurador (a) de um sinal contínuo (b).

Considerando a função de transferência do segurador (fig.3.2) no domínio-s dada por /16-19/

$$H(s) = \frac{1}{s} (1 - e^{-st}) \quad (3.12),$$

então, no domínio-Z a função de transferência da figura (3.2) é dada por

$$y(z) = \frac{s(z)}{e(z)} = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{F(s)}{s} \right\} \right\} \quad (3.13).$$

Desta forma pode-se determinar a função de transferência no domínio-Z da potência ativa descrita na eq. (3.2) na forma da eq. (3.13) como segue,

$$\Delta p(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\Delta p(s)}{s} \right\} \right\} \quad (3.14),$$

e da potência reativa descrita na eq. (3.3) como segue,

$$\Delta q(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{\Delta q(s)}{s} \right\} \right\} \quad (3.15) .$$

Para desenvolver as eqs. (3.14) e (3.15), inicialmente se resume os termos em F, definidos nas eqs. (3.8) a (3.11), das eqs. (3.2) e (3.3), como mostra a eq. (3.16). A seguir se determina esta eq. (3.16) no domínio-Z, através da eq. (3.13). E, finalmente se encontra a equação geral por analo-

gia. Ou seja,

$$F(s) = \frac{K + T_2 s}{1 + T_1 s} \quad (3.16).$$

Multiplicando (3.16) por $1/s$ fica,

$$\frac{1}{s} F(s) = \frac{K}{s} + \frac{(T_2/T_1) - K}{s + 1/T_1} \quad (3.16a)$$

Aplicando a anti-transformada de Laplace em (3.16a) tem-se:

$$\mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{1}{s} F(s) \right\} = K u(t) + [(T_2/T_1) - K] e^{-T/T_1} \quad (3.16b)$$

que, no domínio-Z resulta em

$$\mathcal{Z} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{F(s)}{s} \right\} \right\} = K \frac{z}{z-1} + [(T_2/T_1) - K] \frac{z}{z - e^{-T/T_1}} \quad (3.16c)$$

Assim a função de transferência em Z da eq. (3.16) fica

$$\frac{z-1}{z} \mathcal{Z} \left\{ \mathcal{L}^{-1} \left\{ \frac{F(s)}{s} \right\} \right\} = \frac{K(z - e^{-T/T_1}) + [(T_2/T_1) - K](z-1)}{z - e^{-T/T_1}} \quad (3.16d)$$

ou seja,

$$F(z) = \frac{(T2/T1) + [K e^{-T/T1} - (T2/T1) + K] z^{-1}}{1 - e^{-T/T1} z^{-1}} \quad (3.16e).$$

Então os termos F_{pf} , F_{qf} , F_{pu} , F_{qu} das eqs. (3.8) a (3.11) no domínio-Z são

$$F_{pf} = \frac{(T_{pf}/T1) + [K_{pf} e^{-T/T1} - (T_{pf}/T1) + K_{pf}] z^{-1}}{1 - e^{-T/T1} z^{-1}} \quad (3.17),$$

$$F_{pu} = \frac{(T_{pu}/T1) + [K_{pu} e^{-T/T1} - (T_{pu}/T1) + K_{pu}] z^{-1}}{1 - e^{-T/T1} z^{-1}} \quad (3.18),$$

$$F_{qf} = \frac{(T_{qf}/T1) + [K_{qf} e^{-T/T1} - (T_{qf}/T1) + K_{qf}] z^{-1}}{1 - e^{-T/T1} z^{-1}} \quad (3.19)$$

e,

$$F_{qu} = \frac{(T_{qu}/T1) + [K_{qu} e^{-T/T1} - (T_{qu}/T1) + K_{qu}] z^{-1}}{1 - e^{-T/T1} z^{-1}} \quad (3.20),$$

respectivamente.

Como as eqs. (3.2) e (3.3) no domínio-Z são dadas por

$$\Delta p(z) = F_{pf}(z) \Delta f(z) + F_{pu}(z) \Delta u(z) \quad (3.21)$$

e,

$$\Delta q(z) = F_{qf}(z) \Delta f(z) + F_{qu}(z) \Delta u(z) \quad (3.22)$$

então, substituindo agora os termos F 's das equações (3.17) a (3.20) nas eqs (3.21) e (3.22), a função de transferência em Z da potência ativa é dada pela eq. (3.23) e da potência reativa pela eq. (3.24) :

$$\Delta p(z) = \frac{a_1 + b_1 z^{-1}}{1 + c z^{-1}} \Delta f(z) + \frac{a_2 + b_2 z^{-1}}{1 + c z^{-1}} \Delta u(z) \quad (3.23)$$

e,

$$\Delta q(z) = \frac{a_3 + b_3 z^{-1}}{1 + c z^{-1}} \Delta f(z) + \frac{a_4 + b_4 z^{-1}}{1 + c z^{-1}} \Delta u(z) \quad (3.24).$$

Os parâmetros discretos destas últimas equações estão relacionados com as constantes de tempo T_{pf} , T_{pu} , T_1 , T_{qf} , T_{qu} e os fatores K_{pf} , K_{pu} , K_{qf} , K_{qu} (coeficientes de amortecimento) pelas equações:

$$a_1 = T_{pf}/T_1,$$

$$b_1 = K_{pf}(1 - e^{-T/T_1}) - a_1,$$

$$a2 = T_{pu}/T1,$$

$$b2 = K_{pu}(1 - e^{-T/T1}) - a2,$$

$$a3 = T_{qf}/T1,$$

$$b3 = K_{qf}(1 - e^{-T/T1}) - a3,$$

$$a4 = T_{qu}/T1,$$

$$b4 = K_{qu}(1 - e^{-T/T1}) - a4,$$

sendo que T = taxa de amostragem do sistema.

Para o domínio do tempo (k) as equações (3.23) e (3.24) se transformam respectivamente em:

$$p(k) = a1 f(k) + b1 f(k-1) + a2 u(k) + b2 u(k-1) + c p(k-1), \quad (3.25)$$

$$q(k) = a3 f(k) + b3 f(k-1) + a4 u(k) + b4 u(k-1) + c q(k-1). \quad (3.26)$$

Obs: i) Por motivos práticos se omitiu o Δ nestas últimas eqs.

A segunda etapa na identificação de carga visa submeter tal modelo matemático ao mesmo sinal de entrada do processo em estudo (figura 3.3), definindo para isto um critério de equivalência entre o modelo e o processo. Para os ajustes nos parâmetros do modelo, as saídas do processo são comparadas

com as saídas do modelo obedecendo a teoria dos erros da soma mínima ao quadrado entre eles.

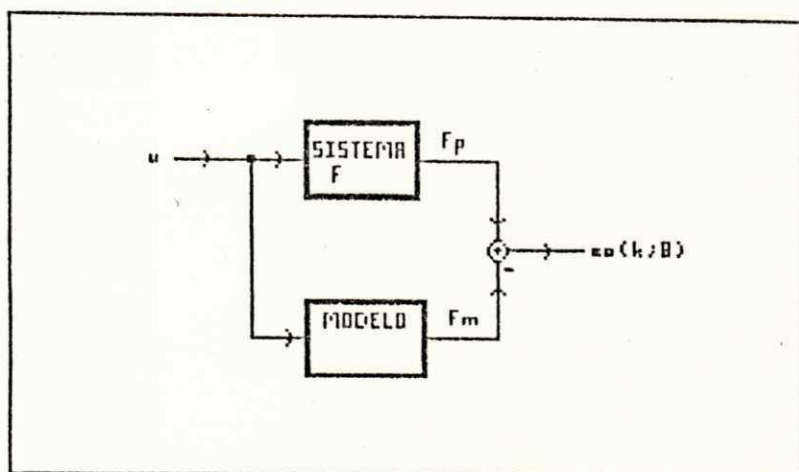


Figura 3.3 - Modelo resumido para identificação.

O modelo e o processo são equivalentes se o erro E entre eles for mínimo. Pela teoria dos erros da soma mínima ao quadrado [13-14], tem-se que o erro :

$$E = \sum_{k=1}^N [F_p(k) - F_m(k)]^2 \quad (3.27) \quad , \quad \text{onde}$$

n = número de medidas e,

$$E \text{ será mínimo quando } \frac{\partial E}{\partial \theta} = 0 \quad (3.28).$$

θ = parâmetro

De acordo com as definições dadas pelas eqs. (3.27) e (3.28) encontra-se o erro mínimo da potência ativa E_p e, da

potência reativa E_q como segue : Aplicando a eq. (3.25) na eq. (3.27) para a potência ativa ,

$$E_p = \sum_{k=1}^N [p(k) - p] \quad (3.29)$$

e, da mesma forma para a potência reativa na eq. (3.26),

$$E_q = \sum_{k=1}^N [q(k) - q] \quad (3.30),$$

onde o índice p das potências significa o valor obtido no processo em estudo, ou seja, valor medido.

Fazendo agora a derivada para encontrar o mínimo erro, conforme equação (3.28), tem-se

$$\frac{\partial E_p}{\partial \theta} = -2 \sum_{k=1}^N [p(k) - p] \frac{\partial p(k)}{\partial \theta} \quad (3.31),$$

para a potência ativa e,

$$\frac{\partial E_q}{\partial \theta} = -2 \sum_{k=1}^N [q(k) - q] \frac{\partial q(k)}{\partial \theta} \quad (3.32),$$

para a potência reativa. Comparando estas derivadas com zero, tem-se que as equações (3.31) e (3.32) tornam-se:

$$\sum_{k=1}^N [p(k) - p] \frac{\partial p(k)}{\partial \theta} = 0 \quad (3.33),$$

$$\sum_{k=1}^N [q_p(k) - q(k)] \frac{\delta q(k)}{\delta \theta} = 0 \quad (3.34),$$

respectivamente.

Substituindo a eq.(3.25) na eq. (3.33) e derivando com relação a a_1 , ou seja $\theta = a_1$, tem-se:

$$[a_1 f(k) + b_1 f(k-1) + a_2 u(k) + b_2 u(k-1) + c p(k-1) - p(k)] f(k) = 0$$

Obs: ii) Os valores das potências das equações que seguem se referem aos medidos no processo, ou seja $p(k)$ e $q(k)$ e que, por razões práticas foram omitidos os seus índices p e q .

Então:

$$\sum_{k=1}^N p(k) f(k) = a_1 \sum_{k=1}^N f(k) f(k) + b_1 \sum_{k=1}^N f(k) f(k-1) + a_2 \sum_{k=1}^N u(k) f(k) + b_2 \sum_{k=1}^N u(k-1) f(k) + c \sum_{k=1}^N p(k-1) f(k) \quad (3.35a);$$

para $\theta = b_1$, tem-se:

$$\sum_{k=1}^N p(k) f(k-1) = a_1 \sum_{k=1}^N f(k) f(k-1) + b_1 \sum_{k=1}^N f(k-1) f(k-1) + a_2 \sum_{k=1}^N u(k) f(k-1) + b_2 \sum_{k=1}^N u(k-1) f(k-1) + c \sum_{k=1}^N p(k-1) f(k-1) \quad (3.35b);$$

para $\theta = a_2$, tem-se:

$$\sum_{k=1}^N p(k) u(k) = a_1 \sum_{k=1}^N f(k) u(k) + b_1 \sum_{k=1}^N u(k) f(k-1) + a_2 \sum_{k=1}^N u(k) u(k) + b_2 \sum_{k=1}^N u(k-1) u(k) + c \sum_{k=1}^N p(k-1) u(k) \quad (3.35c);$$

para $\theta = b_2$, tem-se:

$$\sum_{k=1}^N p(k)u(k-1) = a_1 \sum_{k=1}^N f(k)u(k-1) + b_1 \sum_{k=1}^N f(k-1)u(k-1) + a_2 \sum_{k=1}^N u(k)u(k-1) + b_2 \sum_{k=1}^N u(k-1)u(k-1) + c \sum_{k=1}^N p(k-1)u(k-1) \quad (3.35d);$$

para $\theta = c$, tem-se:

$$p(k)p(k-1) = a_1 \sum_{k=1}^N f(k)p(k-1) + b_1 \sum_{k=1}^N f(k-1)p(k-1) + a_2 \sum_{k=1}^N u(k)p(k-1) + b_2 \sum_{k=1}^N u(k-1)p(k-1) + c \sum_{k=1}^N p(k-1)p(k-1) \quad (3.35e).$$

As equações (3.35) podem ser representadas em forma matricial no modo : $\alpha_p = \beta_p \cdot \theta_p$ (3.36) , onde

$$\alpha_p = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} p(k)f(k) \\ p(k)f(k-1) \\ p(k)u(k) \\ p(k)u(k-1) \\ p(k)p(k-1) \end{bmatrix}$$

$$\beta_p = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} f(k)f(k) & f(k-1)f(k) & u(k)f(k) & u(k-1)f(k) & p(k-1)f(k) \\ f(k)f(k-1) & f(k-1)f(k-1) & u(k)f(k-1) & u(k-1)f(k-1) & p(k-1)f(k-1) \\ f(k)u(k) & f(k-1)u(k) & u(k)u(k) & u(k-1)u(k) & p(k-1)u(k) \\ f(k)u(k-1) & f(k-1)u(k-1) & u(k)u(k-1) & u(k-1)u(k-1) & p(k-1)u(k-1) \\ f(k)p(k-1) & f(k-1)p(k-1) & u(k)p(k-1) & u(k-1)p(k-1) & p(k-1)p(k-1) \end{bmatrix}$$

e,

$$\underline{\Theta}_p = \begin{bmatrix} a1 \\ b1 \\ a2 \\ b2 \\ c \end{bmatrix}$$

Analogamente é feito para a potência reativa, substituindo a eq. (3.26) na eq. (3.34) e, formando a equação matricial: $\alpha_q = \beta_q \underline{\Theta}_r$ (3.37) onde,

$$\alpha_q = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} q(k)f(k) \\ q(k)f(k-1) \\ q(k)u(k) \\ q(k)u(k-1) \\ q(k)p(k-1) \end{bmatrix}$$

$$\beta_q = \sum_{k=1}^N \begin{bmatrix} f(k)f(k) & f(k-1)f(k) & u(k)f(k) & u(k-1)f(k) & q(k-1)f(k) \\ f(k)f(k-1) & f(k-1)f(k-1) & u(k)f(k-1) & u(k-1)f(k-1) & q(k-1)f(k-1) \\ f(k)u(k) & f(k-1)u(k) & u(k)u(k) & u(k-1)u(k) & q(k-1)u(k) \\ f(k)u(k-1) & f(k-1)u(k-1) & u(k)u(k-1) & u(k-1)u(k-1) & q(k-1)u(k-1) \\ f(k)q(k-1) & f(k-1)q(k-1) & u(k)q(k-1) & u(k-1)q(k-1) & q(k-1)q(k-1) \end{bmatrix}$$

e,

$$\underline{\theta}_q = \begin{bmatrix} a3 \\ b3 \\ a4 \\ b4 \\ c \end{bmatrix}$$

Desta forma tem-se em cada potência um sistema de equações de cinco equações e cinco incógnitas (θ) onde a solução do sistema será:

$$\text{-para a potência ativa: } \underline{\theta}_p = \underline{\beta}_p^{-1} \cdot \underline{\alpha}_p \quad (3.38)$$

$$\text{-para a potência reativa: } \underline{\theta}_q = \underline{\beta}_q^{-1} \cdot \underline{\alpha}_q \quad (3.39)$$

Esta é uma solução MDMQ para o vetor θ procurado. No entanto esta solução é muito difícil de ser implementada devido ao alto grau de não condicionamento das matrizes provocado tanto pela presença de ruídos nas medidas como pela proximidade entre duas equações, como acontece com a equação multiplicada por $f(k)$ com a multiplicada por $f(k-1)$ e com a multiplicada por $u(k)$ com a multiplicada com a multiplicada por $u(k-1)$. Neste caso, deveria então ou diminuir o ruídos das medidas ou reduzir a dimensão da matriz. Diminuir o ruído das medidas não é possível por ser inerente às medidas; tenta-se então reduzir a dimensão da matriz da forma explicada a seguir.

Se for conhecido algum parâmetro de θ , por exemplo o primeiro elemento $a1$, então multiplica-o pela coluna corres-

pondente da matriz $\underline{B}_p$, neste caso, a primeira e, faz-se então a operação $[\underline{\alpha}_p' - \alpha_1(1^a \text{ coluna } \underline{B}_p')]$ (obs: $\underline{\alpha}_p' = \underline{\alpha}_p$ sem a linha 1). Com isto elimina-se a primeira linha e a primeira coluna de $\underline{B}_p$, tornando-se um sistema de dimensão menor e de menor grau de não condicionamento, facilitando bastante no momento que se faz a inversão da matriz.

O modelo completo de carga para identificação é portanto mostrado na figura 3.4 a seguir.

Como é mostrado na figura 3.4, o sistema tem duas grandezas como entrada $\Delta f(k)$ e $\Delta u(k)$ e duas como saída $\Delta p(k)$ e $\Delta q(k)$ que são alteradas pelas componentes de ruído $\Delta p_z(k)$ e $\Delta q_z(k)$, explicadas adiante.

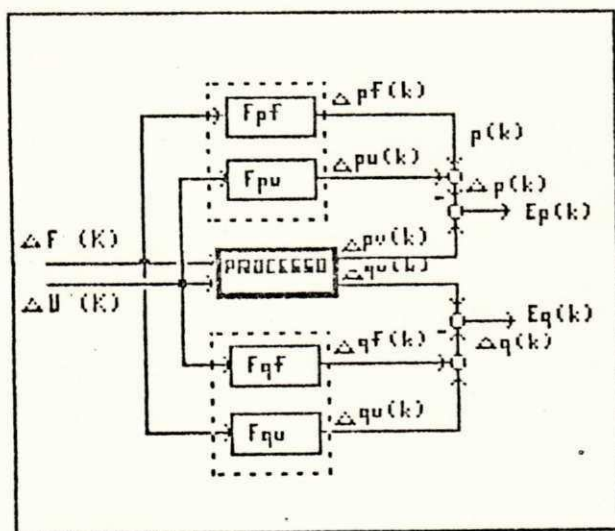


Figura 3.4 - Modelo para identificação.

3.3 - AS COMPONENTES DE RUÍDO

Na identificação dos parâmetros de um sistema elétrico de potência deve-se observar que as variações de potência ativa útil, $\Delta P_v(k)$ são alteradas pela componente de ruído $\Delta P_z(k)$. Como o sinal de ruído do consumo elétrico apresenta características sem controle, as oscilações absolutas de $\Delta P_z(k)$ não são proporcionais com a capacidade total P_o do sistema elétrico, mas em média somente com a raiz quadrada de P_o /09/ ; isto significa que as variações percentuais $\Delta P_z/P_o$ em média variam com $\sqrt{P_o}/P_o = 1/\sqrt{P_o}$.

Supondo que somente variações de mais ou menos 12 mHz poderiam ser utilizadas para identificação de um sistema elétrico com constante de amortecimento aproximadamente igual a 1. Isto exige variações de potência ativa da ordem de 0.02%. Se este sistema faz parte de um sistema interligado de 8 GW com ruído absoluto na frequência de 12 mHz, a relação ruído:sinal de potência útil será de 56:1 para consumo de 1MW e 4:1 para um sistema de 196 MW.

Utilizando N curvas medidas, pode-se reduzir o pico de ruídos de $1/\sqrt{N}$ /09/. Isto significa, que a relação ruído:sinal útil do sistema de 196 MW pode ser reduzido para 1:2 com 64 curvas medidas. Desta maneira, pode-se observar que a realização de identificação de carga, principalmente em sistemas interligados utilizando estímulos não espontâneos, torna-se uma tarefa muito difícil e, muitas vezes, impossível de ser realizada.

CAPITULO 4

ABORDAGEM BASICA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

CAPITULO 4

ABORDAGEM BÁSICA DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

4.1 - O SISTEMA DE AQUISIÇÃO AUTOMÁTICA DE DADOS.

A realização experimental de uma investigação para identificação de um modelo matemático, exige um sistema de medição e armazenamento de informações que são processadas em tempo real (Identificação ON-LINE) ou futuramente (Identificação OFF-LINE).

A obtenção de dados/informações apropriadamente confiáveis e com um compromisso de precisão desejado, é uma problema que pode ser solucionado com o uso de sistema de medição com recursos de microprocessadores /20/.

Neste capítulo é apresentado um sistema de aquisição de dados para aplicação em modelos de carga.

O Sistema de Aquisição Automática de Dados - SAAD utilizado tem a função de armazenar os sinais de tensão, potência ativa e reativa recebidos de conversores de sinais e

a frequência medida diretamente no ponto de alimentação, em discos flexíveis. (figura 4.1)

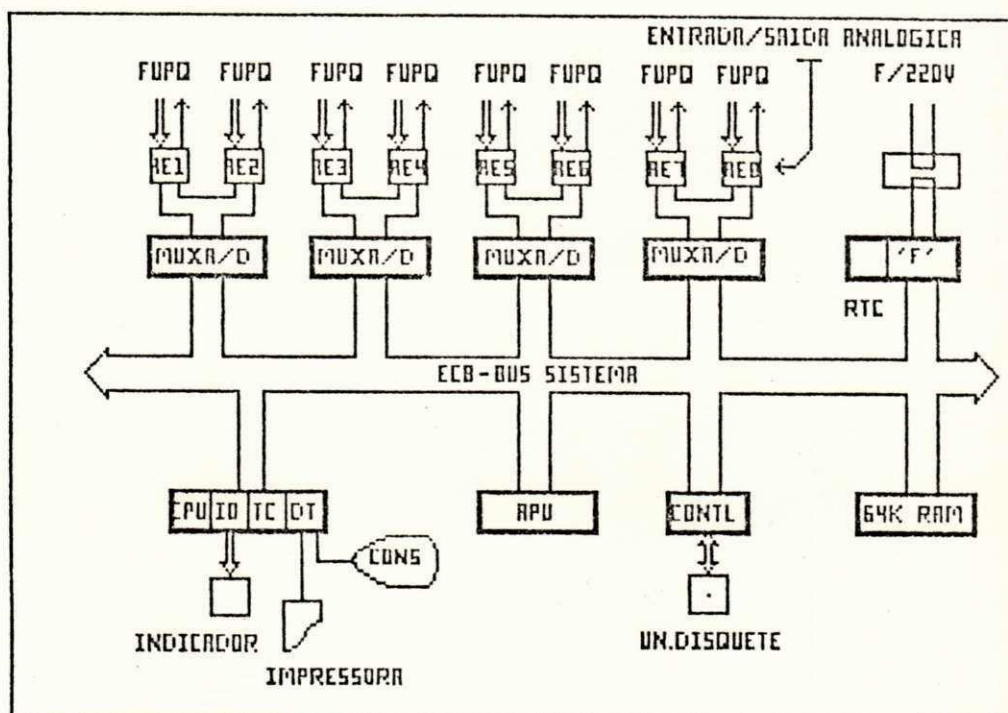


Figura 4.1 - Estrutura do SAAD

A figura 4.2 mostra a conexão destes sinais partindo do ponto de alta tensão até a área de processamento digital.

A relação entre os valores físicos medidos - no caso a tensão em KV, potência ativa em MW e potência reativa em Mvar, e os valores digitais é representada pela equação (4.1).

$$X_{fis} = \frac{1}{R} \left(U_g + \frac{X_{med}}{n} \cdot a \right) \cdot RT \quad (4.1)$$

onde:

$a = 5v/4096$: resolução do medidor ;

R = resistor de conversão corrente/tensão dos conversores;

U_g = valor da tensão de compensação do sistema de aquisição;

n = fator de amplificação dos conversores ;

X_{med} = valor digital armazenado pelo Sistema ;

X_{fis} = valor real da medida ;

RT = produto da relação dos transdutores.

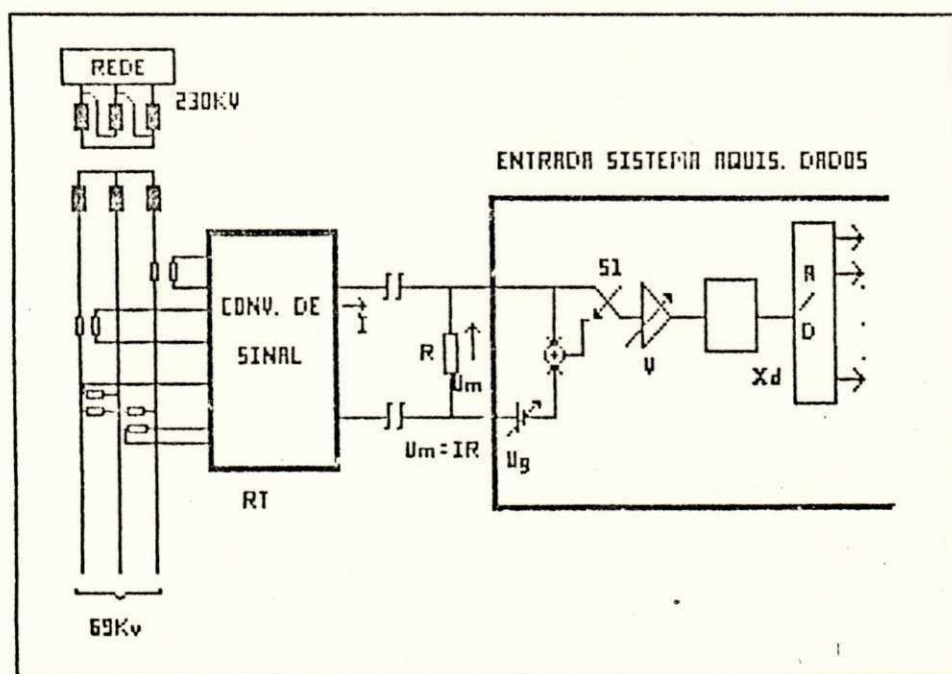


Figura 4.2 - Instalação física de um ponto do SAAD

Por variação da tensão U_g e do fator de amplificação n é possível o ajuste de sinais físicos dentro da resolução necessária para qualquer processamento.

O SAAD foi instalado na CHESF, cidade de Fortaleza-Ce, de modo que o valor de n e U_g pode atender à uma carga de aproximadamente 300 MW, na condição de carga pesada.

No início das medições os valores registrados foram utilizados para avaliação dos critérios adotados na aquisição. Por exemplo, uma variação abrupta de tensão pode não representar interesse de identificação. Como também, variações insignificantes de frequência podem resultar em problema de cálculo numérico. Disquetes pré-programados com critérios reajustados foram preparados para aquisição de dados.

O SAAD observa o sistema elétrico e armazena as informações em disquetes (data, hora, valores extremos, frequência, tensão, potência ativa e reativa), dentro dos limites dos critérios. Estes disquetes retornam ao centro de processamento para análise e identificação dos parâmetros contidos no modelo. A figura 4.3 representa este fluxo de comunicação.

O SAAD foi projetado e construído pela sob a orientação do Prof. Misael E. de Moraes e foi utilizado para fazer as medidas necessárias deste trabalho num convênio entre UFPB/CHESF. A autora não teve participação nesta fase do

trabalho.

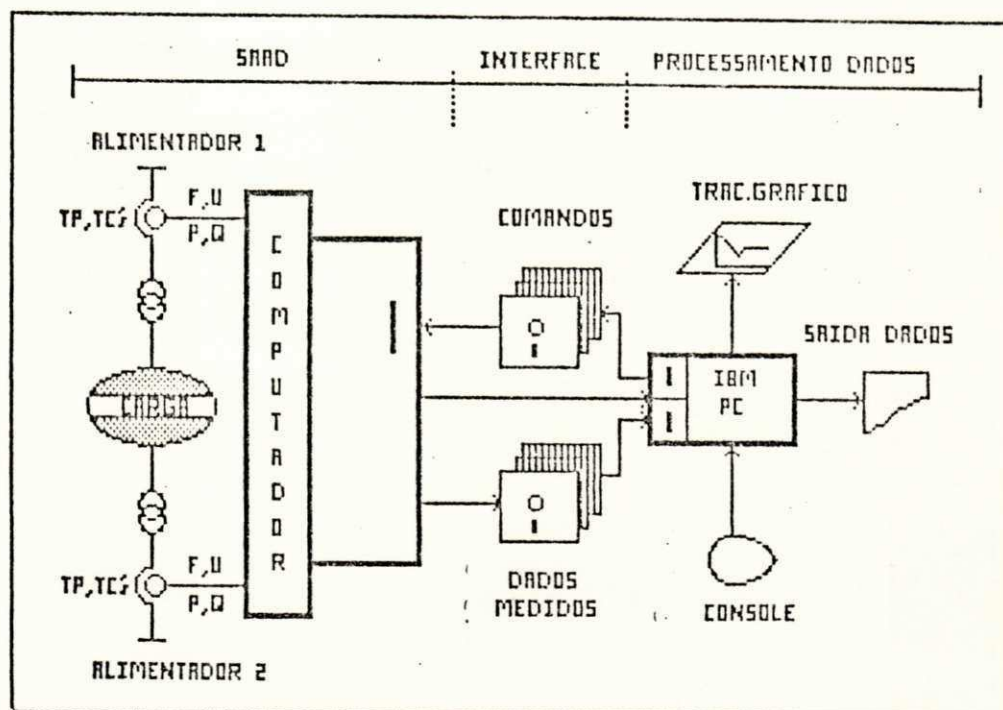


Figura 4.3 - Sistema interligado para aquisição e processamento de dados para uma carga alimentada em dois pontos.

CAPITULO 5

ALGORITMO DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARAMETROS

CAPÍTULO 5

ALGORÍTMO DE IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS.

5.1 - CLASSIFICAÇÃO DOS SINAIS MEDIDOS.

As curvas medidas no tempo discreto, para obtenção do modelo de carga, inicialmente são classificadas em dois grupos de experimento: experimento de tensão e experimento de frequência.

Esta classificação separa as variações de potência ativa das variações de potência reativa. As variações de potência ativa se tornam relevantes quando as variações relativas de frequência $\Delta F/F_0$ são elevadas e as variações relativas de tensão $\Delta U/U_0$ são pequenas - experimento de frequência. As variações da potência reativa se tornam relevantes quando as variações relativas de tensão $\Delta U/U_0$ são elevadas e as variações relativas de frequência $\Delta F/F_0$ são pequenas - experimento de tensão.

A seguir mostra-se a identificação dos parâmetros do modelo de carga de modo sequencial.

5.2 - CALCULO DOS COEFICIENTES DE AMORTECIMENTO.

As curvas com ruídos reduzidos são divididas em três áreas - figura 5.1:

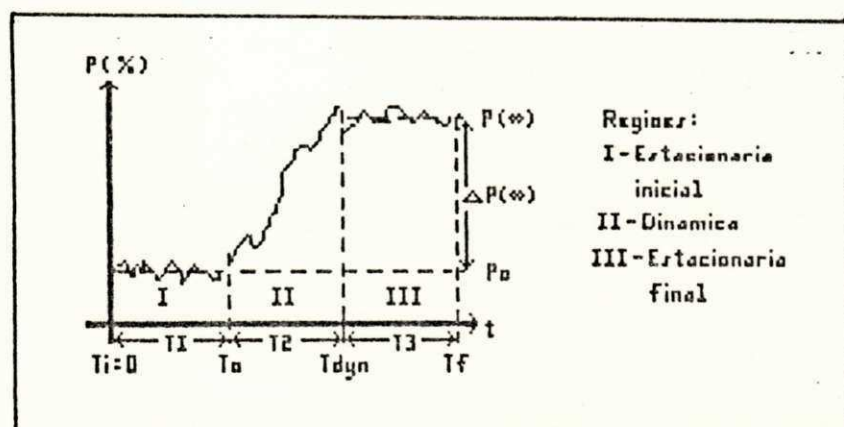


Figura 5.1 - Áreas para identificação dos parâmetros.

Com base nesta divisão, os valores iniciais e finais da potência ativa podem ser calculados como:

$$P_o = \frac{1}{(t_o - t_i)} \int_{t_i}^{t_o} P(t) dt \quad (5.1)$$

e,

$$P(\infty) = \frac{1}{(t_f - t_{dyn})} \int_{t_{dyn}}^{t_f} P(t) dt \quad (5.2)$$

respectivamente.

Com as curvas do experimento de frequência, que

denotar-se I, e as curvas do experimento de tensão que denotar-se II, obtêm-se as equações do regime estacionário:

$$\frac{\Delta P(\infty)}{P_o} I = K_{pf} \frac{\Delta F(\infty)}{F_o} I + K_{pu} \frac{\Delta U(\infty)}{U_o} I \quad (5.3),$$

$$\frac{\Delta Q(\infty)}{Q_o} I = K_{qf} \frac{\Delta F(\infty)}{F_o} I + K_{qu} \frac{\Delta U(\infty)}{U_o} I \quad (5.4),$$

$$\frac{\Delta P(\infty)}{P_o} II = K_{pf} \frac{\Delta F(\infty)}{F_o} II + K_{pu} \frac{\Delta U(\infty)}{U_o} II \quad (5.5)$$

e,

$$\frac{\Delta Q(\infty)}{Q_o} II = K_{qf} \frac{\Delta F(\infty)}{F_o} II + K_{qu} \frac{\Delta U(\infty)}{U_o} II \quad (5.6),$$

as quais foram originadas das eqs. (5.1) e (5.2), sendo que no regime estacionário as constantes de tempo T_l , T_{pu} , T_{pf} , T_{qu} e T_{qf} são nulas.

Utilizando o efeito da separação nas equações de (5.3) a (5.6), tem-se que :

$$\Delta F(oo)_{II} \ll \Delta F(oo)_I \quad e \quad \Delta U(oo)_{II} \ll \Delta U(oo)_I$$

dai, os coeficientes de amortecimento são calculados por :

$$K_{pf} = \frac{\frac{\Delta P(oo)}{P_o}_I - \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I \frac{U_o}{\Delta U(oo)}_{II} \frac{\Delta P(oo)}{P_o}_{II}}{\frac{\Delta F(oo)}{F_o}_I - \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I \frac{U_o}{\Delta U(oo)}_{II} \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II}} \quad (5.7)$$

$$K_{pu} = \frac{\frac{\Delta P(oo)}{P_o}_{II} - \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II} \frac{F_o}{\Delta F(oo)}_I \frac{\Delta P(oo)}{P_o}_I}{\frac{\Delta U(oo)}{U_o}_{II} - \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II} \frac{F_o}{\Delta F(oo)}_I \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I} \quad (5.8)$$

$$K_{qf} = \frac{\frac{\Delta Q(oo)}{Q_o}_I - \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I \frac{U_o}{\Delta U(oo)}_{II} \frac{\Delta Q(oo)}{Q_o}_{II}}{\frac{\Delta F(oo)}{F_o}_I - \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I \frac{U_o}{\Delta U(oo)}_{II} \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II}} \quad (5.9)$$

$$K_{qu} = \frac{\frac{\Delta Q(oo)}{Q_o}_{II} - \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II} \frac{F_o}{\Delta F(oo)}_I \frac{\Delta Q(oo)}{Q_o}_I}{\frac{\Delta U(oo)}{U_o}_{II} - \frac{\Delta F(oo)}{F_o}_{II} \frac{F_o}{\Delta F(oo)}_I \frac{\Delta U(oo)}{U_o}_I} \quad (5.10)$$

5.3 - IDENTIFICAÇÃO DAS CONSTANTES DE TEMPO.

A identificação das constantes de tempo T_{pf} , T_{pu} , T_{qu} , T_{qf} e T_l é realizada de forma iterativa e com os valores medidos da região dinâmica, no sistema de equação matricial formado nas eqs. (3.36) e (3.37) do capítulo 3. As constantes T_{pf} e T_{qf} são identificadas sempre com as curvas do experimento de frequência e, T_{pu} , T_{qu} e T_l sempre com as curvas do experimento de tensão. Considerando uma solução inicial, haverá uma redução na dimensão da matriz gerada nos cálculos, diminuindo assim o seu grau de não condicionamento e amortecendo a influência dos ruídos refletidos diretamente no cálculo dos parâmetros.

No caso da potência ativa, as constantes dependentes da tensão, dadas pelo usuário, são fixadas e consideradas como valor inicial. Por exemplo: $T_{pu} = 0.2s$ e $T_l = 0.1s$ e, com as curvas do experimento de frequência, o parâmetro T_{pf} é calculado através da solução do sistema de equação matricial formado, respeitando a redução da matriz ocorrida como explicada no capítulo 3. Com o parâmetro T_{pf} conhecido, ele é utilizado como valor inicial nas curvas do experimento de tensão, onde os parâmetros T_{pu} e T_l são calculados através do novo sistema de equação. Outra vez é calculado o parâmetro T_{pf} com os parâmetros T_{pu} e T_l calculados na vez anterior e considerados como valor inicial. Este procedimento se repete até que não haja variações nos novos parâmetros identificados.

Ao mesmo tempo é realizada, com mesmo procedimento, a identificação dos parâmetros da potência reativa: T_{qf} e T_{qu} . De modo que todas as constantes ficam assim identificadas.

As equações (3.25) e (3.26) do modelo de carga são agora completadas. As constantes a 's, b 's e c são substituídas pelos valores identificados. Para verificação da precisão dos resultados obtidos se substitui os termos $f(k)$, $f(k-1)$, $u(k)$ e $u(k-1)$ pelos valores medidos no processo (entrada) nas mesmas equações. Os valores $p(k)$'s e $q(k)$'s encontrados são comparados com os valores medidos. Os resultados encontrados são comentados no capítulo 7.

CAPITULO 6

DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS

CAPITULO 6

DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS

6.1- INTRODUÇÃO

O algoritmo para a modelagem de carga foi implementado conforme diagrama mostrado na figura (6.1). Envolve seis programas, informados pelo menu na figura (6.1a), que devem ser realizados na sequência mostrada na figura (6.1b).

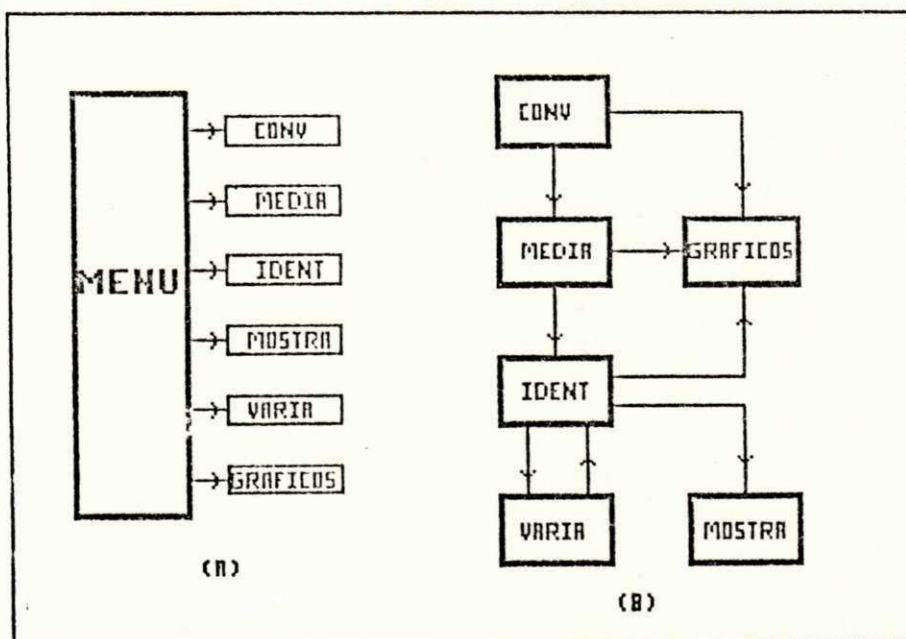


Figura (6.1) a) MENU;
b) Sequência dos programas

O programa CONV converte os dados medidos pelo sistema de aquisição de dados em dados reais.

O programa MEDIA faz a média normalizada de cada arquivo de dados saídos do programa CONV, ou a média normalizada entre arquivos de dados, para o cálculo dos valores $\Delta X/X_0$ das equações (5.7) a (5.10). Onde X é igual a tensão, frequência, potência ativa ou reativa.

O programa IDENT realiza a identificação das constantes que modelam a carga, do arquivo que foi tirado a média no programa anterior.

O programa MOSTRA mostra no video ou na impressora a expressão da carga identificada em função da tensão e da frequência.

O programa VARIA permite variar o valor das constantes identificadas para uma nova identificação. É opcional.

O programa GRAFICOS permite a visualização gráfica dos dados após o término de um dos programas, como indicado no diagrama da figura (6.1b).

6.2- PROGRAMA CONV (CONVERTE):

O diagrama geral deste programa está mostrado na figura (6.2). As subrotinas envolvidas neste programa são : CALC e PAUSE. A subrotina CALC faz a conversão dos dados através

da expressão matemática (4.1). Os valores de cada elemento são dados pelo usuário, no decorrer do programa. A subrotina PAUSE, também usada em outros programas, serve para realizar uma pausa no decorrer do programa para que o usuário consiga ler as mensagens em tempo.

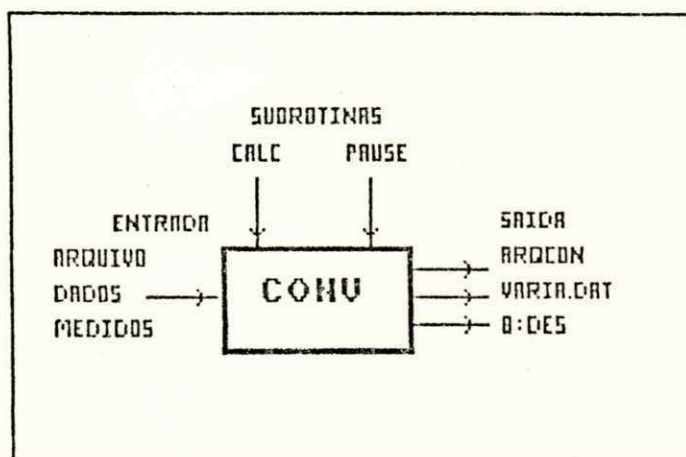


Figura (6.2) - Diagrama geral do programa CONV

O fluxograma deste programa está mostrado no diagrama número 1 do apêndice I. O programa deve ter como entrada um arquivo de dados com as medidas efetuadas pelo SAAD. E, fornece três arquivos de dados: ARQCON, com os dados convertidos; B:DES, com os dados no formato para o programa GRAFICOS e, VARIA.DAT com as informações: LOCAL, DATA, HORA.

O dicionário das principais variáveis deste programa estão no apêndice II.

6.3- PROGRAMA MEDIA:

A figura (6.3) mostra o diagrama geral deste programa. A subrotina PERC calcula a média aritmética da região estacionária inicial - X_0 e, a partir daí, calcula os valores de cada ponto como o percentual em relação ao X_0 através da equação (6.1),

$$X = \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 100\% \quad (6.1).$$

A subrotina PERCN tem a mesma finalidade da PERC sendo que a equação é dada por (6.2), ou seja também inverte a curva,

$$X = - \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 100\% \quad (6.2).$$

A subrotina AJT, ou ajeita, desloca no tempo as curvas que possuam T_0 diferentes para um só T_0 , o de maior valor. Acrescenta no início das curvas deslocadas o valor zero. A comparação é feita de dois em dois arquivos de dados. A subrotina NORM normaliza a curva da média resultante, ou seja substitui os pontos da região estacionária inicial e final pelo valor da média aritmética da respectiva região.

Como entrada o programa deve ter arquivo ou arquivos de dados para fazer a média aritmética normalizada entre eles. Também deve ser fornecido o valor de T_0 , T_{dyn} e o tipo do experimento dos arquivos, que são fornecidos

ao programa pelo usuário, após a visualização gráfica das curvas obtidas no programa CONV, de acordo com a explicação da figura (5.1). O tipo de experimento segue a mesma classificação dada no capítulo 5, podem ser : apenas de frequência, apenas de tensão e de frequência e tensão juntos. O programa faz a média dos arquivos de mesmo tipo de experimento separadamente. Como saída o programa fornece dois ou quatro arquivos, dependendo do tipo do experimento: B:MEDIAF, que contém os valores To, Tdyn e a média normalizada da frequência, tensão, pot. ativa e reativa para os arquivos do experimento de frequência; B:MEDIAU, de mesma finalidade sendo que é para os arquivos do experimento de tensão; B:DESF, que contém os valores da média normalizada no formato exigido para o programa GRAFICOS, dos arquivos do exp. de frequência. B:DESU, de mesma finalidade sendo que é para arquivos do exp. de tensão.

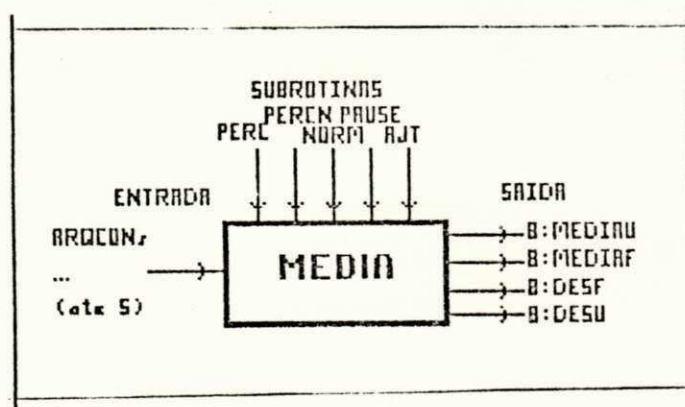


Figura (6.3) - Diagrama geral do programa MEDIA

O fluxograma deste programa está mostrado no diagrama número 2 do apêndice I.

O dicionário das principais variáveis deste programa

está mostrado no apêndice II.

6.4- PROGRAMA IDENT:

O diagrama geral deste programa está mostrado na figura (6.4). A subrotina SOMA (somatório) determina os elementos que formam as matrizes Δp e Δq , bem como o vetor independente Δp e Δq , explicados no capítulo 3 (eqs. (3.36) e (3.37)), gerados a partir dos valores de dados da região dinâmica, depois da média normalizada. A subrotina REDUT reduz uma linha e uma coluna das matrizes e dos vetores encontrados na subrotina anterior, a partir de um valor conhecido como uma solução inicial do sistema conforme explicado no capítulo 3 e 5. A subrotina INVMAT calcula a inversa de uma matriz utilizando a fatoração LU com pivotação completa. A subrotina IDENTIF identifica as constantes de tempo: T_{pf} , T_{qf} , T_{pu} , T_{qu} pelo método iterativo explicado no capítulo 3.

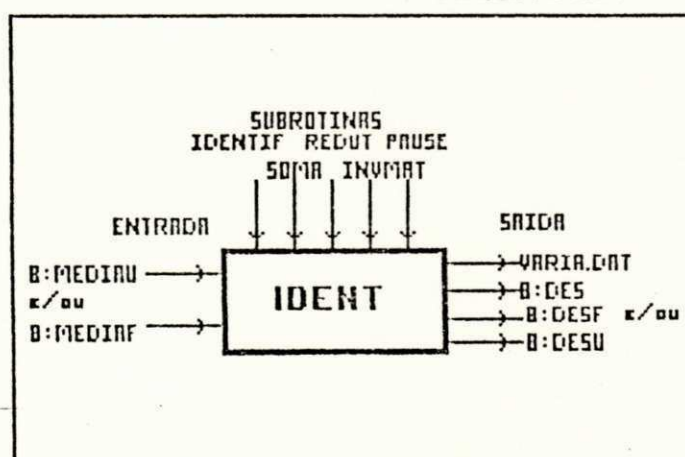


Figura (6.4) - Diagrama geral do programa IDENT

Como entrada o programa busca automaticamente os arquivos gerados no programa anterior (B:MEDIAF e/ou B:MEDIAU) com a média normalizada dos dados. Também é usado como entrada o arquivo VARIA.DAT caso tenha ocorrido alguma variação nos parâmetros para uma nova identificação. Como saída o programa gera os arquivos: VARIA.DAT, com os dados: LOCAL, DATA e HORA, MODO, CONSTANTES IDENTIFICADAS. Estas informações deverão se usadas nos programas MOSTRA ou VARIA. B:DESF, contém os valores da tensão medida, potência ativa e reativa, tanto os valores medidos como os calculados pelo programa com as constantes identificadas, para se fazer uma comparação. Este arquivo está no formato exigido no programa GRAFICOS e possui os dados do experimento apenas de frequência. B:DESU tem a mesma finalidade sendo que os dados são do experimento apenas de tensão. B:DES tem a mesma finalidade sendo que os dados são do experimento de frequência e de tensão juntos.

O fluxograma simplificado deste programa é mostrado no diagrama número 3 do apêndice I.

O dicionário das principais variáveis é mostrado no apêndice II.

OBS: A subrotina INVMAT foi copiada do arquivo público do VAX. Utiliza a fatoração LU com pivotação completa para inverter uma matriz $A_{n \times n}$, e foi adaptada para as matrizes utilizadas neste programa. Seu fluxograma então não será mostrado aqui por não ter sido implementado pela autora deste trabalho.

6.5- PROGRAMA VARIA :

O diagrama geral deste programa está mostrado na figura (6.5).

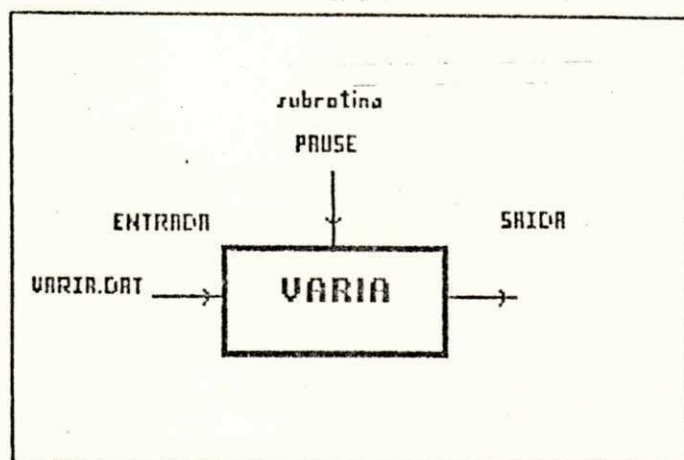


Figura (6.5) - Diagrama geral do programa VARIA

O fluxograma simplificado está mostrado no diagrama número 4 do apêndice I.

Como entrada o programa busca automaticamente o arquivo VARIA.DAT e gera um novo arquivo de mesmo nome com os novos valores das constantes para ser usado numa nova identificação.

O dicionário das principais variáveis está mostrado no apêndice II.

6.6- PROGRAMA MOSTRA :

O diagrama geral deste programa está mostrado na figura (6.6).

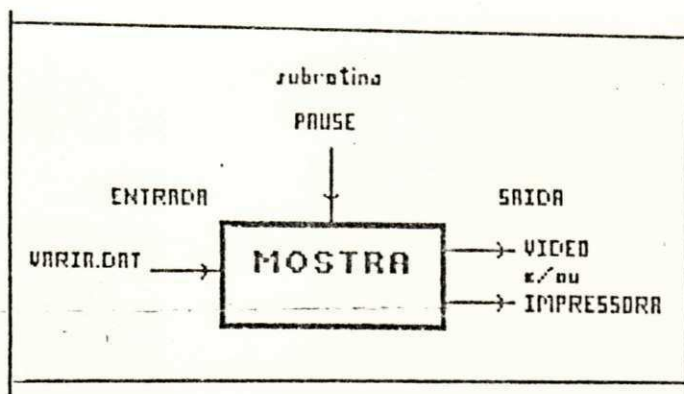


Figura 6.6- Diagrama geral do programa MOSTRA

O fluxograma simplificado está mostrado no diagrama número 5 do apêndice I.

Como entrada o programa busca automaticamente o arquivo VARIA:DAT com as informações: LOCAL, DATA e HORA, MODO e CONSTANTES IDENTIFICADAS. O programa fornece no VIDEO e/ou IMPRESSORA a expressão matemática da carga, da pot. ativa e reativa, com opções LAPLACE e/ou transformada-Z.

O dicionário das principais variáveis é mostrado no apêndice II.

6.7- PROGRAMA GRAFICO :

O diagrama geral está mostrado na figura (6.7)

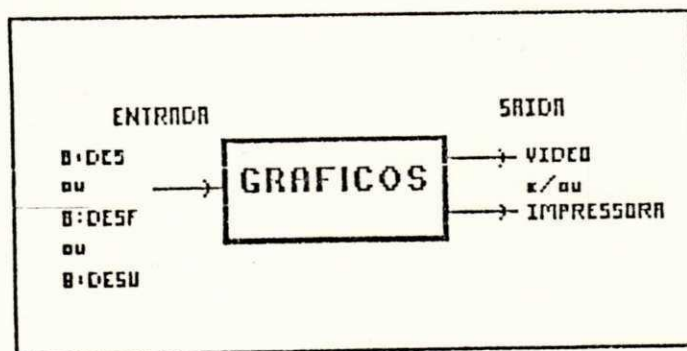


Figura 6.7 - Diagrama geral do programa GRAFICOS

O programa ler um arquivos de dados e plota os gráficos de acordo com as escolhas do usuário no traçado das curvas.

O programa utilizado é o DESS LEEI- ENSEEIHT oct 86, cujas alterações foram feitas por S. R. SILVA (DEE - UFMG) em 12/12/86 pela simplicidade em seu manuseio. O que foi implementado aqui foram os arquivos com os dados no formato exigido pelo programa DESS para se conseguir a finalidade desejada.

CAPITULO 7

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

CAPITULO 7

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 - RESULTADOS OBTIDOS.

As figuras (7.1), (7.2) e (7.3) mostram três curvas de dados obtidas na cidade de Fortaleza-Ce (CHESF) no dia 17/12/87 por volta das 23:00 Hs, pelo SAAD. Estes dados foram obtidos no sistema através de chaveamento de banco de capacitores. As curvas foram realizadas pelo programa implementado, conforme a explicação dada no capítulo 6, após o programa CONV. Representam os valores reais da tensão (KV), potência ativa (MW) e reativa (Mvar) nos horários indicados. A curva da frequência não apareceu porque não houve variação da frequência medida. Nesta etapa se determinou, por visualização gráfica, os valores de T_o , T_{dyn} e o tipo deste experimento, no caso, experimento apenas de tensão. Os valores de T_o e T_{dyn} estão marcados nas próprias curvas.

A seguir, se fez a média aritmética entre as três curvas de dados, com a finalidade de reduzir ruídos, conforme

explicação no capítulo 3. Para a identificação, se normalizou a curva da média, respeitando os valores determinados no primeiro programa (T_0 , T_{dyn} e o tipo do experimento). A figura (7.4) mostra as curvas resultantes. Se fez uma superposição dos valores da média aritmética com os valores da média normalizada identificada.

Desempenhando os passos de identificação, conforme o capítulo 5, encontra-se a dependência da potência ativa em relação a tensão, dada por

$$F_{pu} = \frac{1.342 + 0.106s}{1 + 0.1s} \quad (7.1)$$

e,

$$F_{qu} = \frac{10.096 + 0.449s}{1 + 0.1s} \quad (7.2).$$

No final deste capítulo se mostra uma cópia do relatório obtido com esta identificação, figura (7.5).

7.2- CONCLUSÃO:

O fator $K_{pu} = 1.342$, menor que 2.0 caracteriza a dependência da potência ativa em relação a tensão. Isto significa que este sistema identificado tem semelhança com cargas

resistivas. A dependência dinâmica em relação a tensão é dada por T_{pu} e T_{qu} ($T_{pu} = 0.106$ e $T_{qu} = 0.449$), relativamente pequena. Esta característica mostra que o sistema não apresenta na sua composição grandes massas rotativas (motores). O que é justificável, considerando o horário das medidas efetuadas, onde predominava a iluminação pública e residencial, e não a carga industrial.

O fator $K_{qu} = 10.096$ na equação (7.2), representa o valor a ser compensado com $Q_0 \approx 0$.

Os sinais medidos de potência reativa têm uma característica de variação proporcional ao inverso as variações da tensão,

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\Delta Q}{Q_0} \right) = - \frac{\partial}{\partial t} \left[\mathcal{L}^{-1} \left\{ F_{qu}(s) \right\} \frac{\Delta U}{U_0} \right] \quad (7.3),$$

indicando compensações indutivas no sistema.

Muito embora a ocorrência de defeitos com desligamento de pequenos blocos de carga, que constituem a carga global de uma região seja um evento completamente aleatório, é possível se conhecer o comportamento desta carga, por ocasião de variação de tensão e frequência, o que proporcionará aos estudos de simulação um nível apropriado de precisão no sentido de reproduzir com fidelidade os fenômenos simulados.

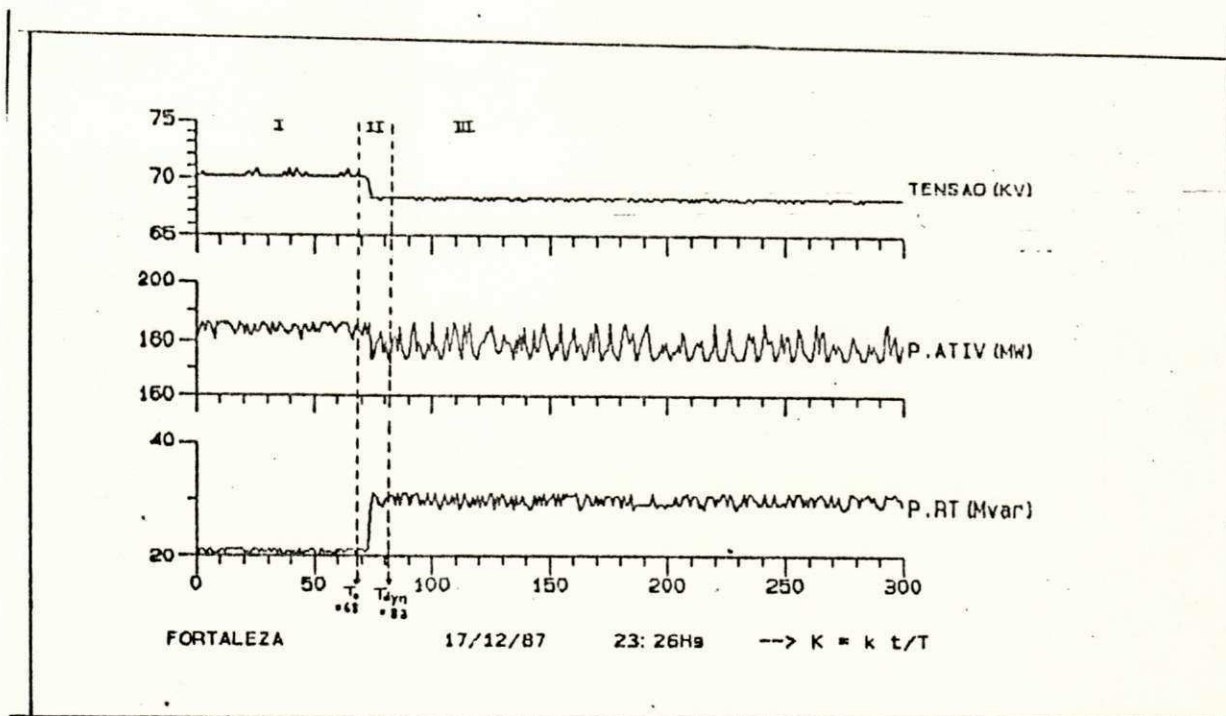


Figura 7.1 - Curvas medidas

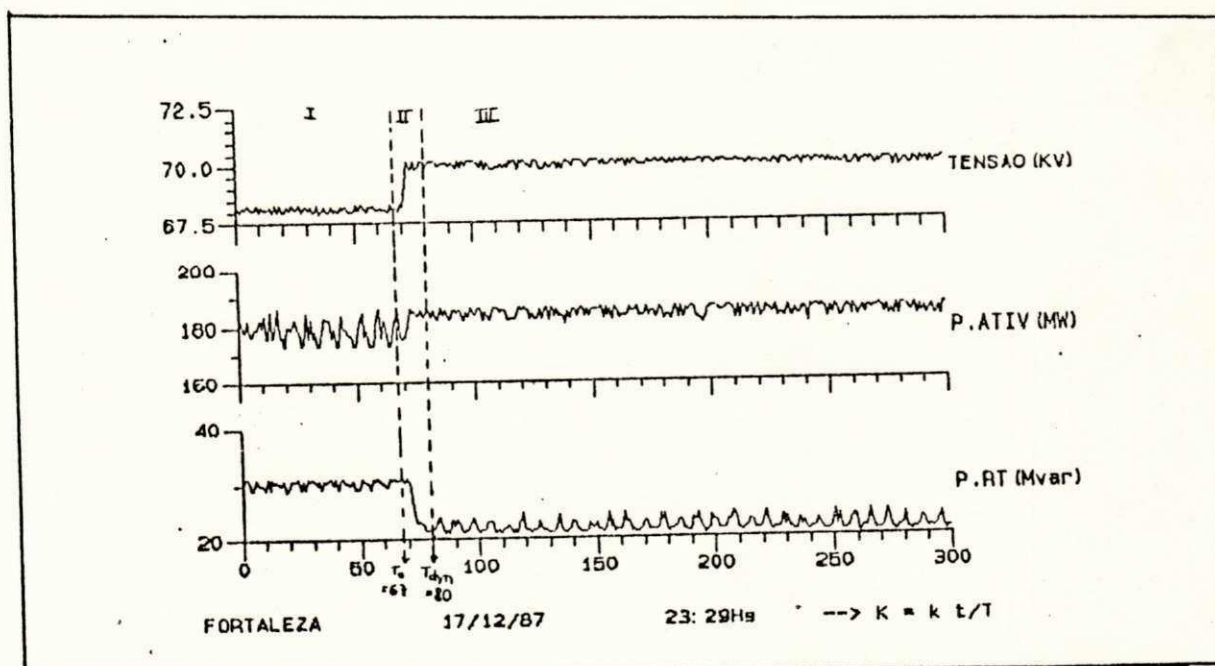


Figura 7.2 - Curvas medidas

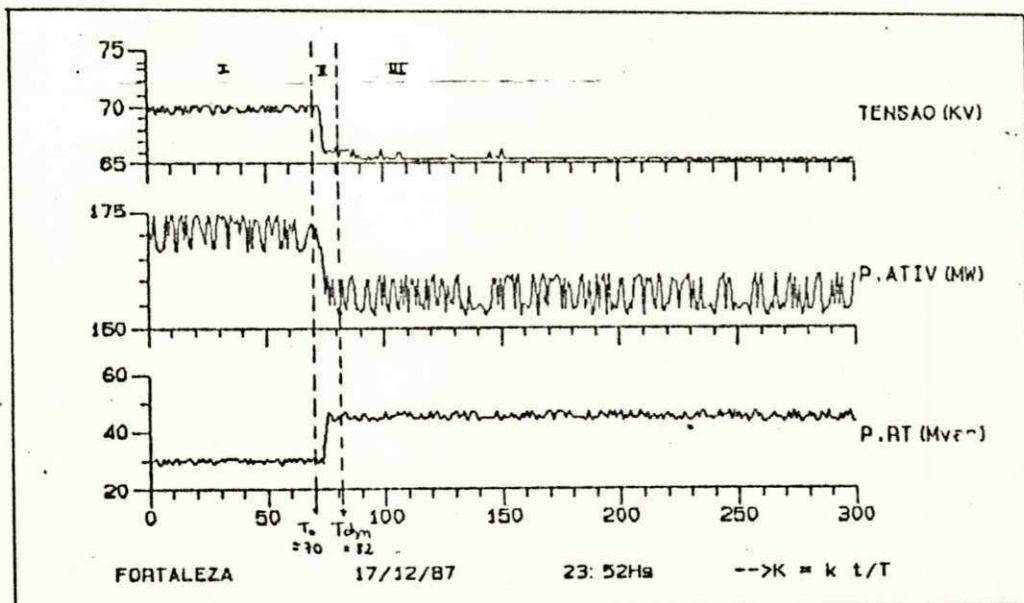


Figura 7.3 - Curvas medidas

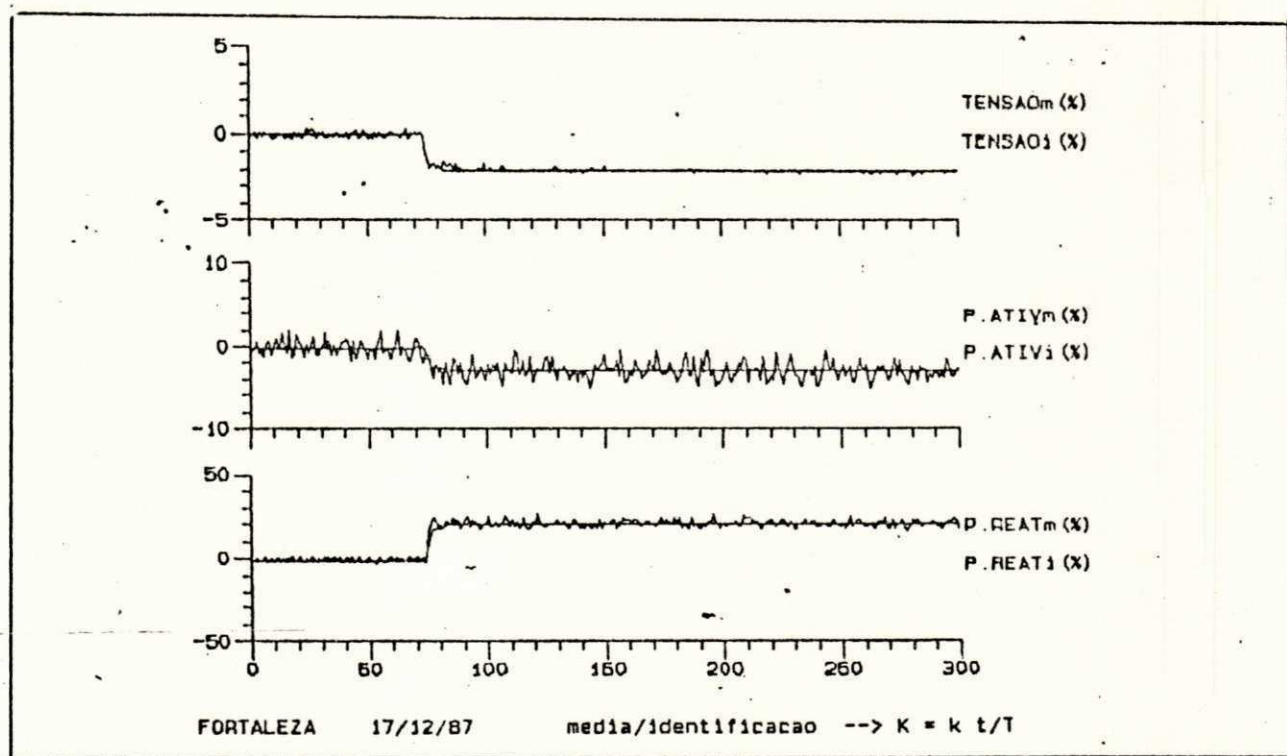


Figura 7.4 - Curvas medidas/identificadas

7.3- ASPECTOS ADICIONAIS A SEREM INVESTIGADOS:

O problema de modelagem das cargas do sistema elétrico não se esgota neste trabalho. Embora a contribuição deste represente um passo significativo, outros pontos devem ser objetos de pesquisas futuras. Tais questões não são tratadas aqui mas se coloca como sugestão:

- Verificação do comportamento da carga para grandes perturbações, ou seja, para grandes excursões de tensão e frequência. É de se esperar que a própria característica dinâmica se modifique dependendo da magnitude das variações ocorridas em função dos desligamentos espontâneos (iluminação pública, contactores de motores, etc) ou por atração a nível de consumidor.
- Investigação da modelagem da carga para eventos desequilibrados.
- Estudos dos métodos computacionais como forma de implantar os modelos aqui desenvolvidos nos programas de estabilidade.


```

*****
*
*   UFPB / CCT / DEE / PgEE.
*
*   PROG. : M. Fatima S. Farias      - UFMA
*
*   ORIENT. : Dr.-Ing. MISAEL E. de MORAIS
*
*****

```

EXPRESSAO MATEMATICA DA CARGA

* LOCAL : FORTALEZA

* DATA : 17:12:87 HORARIO: 23:52:04

*** EXPERIMENTO DE TENSÃO

```

*** O VALOR DE T1 =      .100
*** O VALOR DE TPU =     .106
*** O VALOR DE TQU =     .449
*** O VALOR DE KPU =     1.342
*** O VALOR DE KQU =    10.096

```

A EXPRESSAO MATEMATICA EM s :

$$\frac{DP}{Po} = \frac{1.342 + s(.106)}{1 + s(.100)} \frac{DU}{Uo}$$

$$\frac{DQ}{Qo} = \frac{10.096 + s(.449)}{1 + s(.100)} \frac{DU}{Uo}$$

A EXPRESSAO MATEMATICA EM Z:

$$DP(z) = DU(z) \cdot \frac{(1.060 + -.212 z(-1))}{(1 - .368 z(-1))}$$

$$DQ(z) = DU(z) \cdot \frac{(-4.490 + -1.892 z(-1))}{(1 - .368 z(-1))}$$

Figura 7.5 - Relatório de Saída

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

01. Ramos, A. - Necessidade de Modelos Estáticos e Dinâmicos Para a Representação Adequada da Carga nas Simulações do Sistema Elétrico. - Relatório de palestra apresentada no SCEE/CON, Recife-Pe, dezembro 1983 (CHESF).
02. Kent, M. H.; W. Mc. Crackin and Wheeler, L. M. - Dynamic Modeling of Loads in Stability Studies. - IEEE Trans. Pas-88, Mai 1969.
03. Inicieto, F.; Capasso, A. - Dynamic Equivalents of Synchronous Motor Loads in System Stability Studies. - IEEE Trans. Pas-93, Sept/Oct 1974, pp. 1650-1659.
04. Laible, Th. - Abhängigkeit der Wirk- und Blindleistungsaufnahme passiver Netze von Spannungs- und Frequenzschwankungen. - Bull ASE 59 (1968) H. 2.
05. Sabir, S. A. Y.; Lee, D. C. - Dynamic Loads Models derived from data aquired during system Transcients. - IEEE Trans., Pas-93, Sept 1982.

06. Welfonder, E. H. F. - Experimentelle Ermittlung der Frequenz- und Spannungsabhängigkeit von Verbraucher-Teilnetzen. - VDE-Kongresses, Hannover 1978.
07. He Ren-Mu; B. H. - Identification de Modeles de Charges en Function de la Tesion et de la Frequence. - Cypre-IEAC Symposium, Florence 26-27 Sept 1983.
08. Welfonder, E. - Regelverhalten von Verbund- und Inselnetzen' unter besonder Berücksichtigung der Wir- und Blindleistungssltigen Stellmöglichkeiten. - GRM/ETC - Fachtagung, 19-20 Feb 1986.
09. De Morais, M. E.; W. H. - Digitale Messwerterfassungsanlage zur selbsttatigen Ermittlung der Frequenz- und Spannungsabhängigkeit von Verbraucher-Teilnetzen. VDE-Kongresses, Okt. 1984, Frankfurt.
10. Unbehaven, H.; Gohring, B. ; Bauer, B. - Parameterschatzverfahren zur Systemidentifikation. - Oldenbourg Verlag Muichen Wien, 1974.
11. Isermann, R. - ProzeB Identifikation. -Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1974.
12. Goodwin, G. C.; Payne, R. L. - Dynamic System Identification. - Academic Press, Inc., 1977.
13. Sage, A. P.; Melsa, J. L. - System Identification. - Academic Press, New York, 1971.

14. Isermann, R. - Digital Control Systems. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1981.
15. Franklin, F. G.; Powel, J. D. - Digital Control Dynamic Systems. - Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Philippine, 1980.
- 16.....
17. Bennett, S.; Linkens, D. A. - Real-Time Computer Control. - Peter Peregrinus Ltd., London, UK, 1984.
18. Cadzow, J. A. - Discret-Time Systems. - Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
19. Vanlandingham, H. F. - Introduction to Digital Control Systems. - Macmillan Publishing Company, New York, 1985.
20. Kundur, P.; Chirman - Power System Disturbance Monitoring Utility Experiences. - IEEE Trans. on Power Systems, vol. 3, No. 1, Feb. 1988.

APENDICE I
FLUXOGRAMA DOS PROGRAMAS

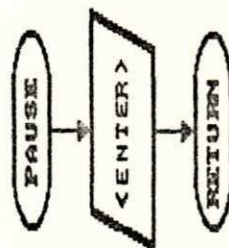
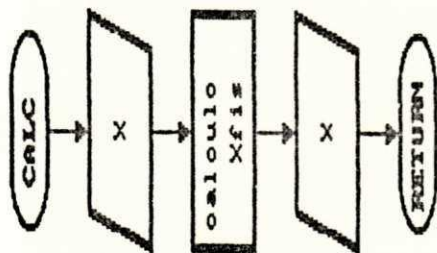
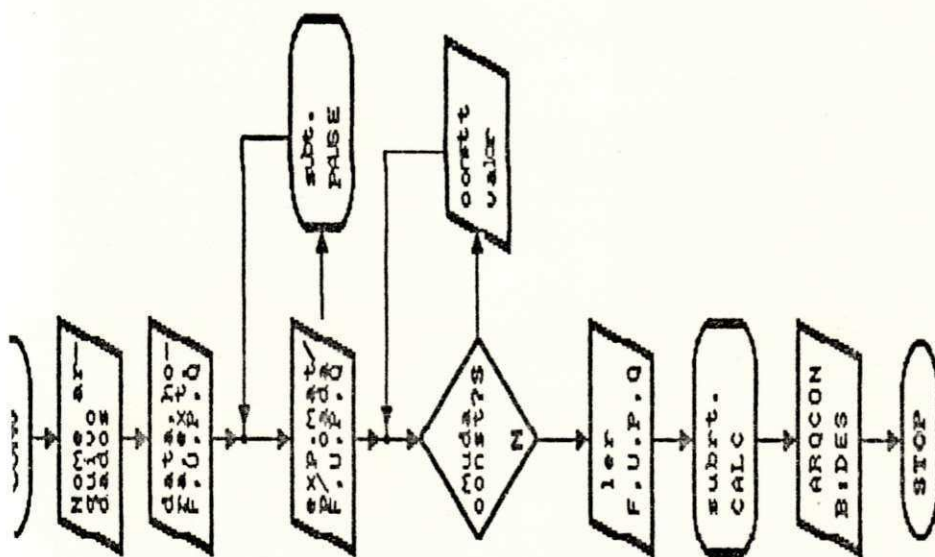


DIAGRAMA NUMERO 1
PROGRAMA CONTU

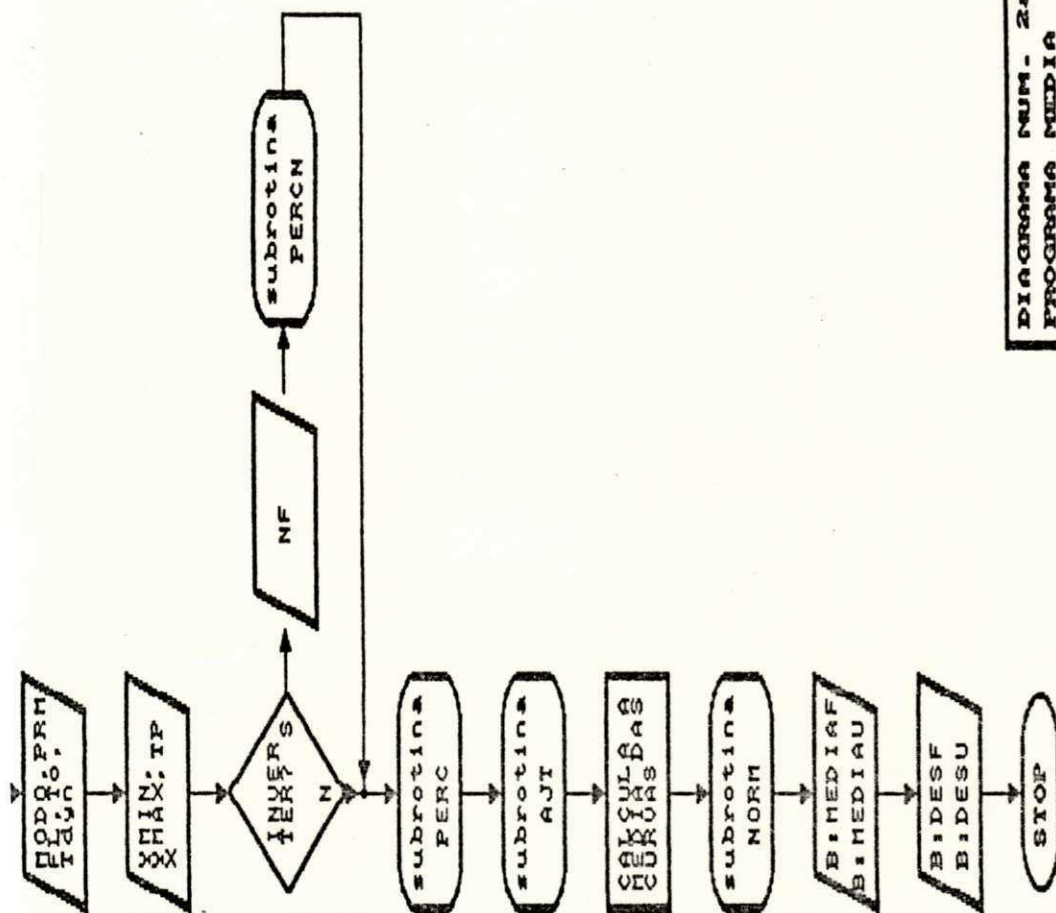
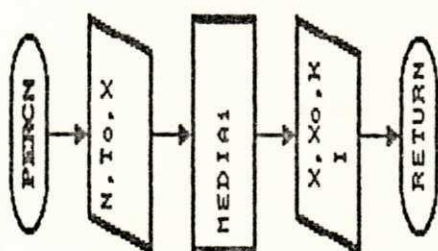
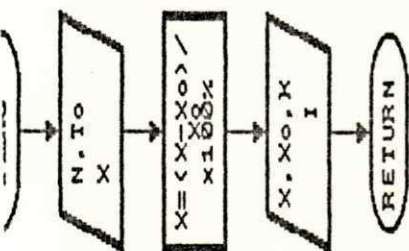


DIAGRAMA NUM. 2a
PROGRAMA MEDIA

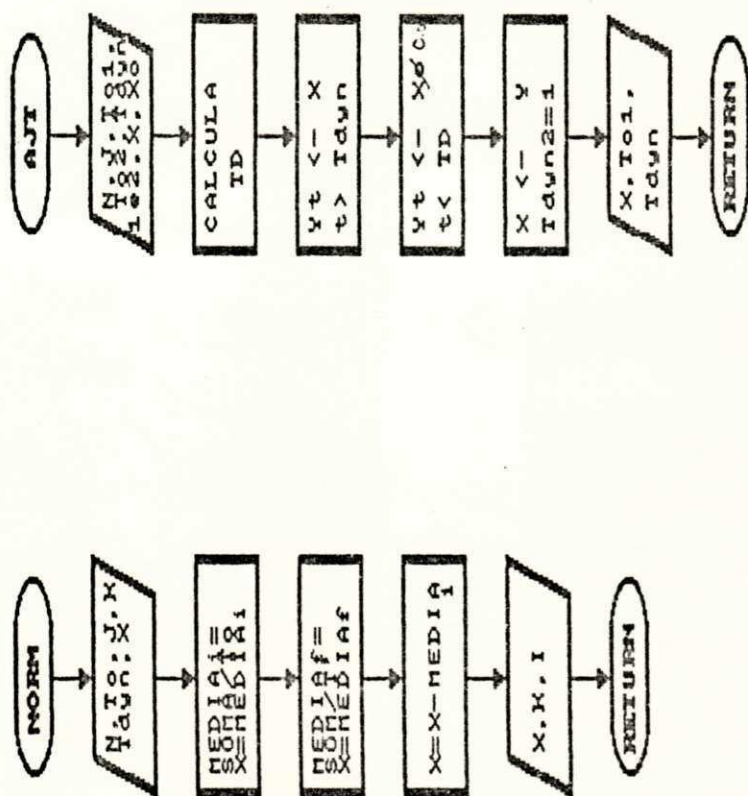
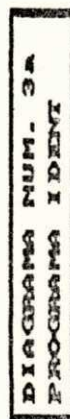
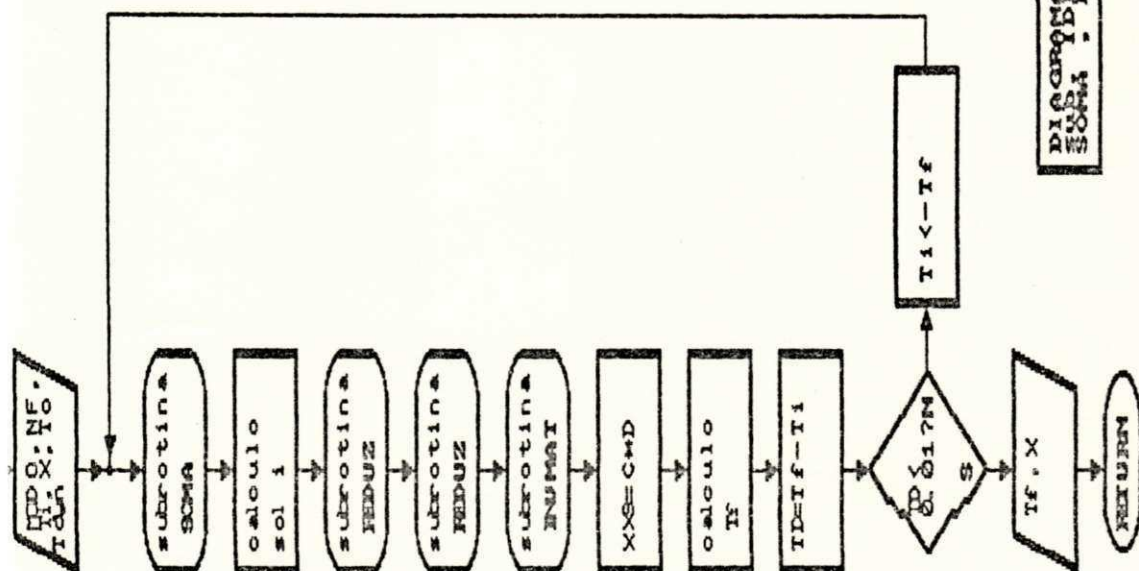
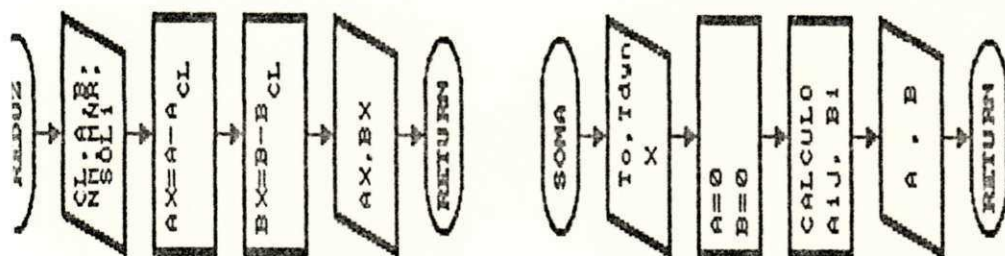


DIAGRAMA NUM. 22
SUBRO1. NORM-AJT





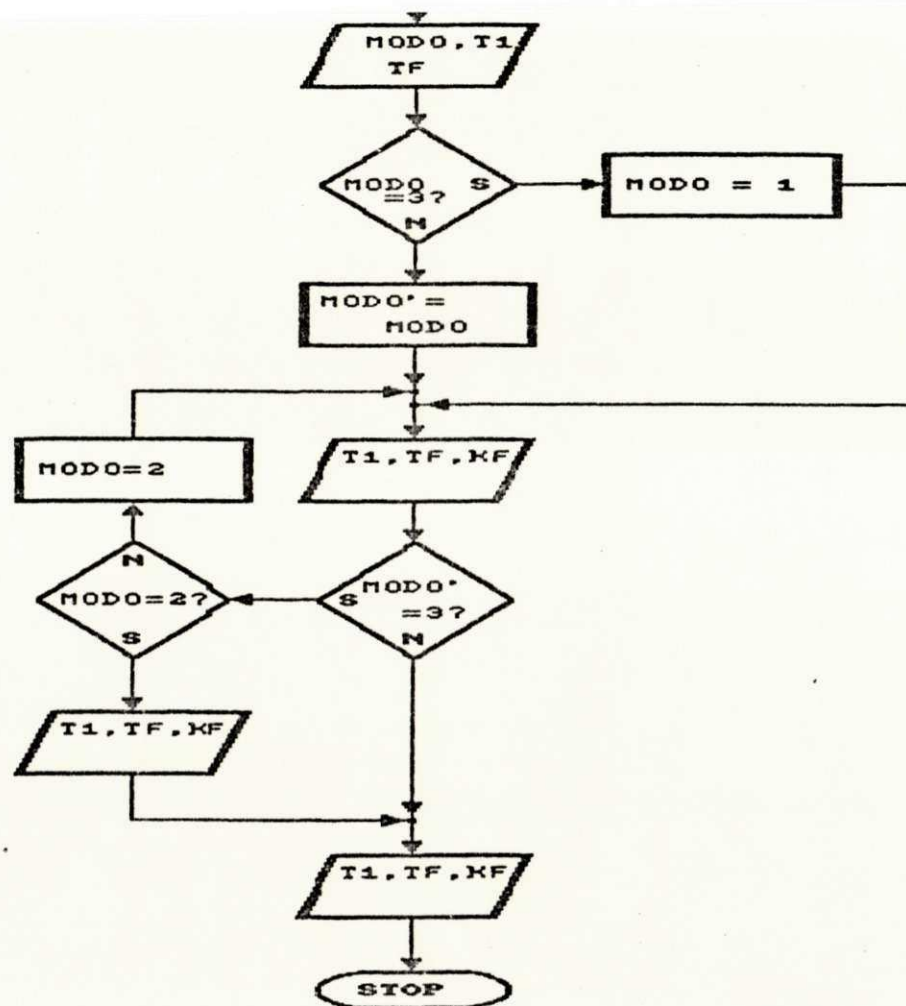
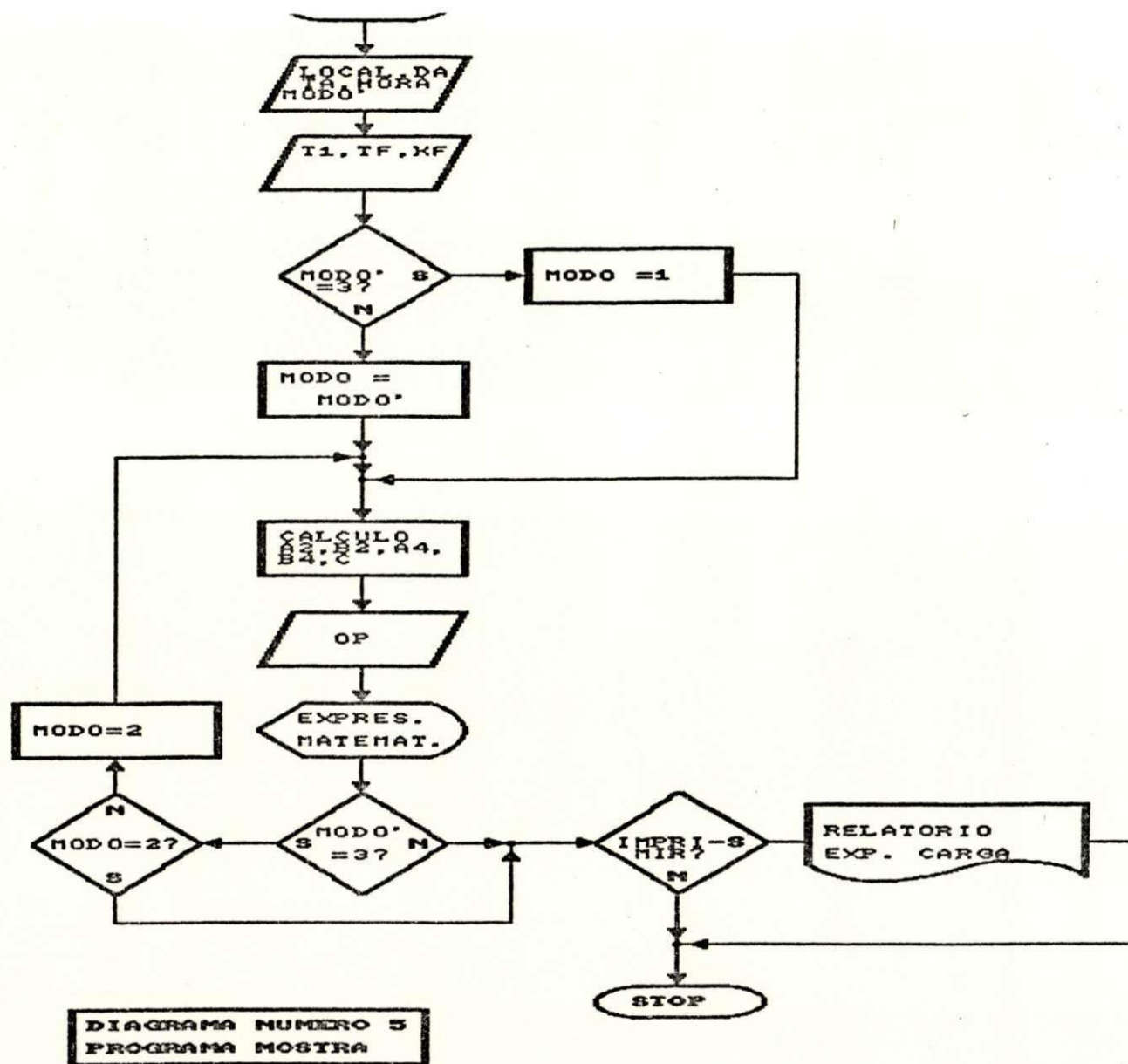


DIAGRAMA NUMERO 4
PROGRAMA VARIA



APENDICE II

DICIONARIO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS PROGRAMAS

DICIONARIO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS DOS PROGRAMAS.

1. PROGRAMA CONV:

YMIN e YMAX = valores extremos dos dados :
YMIN(1),YMAX(1): da frequência,
YMIN(2),YMAX(2): da tensão,
YMIN(3),YMAX(3): da pot. ativa e,
YMIN(4),YMAX(4): da pot. reativa.

X = valor medido :
X(KF): da frequência, X(KV): da tensão, X(KP): da pot.
ativa e X(KQ): da pot. reativa.

RU = valor do resistor R do SAAD:
RU(1): na medida da frequência, RU(2): da tensão, RU(3):
da pot. ativa e RU(4): da pot. reativa.

U = valor da tensão U do SAAD também com a mesma
nomenclatura entre parênteses anterior.

NU = fator de amplificação do SAAD também seguindo a
mesma nomenclatura anterior.

RT = produto das relações dos transdutores utilizados no SAAD
e mesma nomenclatura anterior.

AU = valor da resolução do medidor utilizado no SAAD e com a
mesma nomenclatura anterior.

FLNAME = nome do arquivo de dados da entrada, com extensão de 15 caracteres.

ARQCON = arquivo com os dados de saída cujo nome é formado do nome do arquivo de entrada (do 4.o ao 15.o caracter do flname , com exceção do 12.o).

B:DES = nome do arquivo criado no formato exigido pelo programa GRAFICO.

VARIA.DAT = nome do arquivo que leva dados para o programa VARIA e MOSTRA. Os dados que leva nesta programa são: LOCAL; DATA, HORA.

2. PROGRAMA MEDIA:

YMIN,YMAX = idêntico ao programa anterior.

PRM = quantidade de arquivos para fazer a média.

MODOI = modo ou tipo do experimento dos arquivos utilizados no programa.

J = número do arquivo que necessita ser deslocado na subrotina ajeita.

X(K,I,J) = dados medidos : ,
K = 1 da frequência; K = 2 da tensão; K = 3 da pot. ativa e K = 4 da pot. reativa.
I de 1 até 5 = número do arquivo referente,
J de 1 a 300 = tempo de cada medida.

T = tempo que divide a região estacionária inicial com a dinâmica do respectivo arquivo de dados.

$T_{o1} = T_o$ do arquivo J para a comparação na subrotina AJEITA.

$T_{o2} = T_o$ do arquivo J+1 para a comparação na subrotina AJEITA.

$T_D =$ diferença entre T_{o1} e T_{o2} .

T_{dyn} = tempo que divide a região dinâmica da região estacionária final do respectivo arquivo de dados.

NF = número do arquivo que deseja tirar a média percentual e inverter.

X_o = média da região estacionária inicial, mesmo K e I explicado em X.

XL = vetor que armazena os dados de saída para o program GRAFICO.

SOM/SOMA = soma dos valores de uma região.

MEDIN = média da região estacionária inicial.

MEDIAF = " " " " final.

N = quantidade de medidas (N = 300).

3. PROGRAMA IDENT:

$A(5,5, KK)$ = matrizes (5X5) que armazenam os valores dos somatórios encontradas na subrotina SOMA.
KK=1 para a pot. ativa e KK=2 para a pot. reativa.

B(5, KK) = vetores independentes do sistema que contém os valores encontrados na subrotina SOMA . O mesmo KK acima.

AX(4, 4, KK) = matrizes (4X4) que contém os elementos das matrizes A com redução de uma linha. O mesmo KK anterior.

BX(4, KK) = vetores independentes que contém os elementos do vetor resultante na primeira redução do sistema. Mesmo KK anterior.

CX(3, 3, KK) = matrizes (3X3) que contém os elementos das matrizes A com redução de uma linha. O mesmo KK anterior.

DX(3, KK) = vetores independentes que contém os elementos do vetor resultante na segunda redução do sistema. Mesmo KK anterior.

SOM(4) = contém os dados do regime estacionário final = DX/X_o e calculados no programa anterior (MEDIA).
SOM(1) = DF/F_o ; SOM(2) = DU/U_o ; SOM(3) = DP/P_o e
SOM(4) = DQ/Q_o .

KF(2) = constantes finais. KF(1) = KPF ou KPU; KF(2) = KQF ou KQU.

T(2) = constantes de tempo no início da iteração. T(1) = TPF ou TPU; T(2) = TQF ou TQU .

TF(2) = constante de tempo no final da iteração. TF(1) = TPF ou TPU; TF(2) = TQF ou TQU.

XXS(3, KK) = vetor solução do sistema formado pela matriz A e o vetor B, considerando as duas reduções ocorridas.

SOL = solução inicial ou o termo conhecido do vetor solução para ocorrer a redução .

MOD0 = tipo do experimento :

MOD0 = 1 : experimento apenas de frequência ;

MOD0 = 2 : experimento apenas de tensão ;

MOD0 = 3 : experimento de frequência e de tensão juntos.

CL = número da linha a reduzir .

DPQ(300, KK) = variação percentual da potência de terminada matematicamente pelas constantes identificadas no programa e com o sinal de entrada medido pelo SAAD:

DPQ(300, 1) = potência ativa;

DPQ(300, 2) = potência reativa.

A2, B2, A4, B4, C = termos que compõem a expressão em transformada - Z da carga em estudo.

4. PROGRAMA MOSTRA:

OP = opção pelo tipo da expressão matemática:

OP = 1 : LAPLACE; OP = 2 : transformada Z; OP = 3 ambas.

T(2), TF(2), KF(2) = mesmo significado dos programas anteriores.

5. PROGRAMA VARIA:

PM = número da constante a variar.

VL = novo valor da constante.

T(2), TF(2), KF(2) = constantes calculadas, mesmo significado explicado em 6.4.

SN = resposta SIM/NÃO.