

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO DE UMA CLASSE DE OBSERVADORES  
ADAPTATIVOS MULTIVARIÁVEIS DISCRETOS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

GILBERTO DA SILVA LUY

FLORIANÓPOLIS, MARÇO - 1983

ESTUDO DE UMA CLASSE DE OBSERVADORES  
ADAPTATIVOS MULTIVARIÁVEIS DISCRETOS

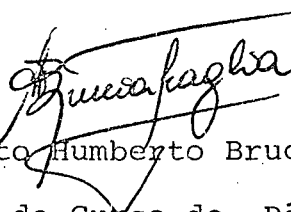
GILBERTO DA SILVA LUY

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE  
EM ENGENHARIA, ESPECIALIDADE ENGENHARIA ELÉTRICA E APROVADA EM  
SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO.



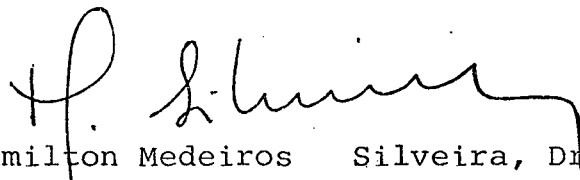
Prof. Hamilton Medeiros Silveira, Dr. Et.

ORIENTADOR

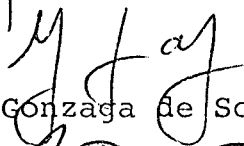


Prof. Augusto Humberto Bruciapaglia, Dr. Ing.  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em  
Engenharia Elétrica

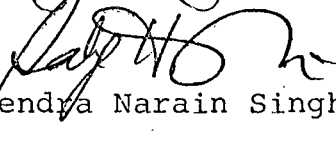
BANCA EXAMINADORA



Prof. Hamilton Medeiros Silveira, Dr. Et.



Prof. Luiz Gonzaga de Souza Fonseca, D. Sc.



Prof. Sahjendra Narain Singh, Ph.D.

Para minha família

E em especial

Para meus pais

Nair e José

## A G R A D E C I M E N T O S

Ao Professor Hamilton Medeiros Silveira pela amizade, estímulo e segura orientação prestada durante todo o tempo de execução deste trabalho.

Aos meus Colegas, Professores e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica e Secretaria do Curso de Pós-Graduação.

À Universidade Federal de Santa Catarina e a CAPES pelo apoio financeiro.

## R E S U M O

Esta dissertação é dedicada ao estudo de algoritmos de observação adaptativa enquadrados em uma forma canônica de observabilidade de processos multivariáveis.

As equações que fazem parte destes algoritmos foram obtidas por intermédio da teoria de Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência. A convergência assintótica global é provada pelo uso dos conceitos de Hiperestabilidade.

As estruturas dos observadores adaptativos aqui tratados são do tipo Série-Paralelo e Paralelo.

Quanto ao processo, este é suposto ser linear, invariante, com ordem conhecida e parâmetros desconhecidos. Medindo-se apenas os sinais de entrada e de saída do processo, o observador adaptativo é capaz de, simultaneamente, estimar os parâmetros desconhecidos e observar o vetor de estado.

Os observadores adaptativos usam ganho de adaptação decrescente, que apresenta bom desempenho em presença de perturbação estocástica.

Vários resultados de simulação digital, na forma de gráficos e de tabelas, são expostos no sentido de mostrar a eficiência dos algoritmos estudados.

## A B S T R A C T

This dissertation is dedicated to the study of adaptive observation algorithms framed in an observability canonical form for multivariable processes.

The equations comprising these algorithms are obtained from the Model Reference Adaptive Systems theory. Hiperstability concepts are used to prove the global asymptotic stability.

The adaptive observer structures suggested in this work are classified as bring of the Serial-Parallel type and Parallel type.

The process is assumed to be linear and invariant. The process order is known and their parameters are unknown. The adaptive observer estimates the unknown process parameters and state vector by using only process input and output signals.

The adaptive observer uses a decreasing gain adaptation algorithm that performs well in a stochastic environment.

Several simulation results in digital computer are presented to demonstrate the performance of the algorithms.

## S U M Á R I O

SIMBOLOGIA .....	xi
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO 2 - OBSERVADORES ADAPTATIVOS COM VÁRIAS ENTRADAS E UMA SAÍDA .....	5
Generalidades .....	5
2.1 - Forma Canônica de Observabilidade .....	6
2.2 - Estruturas de Observação Linear .....	8
2.3 - Algoritmo de Adaptação Paramétrica .....	16
2.3.1 - Forma Padrão .....	16
2.3.2 - Condições de Estabilidade da Forma Padrão .....	17
2.3.3 - Leis de Adaptação Paramétrica .....	21
2.3.4 - Algoritmo à Ganho Decrescente .....	22
2.4 - Observador Adaptativo Série-Paralelo para Sistemas Amostrados .....	25
2.4.1 - Descrição Matemática do Processo e do Observador .....	25
2.4.2 - A Equação do Erro .....	29
2.4.3 - Objetivos a Atingir .....	30
2.4.4 - Sinais Auxiliares .....	31
2.4.5 - Parte Linear da Forma Padrão .....	35
2.4.6 - Leis de Adaptação Paramétrica à Ganho Decrescente .....	36
2.4.7 - Cálculo do Erro .....	38

2.4.8 - Fluxograma do Algoritmo .....	41
2.5 - Observador Adaptativo Paralelo para Sistemas Amostrados .....	41
2.5.1 - Descrição Matemática do Processo e do Observador .....	41
2.5.2 - Equação do Erro .....	43
2.5.3 - Objetivos a Atingir .....	44
2.5.4 - Sinais Auxiliares .....	44
2.5.5 - Parte Linear da Forma Padrão .....	49
2.5.6 - Leis de Adaptação Paramétrica à Ganho Decrescente .....	49
2.5.7 - Cálculo do Erro .....	51
2.5.8 - Fluxograma do Algoritmo .....	53
2.6 - Conclusão .....	53
CAPÍTULO 3 - OBSERVADORES MULTIVARIÁVEIS LINEARES .....	55
Generalidades .....	55
3.1 - Uma Forma Canônica de Observabilidade para Sistemas Multivariáveis .....	56
3.2 - Forma Associada .....	62
3.3 - Observador Multivariável .....	69
3.4 - Conclusão .....	73
CAPÍTULO 4 - OBSERVADORES ADAPTATIVOS MULTIVARIÁVEIS .....	74
Generalidades .....	74
4.1 - Observador Adaptativo Multivariável Série-Paralelo ..	75



4.2 - Observador Adaptativo Multivariável Paralelo .....	78
4.3 - Conclusão .....	80
 CAPÍTULO 5 - SIMULAÇÃO DIGITAL .....	 82
Generalidades .....	82
5.1 - Considerações Sobre a Programação e Equipamentos Utilizados .....	83
5.2 - Distância Paramétrica e Distância de Estado .....	84
5.3 - Simulação dos Observadores Adaptativos Série-Paralelo e Paralelo para Sistemas de uma Única Saída .....	85
5.3.1 - Primeiro Exemplo Sistema de 3 <sup>a</sup> ordem com 2 entradas e 1 saída .....	86
5.3.2 - Segundo Exemplo Sistema de 5 <sup>a</sup> ordem com 2 entradas e 1 saída .....	98
5.4 - Simulação dos Observadores Adaptativos Série-Paralelo e Paralelo para Sistemas Multivariáveis .....	109
5.4.1 - Primeiro Exemplo Sistema de 4 <sup>a</sup> ordem com 2 entradas e 2 saídas .....	110
5.4.2 - Segundo Exemplo Sistema de 5 <sup>a</sup> ordem com 2 entradas e 2 saídas .....	124
5.5 - Conclusão .....	138

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS .....	141
Apêndice I - TEOREMA DE ESTABILIDADE PARA UMA CLASSE DE SISTEMAS REALIMENTADOS .....	145
Apêndice II - LEMAS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS SINAIS AUXILIARES PARA SISTEMAS AMOSTRADOS ..	152
Apêndice III - CÁLCULO DOS PARÂMETROS $g_i$ DOS FILTROS .....	157
Apêndice IV - MANUAL DO USUÁRIO .....	160
BIBLIOGRAFIA .....	227

## S I M B O L O G I A

- A - matriz de transição de estados  
B - matriz de acoplamento das entradas  
C - matriz de saída do processo  
D - matriz de transferência direta  
X(k) - vetor de estado do processo  
 $\hat{X}(k)$  - vetor de estado do observador  
y(k) - vetor de saída do processo  
 $\hat{y}(k)$  - vetor de saída do observador  
u(k) - vetor de entrada  
 $\epsilon(k)$  - erro de saída  
e(k) - erro de estado  
H' - matriz de ganho de realimentação do observador  
 $\hat{p}(k)$  - vetor dos parâmetros ajustáveis do observador  
P<sub>C</sub> - vetor dos parâmetros do processo  
V(k) - vetor de observação  
F(k) - matriz de ganho  
g<sub>i</sub> - parâmetros dos filtros  
 $\hat{\omega}_i(k)$  - sinais auxiliares  
V <sub>$\epsilon$</sub>  - vetor dos sinais filtrados de  $\epsilon(k)$   
V<sub>u</sub> - vetor dos sinais filtrados de u(k)  
V<sub>y</sub> - vetor dos sinais filtrados de y(k)  
V <sub>$\hat{y}$</sub>  - vetor dos sinais filtrados de  $\hat{y}(k)$

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Os observadores foram desenvolvidos com a finalidade de reconstruir os estados não acessíveis na saída dos processos. Este fato surgiu da necessidade de obtenção de uma estimativa confiável dos estados não disponíveis, mas imprescindíveis na realização do controle de um determinado sistema.

Vários pesquisadores dedicaram esforços na resolução deste problema. Luenberger [11] ocupou-se do estudo para a obtenção de um observador linear (1964) que é bastante conhecido e utilizado. Outro esquema, muito usado, e que tem o mesmo objetivo é o chamado filtro de Kalman (1960).

Ambos necessitam do conhecimento dos parâmetros do sistema, cujos estados se pretende estimar. Mas, quando isto não é possível, ou quando os parâmetros do processo variam com o tempo, os observadores lineares não podem ser utilizados.

Este inconveniente, no entanto, é contornado pelo uso de observadores adaptativos. Estes surgiram a partir de 1973, através dos trabalhos de vários pesquisadores, tais como: Carrol, R.L. e Lindorf, D.P. [12], Hang, C.C. [13], Kudva, P. e Narendra, K.S. [14]; Lüders, G. e Narendra, K.S. [15], [16], Narendra, K.S. e Valavani, L.S. [17], Suzuki, T. e Andoh, M. [18], Landau, I.D. [2] e Silveira, H.M. [1], entre outros.

Os observadores adaptativos realizam simultaneamente a identificação dos parâmetros e estimação dos estados de um

determinado processo, desde que os dados referentes à sua ordem, tipos de entradas e saídas sejam disponíveis.

Os observadores adaptativos estudados neste trabalho, estão alicerçados sobre a teoria de Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência (S. A. M. R.) [1], [2].

A convergência assintótica global, destes sistemas, é estudada através de uma forma, denominada padrão [2], a qual permite a utilização de um teorema de estabilidade proposto por H. M. SILVEIRA e I.D. LANDAU [1], [3], baseado no teorema de Hiperestabilidade de V.M. POPOV [9].

Os Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência são de um modo geral, esquematizados, segundo o que apresenta a figura (1.1)

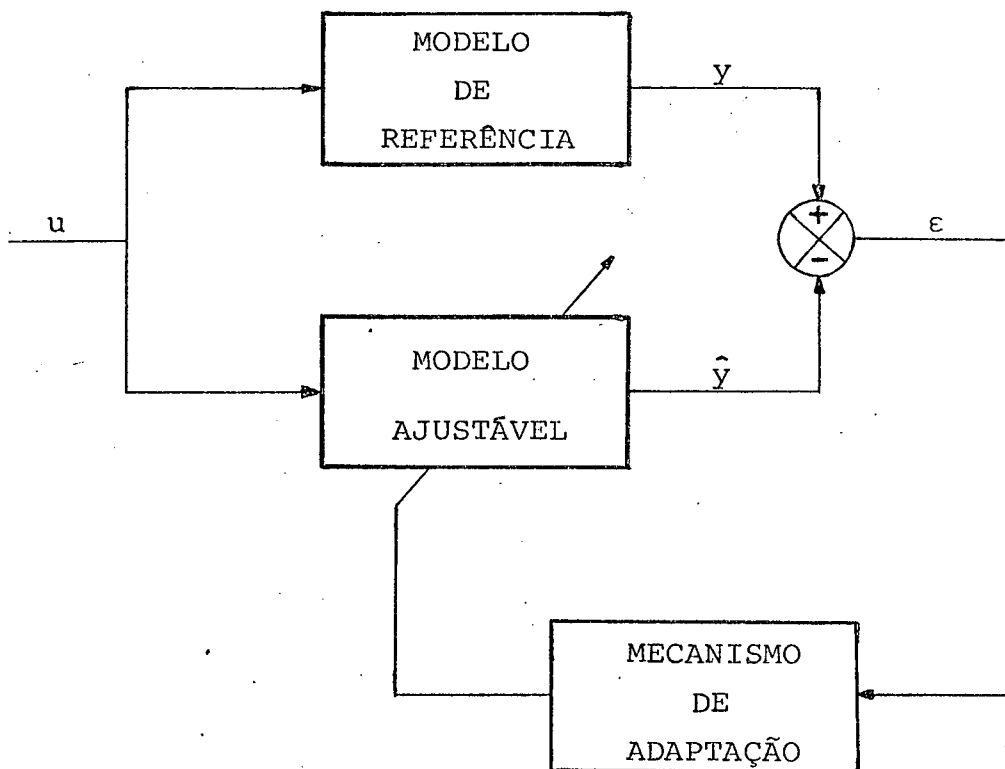


Figura (1.1) - Configuração Básica  
do S.A.M.R. .

Verificando-se o esquema da figura (1.1), em se tratando de identificação e observação, o modelo de referência corresponde ao processo e, o modelo ajustável se relaciona ao observador ou identificador.

O objetivo principal, que norteia o presente trabalho, é mostrar que os algoritmos de observação adaptativa obtidos da teoria de Síntese de S. A. M. R. funcionam eficientemente, em condições de simulação digital, com o uso do computador. O outro objetivo, não menos importante, que se procurou concretizar, foi quanto a montagem de um texto compreensível, de forma a contribuir para o entendimento da estrutura teórica da classe de observadores adaptativos aqui estudados.

Este trabalho está ordenado em seis capítulos e mais quatro apêndices.

No primeiro capítulo é apresentada uma introdução ao trabalho. Ela contém breves informações, de caráter genérico, a respeito da teoria sobre a qual foi desenvolvida esta dissertação, bem como os objetivos pretendidos.

O capítulo dois é dedicado à aspectos teóricos determinantes na construção de observadores adaptativos discretos com várias entradas e uma saída.

O capítulo três trata dos Observadores Multivariáveis lineares, não adaptativos. Aqui é exposta a Forma Canônica de Observabilidade Multivariável, bem como sua respectiva forma associada. É mostrado também um exemplo literal.

No capítulo quatro são abordados os Observadores Adaptativos Discretos Multivariáveis dos tipos Série-Paralelo e Paralelo.

O capítulo cinco contém os resultados, nas formas de gráficos e tabelas, de simulação digital referentes a vários exemplos que mostram a eficiência dos algoritmos de observação adaptativa estudados.

Finalmente, no capítulo seis, são apresentadas as conclusões finais e perspectivas para futuros trabalhos nesta área de estudo.

O primeiro apêndice expõe um teorema de estabilidade para uma classe de sistemas realimentados.

No segundo apêndice são apresentados dois lemas, úteis à construção dos sinais auxiliares.

O terceiro apêndice trata do algoritmo de cálculo dos coeficientes  $g_i$  dos filtros.

O quarto apêndice apresenta um Manual do Usuário dos programas desenvolvidos durante o trabalho. Nele consta um exemplo explicativo com o objetivo de facilitar o manuseio dos programas por qualquer interessado.

## CAPÍTULO 2

### OBSERVADORES ADAPTATIVOS COM VÁRIAS ENTRADAS E UMA SAÍDA

#### GENERALIDADES

Neste capítulo serão vistos aspectos teóricos que determinaram a construção de observadores adaptativos discretos.

Esta teoria versa a respeito da Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência sem acesso às variáveis de estado [1]. Estes sistemas são colocados numa forma padrão de modo que o problema de síntese de sistemas adaptativos seja encarado sob o ponto de vista de convergência assintótica global de um bloco linear realimentado por outro não-linear com parâmetros variantes.

Os observadores aqui estudados estão modelados sob a forma canônica de observabilidade e baseados no observador linear de Luenberger para sistemas discretizados.

A partir de dois tipos de estruturas de observação linear os observadores adaptativos foram construídos. São elas: uma estrutura chamada paralela que deu base ao observador adaptativo paralelo e, outra chamada série-paralela sobre a qual se assentou o observador adaptativo série-paralelo.

Este capítulo está dividido em seis itens como segue:

No primeiro é tratada a forma canônica de observabilidade para sistemas com várias entradas e uma saída. No segundo, as estruturas de observação linear sobre as quais os observa-



dores adaptativos são construídos. No terceiro item é visto o algoritmo de adaptação paramétrica com ênfase ao algoritmo à ganho decrescente. Nos quarto e quinto itens são estudados os observadores adaptativos paralelo e série-paralelo, sendo apresentados os conjuntos de equações que os compõem, ficando evidenciada a possibilidade de implementá-los em computador digital.

E, finalmente, no último item são apresentadas as conclusões à respeito do presente capítulo.

## 2.1 FORMA CANÔNICA DE OBSERVABILIDADE

Os observadores adaptativos aqui estudados são utilizados para identificar os parâmetros e observar os estados simultaneamente de processos que possam ser colocados numa determinada forma canônica de observabilidade. O modelo discreto de um processo, nesta forma, é descrito em termos de variáveis de estado como:

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ & a_2 & & \\ & & \mathbf{I} & \\ & & & \\ & & & \\ & a_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} X(k) + Bu(k) \quad (2.1-1)$$

$$y(k) = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] X(k) + d^T u(k) \quad (2.1-2)$$

onde as matrizes envolvidas apresentam dimensões convenientes.

Para chegar à esta forma deve-se considerar uma matriz de transformação  $Q$ . Esta matriz  $Q$  deve ser constante e não-singular. Ela possibilita a mudança de base de um processo qual-

quer para aquela que corresponde à forma canônica de observabilidade.

Seja o processo discretizado expresso como:

$$\bar{X}(k+1) = \bar{A} \bar{X}(k) + \bar{B} u(k) \quad (2.1-3)$$

$$y(k) = \bar{c} \bar{X}(k) + \bar{d} u(k) \quad (2.1-4)$$

onde as matrizes  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{c}$  e  $\bar{d}$  são de dimensões:  $(n \times n)$ ,  $(n \times m)$ ,  $(1 \times n)$  e  $(1 \times m)$  respectivamente;  $n$  indica a ordem e  $m$  o número de entradas do processo.

Por uma transformação linear através de  $Q$ , tem-se que:

$$X(k) = Q^{-1} \bar{X}(k) \quad (2.1-5)$$

$$A = Q^{-1} \bar{A} Q \quad (2.1-6)$$

$$B = Q^{-1} \bar{B} \quad (2.1-7)$$

$$c = \bar{c} Q \quad (2.1-8)$$

$$d = \bar{d} \quad (2.1-9)$$

Na nova base o processo fica assim descrito:

$$X(k+1) = A X(k) + B u(k) \quad (2.1-10)$$

$$y(k) = c X(k) + d u(k) \quad (2.1-11)$$

A matriz de transformação  $Q$  é calculada pelo seguinte método [1]:

Supondo que o sistema descrito por (2.1-3) e (2.1-4) é completamente observável, a matriz de observabilidade  $M_0$  fica:

$$M_o = \begin{bmatrix} c^T \\ c^T \bar{A} \\ \vdots \\ c^T \bar{A}^{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.1-12)$$

Como esta matriz possui posto  $n$ , ela é inversível. Seja a inversa de  $M_o$  definida por:

$$M_o^{-1} = [v_1 \ v_2 \ \dots \ v_n] \quad (2.1-13)$$

Tomando-se a última coluna,  $v_n$ , de  $M_o^{-1}$  e a matriz  $\bar{A}$ , a matriz  $Q$  é construída da seguinte forma:

$$Q = \left[ \begin{array}{c|c|c|c|c} \bar{A}^{n-1} v_n & \bar{A}^{n-2} v_n & \dots & \bar{A} v_n & v_n \\ \hline \end{array} \right] \quad (2.1-14)$$

Com  $Q$  definida em (2.1-14) e considerando-se as equações (2.1-6), (2.1-7), (2.1-8), (2.1-9) chega-se à forma canônica de observabilidade descrita pelas equações (2.1-1) e (2.1-2).

## 2.2 ESTRUTURAS DE OBSERVAÇÃO LINEAR

Neste ítem serão mostradas as duas estruturas de observadores assintóticos lineares, na forma canônica de observabilidade, sobre as quais estão baseados os observadores adaptativos.

Considere um sistema linear, invariante no tempo, discreto, completamente controlável e observável, colocado na forma canônica de observabilidade:

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ \vdots & \mathbf{I} & & \\ a_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} X(k) + B u(k) \quad (2.2-1)$$

$$y(k) = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] X(k) + d^T u(k) \quad (2.2-2)$$

Baseando-se no princípio dos observadores de estado assintóticos lineares [4], pode-se construir um observador tendo o mesmo modelo do processo a ser observado, com uma entrada suplementar que corresponde ao erro de saída,  $\epsilon(k)$ , entre o processo e o observador:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ \vdots & \mathbf{I} & & \\ a_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{X}(k) + B u(k) + \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} \epsilon(k) \quad (2.2-3)$$

$$\hat{Y}(k) = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \hat{X}(k) + d^T u(k) \quad (2.2-4)$$

onde,  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  é um conjunto de ganhos que determinam as características do observador [2].

O erro de saída é dado por:

$$\epsilon(k) = y(k) - \hat{y}(k) \quad (2.2-5)$$

Substituindo-se (2.2-5) em (2.2-3) tem-se que:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 - \lambda_1 & & & \\ \vdots & \mathbf{I} & & \\ a_n - \lambda_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{X}(k) + B u(k) +$$

$$+ \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \end{bmatrix} [y(k) - d^T u(k)] \quad (2.2-6)$$

$$\hat{y}(k) = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \hat{X}(k) + d^T u(k) \quad (2.2-7)$$

Seja o erro de estado definido por:

$$e(k) = X(k) - \hat{X}(k) \quad (2.2-8)$$

De (2.2-8):

$$e(k+1) = X(k+1) - \hat{X}(k+1) \quad (2.2-9)$$

Substituindo (2.2-1) e (2.2-6) em (2.2-9) tem-se que a equação dinâmica do erro de estado é:

$$e(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 - \lambda_1 & & & \\ & \vdots & & \\ & & \mathbb{I} & \\ a_n - \lambda_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} e(k) \quad (2.2-10)$$

Existem parâmetros  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  [5] que levam o sistema (2.2-10) ser assintoticamente estável, permitindo escrever que:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} e(k) = 0 \quad (2.2-11)$$

e como consequência:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \varepsilon(k) = 0 \quad (2.2-12)$$

A equação (2.2-11) estabelece que o observador descrito por (2.2-6) e (2.2-7) é capaz de observar os estados do processo (2.2-1) e (2.2-2) [1].

Escolhendo-se convenientemente valores para os coeficientes  $\lambda_i$ , obtêm-se dois tipos de observadores [1]:

$$a) \lambda_i = h_i \quad (2.2-13)$$

Com  $\lambda_i$  assumindo estes valores chega-se à estrutura dada em [5]:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} a_1^{-h_1} & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & & \\ a_n^{-h_n} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{X}(k) + B u(k) + \begin{bmatrix} h_1 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} [y(k) - d^T u(k)] \quad (2.2-14)$$

$$\hat{y}(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] \hat{X}(k) + d^T u(k) \quad (2.2-15)$$

e

$$\dot{e}(k+1) = \begin{bmatrix} a_1^{-h_1} & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & & \\ a_n^{-h_n} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} e(k) \quad (2.2-16)$$

Esta é a "estrutura I" de observação, conforme pode-se verificar na figura (2.1) [1], [2], onde as matrizes envolvidas estão assim definidas:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ \vdots & & \mathbf{I} & \\ a_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2-17)$$

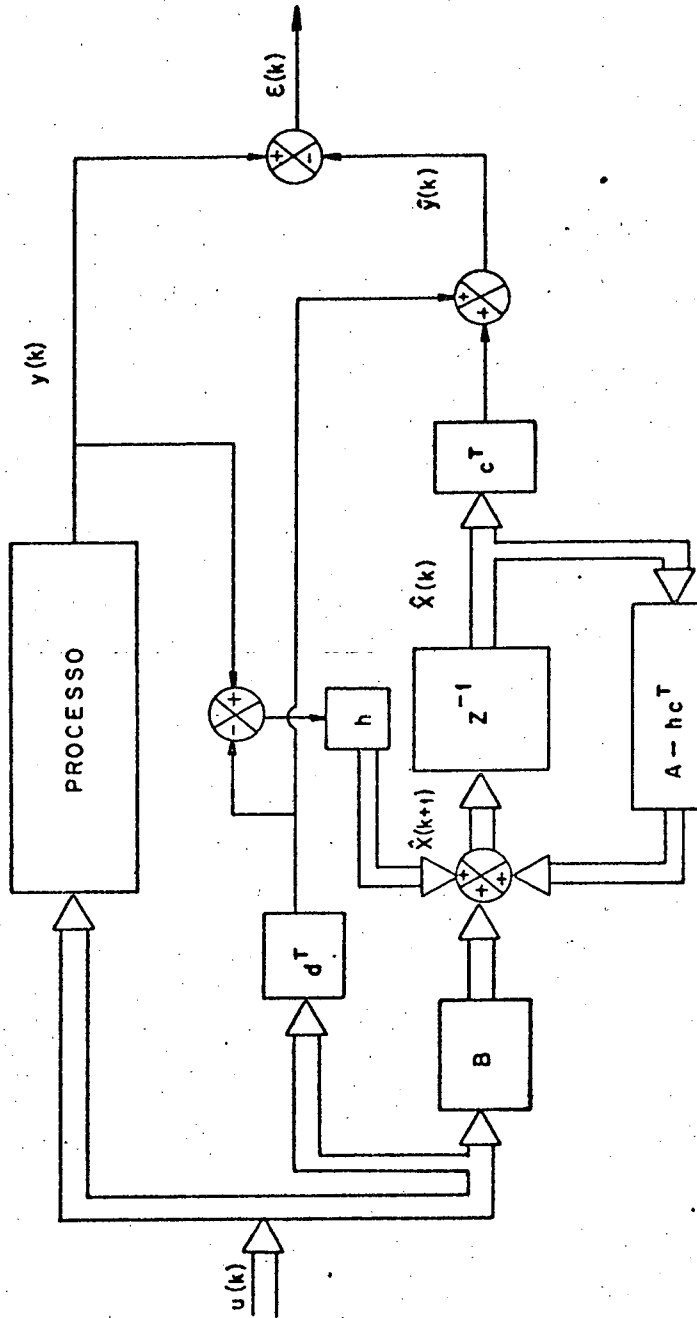


Figura (2.1) - "Estrutura I" - Observador Assintótico Linear da Forma Canônica de Observabilidade

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{n1} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \quad (2.2-18)$$

$$c^T = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \quad (2.2-19)$$

$$d^T = [d_1 \quad \dots \quad d_m] \quad (2.2-20)$$

$$h^T = [h_1 \quad \dots \quad h_n] \quad (2.2-21)$$

$$b) \lambda_i = a_i + h_i' \quad (2.2-22)$$

Neste caso chega-se à estrutura de observação descrita em [4]:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} -h_1' & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & & \\ -h_n' & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{X}(k) + B u(k) + \begin{bmatrix} a_1 + h_1' \\ \vdots \\ a_n + h_n' \end{bmatrix} [y(k) - d^T u(k)] \quad (2.2-23)$$

$$\hat{Y}(k) = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \hat{X}(k) + d^T u(k) \quad (2.2-24)$$

e

$$e(k+1) = \begin{bmatrix} -h_1' & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & & \\ -h_n' & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} e(k) \quad (2.2-25)$$

Esta é a "estrutura II" para observador, como pode ser verificada no diagrama representado na figura (2.2). As matrizes que o compõe são definidas como:



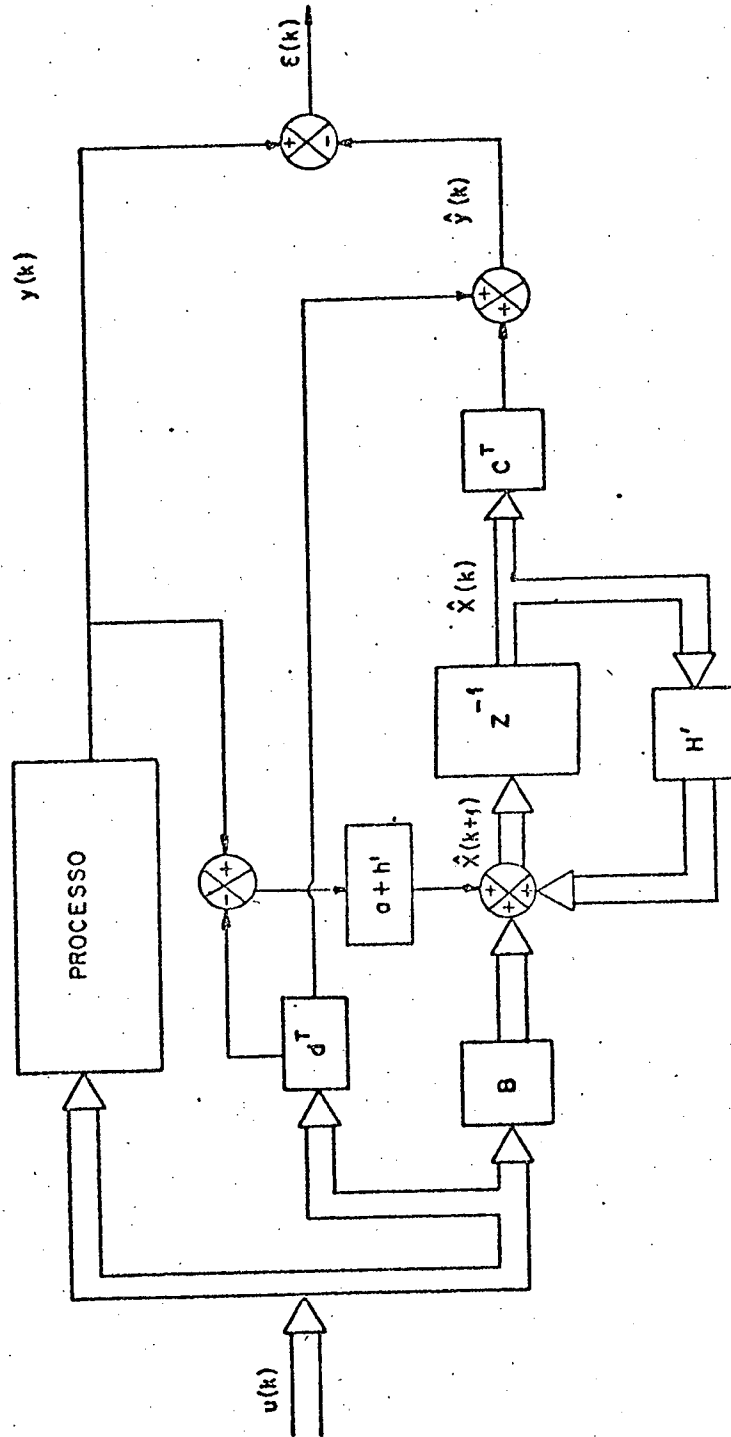


Figura (2.2) - "Estrutura II" - Observador Assintótico Linear da Forma Canônica de Observabilidade

$$H' = \begin{bmatrix} -h'_1 & & & & \\ & \vdots & & & \\ & & I & & \\ & & & & \\ -h'_n & 0 & \dots & 0 & \end{bmatrix} \quad (2.2-26)$$

$$a^T = [a_1 \quad \dots \quad a_n] \quad (2.2-27)$$

$$h'^T = [h'_1 \quad \dots \quad h'_n] \quad (2.2-28)$$

Com base nestas duas estruturas pode-se construir, quando os parâmetros do processo são desconhecidos ou mal conhecidos, os observadores adaptativos.

A partir da "estrutura I" obtêm-se o "observador adaptativo paralelo", enquanto que a "estrutura II" dá fundamento à construção do "observador adaptativo série-paralelo".

O motivo das designações "paralelo" e "série-paralelo" está relacionado às diferentes localizações dos parâmetros  $a_i$  nos modelos de observação determinados pelas estruturas I e II.

Conforme pode-se verificar nas figuras (2.1) e (2.2), na "estrutura I", os parâmetros  $a_i$  encontram-se em paralelo com aqueles do processo. Procede então a denominação de observador paralelo. No caso da "estrutura II", os coeficientes  $a_i$  do observador estão em série com seus correspondentes no processo, enquanto que em relação aos outros parâmetros, aqueles que compõem as matrizes B, c e d, existe paralelismo nas suas respectivas localizações nos modelos que descrevem o processo e o observador. Daí o nome de observador série-paralelo.

## 2.3 ALGORÍTMO DE ADAPTAÇÃO PARAMÉTRICA

### 2.3.1 FORMA PADRÃO

O objetivo principal da Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência (S.A.M.R.) é fazer com que um sistema ajustável se comporte, com a melhor aproximação possível, ao processo real, cujos parâmetros são desconhecidos ou pelo menos muito pouco conhecidos e, cujos estados se pretende observar [1], [2].

Na síntese de S.A.M.R., o modelo de referência, no caso de observação e identificação, é sempre o processo real e o modelo ajustável corresponde ao observador adaptativo. Este sistema ajustável e o mecanismo de adaptação, tratando-se de processos discretizados, podem ser implementados, como neste estudo, em um computador digital.

A forma padrão, através da qual os S.A.M.R. são estudados, foi idealizada por Landau [2] e permite usar a teoria de hiperestabilidade de V.M. Popov.

Esta forma se constitui num sistema equivalente àquele formado pelo modelo de referência, sistema ajustável e mecanismo de adaptação, mostrado na figura (1.1) do capítulo anterior.

Como é verificado no diagrama a seguir a forma padrão é composta de um sistema linear no ramo direto e de um sistema não-linear, com parâmetros variantes no tempo, no ramo de realimentação.

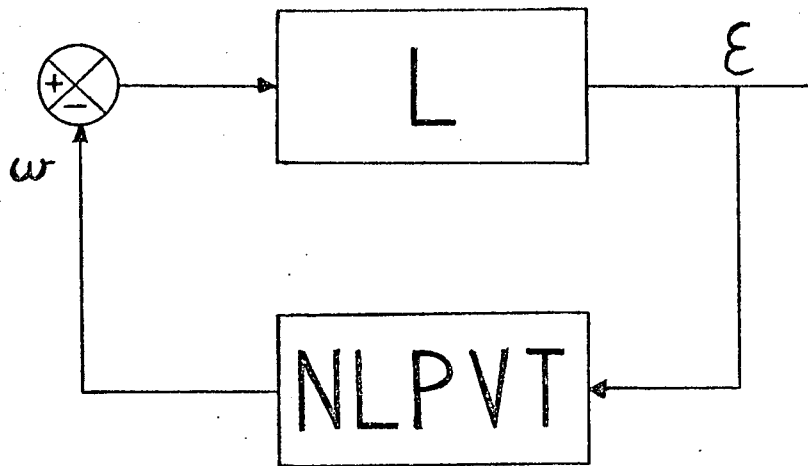


Figura (2.3) - Forma Padrão

Através desta forma estuda-se a estabilidade assintótica global de sistemas adaptativos aplicando-se o teorema de estabilidade relativo às classes  $L(\Lambda)$  e  $N(\Gamma)$ , [1], [3]. As definições de classes  $L(\Lambda)$  e  $N(\Gamma)$  estão contidas no Apêndice I.

O sistema linear representa a equação de erro de saída entre o processo e o sistema ajustável e, a parte não-linear contém o algoritmo de adaptação paramétrica.

### 2.3.2 CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE DA FORMA PADRÃO

O sistema linear, no diagrama (2.3), pode ser modelado, em termos de equação de estado como:

$$Z(k+1) = A Z(k) + b u(k) \quad (2.3-1)$$

$$\varepsilon(k) = c^T Z(k) + d u(k) \quad (2.3-2)$$

Este sistema representa o erro de saída entre o

processo e o observador adaptativo.

Tendo em conta a Figura (2.3):

$$u(k) = -\omega(k) \quad (2.3-3)$$

A entrada  $u(k)$  é definida do seguinte modo:

$$u(k) = -\underline{\alpha}^T(k) V(k) \quad (2.3-4)$$

e  $\underline{\alpha}(k)$  é o vetor que representa o desvio paramétrico definido por:

$$\underline{\alpha}(k) = \hat{p}(k) - p_c \quad (2.3-5)$$

onde:

$\hat{p}(k)$  é o vetor que contém os parâmetros ajustáveis;

$p_c$  é o vetor que abriga os parâmetros do processo;

$V(k)$  é o vetor de observação.

Em termos de equação diferença a parte linear é assim descrita:

$$\left[ 1 - a_1 q^{-1} - \dots - a_n q^{-n} \right] \varepsilon(k) = \left[ 1 + g_1 q^{-1} + \dots + g_n q^{-n} \right] u(k) \quad (2.3-6)$$

O sistema (2.3-6) deve pertencer à classe  $L(\lambda)$  [1].

O sistema linear é realimentado com um sistema não-linear à parâmetros variantes no tempo, o qual assume a forma seguinte em termos de equação de estado:

$$\bar{\Theta}(k+1) = \bar{\Theta}(k) + \xi(k) F(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.3-7)$$

$$\omega(k) = V^T(k) \bar{\Theta}(k) + V^T(k) G(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.3-8)$$

onde  $F(k)$  e  $G(k)$  são matrizes reais e  $\xi(k)$  é uma função real.

Partindo do teorema I-1 do Apêndice I a forma padrão é assintoticamente estável globalmente se as seguintes condições forem satisfeitas [1]:

1 - O sistema (2.3-1), (2.3-2) deve pertencer à classe  $L(\lambda)$ .

$$2 - \xi(k) = \frac{1 + \lambda_3(k+1) \lambda_2(k) V^T(k) G(k) V(k)}{\lambda_3(k+1) \lambda_1(k) + \lambda_3(k+1) \lambda_2(k) V^T(k) F(k) V(k)} \quad (2.3-9)$$

$\lambda_1(k)$ ,  $\lambda_2(k)$  e  $\lambda_3(k)$  são funções reais e definem-se como segue:

$$\lambda_1(k) > 0 \quad (2.3-10)$$

$$\lambda_2(k) \geq 0 \quad (2.3-11)$$

$$\lambda_3(k) > 0 \quad (2.3-12)$$

$$3 - G(k) = \frac{1}{2\lambda_1(k) \lambda_3(k+1)} F(k) + G'(k) \quad (2.3-13)$$

$$G'(k) \geq 0 \quad (2.3-14)$$

e é uma matriz real.

4 - A matriz de ganho  $F(k)$  deve satisfazer a equação:

$$F^{-1}(k+1) = \lambda_1(k) F^{-1}(k) + \lambda_2(k) V(k) V^T(k) \quad (2.3-15)$$

$$F(0) > 0 \quad (2.3-16)$$

$$5 - \lambda_3(k+1) \lambda_1(k) \leq \lambda_3(k) \quad (2.3-17)$$

$$\lambda_2(k) \lambda_3(k+1) \leq \lambda \quad (2.3-18)$$

$$6 - \gamma(k) = \lambda_2(k) \lambda_3(k+1) \quad (2.3-19)$$

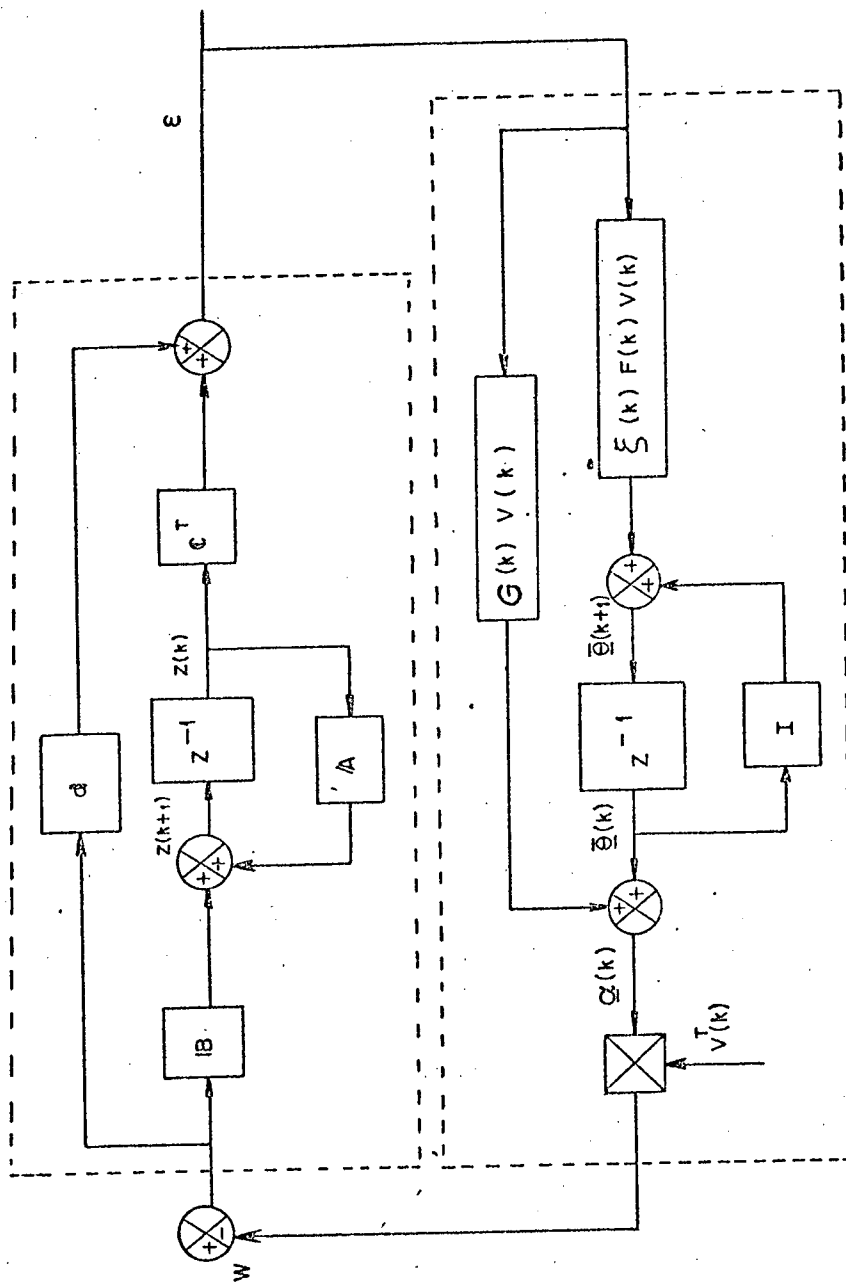


Figura (2.4) - Forma Padrão

A figura (2.4) esquematiza os blocos linear e não-linear da forma padrão usada em síntese de sistemas adaptativos.

### 2.3.3 LEIS DE ADAPTAÇÃO PARAMÉTRICA

O modo pelo qual o vetor  $\hat{p}(k)$  se aproxima de  $p_c$ , se origina das equações que descrevem a parte não-linear da forma padrão (2.3-7), (2.3-8).

Fazendo:

$$\bar{\theta}(k) = \underline{\theta}(k) - p_c \quad (2.3-20)$$

e substituindo (2.3-20) em (2.3-7), chega-se a:

$$\underline{\theta}(k+1) = \underline{\theta}(k) + \xi(k) F(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.3-21)$$

De (2.3-3) e (2.3-4) tem-se que:

$$\omega(k) = V^T(k) \underline{\alpha}(k) \quad (2.3-22)$$

então, de (2.3-8):

$$\underline{\alpha}(k) = \bar{\theta}(k) + G(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.3-23)$$

Substituindo (2.3-5) e (2.3-20) em (2.3-23), vem:

$$\hat{p}(k) = \underline{\theta}(k) + G(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.3-24)$$

As equações (2.3-21) e (2.3-24) compõem as leis de adaptação dos parâmetros ajustáveis de  $\hat{p}(k)$ .

A partir destas duas equações, chega-se às expressões gerais das leis de adaptação paramétrica, das quais são obtidas as leis de adaptação particulares.



As expressões gerais das leis de adaptação paramétrica são as seguintes [1]:

$$1 - \Delta p(k) = \hat{p}(k) - \hat{p}(k-1) = \bar{p}(k) + \bar{\bar{p}}(k+1) \quad (2.3-25)$$

$$2 - \bar{p}(k) = \bar{G}(k) V(k) \epsilon(k) \quad (2.3-26)$$

$$3 - \bar{\bar{p}}(k) = \bar{\bar{G}}(k) V(k) \epsilon(k) \quad (2.3-27)$$

$$4 - \bar{G}(k) = G(k) \quad (2.3-28)$$

$$5 - \bar{\bar{G}}(k) = \xi(k) F(k) - G(k) \quad (2.3-29)$$

$$6 - \underline{\theta}(k+1) = \underline{\theta}(k) + \bar{p}(k) + \bar{\bar{p}}(k) \quad (2.3-30)$$

$$7 - \hat{p}(k) = \underline{\theta}(k) + \bar{p}(k) \quad (2.3-31)$$

#### 2.3.4 ALGORÍTIMO À GANHO DECRESCENTE [1]

Na construção dos observadores adaptativos, neste trabalho, usou-se o algoritmo de adaptação paramétrica à ganho decrescente.

Para implementá-lo, partiu-se das condições de estabilidade assintótica para a parte não-linear da forma padrão dada por (2.3-9) até (2.3-19) e, também das equações que formam o conjunto das expressões gerais das leis de adaptação paramétrica, (2.3-25) à (2.3-31).

Fazendo:

$$\lambda_1(k) = 1 \quad (2.3-32)$$

$$0 \ll \lambda_2(k) \ll 1 \quad (2.3-33)$$

$$\lambda_3(k) = 1 \quad (2.3-34)$$

$$G'(k) = \frac{1}{2} F(k) \quad (2.3-35)$$

e considerando (2.3-13), chega-se a:

$$F(k) = G(k) \quad (2.3-36)$$

De (2.3-9) e usando um lema de inversão exposto no Apêndice I, chega-se a:

$$F(k+1) = F(k) - \frac{\lambda_2(k) F(k) V(k) V^T(k) F(k)}{1 + \lambda_2(k) V^T(k) F(k) V(k)} \quad (2.3-37)$$

Fazendo:

$$\lambda_2(k) = 1 \quad (2.3-38)$$

$$F(k+1) = F(k) - \frac{F(k) V(k) V^T(k) F(k)}{1 + V^T(k) F(k) V(k)} \quad (2.3-39)$$

De (2.3-18), vem:

$$\lambda = 1 \quad (2.3-40)$$

Assim a parte linear deve pertencer à classe L(1).

De (2.3-9), (2.3-32), (2.3-34) e (2.3-38), obtêm-se:

$$\xi(k) = 1 \quad (2.3-41)$$

Partindo de (2.3-41), (2.3-36) e (2.3-29):

$$\bar{G}(k) = 0 \quad (2.3-42)$$

Considerando (2.3-27) e (2.3-42):

$$\bar{p}(k) = 0 \quad (2.3-43)$$

De (2.3-30) e (2.3-43), vem:

$$\underline{\theta}(k+1) = \underline{\theta}(k) + \bar{p}(k) \quad (2.3-44)$$

Este algoritmo de adaptação a ganho decrescente pode ser resumido numa tabela como a que segue:

$1 - \bar{p}(k) = F(k) V(k) \epsilon(k)$ $2 - \hat{p}(k) = \underline{\theta}(k) + \bar{p}(k)$ $3 - \underline{\theta}(k+1) = \underline{\theta}(k) + \bar{p}(k)$ $4 - F(k+1) = F(k) - \frac{F(k) V(k) V^T(k) F(k)}{1 + V^T(k) F(k) V(k)}$
--

Tabela I - Algoritmo de Adaptação

Este algoritmo de adaptação juntamente com o vetor  $V(k)$ , compõem o mecanismo de adaptação.

Neste trabalho o valor inicial de  $F(k)$  foi considerado ser a matriz identidade multiplicada por um fator positivo desejado. Isto vem facilitar a restrição de que  $F(k)$  deve ser inicialmente definida positiva.

O valor inicial do ganho da matriz  $F(k)$  é importante pois dele também depende uma boa e rápida estimação dos parâmetros.

Neste trabalho considerou-se que  $\lambda_2(k)$  em (2.3-38) assume o valor unitário, implicando no fato de que os coeficientes da matriz  $F(k)$  tendem a zero com o decorrer do tempo durante a adaptação.

Supondo que o ganho inicial de  $F(k)$  não seja suficiente para a obtenção da estimacão desejada ou que ocorra a necessidade de uma nova estimacão, provocada por uma mudançã no valor dos parâmetros do processo, o algoritmo perde, então, a sua eficácia.

Para contornar este problema pode-se reinicializar o ganho toda vez que o erro de saída estiver fora de uma faixa aceitável, indicando que a identificação ainda não se completou ou que houve uma mudançã apreciável nos parâmetros do processo, advindo a necessidade de uma nova estimacão paramétrica. Outra solução consiste em fazer  $\lambda_2(k)$  em (2.3-38) igual a zero após um determinado número de iterações. Este procedimento garante uma boa estimacão e não permite que os coeficientes de  $F(k)$  convirjam para zero.

## 2.4 OBSERVADOR ADAPTATIVO SÉRIE-PARALELO PARA SISTEMAS AMOSTRADOS

### 2.4.1 DESCRICÃO MATEMÁTICA DO PROCESSO E DO OBSERVADOR

#### I - O PROCESSO

Considere um processo completamente controlável e observável. Isto posto ele pode ser colocado na forma canônica

de observabilidade, ou seja, numa realização mínima. A descrição do processo, por meio de equações de estado pode ser apresentada da seguinte maneira:

$$X(k+1) = \begin{bmatrix} a_1 & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & & \\ a_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} X(k) + \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{m1} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{1n} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ \vdots \\ u_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-1)$$

$$y(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] X(k) + [d_1 \ \dots \ d_m] \begin{bmatrix} u_1(k) \\ \vdots \\ u_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-2)$$

onde  $n$  corresponde à ordem do sistema e,  $m$  é o número de entradas.

## II - O OBSERVADOR

O observador adaptativo usado para estimar os estados e identificar os parâmetros do processo descrito por (2.4-1) e (2.4-2) está baseado no observador linear que possui a "estrutura II" dada por (2.2-23), (2.2-24) e utilizando o método de vários sinais auxiliares.

Este observador assume a forma a seguir:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} -h'_1 & & & \\ \vdots & & & \\ -h'_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{X}(k) + \begin{bmatrix} \hat{a}_1(k) + h'_1 \\ \vdots \\ \hat{a}_n(k) + h'_n \end{bmatrix} \left[ y(k) - \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) \right] +$$

$$+ \begin{bmatrix} \hat{b}_{11}(k) & \dots & \hat{b}_{m1}(k) \\ \vdots & & \vdots \\ \hat{b}_{1n}(k) & \dots & \hat{b}_{mn}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ \vdots \\ u_m(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\omega}_1(k) - h'_1 \hat{\omega}_0(k) \\ \vdots \\ \hat{\omega}_n(k) - h'_n \hat{\omega}_0(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-3)$$

$$\hat{y}(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] \hat{x}(k) + \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) + \hat{\omega}_0(k) \quad (2.4-4)$$

onde  $\hat{\omega}_i(k)$  representa os sinais auxiliares e o vetor  $h'$  é conhecido e constante. Os sinais auxiliares  $\hat{\omega}_i(k)$  são transitórios, isto é, desaparecem quando a adaptação é terminada. Estes sinais são importantes para se obter a forma padrão e assim garantir a estabilidade assintótica global. Quando a adaptação é concluída, o observador adaptativo se comporta como o observador linear (2.2-23) e (2.2-24) da "estrutura II".

O esquema da figura (2.5) mostra o observador adaptativo série-paralelo.

Nesta figura as matrizes que compõem o diagrama de finem-se como:

$$H' = \begin{bmatrix} -h'_1 & & & \\ \vdots & & \mathbf{I} & \\ -h'_n & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4-5)$$

$$\hat{B}(k) = \begin{bmatrix} \hat{b}_{11}(k) & \dots & \hat{b}_{m1}(k) \\ \vdots & & \vdots \\ \hat{b}_{1n}(k) & \dots & \hat{b}_{mn}(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-6)$$

$$\hat{a}^T(k) = [\hat{a}_1(k) \ \dots \ \hat{a}_n(k)] \quad (2.4-7)$$

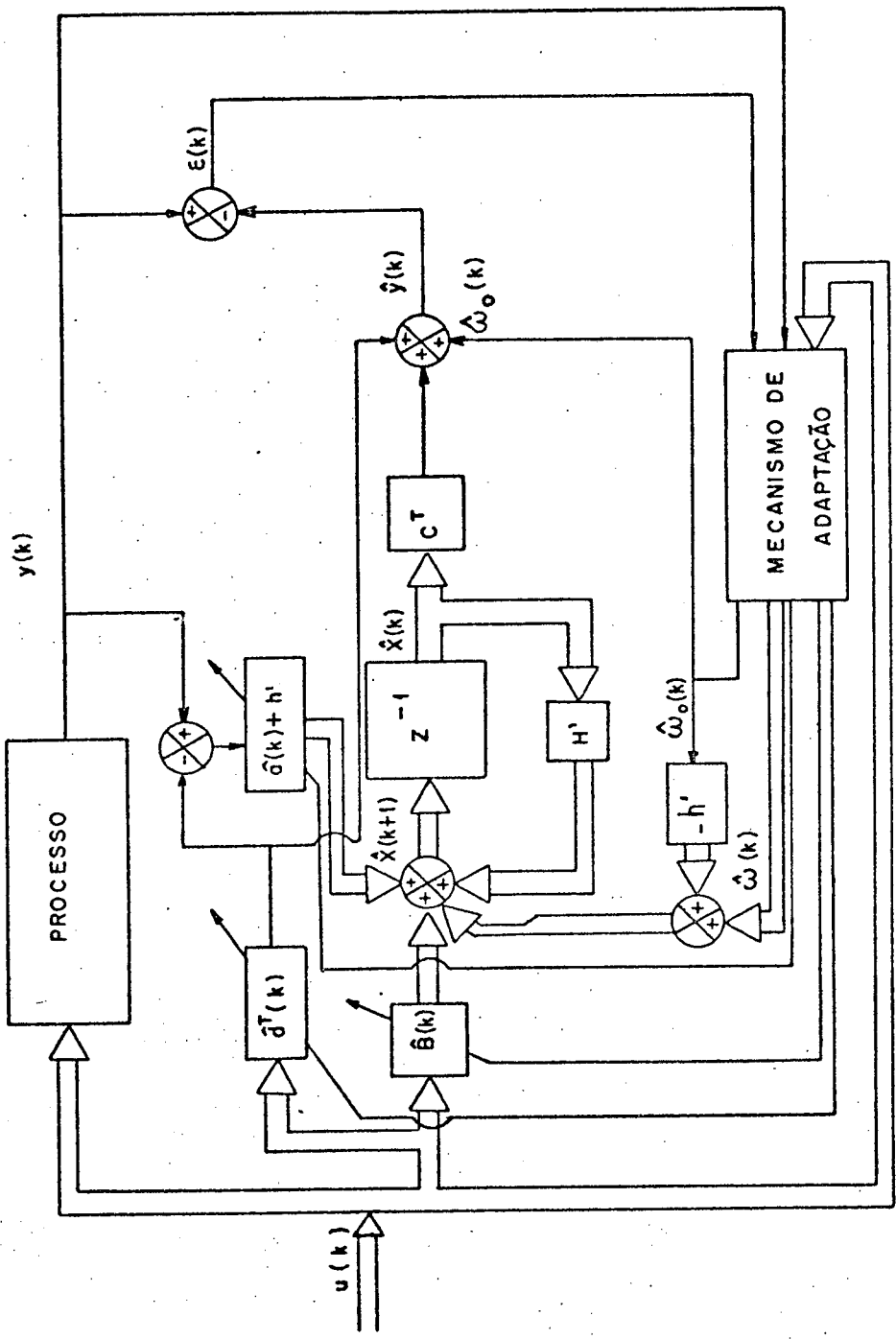


Figura (2.5) - Observador Adaptativo Série-Paralelo da Forma Canônica de Observabilidade

$$h'^T = [h'_1 \quad \dots \quad h'_n] \quad (2.4-8)$$

$$\hat{d}^T(k) = [\hat{d}_1(k) \quad \dots \quad \hat{d}_m(k)] \quad (2.4-9)$$

$$c^T = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0] \quad (2.4-10)$$

#### 2.4.2 A EQUAÇÃO DO ERRO

Partindo-se de (2.4-1) e (2.4-2) a equação de saída do processo toma a forma seguinte:

$$y(k) - \sum_{i=1}^n a_i y(k-i) = \sum_{j=1}^m d_j u_j(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \beta_{ji} u_j(k-i) \quad (2.4-11)$$

onde

$$\beta_{ji} = b_{ji} - d_j a_i \quad (i=1, \dots, n); \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-12)$$

De (2.4-3) e (2.4-4) a equação de saída do observador é assim descrita:

$$\begin{aligned} \hat{y}(k) + \sum_{i=1}^n h'_i \hat{y}(k-i) &= \sum_{i=1}^n \hat{a}_i(k-i) y(k-i) + \sum_{i=1}^n h'_i y(k-i) + \\ &+ \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_{ji}(k-i) u_j(k-i) + \sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_\ell(k-\ell) \end{aligned} \quad (2.4-13)$$

onde

$$\hat{\beta}_{ji}(k) = \hat{b}_{ji}(k) - \hat{d}_j(k) \hat{a}_i(k) \quad (2.4-14)$$

$$(i = 1, \dots, n); \quad (j = 1, \dots, m)$$

O erro de saída entre o processo e o observador é



definido por:

$$\epsilon(k) = y(k) - \hat{y}(k) \quad (2.4-15)$$

Tendo-se em conta as equações (2.4-11), (2.4-13) e (2.4.15), a equação do erro é escrita da forma a seguir:

$$\begin{aligned} \epsilon(k) + \sum_{i=1}^n h_i^! \epsilon(k-i) = & - \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i(k-i) - a_i] y(k-i) - \\ & - \sum_{j=1}^m [\hat{d}_j(k) - d_j] u_j(k) - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n [\hat{\beta}_{ji}(k-i) - \beta_{ji}] u_j(k-i) - \\ & - \sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_\ell(k-\ell) \end{aligned} \quad (2.4-16)$$

### 2.4.3 OBJETIVOS A ATINGIR

Considerando-se o erro de saída dado por (2.4-16) os objetivos, aos quais se deseja chegar, podem ser definidos como:

$$1 - \lim_{k \rightarrow \infty} [\hat{a}_i(k) - a_i] = 0 \quad (i=1, \dots, n) \quad (2.4-17)$$

$$2 - \lim_{k \rightarrow \infty} [\hat{b}_{ji}(k) - b_{ji}] = 0 \quad (j=1, \dots, m; i=1, \dots, n) \quad (2.4-18)$$

$$3 - \lim_{k \rightarrow \infty} [\hat{d}_j(k) - d_j] = 0 \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-19)$$

$$4 - \lim_{k \rightarrow \infty} \hat{\omega}_i(k) = 0 \quad (i=1, \dots, n) \quad (2.4-20)$$

$$5 - \lim_{k \rightarrow \infty} \epsilon(k) = 0 \quad (2.4-21)$$

Para que estas metas sejam atingidas um mecanismo que adapte os parâmetros ajustáveis e gere os sinais auxiliares deve ser construído.

Este mecanismo está baseado nas leis de adaptação paramétrica. Se os objetivos são atendidos, conclui-se que os estados do observador estimam os estados do processo [1].

#### 2.4.4 SINAIS AUXILIARES

A finalidade dos sinais auxiliares é apresentar os Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência na forma padrão. Isto permite a aplicação do teorema de Estabilidade Assintótica (teorema I-1, apêndice I) de modo a se chegar a um algoritmo de adaptação paramétrica conveniente.

A parte linear da forma padrão, que representa a equação do erro de saída, pode ser descrita como segue:

$$\begin{aligned} \varepsilon(k) + \sum_{i=1}^n h_i^* \varepsilon(k-i) = - \left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] & \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k) - a_i \right] v_{Y_i}(k) + \right. \\ + \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] v_{u_{j0}}(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k) - \beta_{ji} \right] v_{u_{ji}}(k) & \left. \right\} \end{aligned} \quad (2.4-22)$$

onde  $v_{u_{ji}}(k)$  e  $v_{Y_i}(k)$  são valores filtrados de  $u_j(k)$  e  $y(k)$  satisfazendo as seguintes equações:

$$\left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] v_{u_{ji}}(k) = u_j(k-i) \quad (2.4-23)$$

$$\left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] v_{y_i}(k) = y(k-i) \quad (2.4-24)$$

Nas quais os coeficientes  $g_{\ell}$  são calculados convenientemente.

Os sinais filtrados podem, equivalentemente, ser obtidos dos sistemas:

$$v_{u_{j0}}(k) = \begin{bmatrix} -g_1 & \dots & -g_n \end{bmatrix} v_{u_j}(k) + u_j(k) \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-25)$$

$$v_{u_j}(k+1) = \begin{bmatrix} -g_1 & \dots & -g_n \\ & \mathbf{I} & 0 \\ & & \vdots \\ & & 0 \end{bmatrix} v_{u_j}(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} u_j(k) \quad (2.4-26)$$

$$v_y(k+1) = \begin{bmatrix} -g_1 & \dots & -g_n \\ & \mathbf{I} & 0 \\ & & \vdots \\ & & 0 \end{bmatrix} v_y(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} y(k) \quad (2.4-27)$$

onde os vetores  $v_y(k)$  e  $v_{u_j}(k)$  são definidos como:

$$v_y^T(k) = \begin{bmatrix} v_{y_1}(k) & \dots & v_{y_n}(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-28)$$

$$v_{u_j}^T(k) = \begin{bmatrix} v_{u_{j1}}(k) & \dots & v_{u_{jn}}(k) \end{bmatrix} \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-29)$$

Os sinais auxiliares são calculados de modo que a equação (2.4-16) assuma a forma da equação (2.4-22).

Comparando-as, chega-se a:

$$\begin{aligned}
\sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_{\ell}(k-\ell) &= \left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k) - a_i \right] v_{Y_i}(k) + \right. \\
&+ \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] v_{u_{j0}}(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k) - \beta_{ji} \right] v_{u_{ji}}(k) \left. \right\} - \\
&- \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k-i) - a_i \right] y(k-i) - \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] u_j(k) - \\
&- \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k-i) - \beta_{ji} \right] u_j(k-i) \quad (2.4-30)
\end{aligned}$$

Aplicando-se os lemas LII-1 e LII-2 contidos no Apêndice II à esta equação e lembrando que o algoritmo de adaptação empregado é a ganho decrescente, chega-se à equação que possibilitará o cálculo dos sinais auxiliares:

$$\begin{aligned}
\sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_{\ell}(k-\ell) &= \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} r_{\ell}(v_Y, \hat{a}, g, n) + \\
&+ \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} \sum_{j=1}^m \omega_{\ell}(v_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) \quad (2.4-31)
\end{aligned}$$

$$\hat{\omega}_{\ell}(k) = r_{\ell}(v_Y, \hat{a}, g, n) + \sum_{j=1}^m \omega_{\ell}(v_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) \quad (2.4-32)$$

onde:

$$\hat{\beta}_j^T(k) = \left[ \hat{\beta}_{j1}(k) \dots \hat{\beta}_{jn}(k) \right] \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-33)$$

a)  $\ell=0$

$$r_0(v_Y, \hat{a}, g, n) = \sum_{i=1}^n \bar{a}_i(k) v_{Y_i}(k) \quad (2.4-34)$$

$$\sum_{j=1}^m \omega_0 (v_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) = \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \left[ v_{u_{j0}}(k) - u_j(k) \right] +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) v_{u_{ji}}(k) \quad (2.4-35)$$

$$g_0 = 1 \quad (2.4-36)$$

b)  $1 \leq \ell \leq n-1$

$$r_\ell(v_Y, \hat{a}, g, n) = - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) +$$

$$+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) \quad (2.4-37)$$

$$\sum_{j=1}^m \omega_\ell (v_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) = - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \sum_{i=\ell+1}^n g_i v_{u_{j,i-\ell}}(k) -$$

$$- \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^{\ell} \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=\ell+1}^n g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=0}^{\ell} g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] \quad (2.4-38)$$

c)  $\ell=n$

$$r_n(v_Y, \hat{a}, g, n) = 0 \quad (2.4-39)$$

$$\sum_{j=1}^m \omega_n (v_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) = 0 \quad (2.4-40)$$

E finalmente tem-se:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_0(k) &= \sum_{i=1}^n \bar{a}_i(k) v_{Y_i}(k) + \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \left[ v_{u_{j0}}(k) - u_j(k) \right] + \\ &+ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) v_{u_{ji}}(k) \end{aligned} \quad (2.4-41)$$

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_\ell(k) &= - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) + \\ &+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \sum_{i=\ell+1}^n g_i v_{u_{j,i-\ell}}(k) - \\ &- \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^{\ell} \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=\ell+1}^n g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] + \\ &+ \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=0}^{\ell} g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] \quad (\ell=1, \dots, n-1) \end{aligned} \quad (2.4-42)$$

#### 2.4.5 PARTE LINEAR DA FORMA PADRÃO

Seja os vetores definidos por:

$$p_c^T = \left[ a_1 \dots a_n \ d_1 \ \beta_{11} \dots \beta_{1n} \dots d_m \ \beta_{m1} \dots \beta_{mn} \right] \quad (2.4-43)$$

$$\begin{aligned} \hat{p}^T(k) &= \left[ \hat{a}_1(k) \dots \hat{a}_n(k) \ \hat{d}_1(k) \ \hat{\beta}_{11}(k) \dots \hat{\beta}_{1n}(k) \dots \right. \\ &\left. \dots \hat{d}_m(k) \ \hat{\beta}_{m1}(k) \dots \hat{\beta}_{mn}(k) \right] \end{aligned} \quad (2.4-44)$$

$$\begin{aligned} v^T(k) &= \left[ v_{Y_1}(k) \dots v_{Y_n}(k) \ v_{u_{10}}(k) \ v_{u_{11}}(k) \dots v_{u_{1n}}(k) \dots \right. \\ &\left. \dots v_{u_{m0}}(k) \ v_{u_{m1}}(k) \dots v_{u_{mn}}(k) \right] \end{aligned} \quad (2.4-45)$$

Substituindo (2.4-43), (2.4-44) e (2.4-45) em (2.4-22) chega-se à equação que descreve a parte linear da forma padrão:

$$\varepsilon(k) + \sum_{i=1}^n h_i' \varepsilon(k-i) = - \left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] v^T(k) \left[ \hat{p}(k) - p_c \right] \quad (2.4-46)$$

Os coeficientes  $g_j$  são calculados de tal modo que o sistema (2.4-46) pertença à classe L(1). Um método de cálculo destes coeficientes  $g_j$  é apresentado no apêndice III.

Os parâmetros  $h_i'$  são escolhidos de tal maneira, que permitam que o sistema descrito por (2.4-3), (2.4-4) seja assintoticamente estável.

#### 2.4.6 LEIS DE ADAPTAÇÃO PARAMÉTRICA À GANHO DECRESCENTE

Partindo do conjunto de equações que compõem a tabela I, obtêm-se as leis de adaptação paramétrica:

$$\begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{p}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{p}_m(k) \end{bmatrix} = F(k) V(k) \varepsilon(k) \quad (2.4-47)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{a}(k) \\ \hat{d}_1(k) \\ \hat{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \hat{d}_m(k) \\ \hat{\beta}_m(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\theta}_a(k) \\ \underline{\theta}_{d_1}(k) \\ \underline{\theta}_{\beta_1}(k) \\ \vdots \\ \underline{\theta}_{d_m}(k) \\ \underline{\theta}_{\beta_m}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-48)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{\theta}_a(k+1) \\ \underline{\theta}_{d_1}(k+1) \\ \underline{\theta}_{\beta_1}(k+1) \\ \vdots \\ \underline{\theta}_{d_m}(k+1) \\ \underline{\theta}_{\beta_m}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{\theta}_a(k) \\ \underline{\theta}_{d_1}(k) \\ \underline{\theta}_{\beta_1}(k) \\ \vdots \\ \underline{\theta}_{d_m}(k) \\ \underline{\theta}_{\beta_m}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.4-49)$$

$$\hat{b}_j(k) = \hat{\beta}_j(k) + \hat{d}_j(k) \hat{a}(k) \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-50)$$

onde:

$$\bar{a}^T(k) = [\bar{a}_1(k) \dots \bar{a}_n(k)] \quad (2.4-51)$$

$$\bar{\beta}_j^T(k) = [\bar{\beta}_{j1}(k) \dots \bar{\beta}_{jn}(k)] \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-52)$$

$$\hat{a}^T(k) = [\hat{a}_1(k) \dots \hat{a}_n(k)] \quad (2.4-53)$$

$$\underline{\theta}_a^T(k) = [\underline{\theta}_{a1}(k) \dots \underline{\theta}_{an}(k)] \quad (2.4-54)$$

$$\hat{b}_j^T(k) = [\hat{b}_{j1}(k) \dots \hat{b}_{jn}(k)] \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-55)$$

$$\bar{p}^T(k) = [\bar{a}(k) \bar{d}_1(k) \bar{\beta}_1(k) \dots \bar{d}_m(k) \bar{\beta}_m(k)] \quad (2.4-56)$$

$$\hat{p}^T(k) = [\hat{a}(k) \hat{d}_1(k) \hat{\beta}_1(k) \dots \hat{d}_m(k) \hat{\beta}_m(k)] \quad (2.4-57)$$



Através das condições de estabilidade assintótica global dadas no ítem (2.3.2) garante-se a equação (2.4-21).

Com o erro de saída  $\epsilon(k)$  nulo, tem-se que:

$$\begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} = 0 \quad (2.4.58)$$

Como consequência de (2.4-58), os sinais auxiliares tendem para zero.

Considerando as equações (2.4-58) e (2.4-48) conclui-se que o vetor  $\hat{p}(k)$  permanece constante.

Tendo-se em conta a equação (2.4-16) e o exposto acima pode-se afirmar que os objetivos definidos pelas expressões (2.4-17), (2.4-18) e (2.4-19) são atendidos.

#### 2.4.7 CÁLCULO DO ERRO

Neste sub-ítem procede-se a explicitação do erro de saída  $\epsilon(k)$  para contornar um problema que se apresenta como um círculo vicioso.

Nota-se através das equações (2.4-16), (2.4-47) e (2.4-48) que para se calcular  $\epsilon(k)$  é necessário o conhecimento dos parâmetros do vetor  $\hat{p}(k)$ , enquanto que, por outro lado, o cálculo de  $\hat{p}(k)$  exige o conhecimento de  $\epsilon(k)$ .

A solução deste impasse consiste em se procurar calcular  $\varepsilon(k)$  tão somente com base em valores conhecidos anteriormente.

Considerando as equações (2.4-41), (2.4-45) e (2.4-46), chega-se a:

$$\hat{\omega}_0(k) = V^T(k) F(k) V(k) \varepsilon(k) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) u_j(k) \quad (2.4-59)$$

Das expressões (2.4-2), (2.4-4) e (2.4-15) o erro se escreve como:

$$\varepsilon(k) = y(k) - \hat{x}_1(k) - \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) - \hat{\omega}_0(k) \quad (2.4-60)$$

De (2.4-48) tira-se:

$$\hat{d}_j(k) = \theta_{d_j}(k) + \bar{d}_j(k) \quad (j=1, \dots, m) \quad (2.4-61)$$

Substituindo-se (2.4-61) e (2.4-59) em (2.4-60), obtêm-se:

$$\begin{aligned} \varepsilon(k) &= y(k) - \hat{x}_1(k) - \sum_{j=1}^m (\theta_{d_j}(k) + \bar{d}_j(k)) u_j(k) - \\ &- V^T(k) F(k) V(k) \varepsilon(k) + \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) u_j(k) \end{aligned} \quad (2.4-62)$$

e daí:

$$\varepsilon(k) = \frac{y(k) - \hat{x}_1(k) - \sum_{j=1}^m \theta_{d_j}(k) u_j(k)}{1 + V^T(k) F(k) V(k)} \quad (2.4-63)$$

que corresponde ao erro de saída completamente explicitado.

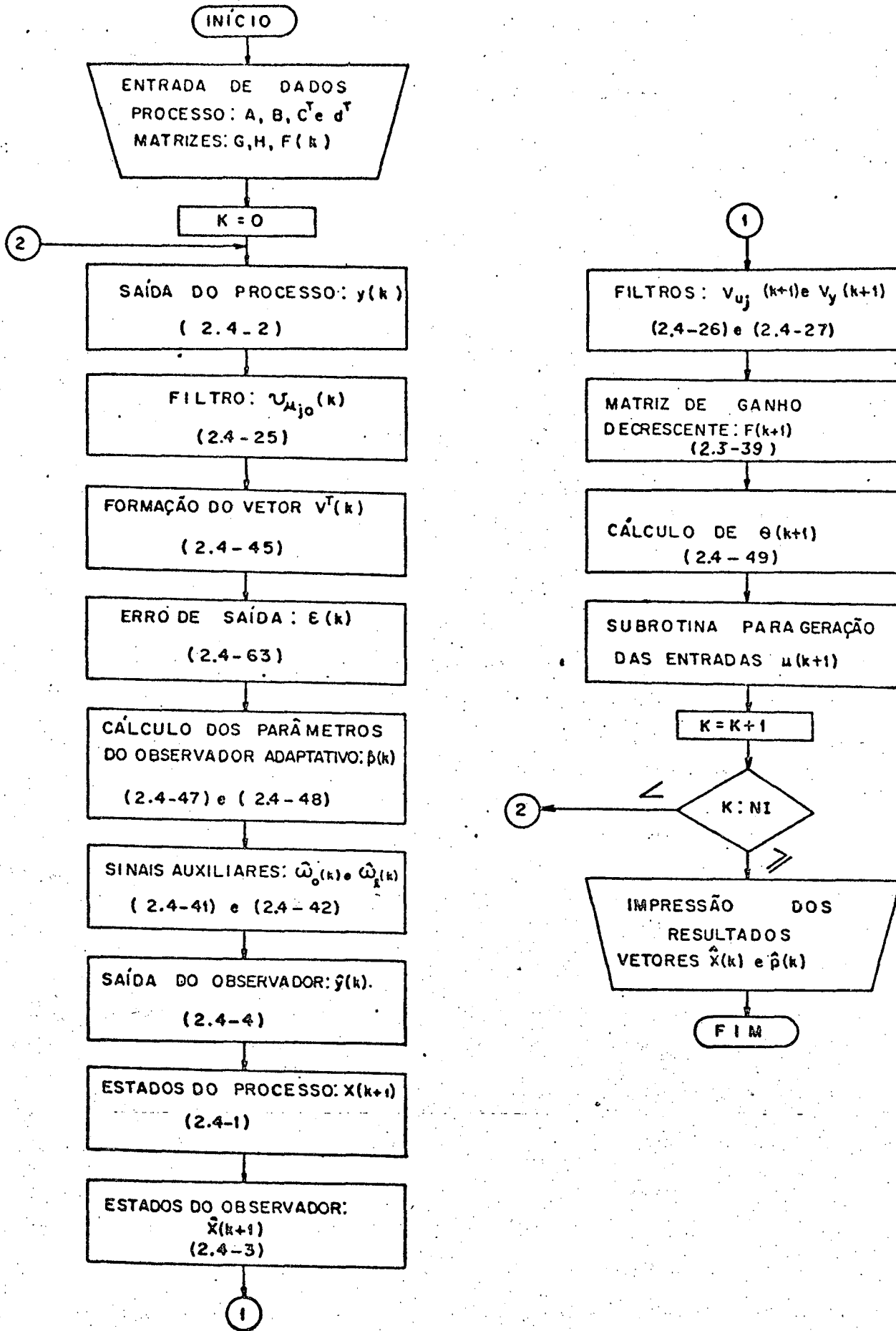


Figura (2.6) - Fluxograma do Algoritmo do Observador Adaptativo Série-Paralelo

## 2.4-8 FLUXOGRAMA DO ALGORÍTMO

A figura (2.6) representa o fluxograma do algoritmo do observador adaptativo descrito. Mostra também a possibilidade de implementação em computador digital com objetivo de se realizar uma simulação.

## 2.5 OBSERVADOR ADAPTATIVO PARALELO PARA SISTEMAS AMOSTRADOS

### 2.5.1 DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DO PROCESSO E DO OBSERVADOR

O processo tem a forma definida pelas equações (2.4-1) e (2.4-2).

Este observador adaptativo é construído a partir da "estrutura I" dada por (2.2-14) e (2.2-15).

Observe também que ele ajusta os parâmetros  $h_i$ .

O observador adaptativo é, neste caso, assim descrito:

$$\hat{X}(k+1) = \begin{bmatrix} \hat{a}_1(k) - \hat{h}_1(k) & & & & \\ & \vdots & & & \\ & & \mathbf{I} & & \\ \hat{a}_n(k) - \hat{h}_n(k) & 0 & \dots & 0 & \end{bmatrix} \hat{X}(k) +$$

$$+ \begin{bmatrix} \hat{h}_1(k) \\ \vdots \\ \hat{h}_n(k) \end{bmatrix} \left[ y(k) - \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) \right] + \begin{bmatrix} \hat{b}_{11}(k) & \dots & \hat{b}_{m1}(k) \\ \vdots & & \vdots \\ \hat{b}_{1n}(k) & \dots & \hat{b}_{mn}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ \vdots \\ u_m(k) \end{bmatrix} +$$

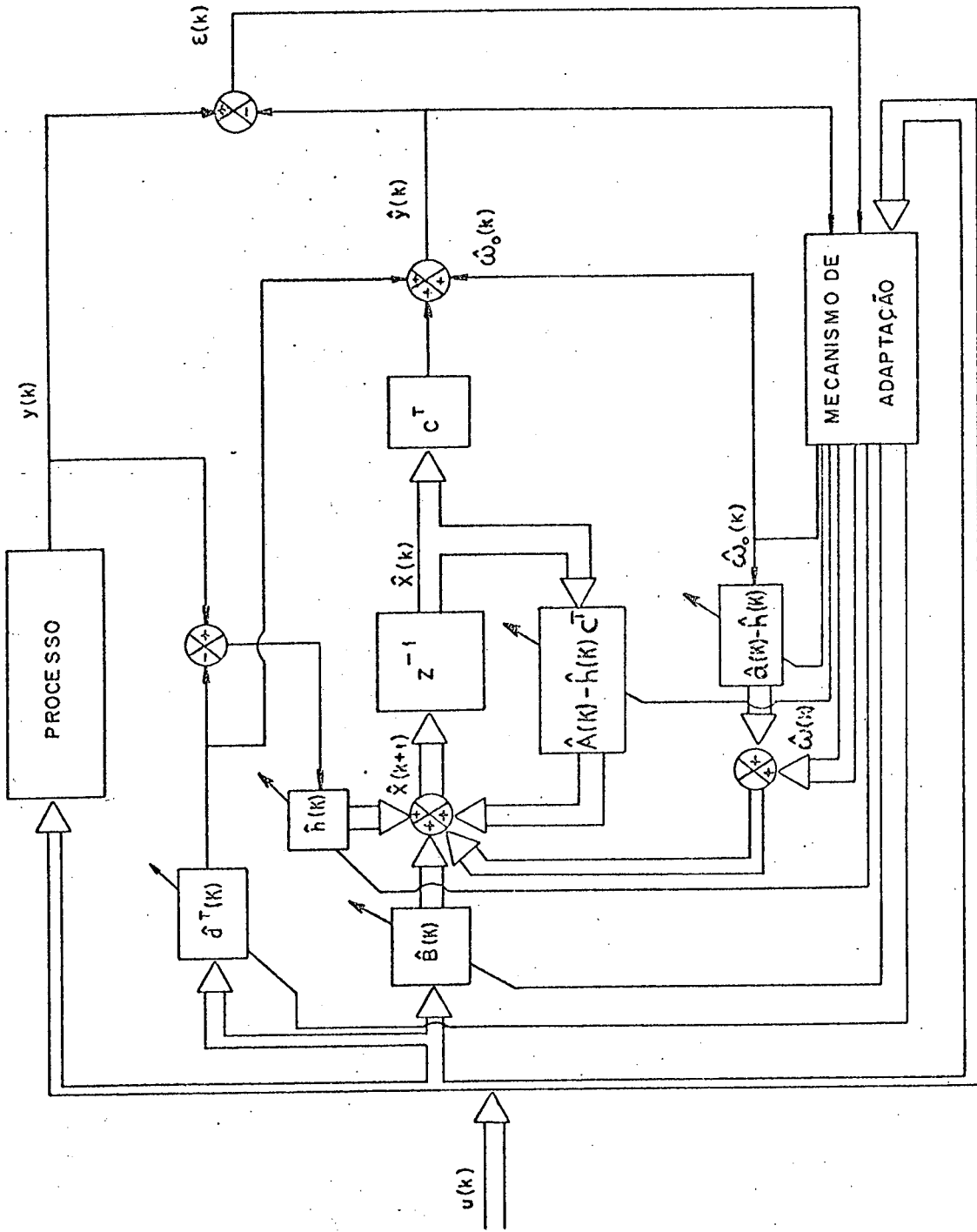


Figura (2.7) - Observador Adaptativo Paralelo da Forma Canônica de Observabilidade

$$+ \begin{bmatrix} \hat{\omega}_1(k) + [\hat{a}_1(k) - \hat{h}_1(k)] \hat{\omega}_0(k) \\ \vdots \\ \hat{\omega}_n(k) + [\hat{a}_n(k) - \hat{h}_n(k)] \hat{\omega}_0(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-1)$$

$$\hat{y}(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \hat{x}(k) + \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) + \hat{\omega}_0(k) \quad (2.5-2)$$

Onde  $\hat{\omega}_i(k)$  são os sinais auxiliares, sendo válidas as considerações feitas anteriormente.

A Figura (2.7) dá a idéia deste observador. As matrizes que fazem parte deste diagrama são definidas como:

$$\hat{A}(k) = \begin{bmatrix} \hat{a}_1(k) & & & \\ & \mathbf{I} & & \\ & & \ddots & \\ \hat{a}_n(k) & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (2.5-3)$$

$$\hat{h}^T(k) = \begin{bmatrix} \hat{h}_1(k) & \dots & \hat{h}_n(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-4)$$

As outras matrizes possuem a mesma definição que no caso do diagrama da figura (2.5).

### 2.5.2 EQUAÇÃO DO ERRO

A equação de saída do processo é expressa como (2.4-11). A expressão que representa a saída do observador, a partir de (2.5-1) e (2.5-2) fica:

$$\hat{y}(k) - \sum_{i=1}^n [\hat{a}_i(k-i) - \hat{h}_i(k-i)] \hat{y}(k-i) = \sum_{i=1}^n \hat{h}_i(k-i) y(k-i) + \sum_{j=1}^m \hat{d}_j(k) u_j(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_{ji}(k) u_j(k-i) + \sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_\ell(k-\ell) \quad (2.5-5)$$

$\hat{\beta}_{ji}(k)$  é dado por (2.4-14)

Partindo-se da equação (2.4-15) e tendo em conta as equações (2.4-11) e (2.5-5), a equação do erro assume a forma:

$$\begin{aligned} \epsilon(k) - \sum_{i=1}^n \left[ a_i - \hat{h}_i(k-i) \right] \epsilon(k-i) &= - \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k-i) - a_i \right] \hat{y}(k-i) - \\ &- \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] u_j(k) - \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k-i) - \beta_{ji} \right] u_j(k-i) - \\ &- \sum_{\ell=0}^m \hat{\omega}_\ell(k-\ell) \end{aligned} \quad (2.5-6)$$

### 2.5.3 OBJETIVOS A ATINGIR

Os objetivos, os quais se pretende atingir com este observador são aqueles mesmos definidos pelas equações (2.4-17), (2.4-18), (2.4-19), (2.4-20) e (2.4-21).

### 2.5.4 SINAIS AUXILIARES

Os sinais  $\hat{\omega}_i(k)$  devem ser tais que a equação (2.5-6) assuma a estrutura seguinte, a qual representa a parte linear da forma padrão:

$$\begin{aligned} \epsilon(k) - \sum_{i=1}^n (a_i - h_i) \epsilon(k-i) &= \\ &= - \left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k) - a_i \right] v_{\hat{y}_i}(k) + \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] v_{u_{j0}}(k) + \right. \end{aligned}$$

$$+ \left. \begin{aligned} & \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k) - \beta_{ji} \right] v_{u_{ji}} + \sum_{i=1}^n \left[ \hat{h}_i(k) - h_i \right] v_{\varepsilon_i}(k) \end{aligned} \right\} \quad (2.5-7)$$

Fazendo a comparação desta equação com a (2.5-6),  
tem-se:

$$\begin{aligned} \sum_{\ell=0}^n \hat{\omega}_{\ell}(k-\ell) &= \left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k) - a_i \right] v_{\hat{y}_i} + \right. \\ &+ \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] v_{u_{j0}}(k) + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_{ji}(k) - \beta_{ji} \right] v_{u_{ji}}(k) + \\ &+ \left. \sum_{i=1}^n \left[ \hat{h}_i(k) - h_i \right] v_{\varepsilon_i}(k) \right\} - \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k-i) - a_i \right] \hat{y}(k-i) - \\ &- \sum_{j=1}^m \left[ \hat{d}_j(k) - d_j \right] u_j(k) - \sum_{i=1}^n \left[ \hat{h}_i(k-i) - h_i \right] \varepsilon(k-i) \end{aligned} \quad (2.5-8)$$

Aplicando-se os lemas LII-1 e LII2 à esta equação (2.5-8) e considerando o uso do algoritmo de adaptação à ganho de crescente tem-se:

$$\begin{aligned} \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} \hat{\omega}_{\ell}(k) &= \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} r_{\ell}(V_{\hat{y}}, \hat{a}, g, n) + \\ &+ \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} \sum_{j=1}^m \omega_{\ell}(V_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) + \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} r_{\ell}(V_{\varepsilon}, \hat{h}, g, n) \end{aligned} \quad (2.5-9)$$

E daí:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_{\ell}(k) &= r_{\ell}(V_{\hat{y}}, \hat{a}, g, n) + \sum_{j=1}^m \omega_{\ell}(V_{u_j}, \hat{d}_j, \hat{\beta}_j, g, n) + \\ &+ r_{\ell}(V_{\varepsilon}, \hat{h}, g, n) \quad (\ell=0, \dots, n) \end{aligned} \quad (2.5.10)$$



Na equação (2.5-7) os valores de  $v_{\hat{y}_i}(k)$ ,  $v_{\varepsilon_i}(k)$  e  $v_{u_{ji}}(k)$  correspondem às saídas dos filtros pelos quais  $\hat{y}(k)$ ,  $\varepsilon(k)$  e  $u_j(k)$  respectivamente, e, satisfazem as seguintes expressões:

$$\left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] v_{\hat{y}}(k) = \hat{y}(k-i) \quad (2.5-11)$$

$$\left[ 1 + \sum_{\ell=1}^n g_{\ell} q^{-\ell} \right] v_{\varepsilon_i}(k) = \varepsilon(k-i) \quad (2.5-12)$$

sendo que para o caso de  $u_j(k)$  vale a equação (2.4-23).

Estes sinais filtrados podem também serem conseguidos dos sistemas representados pelas equações (2.4-25) e (2.4-26), bem como através dos que seguem:

$$V_{\hat{y}}(k+1) = \begin{bmatrix} -g_1 & \dots & -g_n \\ \mathbf{I} & & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{matrix} \end{bmatrix} V_{\hat{y}}(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \hat{y}(k) \quad (2.5-13)$$

$$V_{\varepsilon}(k+1) = \begin{bmatrix} -g_1 & \dots & -g_n \\ \mathbf{I} & & \begin{matrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{matrix} \end{bmatrix} V_{\varepsilon}(k) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \varepsilon(k) \quad (2.5-14)$$

onde os vetores  $V_{\hat{y}}(k)$  e  $V_{\varepsilon}(k)$  são definidos como:

$$V_{\hat{y}}^T(k) = \begin{bmatrix} v_{\hat{y}_1}(k) & \dots & v_{\hat{y}_n}(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-15)$$

$$V_{\varepsilon}^T(k) = \begin{bmatrix} v_{\varepsilon_1}(k) & \dots & v_{\varepsilon_n}(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-16)$$

A equação (2.5-10) é pormenorizada pelo que é apresentado na sequência:

a)  $\ell=0$ 

$$r_0(V_{\hat{y}}, \hat{a}, g, n) = \sum_{i=1}^n \bar{a}_i(k) v_{\hat{y}_i}(k) \quad (2.5-17)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \omega_0(V_{u_j}, \hat{a}_j, \hat{\beta}_j, g, n) &= \sum_{j=1}^m \bar{a}_j(k) \left[ v_{u_{j0}}(k) - u_j(k) \right] + \\ &+ \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) v_{u_{ji}}(k) \end{aligned} \quad (2.5-18)$$

$$r_0(V_{\epsilon}, \hat{h}, g, n) = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i(k) v_{\epsilon_i}(k) \quad (2.5-19)$$

b)  $1 \leq \ell \leq n-1$ 

$$\begin{aligned} r_{\ell}(V_{\hat{y}}, \hat{a}, g, n) &= - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{\hat{y}_{i+j-\ell}}(k) + \\ &+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{\hat{y}_{i+j-\ell}}(k) \end{aligned} \quad (2.5-20)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m \omega_{\ell}(V_{u_j}, \hat{a}_j, \hat{\beta}_j, g, n) &= - \sum_{j=1}^m \bar{a}_j(k) \sum_{i=\ell+1}^n g_i v_{u_{j,i-\ell}}(k) - \\ &- \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^{\ell} \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=\ell+1}^n g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] + \\ &+ \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=0}^{\ell} g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] \end{aligned} \quad (2.5-21)$$

$$\begin{aligned} r_{\ell}(V_{\epsilon}, \hat{h}, g, n) &= - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{h}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{\epsilon_{i+j-\ell}}(k) + \\ &+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{h}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{\epsilon_{i+j-\ell}}(k) \end{aligned} \quad (2.5-22)$$

c)  $\ell=n$ 

$$r_n(V_{\hat{y}}, \hat{a}, g, n) = 0 \quad (2.5-23)$$

$$\sum_{j=1}^m \hat{\omega}_n(V_{u_j}, \hat{a}_j, \hat{\beta}_j, g, n) = 0 \quad (2.5-24)$$

$$r_n(V_{\epsilon}, \hat{h}, g, n) = 0 \quad (2.5-25)$$

Finalmente tem-se:

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_0(k) = & \sum_{i=1}^n \bar{a}_i(k) v_{\hat{y}_i}(k) + \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \left[ v_{u_{j0}}(k) - u_j(k) \right] + \\ & + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) v_{u_{ji}}(k) + \sum_{i=1}^n \bar{h}_i(k) v_{\epsilon_i}(k) \end{aligned} \quad (2.5-26)$$

$$\begin{aligned} \hat{\omega}_{\ell}(k) = & - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{\hat{y}_{i+j-\ell}}(k) + \\ & + \sum_{i=\ell+1}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{\hat{y}_{i+j-\ell}}(k) - \sum_{j=1}^m \bar{d}_j(k) \sum_{i=\ell+1}^n g_i v_{u_{j,i-\ell}}(k) - \\ & - \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=1}^{\ell} \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=\ell+1}^n g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] + \\ & + \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{\beta}_{ji}(k) \sum_{f=0}^{\ell} g_f v_{u_{j,i+f-\ell}}(k) \right] - \\ & - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{h}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{\epsilon_{i+j-\ell}}(k) + \sum_{i=\ell+1}^n \bar{h}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{\epsilon_{i+j-\ell}}(k) \end{aligned} \quad (2.5-27)$$

### 2.5.5 PARTE LINEAR DA FORMA PADRÃO

Considerando-se as seguintes definições:

$$p_c^T = \left[ a_1 \dots a_n \ h_1 \dots h_n \ d_1 \ \beta_{11} \dots \beta_{1n} \dots d_m \ \beta_{m1} \dots \beta_{mn} \right] \quad (2.5-28)$$

$$\hat{p}^T(k) = \left[ \hat{a}_1(k) \dots \hat{a}_n(k) \ \hat{h}_1(k) \dots \hat{h}_n(k) \ \hat{d}_1(k) \ \hat{\beta}_{11}(k) \dots \dots \hat{\beta}_{1n}(k) \dots \hat{d}_m(k) \ \hat{\beta}_{m1}(k) \dots \hat{\beta}_{mn}(k) \right] \quad (2.5-29)$$

$$v^T(k) = \left[ v_{\hat{y}_1}(k) \dots v_{\hat{y}_n}(k) \ v_{\epsilon_1}(k) \dots v_{\epsilon_n}(k) \ v_{u_{10}}(k) \ v_{u_{11}}(k) \dots \dots v_{u_{1n}}(k) \dots v_{u_{m0}}(k) \ v_{u_{m1}}(k) \dots v_{u_{mn}}(k) \right] \quad (2.5-30)$$

Substituindo-se (2.5-28), (2.5-29) e (2.5-30) em (2.5-7), obtêm-se a parte linear da forma padrão, descrita pela seguinte expressão:

$$\epsilon(k) - \sum_{i=1}^n (a_i - h_i) \epsilon(k-i) = - \left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] v^T(k) \left[ \hat{p}(k) - p_c \right] \quad (2.5-31)$$

Arbitrando-se valores para os coeficientes  $(a_i - h_i)$ , calcula-se os parâmetros  $g_j$  de sorte que o sistema (2.5-31) pertença à classe  $L(1)$ .

### 2.5.6 LEIS DE ADAPTAÇÃO PARAMÉTRICA À GANHO DECRESCENTE

Considerando-se a equação (2.5-31) e as expressões da tabela I tem-se que:

$$\begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{h}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} = F(k) V(k) \epsilon(k) \quad (2.5-32)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{a}(k) \\ \hat{h}(k) \\ \hat{d}_1(k) \\ \hat{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \hat{d}_m(k) \\ \hat{\beta}_m(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_a(k) \\ \theta_h(k) \\ \theta_{d_1}(k) \\ \theta_{\beta_1}(k) \\ \vdots \\ \theta_{d_m}(k) \\ \theta_{\beta_m}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{h}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-33)$$

$$\begin{bmatrix} \theta_a(k+1) \\ \theta_h(k+1) \\ \theta_{d_1}(k+1) \\ \theta_{\beta_1}(k+1) \\ \vdots \\ \theta_{d_m}(k+1) \\ \theta_{\beta_m}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \theta_a(k) \\ \theta_h(k) \\ \theta_{d_1}(k) \\ \theta_{\beta_1}(k) \\ \vdots \\ \theta_{d_m}(k) \\ \theta_{\beta_m}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{a}(k) \\ \bar{h}(k) \\ \bar{d}_1(k) \\ \bar{\beta}_1(k) \\ \vdots \\ \bar{d}_m(k) \\ \bar{\beta}_m(k) \end{bmatrix} \quad (2.5-34)$$

$\hat{b}_j(k)$  é dada por (2.4-50).

Definição dos vetores:

$$\bar{p}^T(k) = \left[ \bar{a}(k) \quad \bar{h}(k) \quad \bar{d}_1(k) \quad \bar{\beta}_1(k) \quad \dots \quad \bar{d}_m(k) \quad \bar{\beta}_m(k) \right] \quad (2.5-35)$$

$$\hat{p}^T(k) = \left[ \hat{a}(k) \quad \hat{h}(k) \quad \hat{d}_1(k) \quad \hat{\beta}_1(k) \quad \dots \quad \hat{d}_m(k) \quad \hat{\beta}_m(k) \right] \quad (2.5-36)$$

$$\bar{h}^T(k) = \left[ \bar{h}_1(k) \quad \dots \quad \bar{h}_n(k) \right] \quad (2.5-37)$$

$$\hat{h}^T(k) = \left[ \hat{h}_1(k) \quad \dots \quad \hat{h}_n(k) \right] \quad (2.5-38)$$

Os outros vetores são definidos por (2.4-51) , (2.4-52), (2.4-53), (2.4-54) e (2.4-55).

As condições de estabilidade assintótica global garantem que o erro de saída  $\varepsilon(k)$  tende para zero. Como consequência temos que o vetor  $\bar{p}(k)$  também se anula resultando, então no desaparecimento dos sinais auxiliares.

O vetor  $\hat{p}(k)$ , dessa forma, permanece constante.

Considerando-se a equação (2.5-6) juntamente dos comentários acima, conclui-se que os objetivos dados pelas equações (2.4-17), (2.4-18) e (2.4-19) são alcançados.

### 2.5.7 - CÁLCULO DO ERRO

A justificativa para este sub-ítem é a mesma para o (2.4.7).

Seja a equação (2.5-26) e, tomando-se as equações (2.5-30) e (2.5-31) chega-se à equação (2.4-59).

Considerando-se ainda as equações (2.4-2), (2.5-2) e (2.4-15) tem-se a expressão (2.4-60).

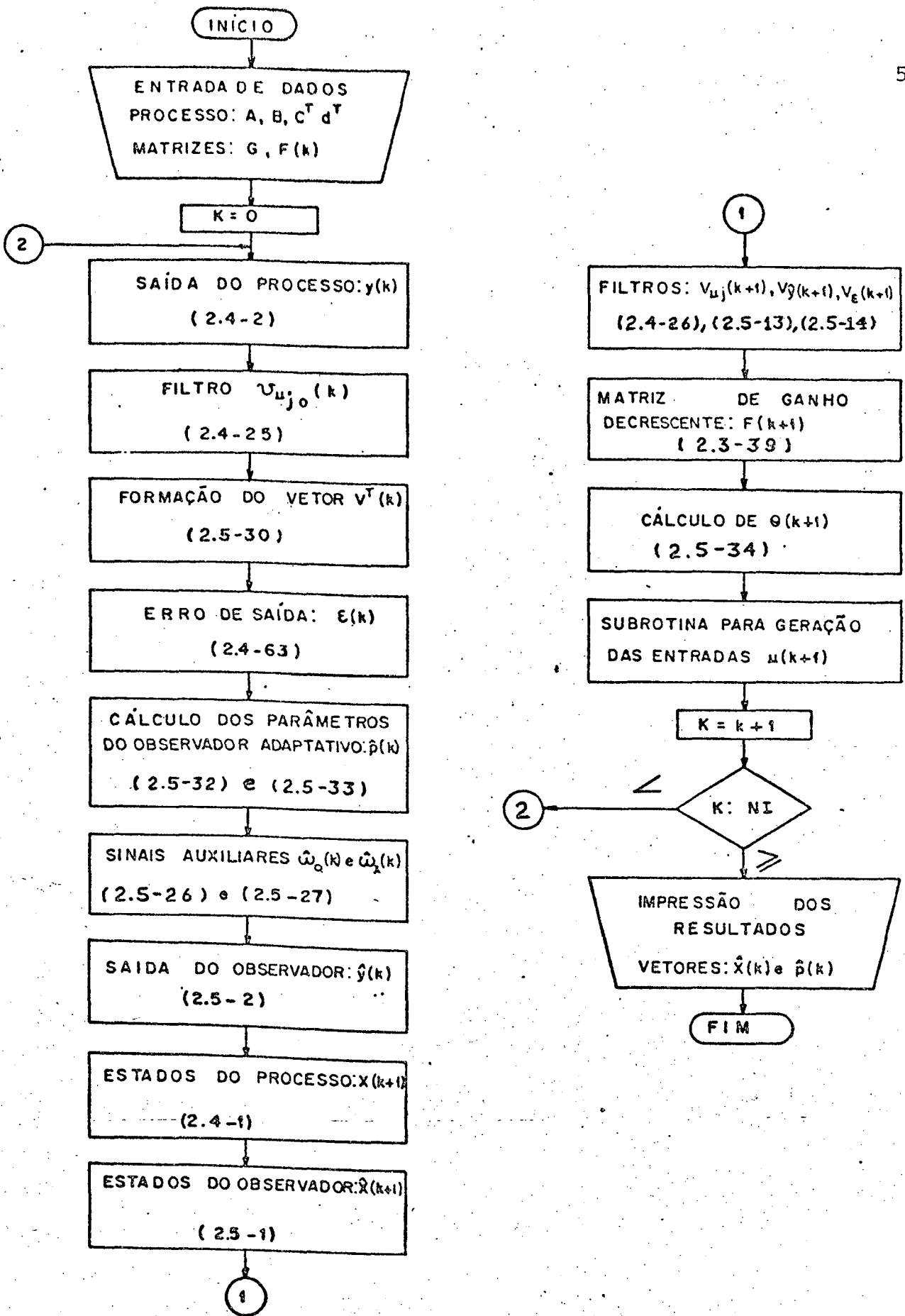


Figura (2.8) - Fluxograma do Algoritmo do Observador Adaptativo Paralelo

De (2.5-33) tira-se (2.4-61).

Substituindo-se (2.4-61) e (2.4-59) em (2.4-60), obtém-se a expressão (2.4-63) que permite calcular o erro de saída  $\epsilon(k)$ .

### 2.5.8 FLUXOGRAMA DO ALGORÍTMO

Na Figura (2.8) apresenta-se o diagrama do algoritmo do observador adaptativo paralelo, enfatizando-se a possibilidade de poder ser implementado num computador digital.

### 2.6 CONCLUSÃO

Neste capítulo procurou-se dar uma visão do embasamento teórico sobre o qual repousa a construção de observadores adaptativos de uma saída e várias entradas.

Mostrou-se que a Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência pode ser estudada através de uma forma denominada padrão. Esta forma padrão permite a utilização dos critérios de estabilidade assintótica global dados pelo Lema I-1 (que se refere às condições para que um sistema linear pertença à classe  $L(\Lambda)$ ), Lema I-2 (que se refere às condições para que um sistema não-linear, com parâmetros variantes com o tempo, pertença à classe  $N(\Gamma)$ ) e, pelo teorema I-1 (Teorema de Estabilidade Assintótica Global), encontrados no apêndice I-1 desta dissertação.

Dois tipos de observadores adaptativos da forma canônica de observabilidade foram estudados: um do tipo paralelo e outro do tipo série-paralelo. As estruturas destes observadores estão baseadas naquela do observador linear. Quando a adaptação



dos parâmetros é concluída, os observadores adaptativos tendem ao observador linear.

O algoritmo de adaptação paramétrica destes observadores é à ganho decrescente. Este algoritmo tem um melhor de sempenho em presença de ruído que aquele à ganho constante.

As entradas utilizadas para possibilitar a identificação dos parâmetros do processo são do tipo pseudo-aleatório, já que são ricas em frequência. Num conjunto de entradas não devem aparecer duas que tenham o mesmo período, para evitar que o observador as interprete como uma só, o que acarretaria numa deturpação do resultado da identificação.

## CAPÍTULO 3

OBSERVADORES MULTIVARIÁVEIS LINEARESGENERALIDADES

O presente capítulo está voltado ao estudo de uma forma canônica de observabilidade para sistemas multivariáveis discretos [1], [6]. A partir desta é derivada uma segunda forma denominada associada, que possibilita considerar um sistema com múltiplas entradas e múltiplas saídas como sendo constituído por diversos subsistemas com várias entradas e uma saída. O processo modelado sob a forma associada permite, então, que se utilize tantos observadores de uma só saída, quantos forem os subsistemas, no caso em que os estados não forem acessíveis por medida direta ou que estas medições impliquem em alto custo.

A importância de se ter um algoritmo de observação que trabalhe com os dados em uma determinada forma canônica, sob o ponto de vista de sua implementação em computadores digitais, é a possibilidade de redução do tempo de processamento e economia de memória. Isto porque o número de parâmetros das matrizes que descrevem o processo (e que serão os mesmos para o observador linear) é menor. O tempo de processamento tem um papel fundamental quando se trata de observação ou identificação em tempo real, pois é sempre desejável que o observador ou identificador consiga acompanhar a evolução do processo.

Este capítulo está composto pelos seguintes itens:

no primeiro é apresentado um método para a determinação de uma forma canônica de observabilidade para sistemas multivariáveis discretos. O segundo item mostra o procedimento que permite obter a forma associada de um processo multivariável, partindo-se de sua forma canônica de observabilidade. No terceiro é dado um exemplo literal de sistema multivariável, bem como uma estrutura de observação utilizável no caso. E, finalmente, no quarto item são expostas as conclusões.

### 3.1 UMA FORMA CANÔNICA DE OBSERVABILIDADE PARA SISTEMAS MULTIVARIÁVEIS

Este item é dedicado à apresentação de um método de obtenção de uma matriz de transformação linear que permite colocar um sistema multivariável numa conveniente forma canônica de observabilidade [1], [6].

Seja um sistema linear multivariável, completamente observável, possuindo  $s$  saídas:

$$\bar{X}(k+1) = \bar{A} \bar{X}(k) + \bar{B} u(k) \quad (3.1-1)$$

$$y(k) = \bar{C} \bar{X}(k) + \bar{D} u(k) \quad (3.1-2)$$

A matriz  $\bar{C}$  apresenta as dimensões  $(s \times n)$ , enquanto que  $\bar{D}$  tem por dimensões  $(s \times m)$ .

A matriz  $\bar{C}$  é composta por  $s$  vetores em linha, cada um deles correspondendo à uma saída:

$$\bar{C} = \begin{bmatrix} C_1^T \\ C_2^T \\ \dots \\ C_s^T \end{bmatrix} \quad (3.1-3)$$

A matriz de observabilidade  $\bar{M}_O$  fica assim descrita:

$$\bar{M}_O = \begin{bmatrix} C_1^T \\ C_1^T \bar{A} \\ \vdots \\ C_1^T \bar{A}^{n-1} \\ \vdots \\ C_s^T \\ C_s^T \bar{A} \\ \vdots \\ C_s^T \bar{A}^{n-1} \end{bmatrix} \quad (3.1-4)$$

Esta matriz  $\bar{M}_O$  tem as dimensões  $(n.s \times n)$  e posto  $n$ .

Antes do cálculo da matriz de transformação linear  $Q$ , uma verificação deve ser feita para se determinar o menor número possível de saídas, através das quais o sistema pode ser observado. Este procedimento implica numa simplificação da forma canônica. Se o sistema multivariável puder ser observado através de uma única saída, a sua forma canônica será a mesma que para

processos com várias entradas e uma saída.

Suponha que o processo multivariável seja observável por  $p$  saídas, onde:

$$1 < p \leq s \quad (3.1-5)$$

A matriz de observabilidade,  $\bar{M}_O$ , é agora construída da forma a seguir:

$$\bar{M}_O = \begin{bmatrix} \bar{c}_1^T \\ \bar{c}_1^T \bar{A} \\ \vdots \\ \bar{c}_1^T \bar{A}^{n-1} \\ \vdots \\ \bar{c}_p^T \\ \bar{c}_p^T \bar{A} \\ \vdots \\ \bar{c}_p^T \bar{A}^{n-1} \end{bmatrix} \quad (3.1-6)$$

Esta matriz  $\bar{M}_O$  tem posto  $n$ , o que significa que ela possui  $n$  linhas linearmente independentes. A escolha destas  $n$  linhas de  $\bar{M}_O$  deve obedecer ao seguinte critério:

Primeiro seleciona-se as linhas correspondentes  $\bar{a}$   $\bar{c}_1^T$ ,  $\bar{c}_2^T$ , ...,  $\bar{c}_p^T$ ; em seguida  $\bar{c}_1^T \bar{A}$ ,  $\bar{c}_2^T \bar{A}$ , ...,  $\bar{c}_p^T \bar{A}$ ; e assim su -

cessivamente, até que um conjunto de  $n$  linhas linearmente independentes seja completado.

Definindo-se  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p$  como o número de linhas escolhidas com relação às saídas  $y_1, y_2, \dots, y_p$  respectivamente, tem-se que:

$$n = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_p \quad (3.1-7)$$

Com as  $n$  linhas escolhidas pode-se construir uma matriz de posto  $n$ , que é definida como segue:

$$M_o = \begin{bmatrix} \bar{c}_1^T \\ \bar{c}_1^T \bar{A} \\ \vdots \\ \bar{c}_1^T \bar{A}^{\mu_1-1} \\ \bar{c}_2^T \\ \bar{c}_2^T \bar{A} \\ \vdots \\ \bar{c}_2^T \bar{A}^{\mu_2-1} \\ \vdots \\ \bar{c}_p^T \\ \bar{c}_p^T \bar{A} \\ \vdots \\ \bar{c}_p^T \bar{A}^{\mu_p-1} \end{bmatrix} \quad (3.1-8)$$

A inversa de  $M_0$  define-se como:

$$M_0^{-1} = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \cdots & V_{1\mu_1} & V_{21} & V_{22} & \cdots & V_{2\mu_2} & \cdots \\ \cdots & V_{p1} & V_{p2} & \cdots & V_{p\mu_p} \end{bmatrix} \quad (3.1-9)$$

Tomando-se as colunas  $V_{1\mu_1}, V_{2\mu_2}, \dots, V_{p\mu_p}$  de  $M_0^{-1}$  e a matriz  $\bar{A}$  é possível construir a matriz de transformação linear  $Q$ .

$$Q = \begin{bmatrix} \bar{A}^{\mu_1-1} V_{1\mu_1} & \cdots & V_{1\mu_1} & \bar{A}^{\mu_2-1} V_{2\mu_2} & \cdots & V_{2\mu_2} & \cdots \\ \cdots & \bar{A}^{\mu_p-1} V_{p\mu_p} & \cdots & V_{p\mu_p} \end{bmatrix} \quad (3.1-10)$$

Tendo-se em conta as equações (2.1-6) e (2.1-7) e mais as equações:

$$C = \bar{C} Q \quad (3.1-11)$$

$$D = \bar{D} \quad (3.1-12)$$

A forma canônica de observabilidade do processo multivariável dado por (3.1-1) e (3.1-2), é assim descrita:

$$\begin{bmatrix} x_{11}(k+1) \\ \vdots \\ x_{1\mu_1}(k+1) \\ \hline x_{21}(k+1) \\ \vdots \\ x_{2\mu_2}(k+1) \\ \hline \vdots \\ \hline x_{p1}(k+1) \\ \vdots \\ x_{p\mu_p}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{111} & a_{112} & \dots & a_{11p} \\ a_{121} & a_{122} & \dots & a_{12p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{1\mu_1 1} & a_{1\mu_1 2} & \dots & a_{1\mu_1 p} \\ \hline a_{211} & a_{212} & \dots & a_{21p} \\ a_{221} & a_{222} & \dots & a_{22p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{2\mu_2 1} & a_{2\mu_2 2} & \dots & a_{2\mu_2 p} \\ \hline \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \hline a_{p11} & a_{p12} & \dots & a_{p1p} \\ a_{p21} & a_{p22} & \dots & a_{p2p} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{p\mu_p 1} & a_{p\mu_p 2} & \dots & a_{p\mu_p p} \end{bmatrix} X(k) + Bu(k) \tag{3.1-13}$$

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \\ \vdots \\ y_p(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \dots 0 & 0 & \dots 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ c_{21} & 0 \dots 0 & 1 & \dots 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{p1} & 0 \dots 0 & c_{p2} & 0 \dots 0 & \dots & 1 & 0 \dots 0 \end{bmatrix} X(k) + Du(k) \tag{3.1-14}$$



Na matriz C os coeficientes  $c_{ij}$  são os responsáveis pelo acoplamento das saídas. Explicando melhor, todas as saídas, com exceção da primeira, tem seus valores dependentes daqueles das saídas que lhes antecedem na forma canônica.

No caso em que:

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_p \quad (3.1-15)$$

os coeficientes  $c_{ij}$  são nulos e portanto não existe acoplamento entre as saídas.

Deve-se ainda aqui acrescentar o fato de que a cada redefinição da sequência de saídas obtém-se, pelo critério apresentado, um conjunto de valores para os parâmetros das matrizes A, B e C da forma canônica. Ou seja para um mesmo processo multivariável, pode-se ter diferentes conjuntos de valores dos parâmetros que compõem as matrizes da forma canônica de observabilidade.

### 3.2 FORMA ASSOCIADA

Nota-se que a matriz A em (3.1-13) é formada de p subsistemas colocados ao longo de sua diagonal principal, os quais obedecem à forma canônica de observabilidade para sistemas com uma única saída.

Esta forma canônica descrita por (3.1-13) e (3.1-14) não é conveniente para a construção de observadores adaptativos, pois os estados de um subsistema dependem de estados não mensuráveis dos outros subsistemas. Para evitar isto e afim de simplificar os cálculos e viabilizar a implementação do algoritmo de ob -

servação em computador digital, o processo multivariável deve sofrer uma segunda transformação. Esta transformação linear deve ser tal que permita, a cada subsistema resultante, se comportar como um sistema independente com várias entradas e uma saída. Desta maneira tem-se a possibilidade de aplicação do mesmo método de construção de observadores, usado para sistema com uma só saída, em processos multivariáveis.

Deve-se acrescentar ainda que o conjunto de entradas para qualquer um dos subsistemas, é constituído pela entradas do sistema original mais as saídas de todos os outros subsistemas envolvidos.

Com a finalidade de facilitar a apresentação do desenvolvimento do método de cálculo que permite a obtenção da forma associada a partir da forma canônica de observabilidade multivariável, pode-se definir algumas matrizes e vetores como os que seguem:

$$\tilde{X}_i^T(k) = \left[ \tilde{x}_{i1}(k) \ \tilde{x}_{i2}(k) \ \dots \ \tilde{x}_{i\mu_i}(k) \right] \quad (i=1, \dots, p) \quad (3.2-1)$$

$$Y_g^T(k) = \left[ y_1(k) \ y_2(k) \ \dots \ y_p(k) \right] \quad (3.2-2)$$

$$A_i = \begin{bmatrix} a_{i1i} & & & & \\ & \mathbf{I} & & & \\ & & a_{i2i} & & \\ & & \vdots & & \\ & & & & a_{i\mu_i i} \\ & & & & & 0 \dots 0 \end{bmatrix} \quad (i=1, \dots, p) \quad (3.2-3)$$

$$B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_p \end{bmatrix} \quad (3.2-4)$$

onde a matriz B foi dividida em p subsistemas e  $B_i$  tem as dimensões ( $\mu_i \times m$ ).

$$D = \begin{bmatrix} d_1^T \\ d_2^T \\ \vdots \\ d_p^T \end{bmatrix} \quad (3.2-5)$$

$$d_i^T = [d_{i1} \dots d_{im}] \quad (i=1, \dots, p) \quad (3.2-6)$$

Determina-se agora uma matriz formada somente pelas colunas, que possuem elementos diferentes de zero, da matriz C da forma canônica de observabilidade multivariável:

$$C_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ c_{21} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2-7)$$

Invertendo esta matriz tem-se:

$$C_k^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ k_{21} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ k_{p1} & k_{p2} & \dots & & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2-8)$$

Observe-se que ambas as matrizes  $C_k$  e  $C_k^{-1}$ , são triangulares inferiores.

Após o desmembramento de um processo multivariável

em tantos subsistemas quanto for o número mínimo de saídas que se observam, estes assumem a forma descrita pelas equações seguintes [1]:

$$\tilde{X}_i(k+1) = \tilde{A}_i X_i(k) + \tilde{M}_i Y_g(k) + \tilde{B}_i u(k) \quad (3.2-9)$$

$$y_i(k) = [1 \ 0 \ \dots \ 0] \tilde{X}_i(k) + \tilde{c}_{k_i}^T Y_g(k) + \tilde{d}_i^T u(k) \quad (3.2-10)$$

As matrizes e vetores que compõem (3.2-9) e (3.2-10) definem-se assim:

a)

$$\tilde{A}_i = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{i1} & & & & \\ & \tilde{a}_{i2} & & & \\ & \vdots & & \mathbf{I} & \\ & \tilde{a}_{i\mu_i} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2-11)$$

onde:

$$\tilde{a}_{ij} = a_{iji} - \lambda_{ij} \quad (j=1, \dots, \mu_i) \quad (3.2-12)$$

$$(i=1, \dots, p)$$

e  $\lambda_{ij}$  é definida como:

$$\lambda_{ij} = - \sum_{\ell=i+1}^p a_{ij\ell} k_{\ell i} \quad (3.2-13)$$

b)

$$\tilde{M}_i = \bar{A}_i C_k^{-1} \quad (3.2-14)$$

Nesta equação que permite a determinação da matriz de acoplamento  $\tilde{M}_i$ , a matriz  $\bar{A}_i$  tem a seguinte definição:

$$\bar{A}_i = \begin{bmatrix} a_{i11} & \cdots & a_{i1,i-1} & \lambda_{i1} & a_{i1,i+1} & \cdots & a_{i1p} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{i\mu_i 1} & \cdots & a_{i\mu_i,i-1} & \lambda_{i\mu_i} & a_{i\mu_i,i+1} & \cdots & a_{i\mu_i p} \end{bmatrix}$$

(i = 1, \dots, p) \quad (3.2-15)

Os coeficientes  $\lambda_{ij}$  são calculados de modo que a  $i$ -ésima coluna da matriz  $\bar{M}_i$  seja formada por zeros. Sendo assim, os estados de um determinado subsistema independem da saída  $y_i$  do mesmo.

$$\bar{M}_i = \begin{bmatrix} \tilde{m}_{i11} & \cdots & \tilde{m}_{i1,i-1} & 0 & \tilde{m}_{i1,i+1} & \cdots & \tilde{m}_{i1p} \\ \tilde{m}_{i21} & \cdots & \tilde{m}_{i2,i-1} & 0 & \tilde{m}_{i2,i+1} & \cdots & \tilde{m}_{i2p} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{m}_{i\mu_i 1} & \cdots & \tilde{m}_{i\mu_i,i-1} & 0 & \tilde{m}_{i\mu_i,i+1} & \cdots & \tilde{m}_{i\mu_i p} \end{bmatrix}$$

(i = 1, \dots, p) \quad (3.2-16)

c)  $\tilde{B}_i = B_i - \bar{M}_i D$  \quad (3.2-17)

$$\tilde{B}_i = \begin{bmatrix} \tilde{b}_{i11} & \tilde{b}_{i21} & \cdots & \tilde{b}_{i\mu_i 1} \\ \tilde{b}_{i12} & \tilde{b}_{i22} & \cdots & \tilde{b}_{i\mu_i 2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \tilde{b}_{i1\mu_i} & \tilde{b}_{i2\mu_i} & \cdots & \tilde{b}_{i\mu_i \mu_i} \end{bmatrix} \quad (i = 1, \dots, p) \quad (3.2-18)$$

d)  $\tilde{C}_k = I - C_k^{-1}$  \quad (3.2-19)

$$\tilde{C}_k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ -k_{21} & 0 & & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ -k_{p1} & -k_{p2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{c}_{k1}^T \\ \tilde{c}_{k2}^T \\ \vdots \\ \tilde{c}_{kp}^T \end{bmatrix} \quad (3.2-20)$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{c}_{k_1}^T \\ \tilde{c}_{k_2}^T \\ \vdots \\ \tilde{c}_{k_p}^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ -k_{21} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -k_{p1} & -k_{p2} & \dots & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ \tilde{k}_{21} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{k}_{p1} & \tilde{k}_{p2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2-21)$$

$$e) \quad \tilde{D} = C_k^{-1} D \quad (3.2-22)$$

De (3.2-5) e (3.2-8):

$$\begin{bmatrix} \tilde{d}_1^T \\ \tilde{d}_2^T \\ \vdots \\ \tilde{d}_p^T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ k_{21} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{p1} & k_{p2} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1^T \\ d_2^T \\ \vdots \\ d_p^T \end{bmatrix} \quad (3.2-23)$$

$$\tilde{d}_i^T = [\tilde{d}_{i1} \dots \tilde{d}_{im}] \quad (i = 1, \dots, p) \quad (3.2-24)$$

Através de (3.2-20) pode-se verificar que a saída de um determinado subsistema depende das saídas, calculadas anteriormente, de outros subsistemas. Assim, por exemplo, numa seqüência de saídas  $y_1, y_2, \dots, y_p$ , o cálculo de  $y_2$  depende do conhecimento do valor da saída  $y_1$ ;  $y_3$  depende de  $y_1$  e  $y_2$  e assim sucessivamente.

A figura (3.1) esquematiza o processo multivariável na forma associada, que a título de exemplo será considerada como tendo duas entradas e duas saídas.

Os programas para computador que permitem colocar um dado sistema multivariável na forma canônica de observabilidade

de, (também usado para processos com uma só saída) e depois na forma associada encontram-se no Manual do Usuário (apêndice IV).

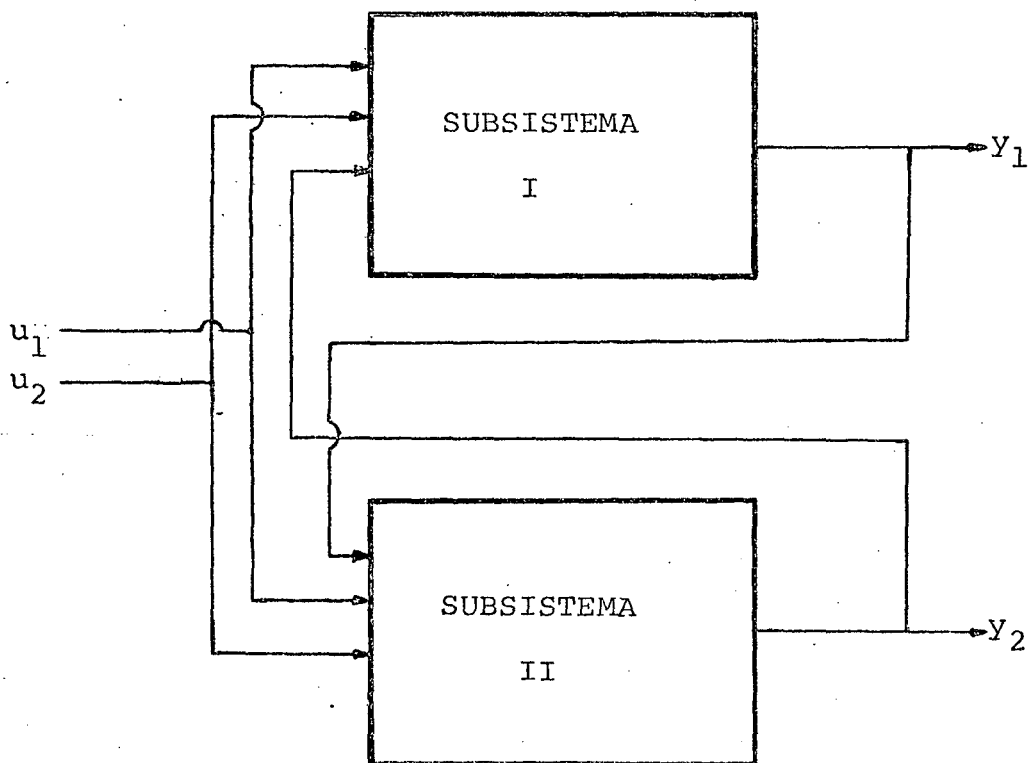


Figura (3.1) - Forma Associada de um Sistema Multivariável.

### 3.3 OBSERVADOR MULTIVARIÁVEL

Os resultados obtidos deste observador multivariável estarão todos na forma associada, isto porque, na verdade, serão construídos tantos observadores quantos forem os subsistemas em que o processo multivariável se dividirá.

Como exemplo considere-se um sistema de quinta ordem com duas entradas e duas saídas. Escolhendo-se então convenientemente cinco linhas linearmente independentes da matriz  $\bar{M}_O$  para compor a matriz de observação  $M_O$ , tem-se que o sistema pode ser descrito em sua forma canônica de observabilidade multivariável como segue:

$$\begin{bmatrix} x_{11}(k+1) \\ x_{12}(k+1) \\ \text{-----} \\ x_{21}(k+1) \\ x_{22}(k+1) \\ x_{23}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{111} & 1 & a_{112} & 0 & 0 \\ a_{121} & 0 & a_{122} & 0 & 0 \\ \text{-----} \\ a_{211} & 0 & a_{212} & 1 & 0 \\ a_{221} & 0 & a_{222} & 0 & 0 \\ a_{231} & 0 & a_{232} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11}(k) \\ x_{12}(k) \\ \text{-----} \\ x_{21}(k) \\ x_{22}(k) \\ x_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 \\ \text{-----} \\ B_2 \end{bmatrix} u(k) \quad (3.3-1)$$

$$\begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_{21} & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11}(k) \\ x_{12}(k) \\ \text{-----} \\ x_{21}(k) \\ x_{22}(k) \\ x_{23}(k) \end{bmatrix} + D u(k) \quad (3.3-2)$$

Na forma associada este sistema é representado pe-



las seguintes expressões:

a) Primeiro subsistema:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}(k+1) \\ \tilde{x}_{12}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11} & 1 \\ \tilde{a}_{12} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}(k) \\ \tilde{x}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \tilde{m}_{112} \\ 0 & \tilde{m}_{122} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2(k) \end{bmatrix} + \tilde{B}_1 u(k) \quad (3.3-3)$$

$$Y_1(k) = [1 \quad 0] \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}(k) \\ \tilde{x}_{12}(k) \end{bmatrix} + \tilde{d}_1^T u(k) \quad (3.3-4)$$

b) Segundo subsistema:

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_{21}(k+1) \\ \tilde{x}_{22}(k+1) \\ \tilde{x}_{23}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{21} & 1 & 0 \\ \tilde{a}_{22} & 0 & 1 \\ \tilde{a}_{23} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{21}(k) \\ \tilde{x}_{22}(k) \\ \tilde{x}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{m}_{211} & 0 \\ \tilde{m}_{221} & 0 \\ \tilde{m}_{231} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2(k) \end{bmatrix} + \tilde{B}_2 u(k) \quad (3.3-5)$$

$$Y_2(k) = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} \tilde{x}_{21}(k) \\ \tilde{x}_{22}(k) \\ \tilde{x}_{23}(k) \end{bmatrix} + [ \tilde{k}_{21} \quad 0 ] \begin{bmatrix} Y_1(k) \\ Y_2(k) \end{bmatrix} + \tilde{d}_2^T u(k) \quad (3.3-6)$$

Tendo por base estes modelos para os dois subsistemas, constrói-se então os observadores lineares, podendo-se utilizar qualquer uma das duas estruturas apresentadas no capítulo anterior.

As representações matemáticas, de maneira geral, são apresentadas a seguir.

a) Observador linear para o primeiro subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{11}^{-\ell_{11}} & 1 \\ \tilde{a}_{12}^{-\ell_{12}} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{m}_{112} & \tilde{b}_{111} & \tilde{b}_{121} \\ \tilde{m}_{122} & \tilde{b}_{112} & \tilde{b}_{122} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell_{11} \\ \ell_{12} \end{bmatrix} \left[ y_1(k) - \tilde{d}_{11}u_1(k) - \tilde{d}_{12}u_2(k) \right] \quad (3.3-7)$$

$$\hat{y}_1(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \tilde{d}_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} \quad (3.3-8)$$

b) Observador linear para o segundo subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{a}_{21}^{-\ell_{21}} & 1 & 0 \\ \tilde{a}_{22}^{-\ell_{22}} & 0 & 1 \\ \tilde{a}_{23}^{-\ell_{23}} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{m}_{211} & \tilde{b}_{211} & \tilde{b}_{221} \\ \tilde{m}_{221} & \tilde{b}_{212} & \tilde{b}_{222} \\ \tilde{m}_{231} & \tilde{b}_{213} & \tilde{b}_{223} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \ell_{21} \\ \ell_{22} \\ \ell_{23} \end{bmatrix} \left[ y_2(k) - \tilde{k}_{21}y_1(k) - \tilde{d}_{21}u_1(k) - \tilde{d}_{22}u_2(k) \right] \quad (3.3-9)$$

$$\hat{y}_2(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{k}_{21} & \tilde{d}_{21} & \tilde{d}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} \quad (3.3-10)$$

Os valores de  $\ell_{ij}$  são interpretados como no item (2.2) do capítulo anterior.

O diagrama da figura (3.2) mostra de uma forma sucinta o que foi apresentado neste item.

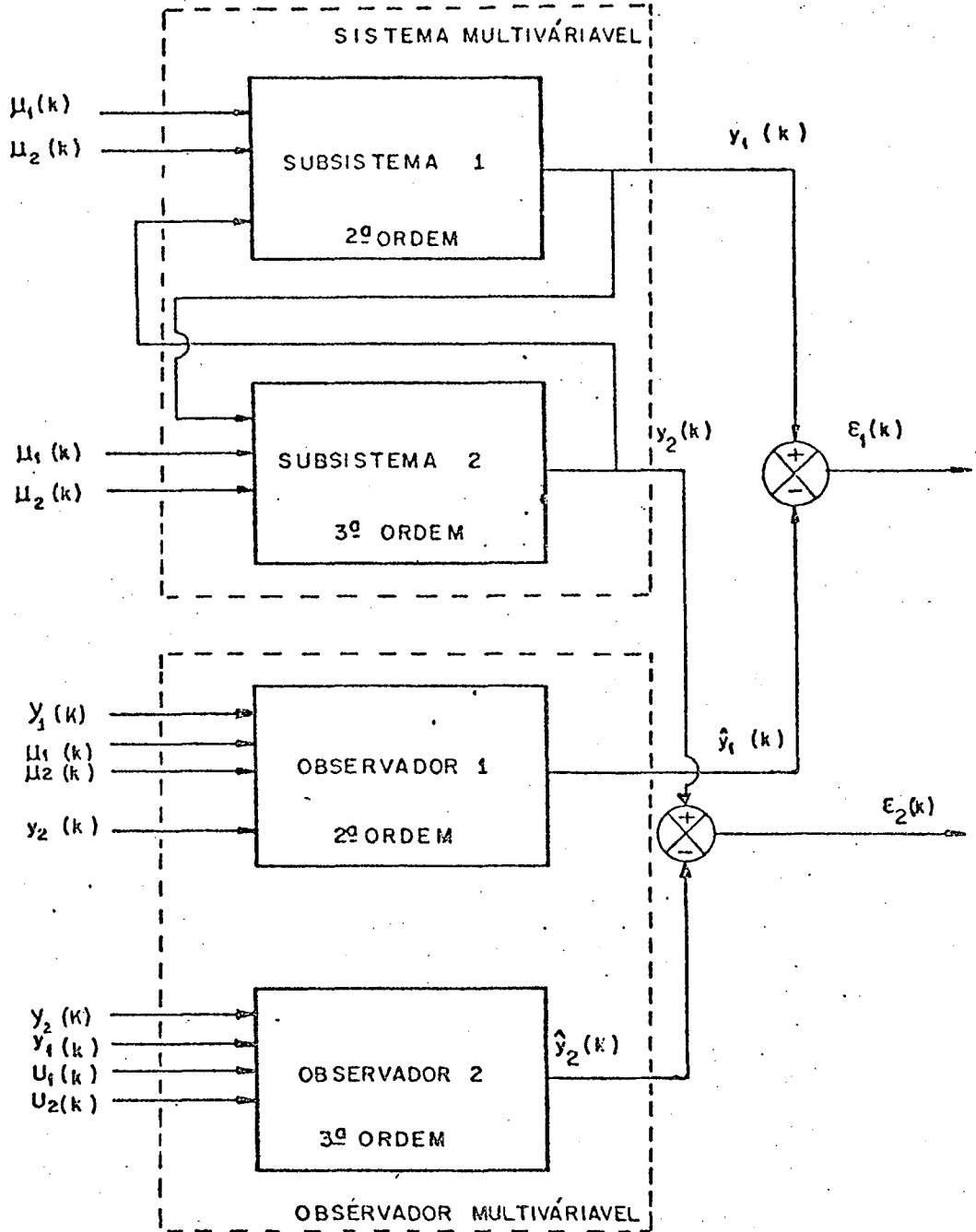


Figura (3.2) - Observador Linear Multivariável

### 3.4 CONCLUSÃO

Apresentou-se neste capítulo uma forma canônica de observabilidade para processos multivariáveis. E, a partir desta, desenvolveu-se uma outra, denominada forma associada, com o propósito de mostrar que sistemas que apresentam múltiplas entradas e múltiplas saídas podem ser consideradas como sendo constituídos por diversos subsistemas com várias entradas e uma saída. Por causa disto esta forma é muito útil para a construção de observadores adaptativos, uma vez que não existe o inconveniente de que os estados de um determinado subsistema dependem dos estados não acessíveis dos outros subsistemas. Adicione-se ainda a vantagem de se poder aplicar o mesmo método de construção de observadores de uma só saída à processos multivariáveis.

O fato de se ter vários observadores estimando os estados de um sistema multivariável, leva imediatamente à conclusão de que todos devam operar simultaneamente. Para que isto ocorra, considerando-se que os algoritmos dos observadores estão implementados em um único computador, é desejável que este possa realizar multiprocessamento. Esta técnica de multiprocessamento, ou processamento em paralelo de todos os observadores, tem a vantagem de permitir uma acentuada redução do período de amostragem, em comparação com uma outra técnica que consiste em executar um algoritmo de observação de cada vez. No caso de se querer estimar os estados de um sistema de grande porte é preferível utilizar a primeira técnica, pois evita a necessidade de um intervalo de amostragem maior.

## CAPÍTULO 4

### OBSERVADORES ADAPTATIVOS MULTIVARIÁVEIS

#### GENERALIDADES

Este capítulo tem a finalidade de apresentar um método de construção de observadores adaptativos discretos multivariáveis. É voltado, este método, para processos que possam ser colocados sob a forma canônica de observabilidade multivariável, cujo desenvolvimento foi mostrado no capítulo anterior.

Fundamenta-se este método, na prática, no uso repetido de observadores adaptativos de uma só saída e várias entradas. Para cada saída do processo multivariável utiliza-se um observador adaptativo. Os estados observados e os parâmetros identificados, desta forma, correspondem à forma associada do processo multivariável, conforme explicitado no capítulo terceiro.

São apresentados aqui dois tipos de observadores: um do tipo série-paralelo, seguido de um exemplo literal e respectivo diagrama elucidativo, e outro do tipo paralelo, também com um exemplo esclarecedor acompanhado de um diagrama.

Divide-se este capítulo em três itens: no primeiro é apresentado o observador adaptativo multivariável série-paralelo; no segundo é mostrado o observador adaptativo multivariável paralelo; e finalmente o último item é reservado às conclusões.

#### 4.1 - OBSERVADOR ADAPTATIVO MULTIVARIÁVEL SÉRIE-PARALELO

A estrutura de observação tratada neste item está baseada no observador linear multivariável exposto no capítulo três.

Utilizando-se repetidamente observadores adaptativos de uma só saída, tantos quantas forem as saídas dos sistemas multivariáveis, resolve-se o problema de seguimento de estados e identificação de parâmetros. Os parâmetros e estados obtidos deste modo, encontram-se sob a forma associada à forma canônica de observabilidade multivariável de um processo dotado de múltiplas entradas e múltiplas saídas.

Para efeito de esclarecimento apresenta-se em seguida um exemplo. Seja um processo linear multivariável de quinta ordem com duas entradas e duas saídas, completamente observável.

Sua forma canônica de observabilidade multivariável, bem como sua forma companheira, ou associada, são descritas pelas equações (3.3-1) e (3.3-2); (3.3-3), (3.3-4), (3.3-5) e (3.3-6) respectivamente.

Os observadores adaptativos série-paralelo para os dois subsistemas são assim descritos:

a) Para o primeiro subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h'_{11} & 1 \\ -h'_{12} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{a}}_{11}(k) + h'_{11} \\ \hat{\tilde{a}}_{12}(k) + h'_{12} \end{bmatrix} \left[ y_1(k) - \hat{\tilde{d}}_{11}(k) u_1(k) - \right. \\ \left. - \hat{\tilde{d}}_{12}(k) u_2(k) \right] + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{m}}_{112}(k) \\ \hat{\tilde{m}}_{122}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{b}}_{111}(k) & \hat{\tilde{b}}_{121}(k) \\ \hat{\tilde{b}}_{112}(k) & \hat{\tilde{b}}_{122}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} \hat{\omega}_{11}(k) - h'_{11} \hat{\omega}_{10}(k) \\ \hat{\omega}_{12}(k) - h'_{12} \hat{\omega}_{10}(k) \end{bmatrix} \quad (4.1-1)$$

$$\hat{y}_1(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{11}(k) \\ \hat{x}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{d}_{11}(k) & \hat{d}_{12}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \hat{\omega}_{10}(k) \quad (4.1-2)$$

b) Para o segundo subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_{21}(k+1) \\ \hat{x}_{22}(k+1) \\ \hat{x}_{23}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h'_{21} & 1 & 0 \\ -h'_{22} & 0 & 1 \\ -h'_{23} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{21}(k) \\ \hat{x}_{22}(k) \\ \hat{x}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{a}_{21}(k) + h'_{21} \\ \hat{a}_{22}(k) + h'_{22} \\ \hat{a}_{23}(k) + h'_{23} \end{bmatrix} \left[ y_2(k) - \hat{k}_{21}(k) y_1(k) - \right. \\ \left. - \hat{d}_{21}(k) u_1(k) - \hat{d}_{22}(k) u_2(k) \right] + \begin{bmatrix} \hat{m}_{211}(k) & \hat{b}_{211}(k) & \hat{b}_{221} \\ \hat{m}_{221}(k) & \hat{b}_{212}(k) & \hat{b}_{222} \\ \hat{m}_{231}(k) & \hat{b}_{213}(k) & \hat{b}_{223} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \\ + \begin{bmatrix} \hat{\omega}_{21}(k) - h'_{21} \hat{\omega}_{20}(k) \\ \hat{\omega}_{22}(k) - h'_{22} \hat{\omega}_{20}(k) \\ \hat{\omega}_{23}(k) - h'_{23} \hat{\omega}_{20}(k) \end{bmatrix} \quad (4.1-3)$$

$$\hat{y}_2(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{21}(k) \\ \hat{x}_{22}(k) \\ \hat{x}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{k}_{21}(k) & \hat{d}_{21}(k) & \hat{d}_{22}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \hat{\omega}_{20}(k) \quad (4.1-4)$$

A figura (4.1) apresentada a seguir ilustra este observador. Este esquema permite resolver de forma simples o problema de observação adaptativa para processos multivariáveis.

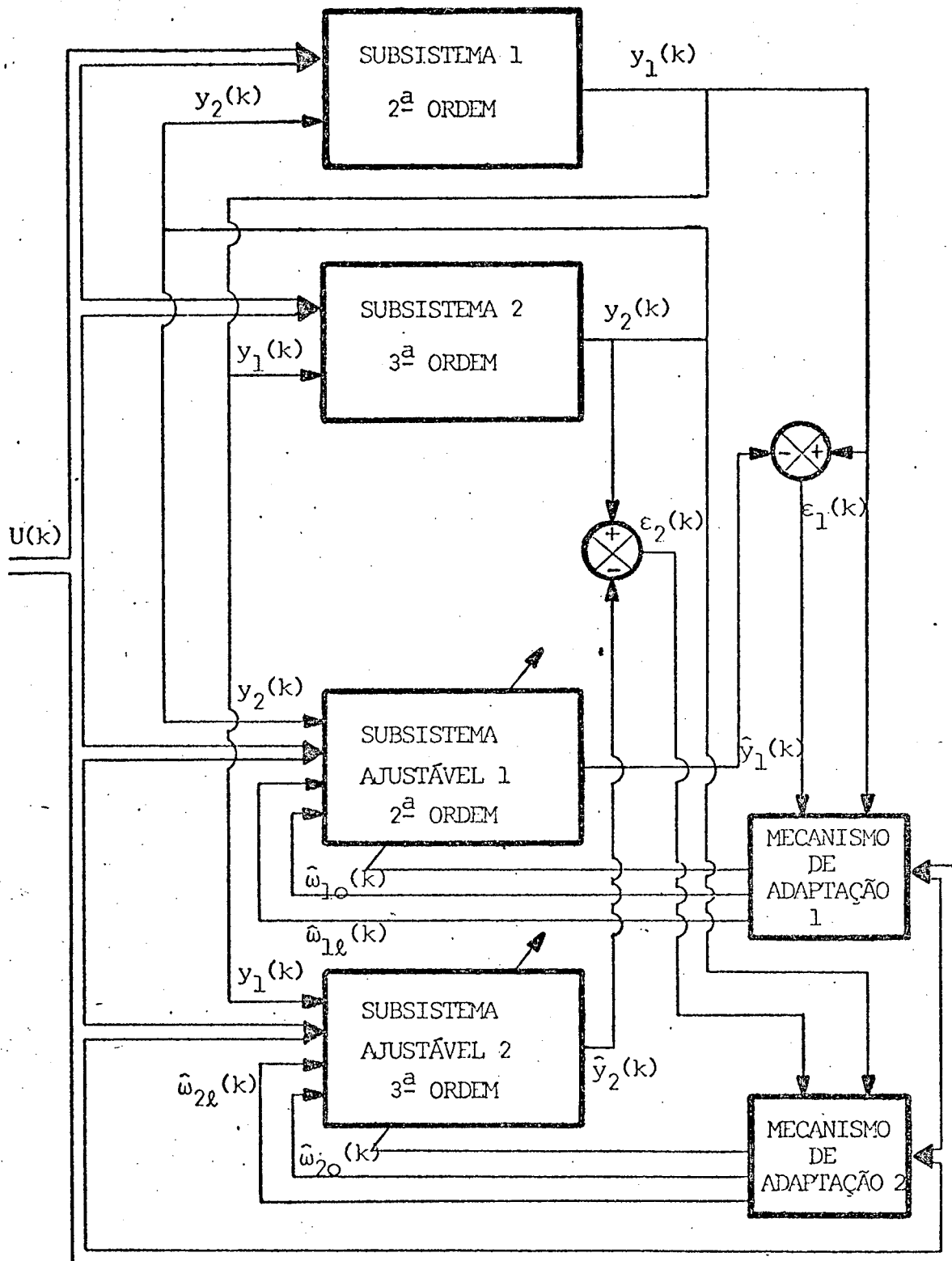


Figura (4.1) - Observador Adaptativo

Série-Paralelo Multivariável



4.2 - OBSERVADOR ADAPTATIVO MULTIVARIÁVEL PARALELO

Tomando-se por base o mesmo exemplo da seção anterior, os observadores adaptativos paralelos, para os dois subsistemas, apresentam as estruturas que seguem:

a) Para o primeiro subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\tilde{a}}_{11}(k) - \hat{h}_{11} & 1 \\ \hat{\tilde{a}}_{12}(k) - \hat{h}_{12} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{h}_{11}(k) \\ \hat{h}_{12}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) - \\ - \hat{\tilde{d}}_{11}(k) u_1(k) - \hat{\tilde{d}}_{12}(k) u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{m}}_{112}(k) & \hat{\tilde{b}}_{111}(k) & \hat{\tilde{b}}_{121}(k) \\ \hat{\tilde{m}}_{122}(k) & \hat{\tilde{b}}_{112}(k) & \hat{\tilde{b}}_{122}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\omega}_{11}(k) + [\hat{\tilde{a}}_{11}(k) - \hat{h}_{11}(k)] \hat{\omega}_{10}(k) \\ \hat{\omega}_{12}(k) + [\hat{\tilde{a}}_{12}(k) - \hat{h}_{12}(k)] \hat{\omega}_{10}(k) \end{bmatrix} \quad (4.2-1)$$

$$\hat{y}_1(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{11}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{12}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{d}}_{11}(k) & \hat{\tilde{d}}_{12}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \hat{\omega}_{10}(k) \quad (4.2-2)$$

b) Para o segundo subsistema:

$$\begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k+1) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\tilde{a}}_{21}(k) - \hat{h}_{21}(k) & 1 & 0 \\ \hat{\tilde{a}}_{22}(k) - \hat{h}_{22}(k) & 0 & 1 \\ \hat{\tilde{a}}_{23}(k) - \hat{h}_{23}(k) & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{h}_{21}(k) \\ \hat{h}_{22}(k) \\ \hat{h}_{23}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2(k) - \hat{k}_{21}(k) y_1(k) - \hat{\tilde{d}}_{21}(k) u_1(k) - \hat{\tilde{d}}_{22}(k) u_2(k) \end{bmatrix} +$$

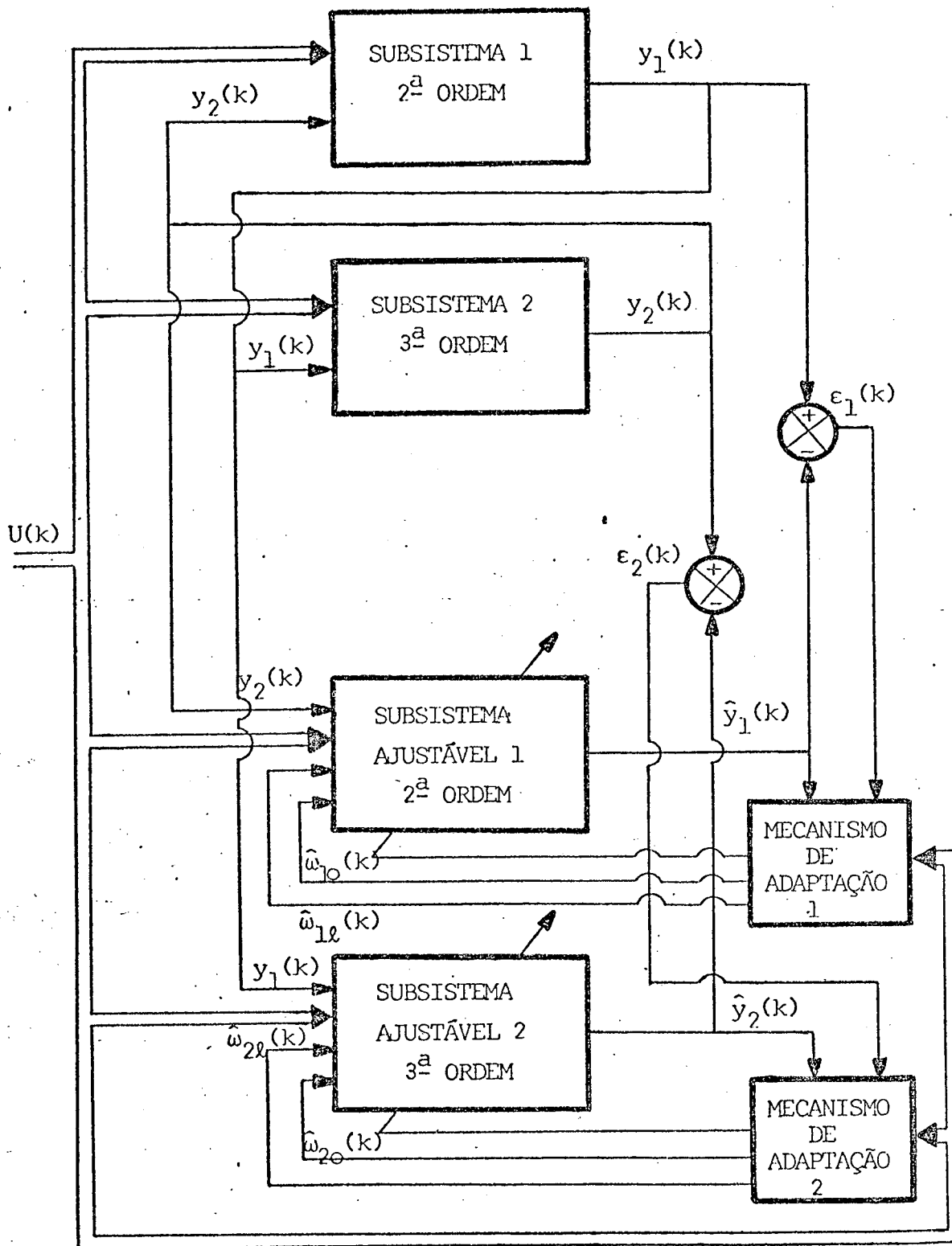


Figura (4.2) - Observador Adaptativo Paralelo Multivariável

$$\begin{aligned}
& + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{m}}_{211}(k) & \hat{\tilde{b}}_{211}(k) & \hat{\tilde{b}}_{221}(k) \\ \hat{\tilde{m}}_{221}(k) & \hat{\tilde{b}}_{212}(k) & \hat{\tilde{b}}_{222}(k) \\ \hat{\tilde{m}}_{231}(k) & \hat{\tilde{b}}_{213}(k) & \hat{\tilde{b}}_{223}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{\omega}}_{21}(k) + [\hat{\tilde{a}}_{21}(k) - \hat{h}_{21}(k)] \hat{\tilde{\omega}}_{20}(k) \\ \hat{\tilde{\omega}}_{22}(k) + [\hat{\tilde{a}}_{22}(k) - \hat{h}_{22}(k)] \hat{\tilde{\omega}}_{20}(k) \\ \hat{\tilde{\omega}}_{23}(k) + [\hat{\tilde{a}}_{23}(k) - \hat{h}_{23}(k)] \hat{\tilde{\omega}}_{20}(k) \end{bmatrix} \\
& \hspace{20em} (4.2-3)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\hat{y}_2(k) = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\tilde{x}}_{21}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{22}(k) \\ \hat{\tilde{x}}_{23}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{\tilde{k}}_{21}(k) & \hat{\tilde{d}}_{21}(k) & \hat{\tilde{d}}_{22}(k) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(k) \\ u_1(k) \\ u_2(k) \end{bmatrix} + \hat{\tilde{\omega}}_{20}(k) \\
& \hspace{20em} (4.2-4)
\end{aligned}$$

A figura (4.2) descreve este observador.

#### 4.3 - CONCLUSÃO

Apresentou-se neste capítulo dois exemplos de uma classe de observadores adaptativos para sistemas multivariáveis. Um para o tipo série-paralelo e outro para o tipo paralelo.

Pode-se notar que basicamente suas estruturas matemáticas são semelhantes. Neste aspecto, a principal diferença reside no fato de que o observador do tipo paralelo adapta também o vetor de ganho de realimentação  $h'$ . Outra diferença estrutural corresponde às entradas do mecanismo de adaptação. Enquanto no caso do mecanismo de adaptação do observador série-paralelo, as entradas são compostas pelos sinais pseudo-aleatórios, o erro de saída (entre o processo observado e o observador) e a saída do processo, no mecanismo de adaptação do observador do tipo paralelo, as entradas se constituem das duas primeiras do item anterior, mais a saída do observador.

Quando a identificação dos parâmetros é concluída, ambos os observadores tendem para aquele, linear, esquematizado pela figura (3.2) do capítulo anterior.

## CAPÍTULO 5

### SIMULAÇÃO DIGITAL

#### GENERALIDADES

Este capítulo trata da simulação digital dos observadores estudados no presente trabalho. Aqui são apresentadas várias simulações, por meio de computador digital, de observação adaptativa, tanto para processos de uma só saída, como para aqueles possuidores de múltiplas saídas. São feitas algumas considerações acerca da implementação dos programas que permitem comprovar, na prática, a teoria que diz respeito aos observadores adaptativos.

Nas simulações realizadas, utilizou-se o computador PDP - 11/40 da Digital Equipment Corporation, pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da U.F.S.C.. Os resultados obtidos apresentam-se sob a forma de tabela e também na forma gráfica. Estes resultados obtidos graficamente correspondem à distância paramétrica e distância de estado, em função do tempo.

Este capítulo está integrado por cinco itens dispostos na ordem seguinte: no primeiro item são tecidas considerações à respeito da programação e equipamentos empregados, o item seguinte é dedicado à apresentação dos conceitos de distância paramétrica e distância de estado; no terceiro item estão dispostos os resultados de simulação para os observadores adaptativos Série-Paralelo e Paralelo para processos de uma única saída e vá

rias entradas; o quarto item está voltado aos observadores adaptativos Série-Paralelo e Paralelo para processos com múltiplas entradas e múltiplas saídas. E finalmente, o quinto item é reservado às conclusões.

### 5.1 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A PROGRAMAÇÃO E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização dos testes e simulações dos observadores adaptativos empregou-se um computador digital, o PDP 11/40, locado no laboratório de Controle e Microinformática do Departamento de Engenharia Elétrica da U.F.S.C. O tamanho das palavras e instruções deste computador é 16 bits e sua capacidade de memória é igual à 24 k bytes. Em sua configuração atual conta com os seguintes periféricos: uma unidade de "FLOPPY-DYSK"; uma leitora/perfuradora de fita de papel; um teletipo; um terminal de vídeo; uma teleimpressora série; uma tela TRC e uma interface híbrida que é composta de quatro conversores digitais - analógicos (CDA) e oito conversores analógicos-digitais (CAD). Esta interface híbrida permite que se controle ou se observe um processo verdadeiro ou simulado em computador analógico, em tempo real (ON-LINE).

Na implementação dos algoritmos de observação adaptativa em computador, neste trabalho, a linguagem utilizada foi a FORTRAN, devido ao fato de que ela se presta a redigir programas voltados à aplicações técnicas e científicas envolvendo cálculos matemáticos.

Procurou-se, na programação, preservar a generalidade dos algoritmos, de forma a dar condições de simular os observadores para sistemas de quaisquer ordem, número de entradas e número de saídas. As limitações ficam por conta dos tamanhos das matrizes e vetores empregados no programa, haja visto a capacidade de memória do computador utilizado. Assim, estes programas permitem simular observadores adaptativos de até ordem cinco, sendo as dimensões de todas as matrizes e vetores envolvidos compatíveis com este valor.

A estrutura do algoritmo computacional está composta por um programa principal e mais as sub-rotinas que possuem cada qual uma função específica.

O programa principal recebe todos os dados de entrada, chama as sub-rotinas e emite os resultados. Todos os cálculos, realizados com precisão simples, estão confinados aos subprogramas. As sub-rotinas contêm as expressões que fornecem as dinâmicas do processo e do observador e, também, o algoritmo de adaptação paramétrica.

As descrições dos programas principais e das sub-rotinas, bem como seus modos de utilização encontram-se no MANUAL DO USUÁRIO (Apêndice IV).

## 5.2 - DISTÂNCIA PARAMÉTRICA E DISTÂNCIA DE ESTADO

A distância paramétrica, que representa a distância entre os parâmetros do processo e do observador adaptativo, é definida pela seguinte expressão:

$$D_P(k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \hat{a}_i(k))^2 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (b_{ji} - \hat{b}_{ji}(k))^2 + \sum_{\ell=1}^p \sum_{j=1}^m (d_{\ell j} - \hat{d}_{\ell j}(k))^2} \quad (5.2-1)$$

Nesta equação  $a_1, \dots, a_n, b_{11}, \dots, b_{mn}, d_{11}, \dots, d_{pm}$  são os parâmetros do processo, enquanto que  $\hat{a}_1(k), \dots, \hat{a}_n(k), \hat{b}_{11}(k), \dots, \hat{b}_{mn}(k), \hat{d}_{11}(k), \dots, \hat{d}_{pm}(k)$  são os parâmetros do observador adaptativo.

A distância de estado, que é a distância entre os estados do processo e do observador adaptativo, é definida pela equação a seguir:

$$D_E(k) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i(k) - \hat{x}_i(k))^2} \quad (5.2-2)$$

onde  $x_1(k), \dots, x_n(k)$  são os estados do processo e  $\hat{x}_1(k), \dots, \hat{x}_n(k)$  são os estados do observador adaptativo.

### 5.3 - SIMULAÇÃO DOS OBSERVADORES ADAPTATIVOS SÉRIE-PARALELO E PARALELO PARA SISTEMAS DE UMA ÚNICA SAÍDA

Neste ítem são apresentados os resultados de simulação digital referentes à observação adaptativa de sistemas que possuem somente uma saída. Estes resultados estão expressos sob a forma de tabelas e de gráficos. Uma das tabelas apresenta o número de iterações utilizadas na simulação, bem como a média das últimas duzentas iterações referentes à distância paramétrica, à distância de estado, aos erros quadráticos de cada um dos estados e aos erros quadráticos de saída, entre o processo e o



observador adaptativo. A outra tabela apresenta os parâmetros identificados, após o cálculo da última iteração. Os gráficos mostram a evolução da distância paramétrica e da distância de estado com o decorrer do tempo.

Dois exemplos procuram mostrar a eficiência dos algoritmos de observação adaptativa dos tipos Série-Paralelo e Paralelo. Os sistemas utilizados como exemplo são lineares, estáveis e com os estados observáveis. Na saída de cada um deles é adicionada uma perturbação com distribuição normal gaussiana [7], com média igual à zero e desvio-padrão igual à 0,1.

As entradas utilizadas nos processos para efeito de identificação e observação foram as seqüências binárias pseudo-aleatórias [8] devido ao fato de serem ricas em frequência. As entradas, neste trabalho, possuem períodos que variam de 2 à 2047 e amplitude igual à +1 e -1.

### 5.3.1 - Primeiro Exemplo

#### SISTEMA DE TERCEIRA ORDEM COM DUAS ENTRADAS E UMA SAÍDA

##### a) Descrição do Sistema em Contínuo

As matrizes que caracterizam este sistema, descrito em termos de variáveis de estado, são as seguintes:

$$A = \begin{bmatrix} -5 & 3 & 4 \\ -4 & 2 & -4 \\ -3 & 3 & -2 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-1)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \\ 2 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-2)$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 1] \quad (5.3.1-3)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-4)$$

b) Descrição do Sistema em Amostrado

Utilizando um tempo de amostragem igual a  $0,1s$ , as matrizes do sistema discretizado assim se apresentam:

$$A_D = \begin{bmatrix} 0.52083 & 0.29790 & 0.21464 \\ -0.28103 & 1.09976 & -0.44699 \\ -0.24811 & 0.24811 & 0.71915 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-5)$$

$$B_D = \begin{bmatrix} .0.10294 & -0.01507 \\ -0.05968 & -0.10665 \\ 0.16097 & -0.01332 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-6)$$

c) Descrição do Sistema sob a Forma Canônica de Observabilidade

As matrizes deste sistema, nesta forma canônica, são as que seguem:

$$A_C = \begin{bmatrix} 0.23397E+01 & 0.10000E+01 & 0.23842E-06 \\ -0.19861E+01 & -0.47684E-06 & 0.10000E+01 \\ 0.60653E+00 & -0.23842E-06 & 0.11921E-06 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-7)$$

$$B_C = \begin{bmatrix} 0.26391E+00 & -0.28390E-01 \\ -0.47168E+00 & -0.83547E-02 \\ 0.18172E+00 & 0.18355E-01 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-8)$$

$$C_C = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & -0.23842E-06 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-9)$$

$$D_C = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.3.1-10)$$

#### d) Simulação Digital do Observador Adaptativo Série-Paralelo

##### d.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados na Simulação

Os coeficientes a que se refere este sub-ítem estão relacionados com os filtros pelos quais passam os sinais de saída do processo,  $y(k)$ , e os sinais de entrada do processo  $u(k)$  segundo as equações (2.4-25), (2.4-26) e (2.4-27). Os outros coeficientes por ele referidos são: os valores que compõe o vetor de estabilização  $h'$ , (equação (2.4-8)), ganhos iniciais  $F(o)$  conforme a equação (2.3-16), os períodos  $T$  das entradas que são as seqüências binárias pseudo-aleatórias, e os valores da média e da variância do ruído, com distribuição normal gaussiana, adicionado à saída do processo.

## d.1.1) Parâmetros dos Filtros

G 1 = -0.13972E+01  
G 2 = 0.58015E+00  
G 3 = -0.25859E-02

d.1.2) Vetor de Estabilização  $h'$ 

$h'_1 = -2,0$   
 $h'_2 = 1,5$   
 $h'_3 = -0,4$

d.1.3) Ganho Inicial da Sequência de  $F(k)$ 

$F(0) = 10000$

## d.1.4) Período das Entradas Pseudo-aleatórias

$T_1 = 511$   
 $T_2 = 2047$

d.1.5) Média e Variância do Ruído Gaussiano que  
Interfere na Saída do Processo

$E = 0,0$   
 $\sigma^2 = 0,01$

## d.2) Tabelas dos Resultados da Simulação

Estas tabelas mostram os valores dos parâmetros identificados após o cálculo da última iteração e, também, a média das últimas duzentas iterações da distância paramétrica, distância de estado e dos erros quadráticos, de saída e estados, entre o processo e o observador adaptativo.

### d.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

K= 5000

#### - PARAMETROS IDENTIFICADOS

##### MATRIZ "AC"

0.22406E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.18278E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.53072E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

##### MATRIZ "BC"

0.26112E+00	-0.31169E-01
-0.43756E+00	-0.43382E-02
0.14507E+00	0.10958E-01

##### MATRIZ "DC"

0.12384E-02	0.14989E-02
-------------	-------------

d.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

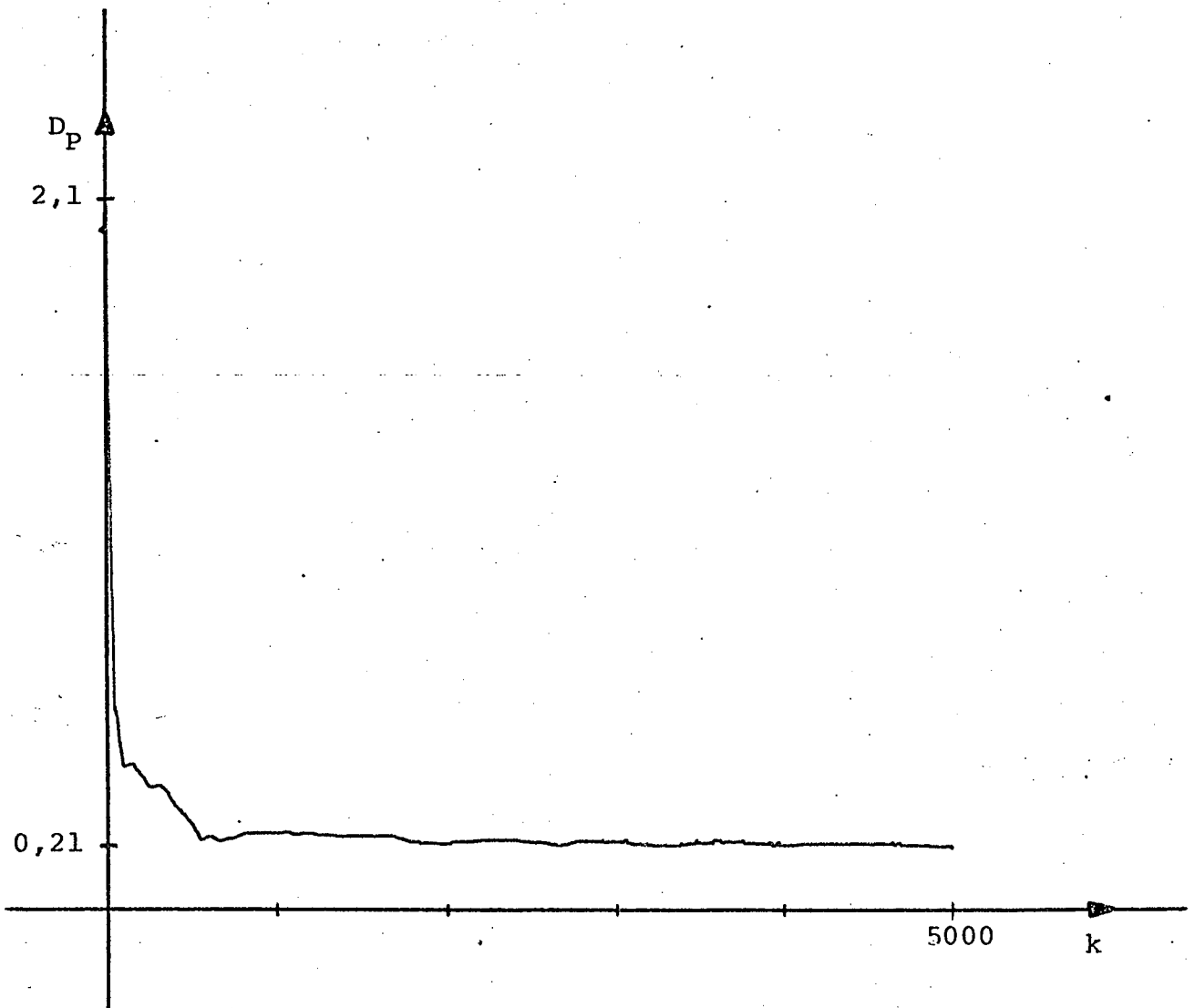
NUMERO DE ITERACOES =	5000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.20955E+00
DISTANCIA DE ESTADO =	0.89462E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1"=	0.99640E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1"=	0.12109E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2"=	0.60837E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3"=	0.38672E-02

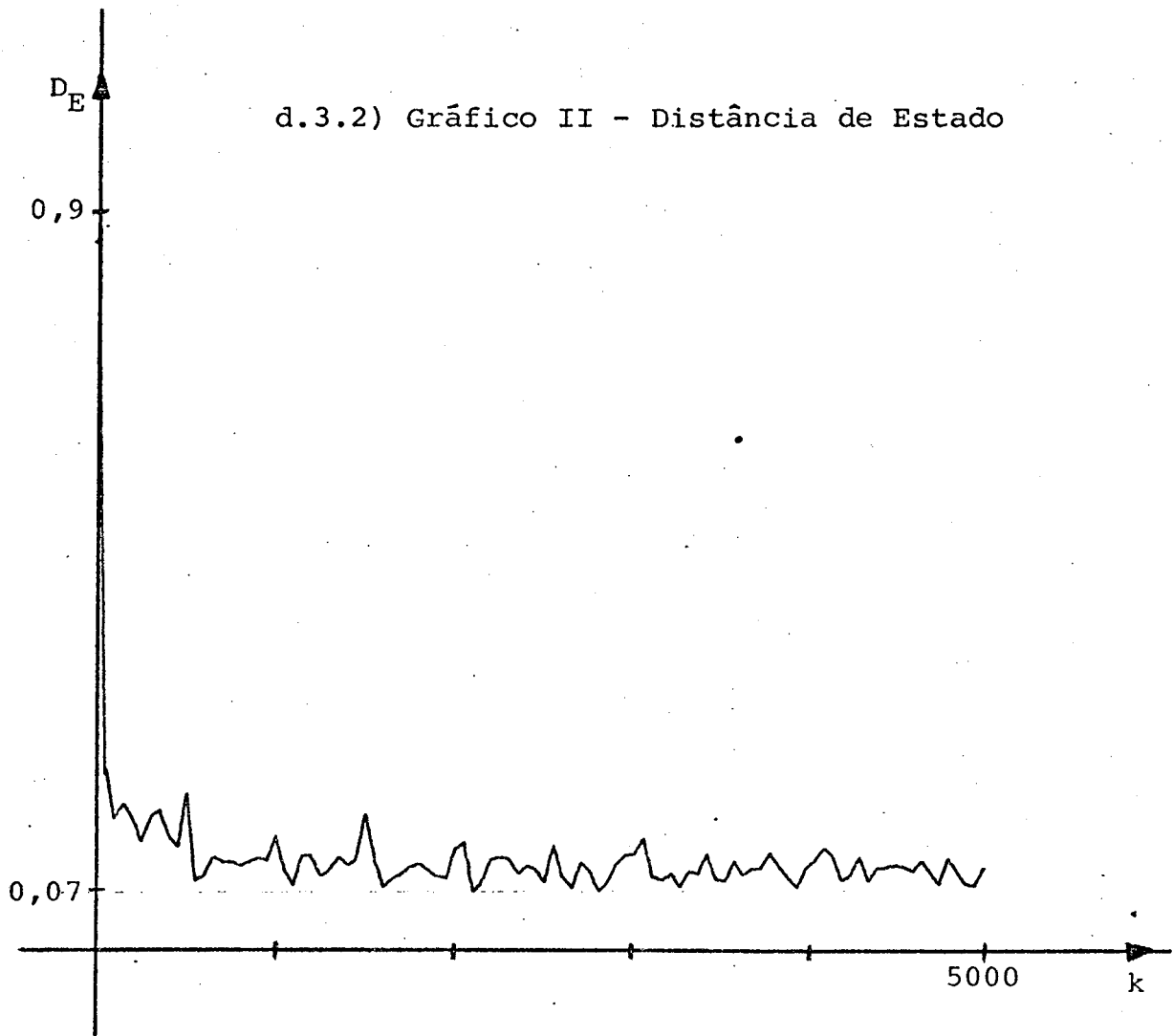
Como pode ser verificado, pelos resultados da tabela I comparados com os valores correspondentes das matrizes (5.4.1-7), (5.4.1-8) e (5.4.1-10) ocorreu uma excelente identificação dos parâmetros deste processo, mesmo em presença de ruído adicionado à sua saída.

Os valores dos resultados da tabela II reforçam a afirmativa do bom desempenho do observador adaptativo do tipo Série-Paralelo.

## d.3) Resultados Gráficos

## d.3.1) Gráfico I - Distância Paramétrica





Através dos gráficos apresentados, pode-se afirmar que ocorreu uma boa convergência dos parâmetros e do vetor de estado do observador adaptativo Série-Paralelo em direção aos valores dos parâmetros e do vetor de estado do processo.

#### e) Simulação Digital do Observador Adaptativo Paralelo

##### e.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados na Simulação

Os coeficientes referidos por este sub-ítem estão



relacionados com os filtros pelos quais passam os sinais de saída do observador,  $\hat{y}(k)$ , os sinais de erro, entre o processo e o observador,  $\varepsilon(k)$  e os sinais de entrada do processo  $u(k)$  segundo as equações (2.5-13), (2.5-14) e (2.4-26). Os outros coeficientes são: os ganhos iniciais  $F(o)$  conforme a equação (2.3-16), os períodos  $T$  das entradas que são as seqüências binárias pseudo-aleatórias, e os valores da média e da variância do ruído com distribuição normal gaussiana, adicionado à saída do processo.

#### e.1.1) Parâmetros dos Filtros

$$\begin{aligned} G_1 &= -0.13972E+01 \\ G_2 &= 0.58015E+00 \\ G_3 &= -0.25859E-02 \end{aligned}$$

#### e.1.2) Ganho Inicial da Sequência $F(k)$

$$F(o) = 10000$$

#### e.1.3) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

#### e.1.4) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída do Processo

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

## e.2) Tabela dos Resultados da Simulação

Estas tabelas contém os valores dos parâmetros identificados após o cálculo da última iteração e, também, a média das últimas duzentas iterações da distância paramétrica, distância de estado e dos erros quadráticos, de saída e estados, entre o processo e o observador adaptativo.

## e.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

K= 5000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## MATRIZ "AC"

0.23158E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.19497E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.59047E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

0.26284E+00	-0.26420E-01
-0.46319E+00	-0.13372E-01
0.17216E+00	0.19764E-01

## MATRIZ "DC"

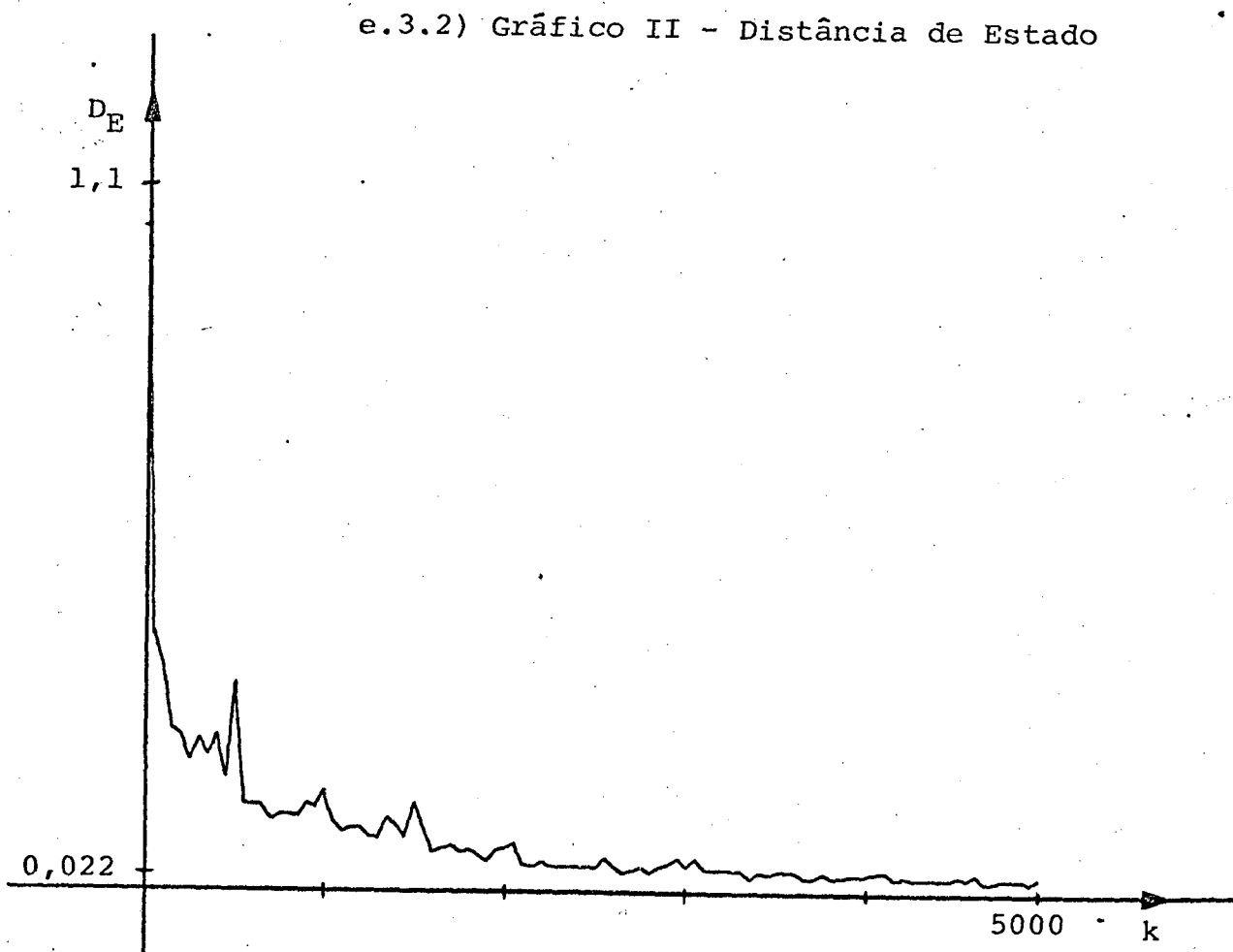
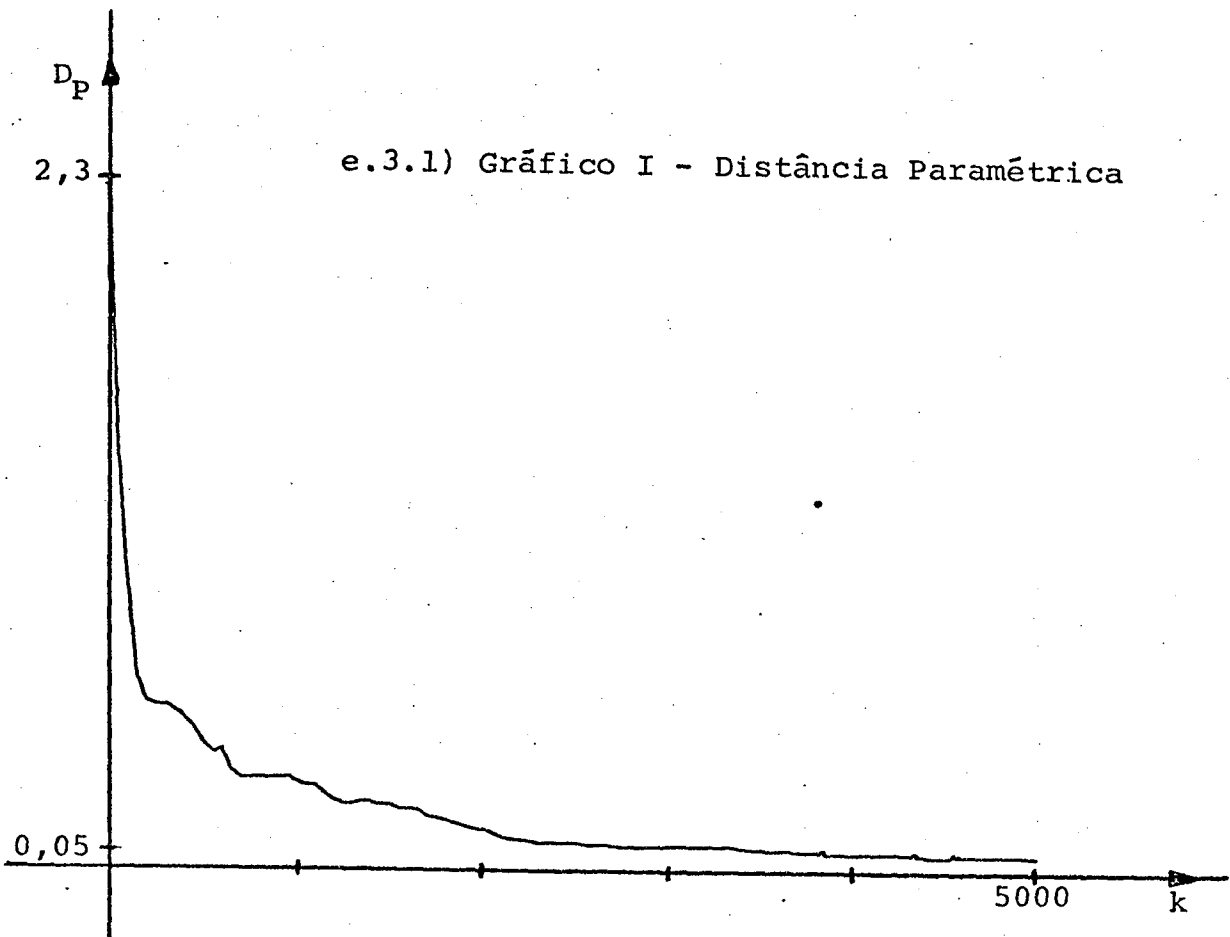
-0.14393E-02	-0.17553E-02
--------------	--------------

e.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	5000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.52991E-01
DISTANCIA DE ESTADO =	0.26626E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.95452E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.19176E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.49520E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.25095E-03

Comparando-se os resultados da tabela I com os valores correspondentes das matrizes (5.4.1-7), (5.4.1-8) e (5.4.1-10) conclui-se que este observador apresenta uma excelente performance. Os valores apresentados pela tabela II confirmam este comentário.

e.3) Resultados Gráficos



Os resultados gráficos apresentados confirmam o bom desempenho deste observador, para este exemplo.

### 5.3.2 - Segundo Exemplo

#### SISTEMA DE QUINTA ORDEM COM DUAS ENTRADAS E UMA SAÍDA

##### a) Descrição do Sistema em Contínuo

As matrizes seguintes, descrevem o sistema em termos de variáveis de estado:

$$A = \begin{bmatrix} -4 & -6 & 3 & -7 & 6 \\ 0 & -5 & 4 & -4 & 8 \\ 0 & 2 & -6 & 2 & -2 \\ 0 & 6 & -3 & -5 & -6 \\ 0 & 2 & 2 & -2 & -5 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-1)$$

$$B = \begin{bmatrix} -2 & 7 \\ -8 & -5 \\ -3 & 0 \\ 1 & 5 \\ -8 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-2)$$

$$C = [1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 1] \quad (5.3.2-3)$$

$$D = [0,5 \quad 1] \quad (5.3.2-4)$$

## b) Descrição do Sistema em Amostrado

Com a utilização de um tempo de amostragem igual a 0,1s, as matrizes do sistema discretizado assim se apresentam:

$$A_D = \begin{bmatrix} 0.67032 & -0.44860 & 0.19039 & -0.37673 & 0.31362 \\ 0.00000 & 0.61017 & 0.31880 & -0.26546 & 0.53407 \\ 0.00000 & 0.13703 & 0.54872 & 0.09938 & -0.09465 \\ 0.00000 & 0.31237 & -0.12907 & 0.55173 & -0.20655 \\ 0.00000 & 0.10180 & 0.15940 & -0.13273 & 0.67360 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-5)$$

$$B_D = \begin{bmatrix} -0.18361 & 0.58362 \\ -0.94323 & -0.47053 \\ -0.23135 & -0.00708 \\ 0.07090 & 0.28476 \\ -0.73536 & -0.07042 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-6)$$

## c) Descrição do Sistema Sob a Forma Canônica de Observabilidade

Nesta forma canônica, as matrizes que representam o sistema são as seguintes:

$$A_C = \begin{bmatrix} 0.30545E+01 & 0.10000E+01 & 0.10967E-04 & -0.19073E-04 & 0.38147E-05 \\ -0.37100E+01 & 0.11444E-04 & 0.99998E+00 & 0.26703E-04 & -0.30518E-04 \\ 0.22485E+01 & -0.76294E-05 & 0.20266E-04 & 0.99997E+00 & 0.76294E-05 \\ -0.68074E+00 & 0.95367E-06 & -0.60201E-05 & 0.95367E-05 & 0.99999E+00 \\ 0.82080E-01 & -0.95367E-06 & 0.20117E-06 & -0.27418E-05 & -0.47684E-06 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-7)$$

$$B_C = \begin{bmatrix} -0.11503E+01 & 0.50610E+00 \\ 0.26951E+01 & -0.12420E+01 \\ -0.22460E+01 & 0.11896E+01 \\ 0.82776E+00 & -0.52474E+00 \\ -0.11811E+00 & 0.88310E-01 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-8)$$

$$C_C = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & -0.95367E-05 & 0.19073E-05 & -0.13351E-04 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-9)$$

$$D_C = \begin{bmatrix} 0.50000E+00 & 0.10000E+01 \end{bmatrix} \quad (5.3.2-10)$$

d) Simulação Digital do Observador Adaptativo  
Série-Paralelo

d.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados  
na Simulação

Os coeficientes descritos por este sub-ítem são aqueles relacionados com os filtros dos sinais de saída do processo,  $y(k)$ , e dos sinais de entrada do processo,  $u(k)$ . Os outros coeficientes são: os parâmetros do vetor de estabilização  $h'$ , os ganhos iniciais  $F(0)$ , os períodos  $T$ , das entradas que são as seqüências binárias pseudo-aleatórias, e os valores da média e da variância do ruído, com distribuição normal gaussiana, somado à saída do processo.

## d.1.1) Parâmetros dos Filtros

G 1 = -0.29663E+01  
G 2 = 0.35259E+01  
G 3 = -0.21009E+01  
G 4 = 0.62725E+00  
G 5 = -0.74757E-01

d.1.2) Vetor Estabilização  $h'$ 

$h'_1 = -2,6$                        $h'_4 = 0,5$   
 $h'_2 = 3,0$                        $h'_5 = -0,02$   
 $h'_3 = -1,8$

d.1.3) Ganho Inicial da Sequência de  $F(k)$ 

$F(0) = 10$

## d.1.4) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$T_1 = 511$

$T_2 = 2047$

## d.1.5) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída

$E = 0,0$

$\sigma^2 = 0,01$



## d.2) Tabelas dos Resultados da Simulação

## d.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

N=15000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## MATRIZ "AC"

0.28871E+01	0.10000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
-0.33166E+01	0.00000E+00	0.10000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00
0.18940E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.53304E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10000E+01
0.57475E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

-0.11505E+01	0.50954E+00
0.24944E+01	-0.11671E+01
-0.19263E+01	0.10468E+01
0.65974E+00	-0.42762E+00
-0.73876E-01	0.65765E-01

## MATRIZ "IC"

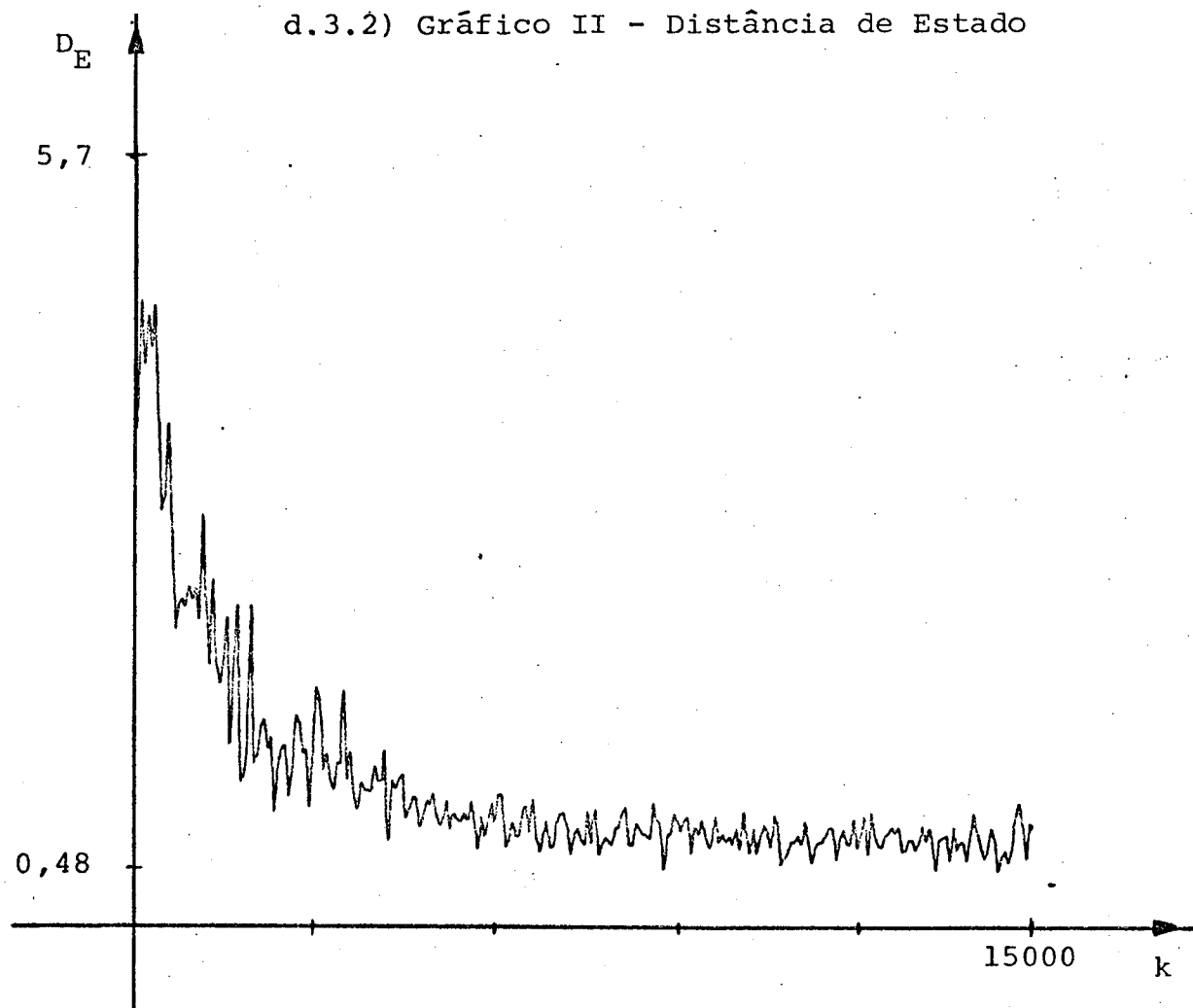
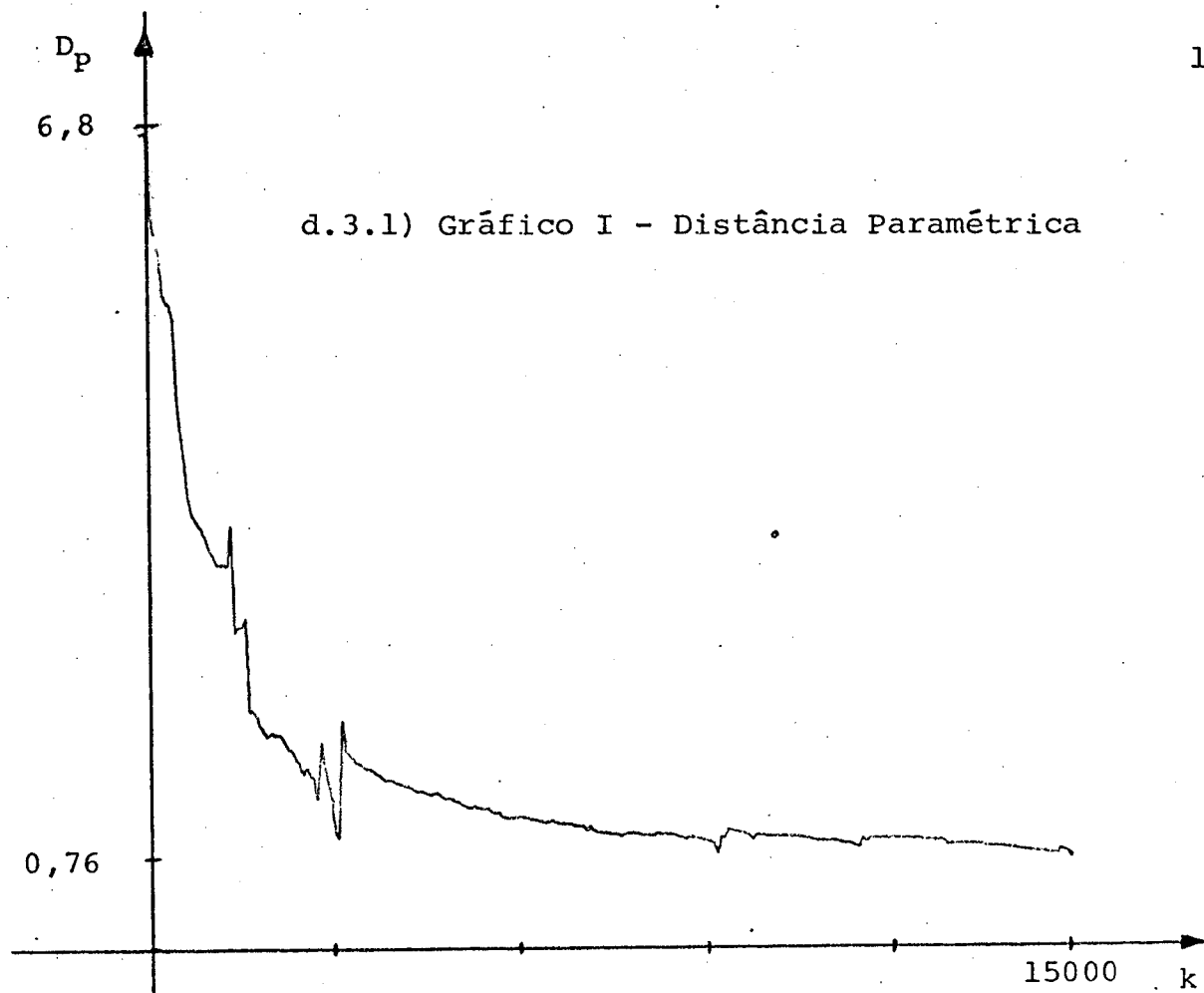
0.50166E+00	0.10008E+01
-------------	-------------

d.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	15000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.79751E+00
DISTANCIA DE ESTADO =	0.79057E+00
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.48958E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.36433E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.31113E+00
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.42873E+00
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.94819E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "5" =	0.52544E-02

Pela comparação dos resultados obtidos pela tabela I com as matrizes indicadas pelas equações (5.3.2-7), (5.3.2-8), (5.3.2-10) e considerando-se os números apresentados pela tabela II pode-se dizer que este observador teve um bom desempenho para este exemplo.

d.3) Resultados Gráficos.



Os resultados gráficos permitem afirmar que houve uma boa estimação dos parâmetros assim como um bom acompanhamento da trajetória do vetor de estado.

e) Simulação Digital do Observador Adaptativo  
Paralelo

e.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados  
na Simulação

Este sub-ítem se refere aos coeficientes que fazem parte do conjunto de filtros dos sinais  $\hat{y}(k)$ ,  $u(k)$  e  $\varepsilon(k)$ . Se refere também aos coeficientes que definem um valor para o ganho inicial,  $F(0)$ , aos períodos  $T$ , das seqüências binárias pseudo-aleatórias e também aos valores da média e da variância do ruído gaussiano.

e.1.1) Parâmetros dos Filtros

G 1 = -0.29663E+01  
G 2 = 0.35259E+01  
G 3 = -0.21009E+01  
G 4 = 0.62725E+00  
G 5 = -0.7457E-01

e.1.2) Ganho Inicial da Sequência de  $F(k)$

$F(0) = 10$

## e.1.3) Período das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

## e.1.4) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída Processo

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

## e.2) Tabelas dos Resultados da Simulação

## e.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

N=20000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## MATRIZ "AC"

0.29526E+01	0.10000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
-0.34658E+01	0.00000E+00	0.10000E+01	0.00000E+00	0.00000E+00
0.20228E+01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.57921E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.10000E+01
0.62061E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

-0.11492E+01	0.50807E+00
0.25754E+01	-0.11933E+01
-0.20448E+01	0.10975E+01
0.71300E+00	-0.46545E+00
-0.82491E-01	0.71975E-01

## MATRIZ "DC"

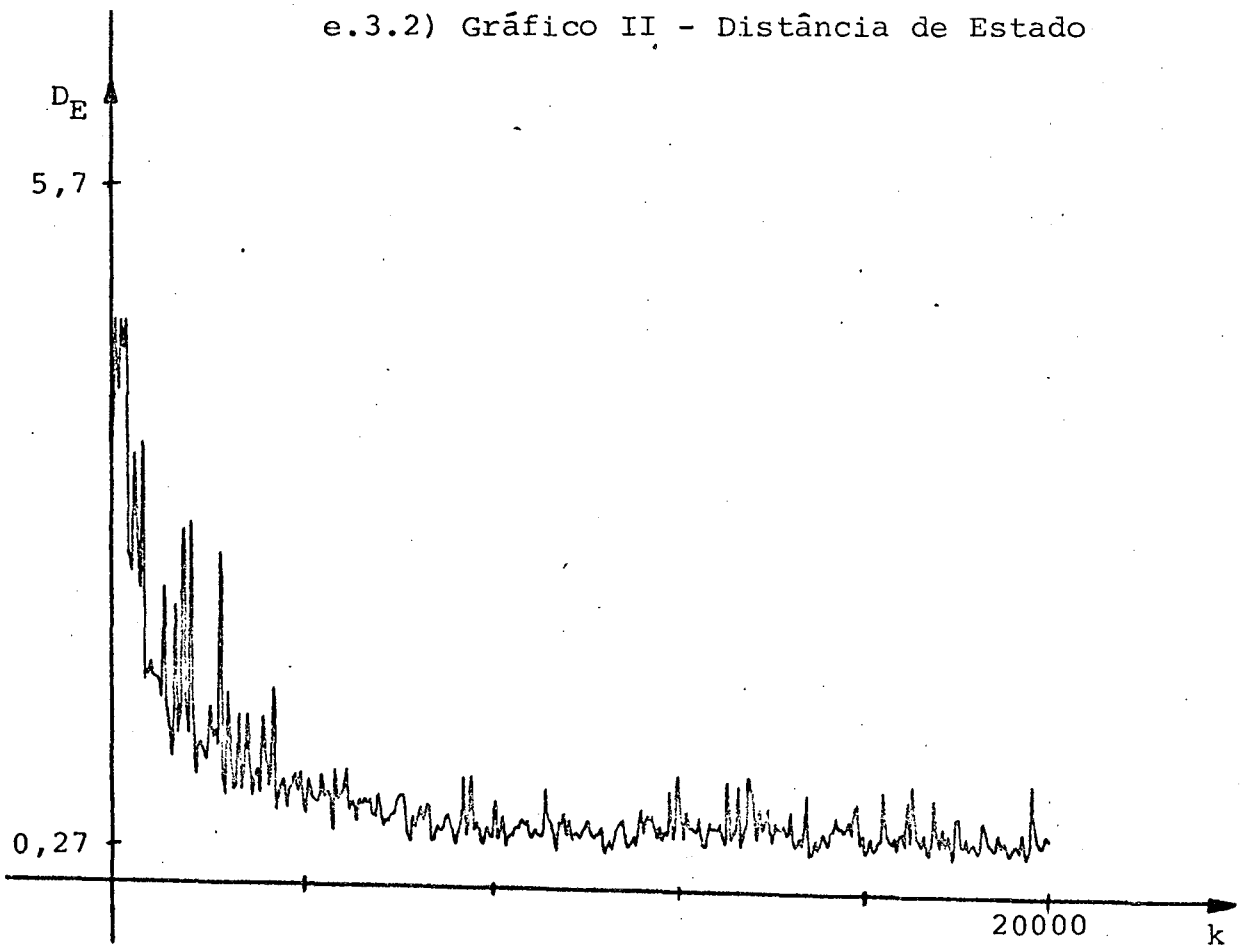
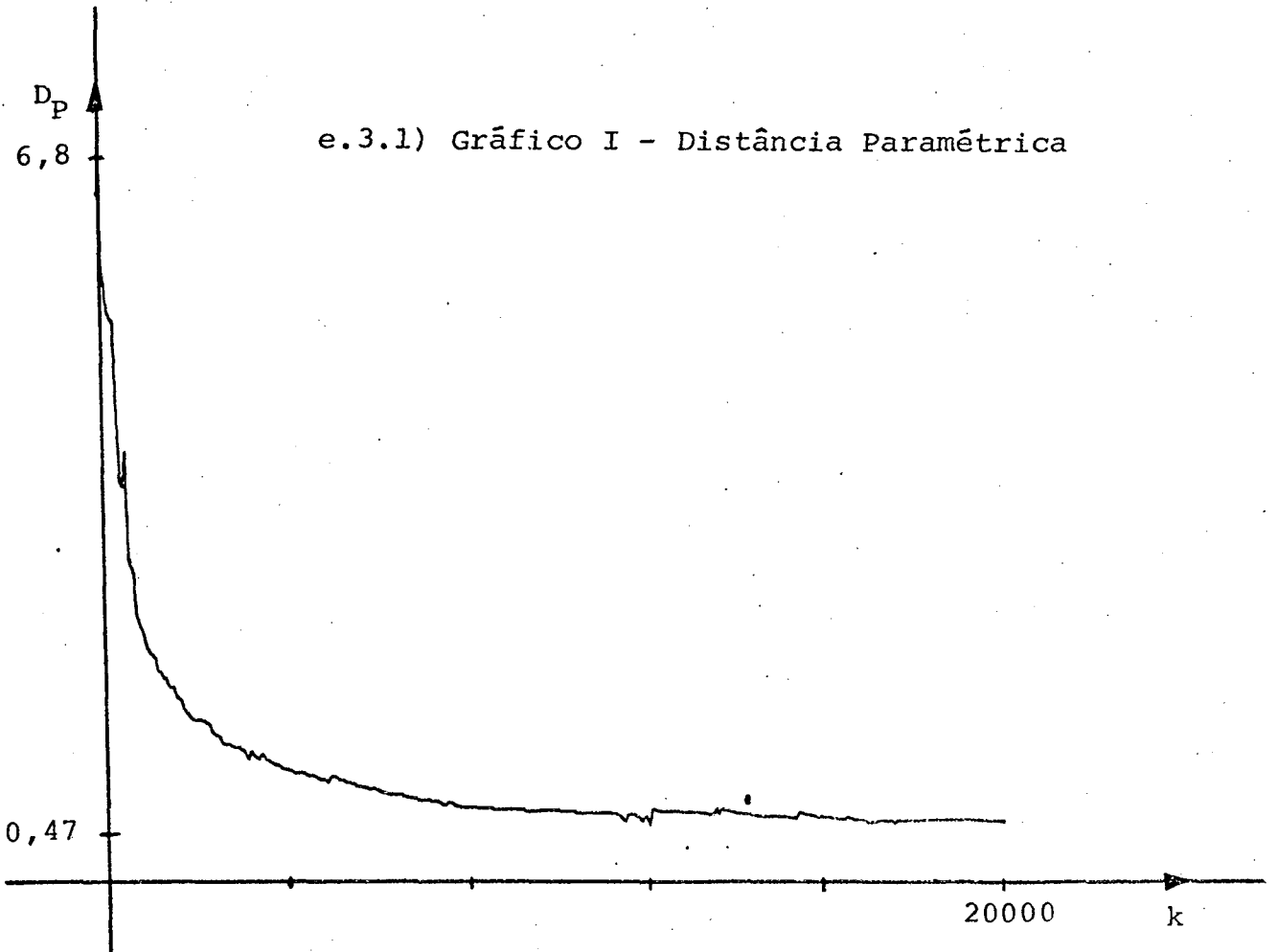
0.50078E+00	0.99946E+00
-------------	-------------

e.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	20000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.46375E+00
DISTANCIA DE ESTADO =	0.40717E+00
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.13584E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.25654E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.52452E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.13203E+00
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.43286E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "5" =	0.35404E-02

Comparando-se os valores contidos na tabela I com aqueles apresentados pelas matrizes referidas pelas equações (5.3.2-7), (5.3.2-8) e (5.3.2-10) e verificando-se os resultados da tabela II, conclui-se que este observador realizou uma boa estimação dos parâmetros, para este exemplo.

e.3) Resultados Gráficos



Pode-se verificar pelos resultados gráficos que este observador teve um bom desempenho na identificação dos parâmetros e no seguimento dos estados do processo.

#### 5.4 - SIMULAÇÃO DOS OBSERVADORES ADAPTATIVOS SÉRIE-PARALELO E PARALELO PARA SISTEMAS MULTIVARIÁVEIS

Nesta seção são mostrados os resultados de simulação digital de algoritmos de observação adaptativa úteis na estimação dos vetores de estado e identificação dos parâmetros de sistemas dotados de múltiplas entradas e múltiplas saídas. Estes resultados são apresentados na forma de tabelas e de gráficos. No conteúdo de uma das tabelas encontra-se a média aritmética dos valores calculados nas últimas duzentas iterações referentes à distância paramétrica, distância de estado, aos erros quadráticos de cada um dos estados e aos erros quadráticos de cada uma das saídas, entre o processo e o observador adaptativo. A outra tabela apresenta os parâmetros identificados após o cálculo da última iteração. Quanto aos gráficos, estes mostram a evolução da distância paramétrica e da distância de estado em função do tempo.

Dois exemplos de sistemas multivariáveis são empregados com o propósito de atestar a eficiência dos algoritmos de observação adaptativa dos tipos Série-Paralelo e Paralelo. Estes sistemas são lineares, estáveis e com os estados observáveis. Em suas saídas são adicionadas perturbações do tipo gaussiana com distribuição normal, apresentando média zero e desvio-padrão



igual a 0,1.

As entradas utilizadas, para efeito de identificação e observação, foram as seqüências binárias pseudo-aleatórias por serem ricas em frequência. Os períodos destas entradas utilizadas no decorrer das simulações variam de 2 a 2047 com amplitude igual a +1 e -1.

#### 5.4.1 - Primeiro Exemplo

##### SISTEMA DE QUARTA ORDEM COM DUAS ENTRADAS E DUAS SAÍDAS

###### a) Descrição do Sistema em Contínuo

O sistema, descrito em termos de variáveis de estado é caracterizado pelas matrizes seguintes:

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 3 & -2 \\ 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & -3 & -1 \\ 2 & 3 & -1 & -5 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-1)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 2 \\ 1 & 1 \\ 2 & 2 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-2)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 3 & 0 \\ 0 & -1 & -3 & 2 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-3)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-4)$$

d) Descrição do Sistema em Amostrado

Com o uso de um tempo de amostragem igual a  $0,1s$ , as matrizes do sistema discretizado assim se apresentam:

$$A_D = \begin{bmatrix} 0.88794 & 0.07738 & 0.24848 & -0.16293 \\ -0.00765 & 0.88898 & -0.07868 & -0.06999 \\ -0.00765 & 0.07025 & 0.74005 & -0.06999 \\ 0.14763 & 0.22605 & -0.05547 & 0.58503 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-5)$$

$$B_D = \begin{bmatrix} 0.09457 & 0.00423 \\ 0.08215 & 0.17702 \\ 0.08215 & 0.08639 \\ 0.17303 & 0.17729 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-6)$$

c) Descrição do Sistema na Forma Canônica de Observabilidade

As matrizes que representam o sistema nesta forma são as seguintes:

$$A_C = \begin{bmatrix} 0.15210E+01 & 0.10000E+01 & -0.12831E+00 & -0.14305E-05 \\ -0.57021E+00 & 0.47684E-06 & 0.95573E-01 & 0.10729E-05 \\ 0.51426E-01 & 0.19073E-05 & 0.15810E+01 & 0.10000E+01 \\ -0.34469E-01 & 0.38147E-05 & -0.63938E+00 & -0.42915E-05 \end{bmatrix}$$

(5.4.1-7)

$$B_C = \begin{bmatrix} 0.25887E+00 & 0.86380E-01 \\ -0.20148E+00 & -0.78165E-01 \\ 0.17460E-01 & -0.81610E-01 \\ 0.25587E-02 & 0.73809E-01 \end{bmatrix}$$

(5.4.1-8)

$$C_C = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.00000E+00 & -0.23842E-06 & 0.00000E+00 \\ 0.19073E-05 & 0.00000E+00 & 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix}$$

(5.4.1-9)

$$D_C = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \\ 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix}$$

(5.4.1-10)

#### d) Descrição do Sistema na Forma Associada

Nesta forma o sistema é dividido em dois subsistemas distintos, cujas matrizes são expressas a seguir:

##### d.1) Primeiro Subsistema

$$\tilde{A}_1 = \begin{bmatrix} 0.15210E+01 & 0.10000E+01 \\ -0.57021E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-11)$$

$$\tilde{M}_1 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & -0.12831E+00 \\ 0.00000E+00 & 0.95573E-01 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-12)$$

$$\tilde{B}_1 = \begin{bmatrix} 0.25887E+00 & 0.86380E-01 \\ -0.20148E+00 & -0.78165E-01 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-13)$$

$$\tilde{c}_1 = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-14)$$

$$\tilde{k}_1 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-15)$$

$$\tilde{d}_1 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-16)$$

d.2) Segundo Subistema

$$\tilde{A}_2 = \begin{bmatrix} 0.15810E+01 & 0.10000E+01 \\ -0.63938E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-17)$$

$$\tilde{M}_2 = \begin{bmatrix} 0.51426E-01 & 0.00000E+00 \\ -0.34469E-01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-18)$$

$$\tilde{B}_2 = \begin{bmatrix} 0.17460E-01 & -0.81610E-01 \\ 0.25587E-02 & 0.73809E-01 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-19)$$

$$\tilde{c}_2 = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-20)$$

$$\tilde{k}_2 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-21)$$

$$\tilde{d}_2 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.1-22)$$

#### e) Simulação Digital do Observador Adaptativo Série-Paralelo

##### e.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados na Simulação

Os coeficientes a que se refere este sub-ítem estão relacionados com os filtros pelos quais passam os sinais de saída do processo,  $y(k)$  e os sinais de entrada  $u(k)$  segundo as equações (2.4-25), (2.4-26) e (2.4-27). Os outros coeficientes são: os valores dos elementos do vetor  $h'$ , ganhos iniciais  $F(0)$ , os períodos  $T$  das seqüências binárias pseudo-aleatórias e os valores da média e da variância do ruído gaussiano, adicionado à saída do processo.

## e.1.1) Parâmetros dos Filtros

$$1^{\circ} \begin{cases} G_1 = -0.10464E+01 \\ G_2 = 0.29082E+00 \end{cases}$$

$$2^{\circ} \begin{cases} G_1 = -0.65491E+00 \\ G_2 = 0.25392E-01 \end{cases}$$

e.1.2) Vetores de Estabilização  $h'$ 

$$h'_{11} = -1,5$$

$$h'_{21} = -1,5$$

$$h'_{12} = 0,51$$

$$h'_{22} = 0,55$$

e.1.3) Ganhos Iniciais das Sequências  $F(k)$ 

$$F_1(0) = 10000$$

$$F_2(0) = 10000$$

## e.1.4) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

## e.1.5) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

## e.2) Tabelas dos Resultados de Simulação

## e.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

K=15000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## SUBSISTEMA "1"

## MATRIZ "AC"

0.14848E+01	0.10000E+01
-0.53708E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

-0.15865E+00	0.25755E+00	0.86789E-01
0.11604E+00	-0.19113E+00	-0.78475E-01

## MATRIZ "DC"

0.00000E+00	-0.16268E-02	0.16015E-02
-------------	--------------	-------------

## SUBSISTEMA "2"

## MATRIZ "AC"

0.15265E+01	0.10000E+01
-0.59554E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

0.45052E-01	0.17703E-01	-0.82982E-01
-0.22626E-01	0.42402E-02	0.70994E-01

## MATRIZ "DC"

0.00000E+00	-0.17283E-02	-0.16887E-02
-------------	--------------	--------------

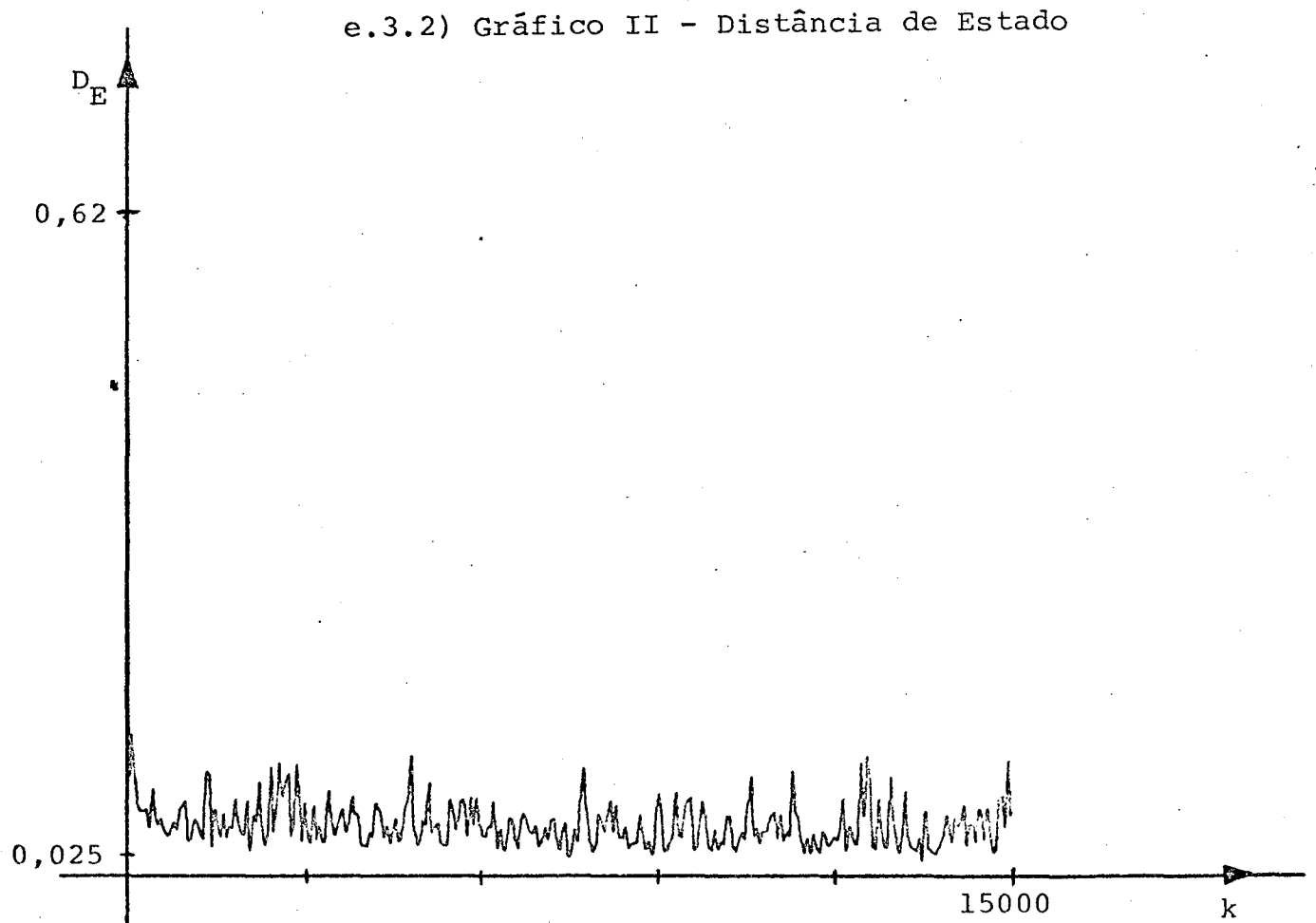
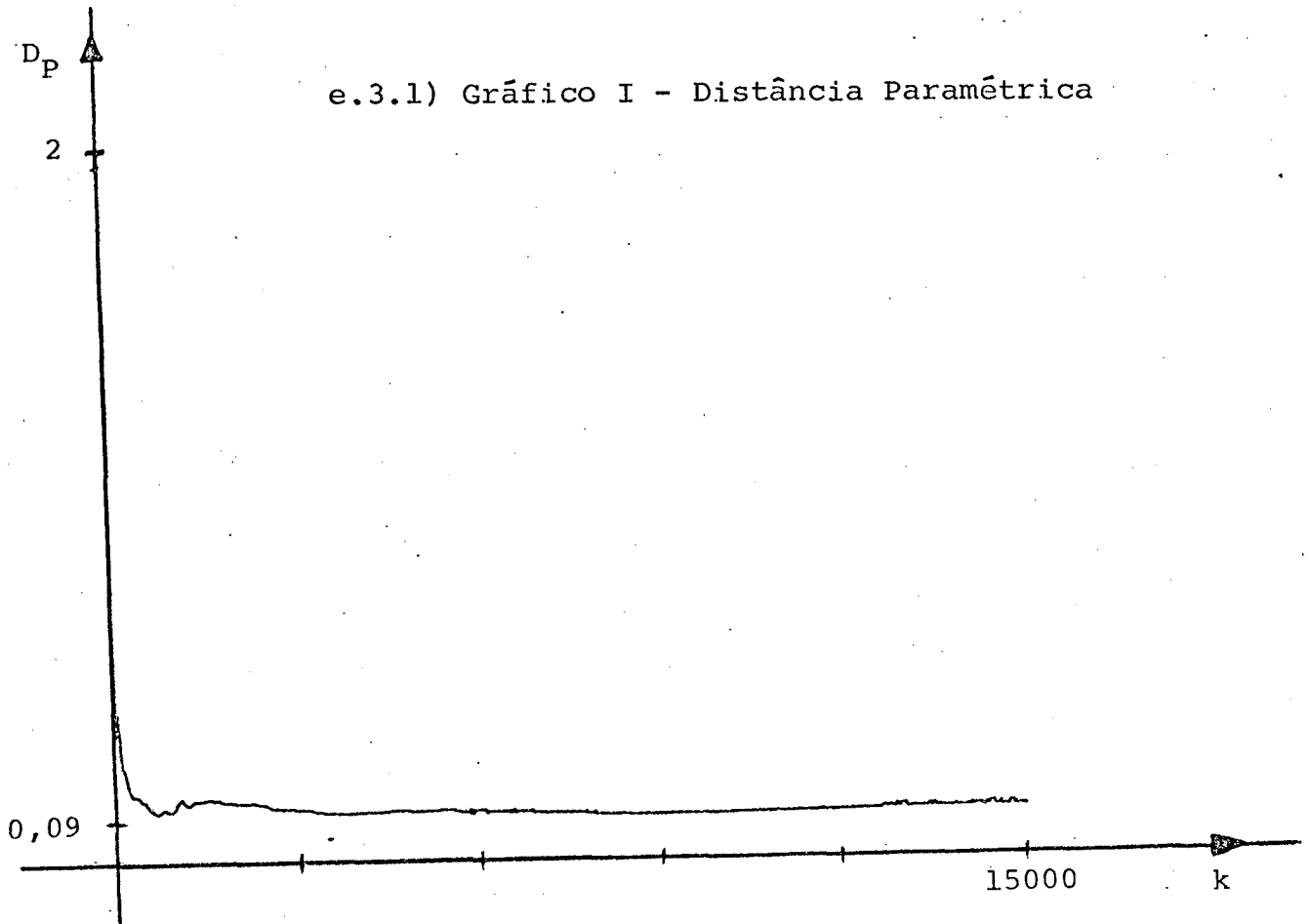
e.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	15000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.95543E-01
DISTANCIA DE ESTADO =	0.80690E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.16926E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "2" =	0.73730E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.53223E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.17641E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.14478E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.20429E-03

Pelos resultados da tabela I comparados com os valores correspondentes das matrizes (5.4.1-11), (5.4.1-12), (5.4.1-13), (5.4.1-15), (5.4.1-16), (5.4.1-17), (5.4.1-18), (5.4.1-19), (5.4.1-21), (5.4.1-22) pode se dizer que ocorreu uma boa identificação dos parâmetros deste processo. A tabela II reforça a afirmativa do bom desempenho deste observador.

e.3) Resultados Gráficos.





Através dos gráficos apresentados, pode-se afirmar que ocorreu uma boa convergência do observador adaptativo em direção aos parâmetros e vetor de estado do processo.

#### f) Simulação Digital do Observador Adaptativo Paralelo

##### f.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados na Simulação

Os coeficientes são aqueles dos filtros da saída do observador  $\hat{y}(k)$ , dos sinais de erro de saída  $\varepsilon(k)$  e dos sinais de entrada  $u(k)$ , segundo as equações (2.5-13), (2.5-14) e (2.4-26). Os outros coeficientes são: ganhos iniciais  $F(o)$ , os períodos  $T$ , das seqüências binárias e os valores da média e da variância do ruído gaussiano.

##### f.1.1) Parâmetros dos Filtros

$$1^\circ \left\{ \begin{array}{l} G_1 = -0.10464E+01 \\ G_2 = 0.29082E+00 \end{array} \right.$$

$$2^\circ \left\{ \begin{array}{l} G_1 = -0.65491E+00 \\ G_2 = 0.25392E-01 \end{array} \right.$$

##### f.1.2) Ganhos Iniciais das Sequências de $F(k)$

$$F_1(o) = 10000$$

$$F_2(o) = 10000$$

f.1.3) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

f.1.4) Média e Variância do Ruídos Gaussiano que Interfere na Saída do Processo.

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

f.2) Tabelas dos Resultado de Simulação

## f.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

K=15000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## SUBSISTEMA "1"

## MATRIZ "AC"

0.14539E+01	0.10000E+01
-0.51890E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

-0.14059E+00	0.25812E+00	0.87199E-01
0.99173E-01	-0.18319E+00	-0.75362E-01

## MATRIZ "DC"

0.00000E+00	0.73202E-03	-0.78799E-03
-------------	-------------	--------------

## SUBSISTEMA "2"

## MATRIZ "AC"

0.15501E+01	0.10000E+01
-0.61475E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

0.56271E-01	0.18004E-01	-0.80611E-01
-0.33136E-01	0.30686E-03	0.69321E-01

## MATRIZ "DC"

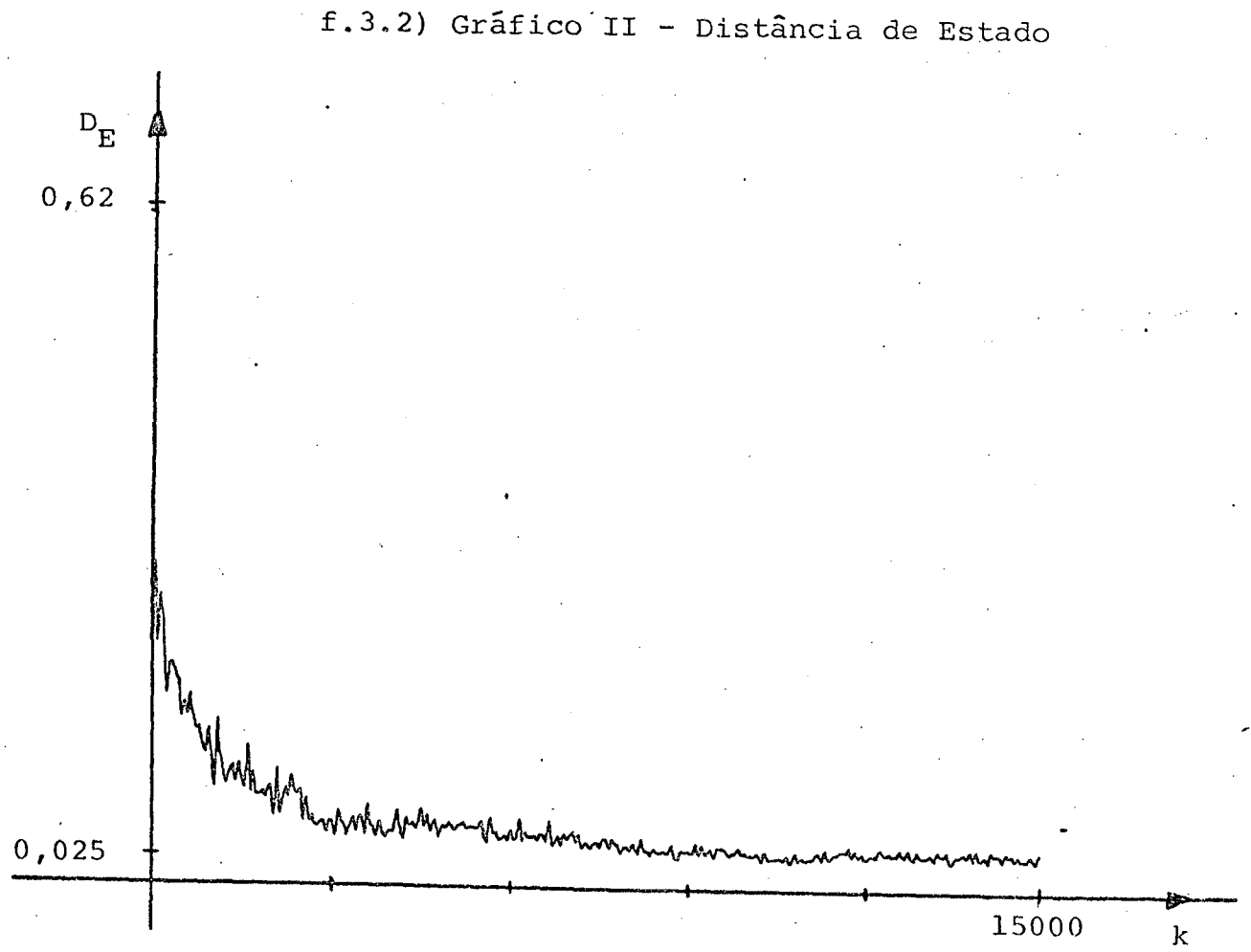
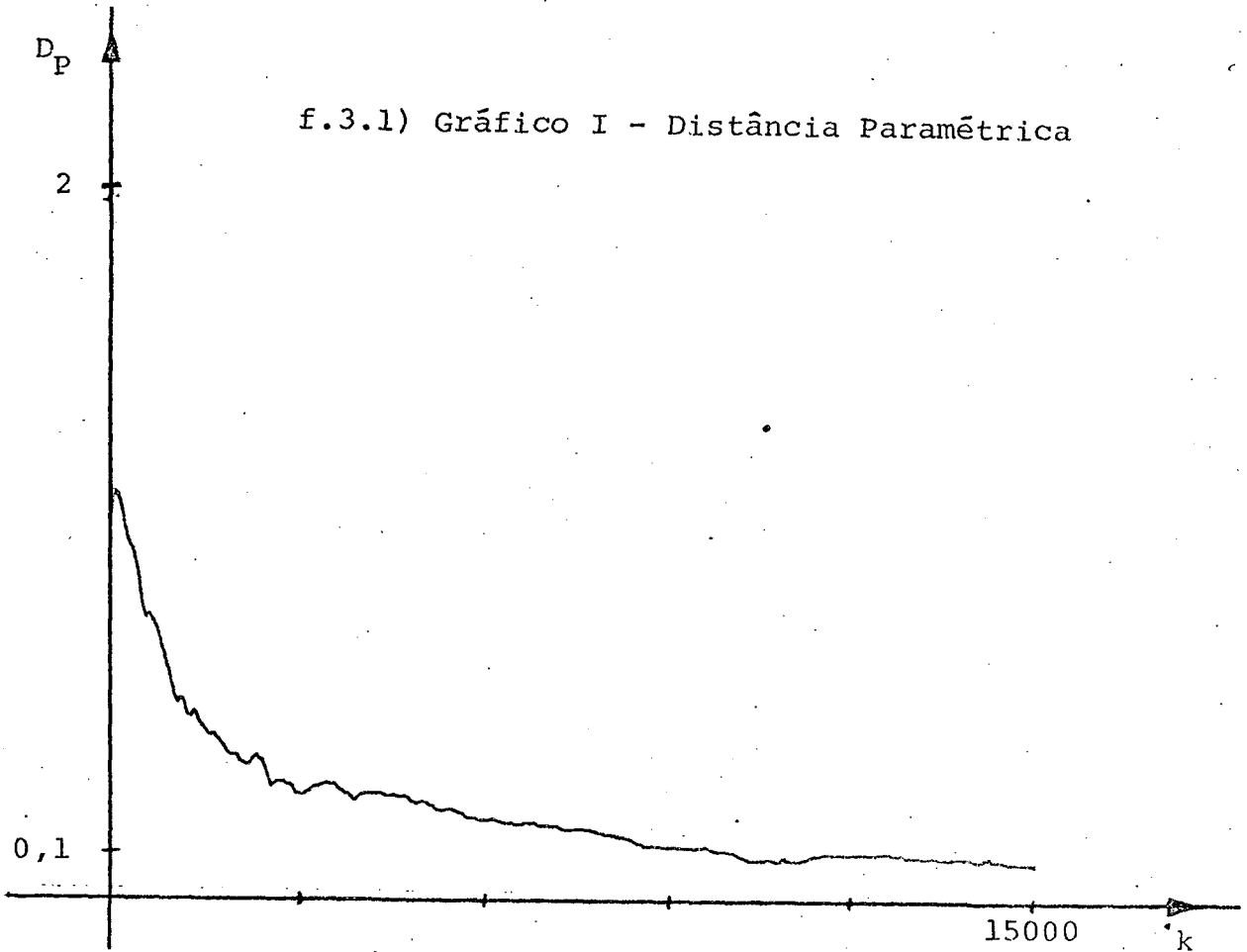
0.00000E+00	-0.15760E-02	-0.45440E-03
-------------	--------------	--------------

f.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	15000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.97356E-01
DISTANCIA DE ESTADO =	0.29231E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.95200E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "2" =	0.10665E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.16465E-04
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.89312E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.64032E-04
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.10523E-03

Comparando-se os resultados da tabela I com os valores correspondentes das matrizes (5.4.1-11) à (5.4.1-22) conclui-se que este observador apresenta uma excelente performance. Os valores apresentados pela tabela II reforçam este comentário.

f.3) Resultados Gráficos



Os resultados gráficos apresentados confirmam o bom desempenho deste observador, para este exemplo.

#### 5.4.2 - Segundo Exemplo

##### SISTEMA DE QUINTA ORDEM COM DUAS ENTRADAS E DUAS SAÍDAS

##### a) Descrição do Sistema em Contínuo

Em termos de variáveis de estado, o sistema é descrito pelas matrizes a seguir:

$$A = \begin{bmatrix} -3 & 1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -5 & 0 & -1 \\ 0 & 3 & -1 & -4 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -2 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-1)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-2)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-3)$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0,5 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-4)$$

b) Descrição do Sistema em Amostrado

Utilizando-se um tempo de amostragem igual a 0,1s, as matrizes do sistema discretizado se apresentam da forma seguinte:

$$A_D = \begin{bmatrix} 0.74057 & 0.07816 & 0.13404 & -0.07073 & -0.00743 \\ -0.00397 & 0.90457 & -0.07470 & -0.00371 & -0.08213 \\ -0.00371 & 0.07792 & 0.60282 & -0.00347 & -0.07445 \\ -0.00397 & 0.23425 & -0.07470 & 0.66661 & -0.08213 \\ 0.07791 & -0.07024 & 0.00717 & 0.07049 & 0.81848 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-5)$$

$$B_D = \begin{bmatrix} 0.00398 & 0.08665 \\ 0.09077 & 0.09488 \\ 0.00013 & 0.00398 \\ 0.00835 & 0.09488 \\ 0.08666 & 0.00425 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-6)$$

c) Descrição do Sistema na Forma Canônica de Observabilidade

As matrizes que representam o sistema nesta forma são as seguintes:



$$A_C = \begin{bmatrix} 0.23229E+01 & 0.10000E+01 & -0.21458E-05 & -0.14305E-05 & -0.13113E-05 \\ -0.17869E+01 & 0.35763E-05 & 0.99999E+00 & -0.11565E-01 & -0.59605E-07 \\ 0.45523E+00 & -0.51782E-05 & -0.10282E-05 & 0.91533E-02 & -0.12740E-05 \\ 0.79225E-01 & -0.38147E-05 & -0.19073E-05 & 0.14101E+01 & 0.10000E+01 \\ -0.53122E-01 & 0.28610E-05 & -0.95367E-06 & -0.49121E+00 & 0.95367E-06 \end{bmatrix}$$

(5.4.2-7)

$$B_C = \begin{bmatrix} 0.12460E-01 & 0.18551E+00 \\ 0.22292E-03 & -0.27224E+00 \\ -0.73120E-02 & 0.99414E-01 \\ 0.94882E-01 & 0.12462E+00 \\ -0.50432E-01 & -0.82598E-01 \end{bmatrix}$$

(5.4.2-8)

$$C_C = \begin{bmatrix} 0.99999E+00 & -0.38147E-05 & -0.38147E-05 & 0.11921E-06 & 0.11921E-06 \\ 0.32969E+00 & -0.57220E-05 & -0.19073E-05 & 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix}$$

(5.4.2-9)

$$D_C = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.20000E+01 \\ 0.50000E+00 & 0.10000E+01 \end{bmatrix}$$

(5.4.2-10)

#### d) Descrição no Sistema na Forma Associada

Nesta forma o sistema é dividido em dois subsistemas distintos, cujas matrizes são expressas como segue:

##### d.1) Primeiro Subsistema

$$\tilde{A}_1 = \begin{bmatrix} 0.23229E+01 & 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \\ -0.17831E+01 & 0.00000E+00 & 0.10000E+01 \\ 0.45221E+00 & 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-11)$$

$$\tilde{M}_1 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \\ 0.00000E+00 & -0.11565E-01 \\ 0.00000E+00 & 0.91533E-02 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-12)$$

$$\tilde{B}_1 = \begin{bmatrix} 0.12460E-01 & 0.18551E+00 \\ 0.60054E-02 & -0.26068E+00 \\ -0.11889E-01 & 0.90261E-01 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-13)$$

$$\tilde{c}_1 = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-14)$$

$$\tilde{k}_1 = \begin{bmatrix} 0.00000E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.5.2-15)$$

$$\tilde{d}_1 = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.20000E+01 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-16)$$

d.2) Segundo Subsistema

$$\tilde{A}_2 = \begin{bmatrix} 0.14101E+01 & 0.10000E+01 \\ -0.49121E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-17)$$

$$\tilde{M}_2 = \begin{bmatrix} 0.79225E-01 & 0.00000E+00 \\ -0.53122E-01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-18)$$

$$\tilde{B}_2 = \begin{bmatrix} 0.15657E-01 & -0.33830E-01 \\ 0.26900E-02 & 0.23646E-01 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-19)$$

$$\tilde{c}_2 = \begin{bmatrix} 0.10000E+01 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-20)$$

$$\tilde{k}_2 = \begin{bmatrix} 0.32969E+00 & 0.00000E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-21)$$

$$\tilde{d}_2 = \begin{bmatrix} 0.17031E+00 & 0.34062E+00 \end{bmatrix} \quad (5.4.2-22)$$

e) Simulação Digital do Observador Adaptativo  
Série-Paralelo

e.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados  
na Simulação

Os coeficientes são aqueles relacionados com os filtros dos sinais de saída do processo,  $y(k)$ , e dos sinais de entrada  $u(k)$ . Os outros coeficientes são: os parâmetros de vetor de estabilização  $h'$ , os ganhos  $F(o)$ , os períodos  $T$  das seqüências binárias pseudo-aleatórias, e os valores da média e da variância do ruído gaussiano.

## e.1.1) Parâmetros dos Filtros

$$1\phi \left\{ \begin{array}{l} G_1 = -0.21696E+01 \\ G_2 = 0.15769E+01 \\ G_3 = -0.38235E+00 \end{array} \right.$$

$$2\phi \left\{ \begin{array}{l} G_1 = -0.13871E+01 \\ G_2 = 0.47927E+00 \end{array} \right.$$

e.1.2) Vetores de Estabilização  $h'$ 

$$h'_{11} = -2,0 \qquad h'_{21} = -1,35$$

$$h'_{12} = 1,4 \qquad h'_{22} = 0,35$$

$$h'_{13} = -0,3$$

e.1.3) Ganhos Iniciais das Sequências de  $F(k)$ 

$$F_1(o) = 10000$$

$$F_2(o) = 10000$$

## e.1.4) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

e.1.5) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída do Processo

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

e.2) Tabelas dos Resultados de Simulação

e.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

SUBSISTEMA "1"

MATRIZ "AC"

0.19966E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.14395E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.40601E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

MATRIZ "BC"

-0.35630E-02	0.20439E-01	0.18005E+00
0.19351E-03	-0.28172E-01	-0.20182E+00
-0.56061E-02	0.28085E-01	0.74633E-01

MATRIZ "DC"

0.24111E-02	0.99913E+00	0.20007E+01
-------------	-------------	-------------

SUBSISTEMA "2"

MATRIZ "AC"

0.13607E+01	0.10000E+01
-0.44009E+00	0.00000E+00

MATRIZ "BC"

0.76412E-01	0.30043E-01	-0.11130E-01
-0.56511E-01	0.93462E-02	0.38460E-01

MATRIZ "DC"

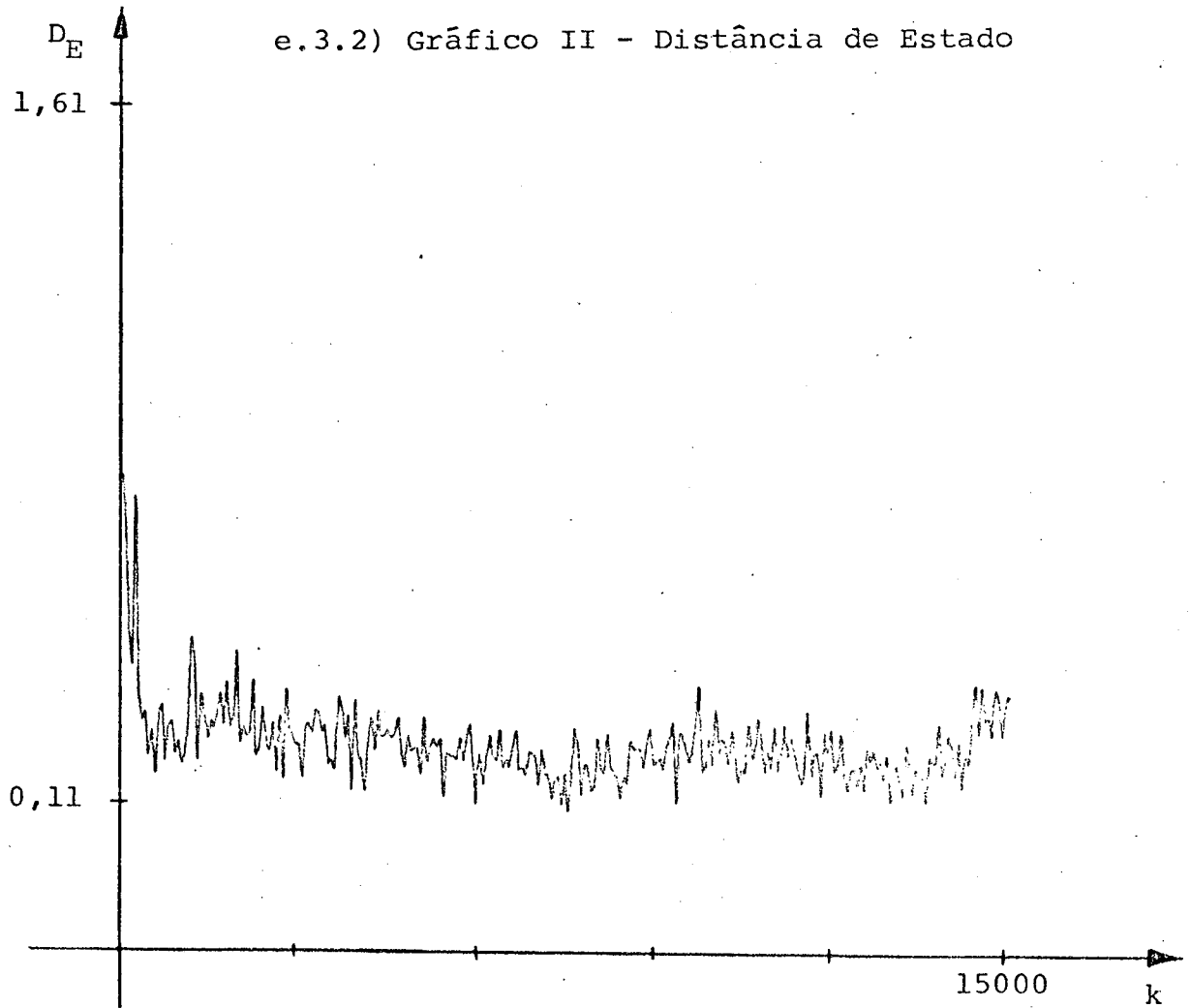
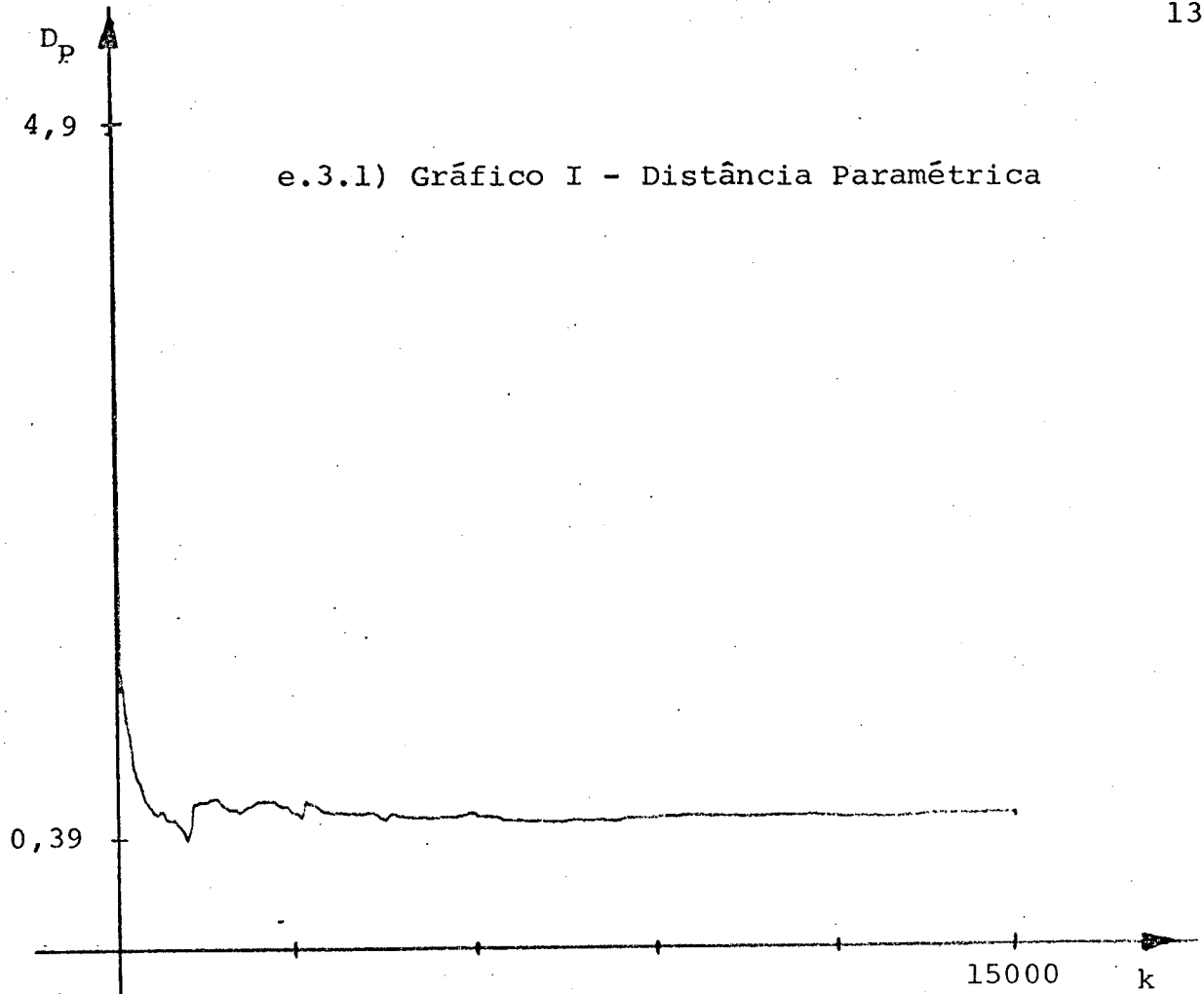
0.30314E+00	0.19754E+00	0.37078E+00
-------------	-------------	-------------

e.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	15000	
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.48354E+00	
DISTANCIA DE ESTADO =	0.22126E+00	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.17375E-01	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "2" =	0.15208E-01	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.10050E-01	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.51675E-01	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.40739E-02	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.64857E-02	
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "5" =	0.45845E-03	

Pela comparação dos resultados obtidos pela tabela I com as matrizes pelas equações (5.4.2-11) a (5.4.2-22) e considerando-se os números apresentados pela tabela II pode-se dizer que este observador teve um bom desempenho para este exemplo.

e.3) Resultados Gráficos.



Os resultados gráficos permitem afirmar que houve uma boa estimação dos parâmetros assim como um bom acompanhamento da trajetória do vetor de estado.

#### f) Simulação Digital do Observador Adaptativo Paralelo

##### f.1) Valores dos Coeficientes Auxiliares Utilizados na Simulação

Este sub-ítem se refere aos coeficientes que fazem parte do conjunto de filtros dos sinais  $\hat{y}(k)$ ,  $u(k)$  e  $\varepsilon(k)$ . Se refere também aos coeficientes que definem um valor para os ganhos iniciais,  $F(0)$ , aos períodos,  $T$ , das seqüências binárias pseudo-aleatórias e também aos valores da média e da variância do ruído gaussiano.

##### f.1.1) Parâmetros dos Filtros

$$1^\circ \begin{cases} G_1 = & -0.21697E+01 \\ G_2 = & 0.15771E+01 \\ G_3 = & -0.38241E+00 \end{cases}$$

$$2^\circ \begin{cases} G_1 = & -0.13871E+01 \\ G_2 = & 0.47927E+00 \end{cases}$$



f.1.2) Ganhos Iniciais das Sequências de  $F(k)$ 

$$F_1(0) = 10000$$

$$F_2(0) = 10000$$

## f.1.3) Períodos das Entradas Pseudo-aleatórias

$$T_1 = 511$$

$$T_2 = 2047$$

## f.1.4) Média e Variância do Ruído Gaussiano que Interfere na Saída do Processo

$$E = 0,0$$

$$\sigma^2 = 0,01$$

## f.2) Tabelas dos Resultados de Simulação

## f.2.1) Tabela I - Parâmetros Identificados

N=15000

## PARAMETROS IDENTIFICADOS

## SUBSISTEMA "1"

## MATRIZ "AC"

0.21514E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.15515E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.37681E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

0.22527E-01	0.14505E-02	0.16407E+00
-0.59323E-01	0.28072E-01	-0.18699E+00
0.33902E-01	-0.17247E-01	0.55988E-01

## MATRIZ "DC"

0.00000E+00	0.10003E+01	0.19996E+01
-------------	-------------	-------------

## SUBSISTEMA "2"

## MATRIZ "AC"

0.13734E+01	0.10000E+01
-0.46221E+00	0.00000E+00

## MATRIZ "BC"

0.80416E-01	0.14983E-01	-0.31967E-01
-0.51565E-01	0.55975E-02	0.23576E-01

## MATRIZ "DC"

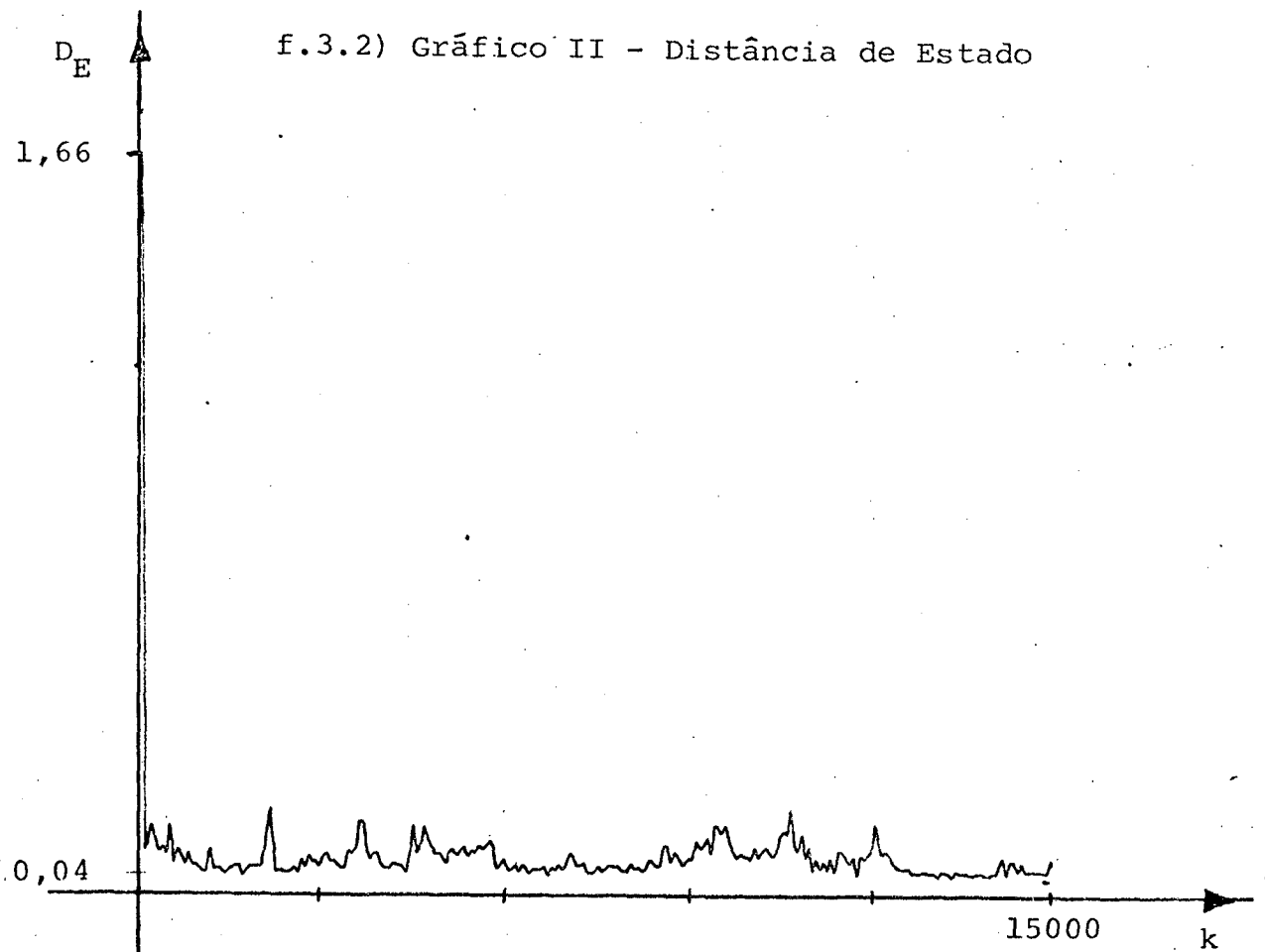
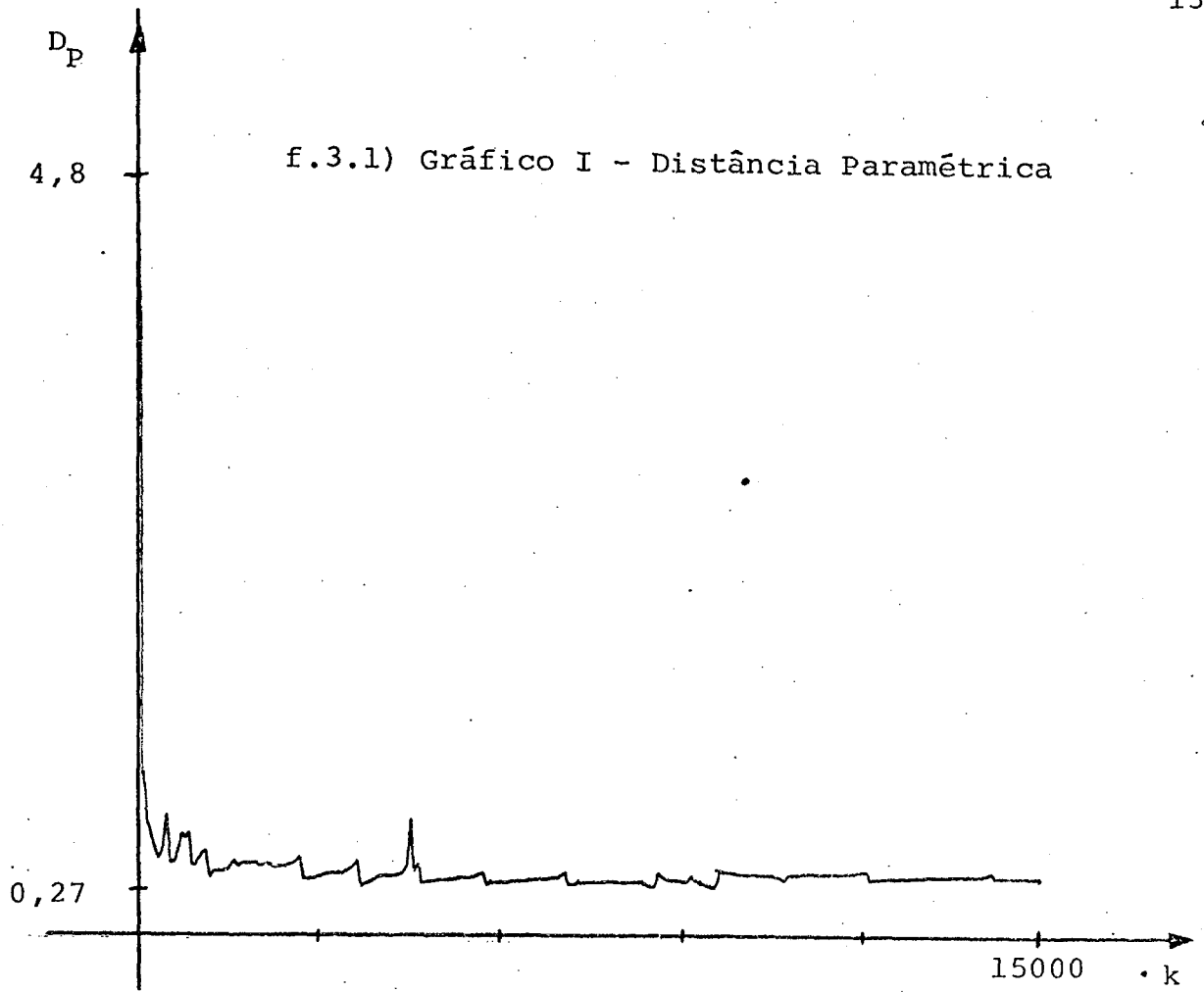
0.32128E+00	0.17846E+00	0.35841E+00
-------------	-------------	-------------

f.2.2) Tabela II - Médias das Distâncias e dos Erros Quadráticos

NUMERO DE ITERACOES =	15000
DISTANCIA PARAMETRICA =	0.31877E+00
DISTANCIA DE ESTADO =	0.57931E-01
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" =	0.90566E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "2" =	0.99009E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" =	0.48246E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" =	0.34044E-02
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" =	0.44639E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" =	0.17245E-03
ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "5" =	0.51377E-04

Comparando-se os valores contidos na tabela I com aqueles apresentados pelas matrizes referidas pelas equações (5.4.2-11) à (5.4.2-22) e verificando-se os resultados da tabela II, conclui-se que este observador realizou uma boa estimação dos parâmetros, para este exemplo.

f.3) Resultados Gráficos.



Pode-se verificar pelos resultados gráficos que este observador teve um bom desempenho na identificação dos parâmetros e no seguimento dos estados do processo.

### 5.5 - CONCLUSÃO

Através da verificação e comparação dos resultados gráficos e dos valores contidos nas tabelas, obtidos da simulação digital dos algoritmos de adaptação, aplicada a vários exemplos de processos, pode-se afirmar que o observador adaptativo Paralelo apresenta um desempenho superior àquele do observador adaptativo Série-Paralelo em ambiente estocástico.

Este ambiente estocástico é representado por uma perturbação adicionada às saídas dos processos e que possui distribuição normal gaussiana, com média igual a zero e desvio-padrão igual a 0,1.

Na ausência da perturbação ocorre uma rápida identificação dos parâmetros, bem como o seguimento dos estados do processo é conseguido após algumas poucas iterações. A presença de ruído envolvendo o processo impõe uma dificuldade maior ao observador tanto na obtenção de uma estimativa confiável dos parâmetros, como também no que concerne a um acompanhamento mais efetivo das trajetórias dos estados.

Quando não existe ruído, após algumas iterações, apenas uma única amostra de valores dos parâmetros calculados pelo algoritmo de adaptação paramétrica, fornece os valores reais dos parâmetros do processo. No caso em que há a ocorrência de perturbação os valores aproximados daqueles dos parâmetros

do processo são obtidos da média de resultados provenientes do cálculo de várias iterações. A diferença entre os parâmetros do observador e do processo é expressa pela distância paramétrica. Assim quanto maior o número de iterações utilizados para compor a média, obtem-se uma melhor estimativa dos parâmetros do processo observado. Por outro lado, quanto maior a variância da perturbação, maiores são os obstáculos impostos ao observador adaptativo no seu objetivo de alcançar uma boa estimação dos parâmetros e realizar um bom rastreamento das trajetórias dos estados do processo.

Na consecução dos objetivos acima citados alguns coeficientes ligados ao observador têm importante papel. Os coeficientes  $g_i$  dos filtros e os coeficientes  $h'_i$  da matriz de ganho de realimentação  $H'$  (equação 2.2-26).

Os parâmetros  $g_i$  dos filtros são calculados tomando-se por base a matriz  $A$  transposta ( $A^T$ ), na forma canônica de observabilidade, de um sistema estável qualquer (mas com a mesma ordem daquele a ser observado), os coeficientes  $\lambda$  e  $r$ , conforme a descrição contida no apêndice III. O valor de  $\lambda$  no presente estudo é sempre igual a 1 (por razões já expostas no capítulo 2), e o valor de  $r$  pode variar de zero até infinito. Variando-se  $r$  pode-se obter vários conjuntos de valores para os coeficientes  $g_i$ . Deve-se, então, procurar uma faixa de valores de  $r$  que permita o melhor desempenho possível aos observadores adaptativos, para um dado processo.

Os parâmetros  $h_i$ , arbitrários, utilizados no observador adaptativo Série-Paralelo compõem uma matriz cujo autovalores, em amostrado, devem estar no interior do círculo unitário. Existe também uma faixa de valores de  $h_i$  na qual o observador adaptativo Série-Paralelo apresenta uma melhor performance, para um sistema específico.

## CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

No decorrer do presente trabalho foram estudados dois tipos de observadores adaptativos discretos úteis à observação dos estados e estimação dos parâmetros de sistemas multivariáveis. Estes observadores adaptativos da Forma Canônica de Observabilidade, foram obtidos a partir da teoria de Síntese de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência (S.A.M.R.).

A Síntese de S.A.M.R. é estudada através de uma transformação destes sistemas em forma padrão, a qual permite a aplicação de critérios de estabilidade assintótica global.

Mostrou-se que se pode utilizar observadores dotados de uma única saída em processos de múltiplas saídas. É que neste caso, a cada saída do processo multivariável é acoplado um observador monovariável. E os resultados obtidos relacionam-se com a Forma Associada derivada da Forma Canônica de Observabilidade para sistemas multivariáveis. Esta Forma Associada permite mostrar que sistemas com múltiplas entradas e múltiplas saídas podem ser tratados como sendo constituídos por diversos subsistemas, cada um constituído por várias entradas e uma saída. Os estados de um determinado subsistema independem dos estados não acessíveis dos outros subsistemas.

Os dois observadores adaptativos objetos deste estudo têm por base duas estruturas de observação linear: uma do tipo Paralelo e outra do tipo Série-Paralelo. Então, quando a



adaptação paramétrica é concluída os observadores adaptativos com portam-se como os observadores lineares.

Os algoritmos de adaptação utilizados possuem ganho decrescente, que apresentam melhor performance em ambiente ruidoso que aqueles à ganho constante. Este algoritmos de adaptação têm probabilidade igual à um.

Verificando-se o desempenho de cada um dos observadores adaptativos, através da sua aplicação à vários exemplos, chega-se à conclusão de que o observador adaptativo do tipo Paralelo apresenta uma performance superior àquela do observador adaptativo Série-Paralelo em ambiente estocástico com distribuição normal gaussiana. Esta performance superior de um dos observadores fica clara fazendo-se uma comparação dos resultados gráficos e das tabelas compostas dos valores obtidos dos parâmetros, pelos observadores, após o cálculo de um determinado número de iteração. Esta comparação foi feita, levando-se em consideração o fato de que ambos os observadores adaptativos foram aplicados aos mesmos exemplos.

O desempenho dos observadores adaptativos também depende significativamente dos valores de coeficientes que fazem parte de suas estruturas e que podem ser convenientemente calculados ou arbitrados.

Os parâmetros  $g_i$  fazem parte do conjunto de filtros pelos quais passam os sinais de  $u(k)$ ,  $y(k)$ ,  $\hat{y}(k)$  e  $\varepsilon(k)$ . Os valores filtrados são próprios para a construção dos sinais auxiliares.

Deve-se procurar encontrar um conjunto de valores para  $g_i$  tal que a performance dos observadores adaptativos seja satisfatória para um determinado sistema.

Os coeficientes  $h'_i$ , arbitrariamente escolhidos, são empregados no observador adaptativo do tipo Série-Paralelo. Eles fazem parte da matriz de estabilização  $H'$ , cujos auto-valores, em discreto, devem estar contidos num círculo de raio unitário. Para este caso também deve-se buscar um conjunto de valores para  $h'_i$  para o qual este observador atinja um desempenho desejável, para um processo especificado.

Não menos importante é a definição de um valor para o ganho inicial da matriz  $F(k)$ . Na ausência de ruído, quanto maior o valor inicial do ganho, mais rapidamente os parâmetros do processo são identificados. Na presença de perturbação, um ganho inicial elevado, não implica que uma boa estimação dos parâmetros será propiciada. Isto porque quanto maior o ganho inicial, mais rapidamente os elementos que compõe a matriz  $F(k)$  tenderão para zero em um determinado número de iterações, que pode não ser suficiente para a realização de uma identificação aceitável. Neste caso então deve-se escolher um valor de ganho inicial menor, que tenda a zero mais lentamente, dando tempo ao observador adaptativo de executar uma boa estimativa dos parâmetros do processo.

Quanto às indicações para futuros trabalhos, podem ser citadas as seguintes:

1 - Utilização destes observadores adaptativos no sentido de proporcionar condições de realização de um controle adaptativo modal.

2 - Implementação dos algoritmos que compõe os observadores estudados em micro-processadores, com o propósito de

realizar uma observação adaptativa de um processo real. Neste caso o observador implementado deve ser específico para atender a um processo de uma determinada ordem, número de entradas e número de saídas.

## A P Ê N D I C E I

TEOREMA DE ESTABILIDADE PARA UMA CLASSE  
DE SISTEMAS REALIMENTADOS

1. SISTEMAS AMOSTRADOS PERTENCENTES À CLASSE  $L(\Lambda)$

Seja um sistema discreto, completamente controlável e observável, linear, invariante no tempo, descrito por:

$$X(k+1) = A X(k) + B u(k) \quad (I.1-1)$$

$$y(k) = C X(k) + D u(k) \quad (I.1-2)$$

onde o vetor de estado  $X(k)$  é de dimensão  $n$ ,  $u(k)$  é o vetor de entrada e  $y(k)$  representa o vetor de saída e ambos possuem dimensão  $m$ .  $A, B, C$  e  $D$  são matrizes de dimensões convenientes.

Def. I-1 Classe  $L(\Lambda)$  [1], [3]

Considere-se  $\Lambda$  uma matriz simétrica qualquer. O sistema formado por (I.1-1) e (I.1-2) pertence à classe  $L(\Lambda)$ , se o sistema resultante de sua combinação paralela com a matriz de ganho  $-1/2\Lambda$ , for caracterizado por uma matriz de transferência estritamente real positiva.

Através da figura (I.1) pode-se verificar que o sistema resultante é dado por:

$$X(k+1) = A X(k) + B u(k) \quad (\text{I.1-3})$$

$$Y_R(k) = C X(k) + (D - 1/2\Lambda) u(k) \quad (\text{I.1-4})$$

e é caracterizado pela matriz de transferência:

$$H(z) = D - \frac{1}{2}\Lambda + C(zI - A)^{-1} B \quad (\text{I.1-5})$$

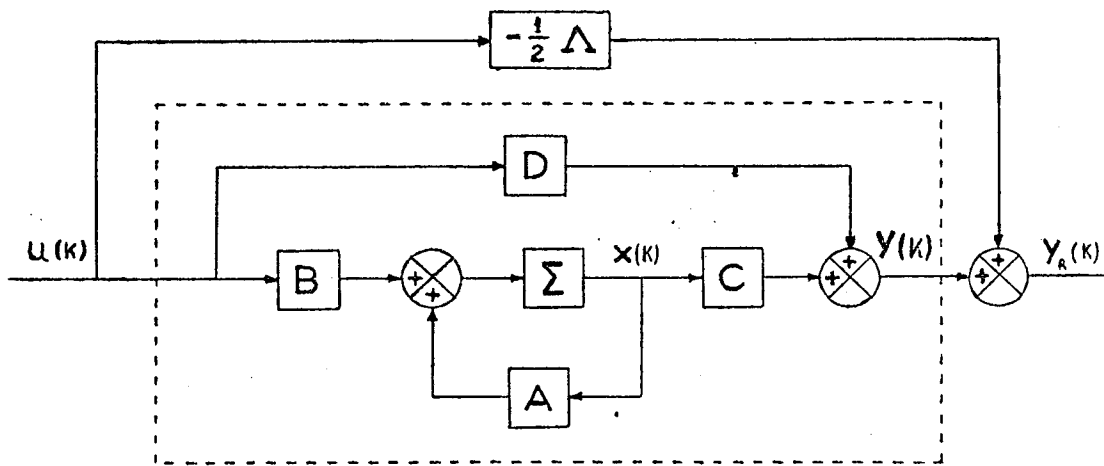


Figura (I.1) - Classe  $L(\Lambda)$

$H(z)$  deve ser uma matriz estritamente real positiva, segundo a definição dada por [2], [9]. Satisfeita esta condição pode-se aplicar o lema de positividade dado por [2] em (I.1-3), (I.1-4) para verificar se (I.1-1), (I.1-2) pertence à classe  $L(\Lambda)$ . Isto leva ao lema seguinte:

Lema I-1 - Critério da Classe  $L(\Lambda)$

O sistema (I.1-1), (I.1-2) pertence à classe  $L(\Lambda)$  se e somente se existirem matrizes  $P$  e  $Q$  definidas positivas, uma

matriz simétrica  $\Lambda$  e duas matrizes  $K$  e  $L$ , tal que o seguinte sistema de equações seja verificado:

$$1) A^T P A - P = -L L^T - Q \quad (\text{I.1-6})$$

$$2) B^T P A + K^T L^T = C \quad (\text{I.1-7})$$

$$3) K^T K = D + D^T - 1/2 (\dot{\Lambda} + \Lambda^T) - B^T P B \quad (\text{I.1-8})$$

## 2. SISTEMAS AMOSTRADOS PERTENCENTES À CLASSE $N(\Gamma)$

Seja um sistema linear, variante no tempo descrito por:

$$X(k+1) = A(k) X(k) + B(k) u(k) \quad (\text{I.2-1})$$

$$y(k) = C(k) X(k) + D(k) u(k) \quad (\text{I.2-2})$$

onde o vetor de estado  $X(k)$  é de dimensão  $n$ , os vetores  $u(k)$  e  $y(k)$ , que representam a entrada e a saída do sistema, são de dimensão  $m$  e as matrizes variantes no tempo  $A(k)$ ,  $B(k)$ ,  $C(k)$  e  $D(k)$  possuem dimensões convenientes.

Def. I-2 Classe  $N(\Gamma)$  [1], [3]

Considere-se  $\Gamma(k)$  uma seqüência arbitrária de matrizes simétricas. O sistema formado por (I.2-1), (I.2-2) pertence à classe  $N(\Gamma)$ , se o sistema resultante de sua combinação em realimentação com a matriz de ganho  $1/2\Gamma(k)$ , satisfizer a desigualdade de Popov.

Esta desigualdade é expressa por:

$$\sum_{k=k_0}^{k_1} \left[ y_R(k) \right]^T u_R(k) \geq -\mu_0^2 \quad \forall k_1 \geq k_0 \quad (\text{I.2-3})$$

onde  $\mu_0 > 0$

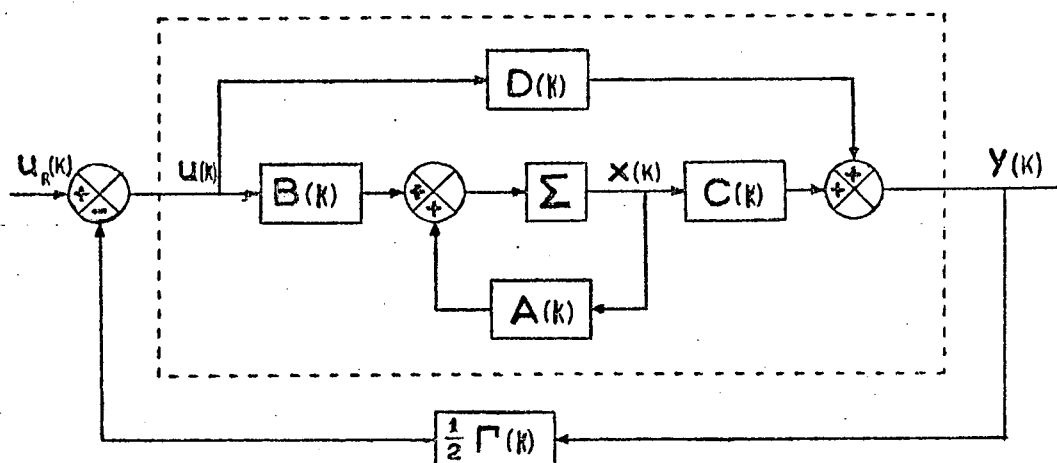


Figura (I.2) - Classe  $N(\Gamma)$

Através da figura (I.2), pode-se verificar que o sistema resultante é dado por:

$$X(k+1) = A(k) X(k) + B(k) u(k) \quad (\text{I.2-4})$$

$$y_R(k) = y(k) = C(k) X(k) + D(k) u(k) \quad (\text{I.2-5})$$

$$u(k) = u_R(k) - \frac{1}{2} \Gamma(k) y(k) \quad (\text{I.2-6})$$

A desigualdade (I.2-3) pode ser expressa como:

$$\sum_{k=k_0}^{k_1} \left[ y_R(k) \right]^T u_R(k) = \sum_{k=k_0}^{k_1} y(k)^T u(k) + \frac{1}{2} \sum_{k=k_0}^{k_1} y(k)^T \Gamma(k) y(k) \quad (\text{I.2-7})$$

Utilizando (I.2-5), (I.2-7) e o lema contido no apêndice I da referência [10], conforme prova contida em [3], obtêm-se as condições que satisfazem (I.2-3), expressas no lema a seguir:

Lema I-2 - Critérios da classe  $N(\Gamma)$

O sistema (I.2-1), (I.2-2) pertence à classe  $N(\Gamma)$  se existe uma seqüência  $P(k)$  de matrizes definidas (ou semi-definidas) positivas, três seqüências de matrizes  $Q(k)$ ,  $S(k)$  e  $R(k)$  e uma seqüência de matrizes simétricas  $\Gamma(k)$ , tal que o seguinte conjunto de equações seja satisfeito:

$$\begin{aligned} 1) \quad & A^T(k) P(k+1) A(k) - P(k) = \\ & = -Q(k) + C^T(k) \Gamma(k) C(k) \end{aligned} \quad (\text{I.2-8})$$

$$\begin{aligned} 2) \quad & B^T(k) P(k+1) A(k) + S^T(k) = \\ & = C(k) + D^T(k) \Gamma(k) C(k) \end{aligned} \quad (\text{I.2-9})$$

$$\begin{aligned} 3) \quad & R(k) - D^T(k) \Gamma(k) D(k) = \\ & = D(k) + D^T(k) - B^T(k) P(k+1) B(k) \end{aligned} \quad (\text{I.2-10})$$

4) A seqüência de matrizes:



$$M(k) = \begin{bmatrix} Q(k) & S(k) \\ S^T(k) & R(k) \end{bmatrix} \quad (\text{I.2-11})$$

é definida positiva ou semi-definida positiva.

### 3. TEOREMA I-1 [1]

Um sistema linear, amostrado, pertencente à classe  $L(\Lambda)$  realimentado por um sistema linear variante no tempo pertencente à classe  $N(\Gamma)$  (conforme a figura (I.3)), é assintoticamente estável globalmente se a matriz  $\Lambda - \Gamma(k)$  for definida positiva ou semi-definida positiva.

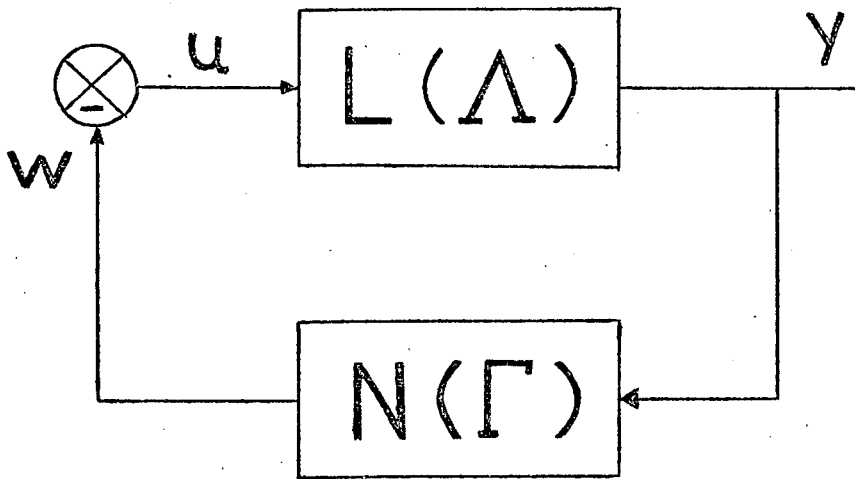


Figura (I.3) - Teorema I-1

A prova deste teorema é apresentado em [3].

Obs.: Para o caso de sistemas monovariáveis, a matriz  $\Lambda$  converte-se em um escalar expresso por  $\lambda$  e a sequência de matrizes  $\Gamma(k)$ , converte-se em uma sequência de escalares expressa por  $\gamma(k)$ .

#### 4. LEMA DE INVERSÃO [1]

Se por uma matriz regular arbitrária  $A$  de dimensão  $n \times n$  e duas matrizes  $B$  e  $C$  de dimensão  $n \times m$ , as matrizes  $(A+BC^T)$  e  $(I+C^T A^{-1} B)$  forem regulares, então a identidade seguinte é verdadeira

$$(A+BC^T)^{-1} = A^{-1} - A^{-1} B (I+C^T A^{-1} B)^{-1} C^T A^{-1} \quad (I.4-1)$$

## A P Ê N D I C E II

LEMAS UTILIZADOS PARA A DETERMINAÇÃO DOS SINAIS AUXILIARES  
PARA SISTEMAS AMOSTRADOS

1 - Lema LII-1

Sejam os vetores de dimensão n:

$$v_u^T(k) = \begin{bmatrix} v_{u_1}(k) & \dots & v_{u_n}(k) \end{bmatrix} \quad (\text{II.1-1})$$

$$\underline{\hat{\beta}}^T(k) = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1(k) & \dots & \hat{\beta}_n(k) \end{bmatrix} \quad (\text{II.1-2})$$

$$g^T = \begin{bmatrix} g_1 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.1-3})$$

Definindo-se

$$\Delta d(k) = \hat{d}(k) - \hat{d}(k-1) = \bar{d}(k) + \bar{\bar{d}}(k+1) \quad (\text{II.1-4})$$

$$\Delta \beta_i(k) = \hat{\beta}_i(k) - \hat{\beta}_i(k-1) = \bar{\beta}_i(k) + \bar{\bar{\beta}}_i(k+1) \quad (i=1, \dots, n) \quad (\text{II.1-5})$$

$$g_0 = 1 \quad (\text{II.1-6})$$

A igualdade:

$$\left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] \left\{ \left[ \hat{d}(k) - d \right] v_{u_0}(k) + \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_i(k) - \beta_i \right] v_{u_i}(k) \right\} -$$

$$\begin{aligned}
& - \left[ \hat{d}(k) - d \right] u(k) - \sum_{i=1}^n \left[ \hat{\beta}_i(k-i) - \beta_i \right] u(k-i) = \\
& = \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} \omega_{\ell}(v_u, \hat{d}, \hat{\beta}, g, n) \quad (\text{II.1-7})
\end{aligned}$$

é válida para qualquer  $d$  e  $\beta_i$  se as funções  $\omega_{\ell}(v_u, \hat{d}, \hat{\beta}, g, n)$ , para  $(\ell=0, \dots, n)$ , concordam com as expressões seguintes:

a) Para  $\ell=0$

$$\begin{aligned}
\omega_0(v_u, \hat{d}, \hat{\beta}, g, n) &= \bar{d}(k) \left[ v_{u_0}(k) - u(k) \right] + \\
&+ \sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i(k) v_{u_i}(k) \quad (\text{II.1-8})
\end{aligned}$$

b) Para  $1 \leq \ell \leq n-1$

$$\begin{aligned}
\omega_{\ell}(v_u, \hat{d}, \hat{\beta}, g, n) &= - \bar{d}(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{u_{j-\ell}}(k) - \\
&- \sum_{i=1}^{\ell} \bar{\beta}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{u_{i+j-\ell}}(k) + \\
&+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{\beta}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{u_{i+j-\ell}}(k) - \\
&- \bar{d}(k) \sum_{j=\ell}^n g_j v_{u_{j-\ell}}(k) -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{i=1}^{\ell-1} \bar{\beta}_i(k) \sum_{j=\ell}^n g_j v_{u_{i+j-\ell}}(k) + \\
& + \sum_{i=\ell}^n \bar{\beta}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell-1} g_j v_{u_{i+j-\ell}}(k) \quad (\text{II.1-9})
\end{aligned}$$

c) Para  $\ell=n$

$$\begin{aligned}
\omega_n(v_u, \hat{a}, \hat{\beta}, g, n) &= - \sum_{i=0}^{n-1} \bar{\beta}_i(k) g_n v_{u_i}(k) + \\
& + \bar{\beta}_n(k) \sum_{j=0}^{n-1} g_j v_{u_j}(k) \quad (\text{II.1-10})
\end{aligned}$$

A demonstraç~ao deste lema se encontra na refer~encia [1].

## 2 - Lema LII-2

Sejam os vetores de dimens~ao n:

$$v_Y^T(k) = \begin{bmatrix} v_{Y_1}(k) & \dots & v_{Y_n}(k) \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-1})$$

$$\hat{a}^T(k) = \begin{bmatrix} \hat{a}_1(k) & \dots & \hat{a}_n(k) \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-2})$$

$$g^T = \begin{bmatrix} g_1 & \dots & g_n \end{bmatrix} \quad (\text{II.2-3})$$

Definindo-se:

$$\Delta a_i(k) = \hat{a}_i(k) - \hat{a}_i(k-1) = \bar{a}_i(k) + \bar{\bar{a}}_i(k-1) \quad (i=1, \dots, n) \quad (\text{II.2-4})$$

$$g_0 = 1 \quad (\text{II.2-5})$$

A igualdade

$$\begin{aligned} & \left[ 1 + \sum_{j=1}^n g_j q^{-j} \right] \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k) - a_i \right] v_{Y_i}(k) \right\} - \\ & - \sum_{i=1}^n \left[ \hat{a}_i(k-i) - a_i \right] y(k-i) = \\ & = \sum_{\ell=0}^n q^{-\ell} r_{\ell}(V_Y, \hat{a}, g, n) \end{aligned} \quad (\text{II.2-6})$$

é válida para qualquer  $a_i$  se as funções  $r_{\ell}(V_Y, \hat{a}, g, n)$ , para  $(\ell=0, \dots, n)$ , concordam com as expressões seguintes:

a) Para  $\ell=0$

$$r_0(V_Y, \hat{a}, g, n) = \sum_{i=1}^n \bar{a}_i(k) v_{Y_i}(k) \quad (\text{II.2-7})$$

b) Para  $1 \leq \ell \leq n-1$

$$\begin{aligned}
 r_\ell (v_Y, \hat{a}, g, n) &= \\
 &= - \sum_{i=1}^{\ell} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell+1}^n g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) + \\
 &+ \sum_{i=\ell+1}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell} g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) - \\
 &- \sum_{i=1}^{\ell-1} \bar{a}_i(k) \sum_{j=\ell}^n g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) + \\
 &+ \sum_{i=\ell}^n \bar{a}_i(k) \sum_{j=0}^{\ell-1} g_j v_{Y_{i+j-\ell}}(k) \quad (\text{II.2-8})
 \end{aligned}$$

c) Para  $\ell=n$

$$\begin{aligned}
 r_n (v_Y, \hat{a}, g, n) &= - \sum_{i=0}^{n-1} \bar{a}_i(k) g_n v_{Y_i}(k) + \\
 &+ \bar{a}_n(k) \sum_{j=0}^{n-1} g_j v_{Y_j}(k) \quad (\text{II.2-9})
 \end{aligned}$$

A demonstração deste lema se encontra na referência [1].

## A P Ê N D I C E     I I I

CÁLCULO DOS PARÂMETROS  $g_i$  DOS FILTROS

Apresenta-se aqui, neste apêndice, um método [1], para o cálculo dos parâmetros  $g_i$  dos filtros das entradas  $u_j(k)$ , das saídas  $y(k)$  do processo e  $\hat{y}(k)$  do observador e dos erros de saída  $\varepsilon(k)$ .

1. Seja a matriz  $A$  de um sistema estável, descrito em termos de variáveis de estado. Seus auto-valores, em caso de sistema discretizado, devem estar no interior do círculo unitário. Esta matriz pode ser qualquer, desde que atenda ao requisito anterior e tenha a mesma ordem da matriz  $A$  do processo que está sendo observado.

Os elementos da matriz  $A$  estão assim dispostos:

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ & \mathbf{I} & & 0 \\ & & & \vdots \\ & & & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{III.1})$$

2. Deve-se determinar os valores dos parâmetros das matrizes  $P$  e  $Q$ , tal que a equação abaixo seja satisfeita:

$$A^T P A - P = - Q \quad (\text{III.2})$$



As matrizes  $P$  e  $Q$  devem obedecer às seguintes restrições:

$$1) P > 0 \quad (\text{III.3})$$

$$2) Q > 0 \quad (\text{III.4})$$

ou seja, devem ser definidas positivas.

Para facilitar os cálculos, faz-se:

$$Q = I \quad (\text{III.5})$$

onde  $I$  é a matriz identidade, que satisfaz plenamente à restrição.

3. Determinado os valores dos elementos da matriz  $P$ , toma-se a sua primeira linha para realizar o cálculo seguinte:

$$C^T = \frac{2 - \lambda}{r + p_{11}} \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1n} \end{bmatrix} A \quad (\text{III.6})$$

onde os coeficientes  $\lambda$  e  $r$  devem satisfazer às seguintes condições:

$$1) 0 \leq \lambda < 2 \quad (\text{III.7})$$

$$2) r > 0 \quad (\text{III.8})$$

4. De posse dos valores do vetor  $C^T$ , determina-se:

$$g_i = c_i - a_i \quad (\text{III.9})$$

que são os valores dos parâmetros dos filtros desejados.

5. Os valores de  $g_i$  devem ser tais, que o sistema descrito em termos de função de transferência:

$$\frac{u(k)}{\varepsilon(k)} = \frac{\left[ 1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_n z^{-n} \right]}{\left[ 1 + g_1 z^{-1} + \dots + g_n z^{-n} \right]} \quad (\text{III.10})$$

deve pertencer à classe  $L(\lambda)$ .

## A P Ê N D I C E    I V

MANUAL DO USUÁRIO

O conteúdo deste manual tem por meta a apresentação dos algoritmos computacionais utilizados na simulação digital de Observadores Adaptativos, que são objetos de estudo no desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

Nele estão descritos, de maneira objetiva, todos os programas de simulação digital, construídos a partir dos algoritmos de observação adaptativa baseados na teoria de Sistemas Adaptativos com Modelo de Referência.

A estrutura dos algoritmos de simulação digital está constituída por um programa principal e as sub-rotinas, sendo cada uma delas responsável por um cálculo específico. Ao programa principal cabe a tarefa de receber os dados de entrada, chamar as sub-rotinas e emitir resultados na forma de tabelas e na forma de gráficos.

Todo o trabalho de simulação foi realizado no Laboratório de Controle e Microinformática do Departamento de Engenharia Elétrica da UFSC.

Os algoritmos de observação, transcritos na linguagem FORTRAN IV, foram implementados no mini-computador PDP 11/40 - DEC, dotado de uma interface híbrida constituída por quatro conversores digitais-analógicos (CDA), e oito conversores analógicos-digitais (CAD). Esta interface permite que se realize controle em tempo real (ON-LINE) de um processo verdadeiro ou simulado em computador analógico, através de um algoritmo de

comando apropriado implementado neste computador.

Este computador conta também com os seguintes periféricos: uma unidade de "FLOPPY-DISK" com dois controladores de disketes, uma leitora/perfuradora de fita de papel, um terminal de vídeo, um teletipo, uma teleimpressora série, um display TRC e ainda um plotador HP.

Basicamente este manual está dividido em quatro partes. Na primeira são apresentados os programas de simulação digital com uma breve explicação; na segunda estão expostos os chamados programas de apoio; a terceira parte é dedicada a um exemplo, objetivando explicitar o manuseio de todos os programas envolvidos no trabalho. E finalmente a quarta parte contém as listagens de todos os programas desenvolvidos durante os estudos.

## PRIMEIRA PARTE: PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO DIGITAL

1 - Programas relativos à simulação do Observador Adaptativo Série-Paralelo Multivariável.

### 1.1 - OASPMV

É o programa principal. Recebe os dados de entrada, chama os subprogramas e emite os resultados da simulação na forma de tabelas e de gráficos. Funciona tanto para processos com uma só saída, como processos portadores de múltiplas saídas.

### 1.2 - SMF

Esta sub-rotina é a responsável pela montagem da matriz de ganho decrescente  $F(k)$ . Ela multiplica a matriz identidade de dimensão conveniente por um dado valor correspondente ao ganho inicial.

### 1.3 - SAIPRO

É responsável pelo cálculo da saída ou saídas,  $y(k)$  do processo.

### 1.4 - SUT

Executa a montagem do conjunto de entradas  $u(k)$  (seqüências binárias pseudo-aleatórias) que vão excitar o processo e o observador. No caso do processo multivariável o conjunto de entradas de um subsistema é constituído pelas seqüências binárias pseudo-aleatórias de períodos distintos e pelas saídas dos outros subsistemas em que o processo é dividido.

### 1.5 - FVURØ

Determina os sinais de saída,  $v_{u_{jo}}(k)$ , do filtro pelo qual passam as entradas  $u_j(k)$ .

1.6 - SFVSP

Este subprograma realiza a montagem do vetor de observação,  $V(k)$ , de tamanho conveniente, com os valores de saída,  $v_{u_{j0}}(k)$ ,  $v_{u_j}(k-1)$  e  $v_y(k-1)$ , dos filtros das entradas  $u_j(k)$  e das saídas  $y(k)$ , do processo.

1.7 - ERROSP

Calcula o erro de saída,  $\epsilon(k)$ , entre o processo e o observador adaptativo.

1.8 - PBPCSP

Determina os valores dos parâmetros do observador adaptativo na  $k$ -ésima iteração:  $\hat{a}(k)$ ,  $\hat{B}(k)$ ,  $\hat{d}(k)$ .

1.9 - SWCØSP

Calcula o sinal auxiliar  $\hat{\omega}_0(k)$ .

1.10 - SWCNSP

Calcula os sinais auxiliares  $\hat{\omega}_n(k)$ .

1.11 - SAIOBS

Determina a saída,  $\hat{y}(k)$ , ou saídas (caso

multivariável) dos observadores adaptativos.

#### 1.12 - ESTADO

Executa o cálculo do vetor de estado,  $X(k)$ , do processo na  $k$ -ésima iteração.

#### 1.13 - OBESSP

Calcula o vetor de estado,  $\hat{X}(k)$ , do observador adaptativo na  $k$ -ésima iteração.

#### 1.14 - VUVYSP

Esta sub-rotina contém os algoritmos que fornecem os sinais de saída,  $V_{u_j}(k)$  e  $V_y(k)$ , dos filtros de  $u_j(k)$  e  $y(k)$  e que serão utilizados na montagem do vetor de observação  $V(k+1)$ .

#### 1.15 - SFGD

Este subprograma calcula os valores dos elementos da matriz de ganho decrescente,  $F(k)$ , a ser utilizada na iteração seguinte.

### 1.16 - STETAS

Calcula os valores dos elementos que compõem o vetor  $\theta(k)$ , os quais serão utilizados na próxima iteração.

2 - Programas relativos à simulação do Observador Adaptativo Paralelo Multivariável.

#### 2.1 - OAPAMV

Este é o programa principal. Ele recebe os dados de entrada, chama os subprogramas e emite os resultados na forma de tabelas e de gráficos. Serve para processos de uma saída e para processos possuidores de múltiplas saídas.

#### 2.2 - SMF

Este subprograma executa a montagem da matriz de ganho decrescente  $F(k)$ . Multiplica a matriz identidade de dimensão conveniente por um dado valor correspondente ao ganho inicial.

#### 2.3 - SAIPRO

Calcula a saída ou saídas,  $y(k)$ , do processo observado.



#### 2.4 - SUT

Faz a montagem do conjunto de entradas,  $u(k)$ , (seqüências binárias pseudo-aleatórias) que excitarão o processo e o observador. No caso do processo ser multivariável o conjunto de entradas de um subsistema é composto pelas seqüências binárias pseudo-aleatórias de períodos diferentes e pelas saídas dos outros subsistemas em que o processo é dividido.

#### 2.5 - FVURØ

Calcula os sinais de saída,  $v_{u_{j0}}(k)$ , do filtro das entradas  $u_j(k)$ .

#### 2.6 - SFV

Esta sub-rotina realiza a montagem do vetor de observação  $V(k)$ , de tamanho conveniente, com os valores de saída  $v_{u_{j0}}(k)$ ,  $v_{u_j}(k-1)$ ,  $V_{\hat{y}}(k-1)$  e  $V_{\epsilon}(k-1)$  dos filtros de entradas  $u_j(k)$ , das saídas,  $\hat{y}(k)$ , dos observadores adaptativos e dos erros  $\epsilon(k)$

#### 2.7 - ERRO

Calcula o erro de saída,  $\epsilon(k)$ , entre o processo e o observador.

2.8 - PBPC

Determina os valores dos parâmetros das matrizes  $\hat{A}(k)$ ,  $\hat{B}(k)$  e  $\hat{D}(k)$ , do observador adaptativo na  $k$ -ésima iteração.

2.9 - SWCØ

Calcula o sinal auxiliar  $\hat{\omega}_o(k)$ .

2.10 - SWCN

Calcula os sinais auxiliares  $\hat{\omega}_n(k)$

2.11 - SAIOBS

Determina a saída  $\hat{y}(k)$ , ou saídas (caso multivariável) dos observadores adaptativos.

2.12 - ESTADO

Calcula o vetor de estado,  $X(k)$ , do processo na  $k$ -ésima iteração.

2.13 - OBES

Executa o cálculo do vetor de estado,  $\hat{X}(k)$ , do observador adaptativo na  $k$ -ésima iteração.

2.14 - FVUVY

Os algoritmos contidos neste subprograma determinam os sinais de saída,  $V_{u_j}(k)$ ,  $V_{\hat{y}}(k)$  e  $V_{\epsilon}(k)$ , dos filtros de  $u_j(k)$ ,  $\hat{y}(k)$  e  $\epsilon(k)$ , que serão utilizados na montagem do vetor de observação  $V(k+1)$ .

2.15 - SFGD

Esta sub-rotina calcula os valores dos elementos da matriz de ganho decrescente,  $F(k)$ , a ser utilizada na iteração seguinte.

2.16 - STETAS

Calcula os elementos que compõem o vetor  $\theta(k)$ , os quais serão utilizados na próxima iteração.

SEGUNDA PARTE: PROGRAMAS DE APOIO1 - DIS

Este programa executa a discretização de um sistema descrito por variáveis de Estado em contínuo, dado um determinado período de amostragem. Foi desenvolvido por Augusto H. Bruciapaglia.

2 - CANONI

Programa responsável pela determinação da forma canônica de observabilidade de processos monovariáveis ou multivariáveis.

3 - FCPFA

Este programa fornece a forma associada à forma canônica de observabilidade multivariável de processos com múltiplas entradas e múltiplas saídas.

4 - FILTRO

O algoritmo contido neste programa permite determinar os coeficientes  $g_1, g_2, \dots, g_n$  dos sistemas que fornecem os valores filtrados de  $u_j(k), y(k), \hat{y}(k)$  e  $\epsilon(k)$ .

5 - AUTO

Este programa possibilita a determinação dos auto-valores de uma matriz de até ordem 30. Foi desenvolvido por Arthur Renan S. Rodrigues a partir do trabalho de J. GRAD e M. A. BREBNER (Communications of the ACM, Vol. 11, nº 12, Dec. 1968).

6 - GSBPA

Esta sub-rotina gera as seqüências binárias pseudo-aleatórias, de períodos previamente escolhidos. Simula uma seqüência de flip-flops, conforme descrição no item 4.2.2, do capítulo 4, do livro IDENTIFICATIONS OF SYSTEMS, de J. GRAÜPPE.

7 - GAUSS

Este subprograma fornece o ruído com distribuição normal gaussiana o qual é utilizado para perturbar o processo, durante a sua simulação digital. Foi desenvolvido por João Bosco da Mota Alves.

8 - PLTMOD

Este programa é utilizado para plotar os gráficos referentes à Distância de Estado e Distância Paramétrica. Ele armazena os pontos referentes à curva desejada e comanda o traçador de gráficos. É uma adaptação do programa original desenvolvi-

do por Arthur Renan S. Rodrigues.

### TERCEIRA PARTE: EXEMPLO ELUCIDATIVO

Através da execução deste exemplo explica-se com detalhes o manuseio de todos os programas desenvolvidos durante o trabalho. Escolheu-se, para servir de exemplo, um processo multivariável de quinta ordem com duas entradas e duas saídas. O programa de simulação do algoritmo de observação adaptativa, selecionado para efeitos de desenvolvimento do exemplo, foi o referente ao Observador Adaptativo Paralelo Multivariável (OAPAMV).

O processo multivariável em contínuo, descrito em termos de variáveis de estado, é caracterizado pelas matrizes seguintes:

$$A = \begin{bmatrix} -3 & 1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & -1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -5 & 0 & -1 \\ 0 & 3 & -1 & -4 & -1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & -2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 0,5 & 1 \end{bmatrix}$$

Na sequência, são apresentados todos os programas empregados nesta simulação, na ordem de uso:

### 1 - PROGRAMA DIS

Programa responsável pela discretização de sistemas descritos por variáveis de estado.

Seu uso é mostrado através de um exemplo, como segue:

```

RUN DX1:DIS

PROCESSO CONTINUO
DX=FX+GU+DW
Y=HX
ENTRE COM DIMENSOES N, M
12 SAO OS SEUS VALORES MAXIMOS-->FORMATO 2I2
5, 2

ENTRE COM A MATRIZ F POR LINHA
F=MATRIZ QUADRADA (N, N)-->FORMATO NF12.5
-3.0, 1.0, 2.0, -1.0, 0.0
0.0, -1.0, -1.0, 0.0, -1.0
0.0, 1.0, -5.0, 0.0, -1.0
0.0, 3.0, -1.0, -4.0, -1.0
1.0, -1.0, 0.0, 1.0, -2.0

ENTRE COM A MATRIZ G POR LINHA
G=MATRIZ DE DIMENSAO (N, M)-->FORMATO MF12.5
0.0, 1.0
1.0, 1.0
0.0, 0.0
0.0, 1.0
1.0, 0.0

```

ENTRE COM A MATRIZ D POR LINHA  
 D=MATRIZ DE DIMENSAO (N,N)-->FORMATO NF12.5

ENTRE COM O TEMPO DE DISCRETIZACAO-->FORMATO F10.5  
 0.1

PROCESSO DISCRETIZADO  
 $X(K+1)=AX(K)+BU(K)+D1W(K)$   
 $Y(K)=HX(K)$   
 $W(K)=A1*\text{SIN}(WA*K+\theta)+A2*K+A3*(K**2)+A4$   
 STOP --

Como resultado, ele fornece o sistema discretiza-  
 do:

TEMPO DE DISCRETIZACAO= 0.10000

MATRIZ A

0.74057	0.07816	0.13404	-0.07073	-0.00743
-0.00397	0.90457	-0.07470	-0.00371	-0.08213
-0.00371	0.07792	0.60282	-0.00347	-0.07445
-0.00397	0.23425	-0.07470	0.66661	-0.08213
0.07791	-0.07024	0.00717	0.07049	0.81848

MATRIZ B

0.00398	0.08665
0.09077	0.09488
0.00013	0.00398
0.00835	0.09488
0.08666	0.00425

MATRIZ D1

0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000



2 - PROGRAMA CANONI

Calcula a Forma Canônica de Observabilidade de um sistema. Entra-se com as matrizes e dimensões de um processo discretizado, conforme a listagem a seguir:

RUN DX1:CANONI

ENTRE COM A ORDEM "N" DO SISTEMA

5

ENTRE COM O NUMERO DE ENTRADAS "NE" E O NUMERO DE SAIDAS "NS"

2, 2

ENTRE COM AS ORDENS DOS 2 SUBSISTEMAS

3, 2

ENTRE COM A MATRIZ "AC 5, 5)" DO PROCESSO

0.74057, 0.07816, 0.13404, -0.07073, -0.00743  
 -0.00397, 0.90457, -0.07470, -0.00371, -0.00213  
 -0.00371, 0.07792, 0.60282, -0.00347, -0.07445  
 -0.00397, 0.23425, -0.07470, 0.66661, -0.00213  
 0.07791, -0.07024, 0.00717, 0.07049, 0.81848

ENTRE COM A MATRIZ "BC 5, 2)" DO PROCESSO

0.00398, 0.08665  
 0.09077, 0.09488  
 0.00013, 0.00398  
 0.00835, 0.09488  
 0.08666, 0.00425

ENTRE COM A MATRIZ "CC 2, 5)" DO PROCESSO

1.0, 0.0, 1.0, 1.0, 0.0  
 1.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1.0

ENTRE COM A MATRIZ "DC 2, 2)" DO PROCESSO

1.0, 2.0  
 0.5, 1.0

```

MATRIZ "Q"
-0.32340E+02  -0.45176E+02  -0.63373E+02  -0.53010E+01  -0.90535E+
01
0.17895E+02   0.21994E+02   0.27784E+02   0.34904E+01   0.52570E+
01
0.87129E+01   0.13140E+02   0.20607E+02   0.48134E+01   0.82761E+
01
0.24627E+02   0.32037E+02   0.42766E+02   0.48769E+00   0.77743E+
00
0.80426E+01   0.13140E+02   0.20607E+02   0.58134E+01   0.82761E+
01

```

```

A MATRIZ "Q" E INVERSIVEL?      1 - SIM  0 - NAO
1

```

```

STOP --

```

E obtem-se o resultado desejado:

```

MATRIZ "AC"
0.23229E+01   0.10000E+01   -0.21458E-05   -0.14305E-05   -0.13113E-05
-0.17869E+01   0.35763E-05    0.99999E+00   -0.11565E-01   -0.59605E-07
0.45523E+00   -0.51782E-05   -0.10282E-05    0.91533E-02   -0.12740E-05
0.79225E-01   -0.38147E-05   -0.19073E-05    0.14101E+01    0.10000E+01
-0.53122E-01   0.28610E-05   -0.95367E-06   -0.49121E+00    0.95367E-06

```

```

MATRIZ "BC"
0.12460E-01   0.18551E+00
0.22292E-03   -0.27224E+00
-0.73120E-02   0.99414E-01
0.94882E-01   0.12462E+00
-0.50432E-01  -0.82598E-01

```

```

MATRIZ "CC"
0.99999E+00   -0.38147E-05   -0.38147E-05    0.11921E-06    0.11921E-06
0.32969E+00   -0.57220E-05   -0.19073E-05    0.10000E+01    0.00000E+00

```

```

MATRIZ "DC"
0.10000E+01   0.20000E+01
0.50000E+00   0.10000E+01

```

3 - PROGRAMA FCPFA

Este programa calcula a Forma Associada da Forma Canônica de Observabilidade. As matrizes requisitadas por ele, para a realização dos cálculos são formadas conforme explicação abaixo.

A matriz  $AC(NS, NOS, NS)$  é formada pelas colunas que contêm os parâmetros do processo e os coeficientes de acoplamento apresentados pela matriz "AC" obtida do programa CANONI.

A matriz SKI é formada a partir da matriz "CC", retirando-se todas as colunas formadas só por elementos de valores iguais a zero (ou que podem ser considerados iguais a zero).

A listagem seguinte mostra o procedimento de entrada de dados para a realização dos cálculos desejados.

```

RUN DX1:FCPFA

      ENTRE COM A ORDEM "N" DO SISTEMA.
5
      ENTRE COM O NUMERO DE SAIDAS "NS"
      E COM O NUMERO DE ENTRADAS "NE"
2, 2
      ENTRE COM A ORDEM DE CADA SUBSISTEMA "NOS"
3, 2
      ENTRE COM A MATRIZ "AC(NS, NOS, NS)"
2. 3229, 0. 0
-1. 7869, -0. 011565
0. 45023, 0. 0091533
0. 079225, 1. 4101
-0. 053122, -0. 49121

```

ENTRE COM A MATRIZ "BC(NS, NE)"  
 0. 01246, 0. 18551  
 0. 00022292, -0. 27224  
 -0. 007312, 0. 099414  
 0. 094882, 0. 12462  
 -0. 050432, -0. 082598

ENTRE COM A MATRIZ "DC(NS, NE)"  
 1. 0, 2. 0  
 0. 5, 1. 0

ENTRE COM A MATRIZ "SKI(NS, NS)"  
 1. 0, 0. 0  
 0. 32962, 1. 0

STOP --

São os seguintes os resultados obtidos:

SUBSISTEMA "1"

MATRIZ "AT"

0.23229E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.17831E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.45221E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

MATRIZ "MT"

0.00000E+00	0.00000E+00
0.00000E+00	-0.11565E-01
0.00000E+00	0.91533E-02

MATRIZ "BI"

0.12460E-01	0.18551E+00
0.60054E-02	-0.26068E+00
-0.11889E-01	0.90261E-01

VETOR "CRT"

0.00000E+00	0.00000E+00
-------------	-------------

VETOR "DT"

0.10000E+01	0.20000E+01
-------------	-------------

SUBSISTEMA "2"

MATRIZ "AT"

0.14101E+01	0.10000E+01
-0.49121E+00	0.00000E+00

MATRIZ "MT"

0.79225E-01	0.00000E+00
-0.53122E-01	0.00000E+00

MATRIZ "BT"

0.15657E-01	-0.33830E-01
0.26900E-02	0.23646E-01

VETOR "CKT"

0.32962E+00	0.00000E+00
-------------	-------------

VETOR "DT"

0.17038E+00	0.34076E+00
-------------	-------------

#### 4 - PROGRAMA AUTO

Utiliza-se este programa para verificar se os auto-valores da matriz A da Forma Canônica de Observabilidade ou da Forma Associada (caso multivariável), encontram-se no interior do círculo unitário. Em caso afirmativo, o sistema é estável.

Entra-se com os dados, conforme a listagem apresentada em seguida.

RUN DX1:AUTO

ENTRE COM OS NOS. DOS ARQUIVOS EM DX1  
91,92

PROGRAMA PARA A DETERMINACAO DOS AUTOVALORES DEUMA MATRIZ REAL

ENTRE COM A ORDEM DA MATRIZ [A]

3

A MATRIX [A] ENTRARA VIA: 1- TT 2-DX1

1

ENTRE COM A LINHA 1 DA MATRIZ [A] - SP/L  
2.3229, 1.0, 0.0

ENTRE COM A LINHA 2 DA MATRIZ [A] - SP/L  
-1.7831, 0.0, 1.0

ENTRE COM A LINHA 3 DA MATRIZ [A] - SP/L  
0.45221

IMPRESSAO P/ CONFERENCIA DA MATRIZ [A]  
DESEJA ALTERAR ELEMENTOS DE A? 1-SIM 2-NAO  
2

DESEJA GRAVAR MATRIZ A? 1-SIM 2-NAO  
2

STOP --

. RUN DX1:AUTO

ENTRE COM OS NOS. DOS ARQUIVOS EM DX1  
91,92

PROGRAMA PARA A DETERMINACAO DOS AUTOVALORES DEUMA MATRIZ REAL

ENTRE COM A ORDEM DA MATRIZ [A]

2

A MATRIX [A] ENTRARA VIA: 1- TT 2-DX1

1

ENTRE COM A LINHA 1 DA MATRIZ [A] - SP/L  
1.4101, 1.0

ENTRE COM A LINHA 2 DA MATRIZ [A] - SP/L  
-0.49121, 0.0

IMPRESSAO P/ CONFERENCIA DA MATRIZ [A]  
DESEJA ALTERAR ELEMENTOS DE A? 1-SIM 2-NAO  
2

DESEJA GRAVAR MATRIZ A? 1-SIM 2-NAO  
2

STOP --

O resultado final é dado no formato seguinte:

```
AUTOVALOR 1 - 0.8990+J( 0.0000)
AUTOVALOR 2 - 0.7740+J( 0.0000)
AUTOVALOR 3 - 0.6498+J( 0.0000)
```

```
AUTOVALOR 1 - 0.6283+J( 0.0000)
AUTOVALOR 2 - 0.7818+J( 0.0000)
```

### 5 - PROGRAMA FILTRO

Este programa fornece o conjunto de valores  $g_i$  a serem utilizados nos filtros.

Entra-se com a matriz A transposta do processo na Forma Canônica de Observabilidade ou na Forma Associada, com o valor de  $r$  e de  $\lambda$  conforme a listagem apresentada em seguida:

```
RUN DX1:FILTRO

ENTRE COM A ORDEN "N" DO SISTEMA
3

ENTRE COM OS VALORES DA MATRIZ "A( 3, 3)="
ENTRE COM 3 ELEMENTOS POR LINHA E PRESSIONE CR
FORMATO E11.5
2.3229, -1.7831, 0.45221
1.0, 0.0, 0.0
0.0, 1.0, 0.0

ENTRE COM OS VALORES DE "G. (= RLAM (2. ", E DE "R (3. "
1.0, 0.9E+04

QUER ENTRAR COM NOVOS VALORES PARA "RLAM" E "R"?
SE SIM ESCREVA "1" E, SE NAO ESCREVA "0"
```

STOP --

RUN DX1:FILTRO

ENTRE COM A ORDEM "N" DO SISTEMA

2

ENTRE COM OS VALORES DA MATRIZ "A( 2, 2) =  
ENTRE COM 2 ELEMENTOS POR LINHA E PRESSIONE CR  
FORMATO E11.5

1. 4101, -0.49121

1. 0, 0. 0

ENTRE COM OS VALORES DE "B. C= RLAN C2. ", E DE "R >0. "

1. 0, 0. 1E+04

QUER ENTRAR COM NOVOS VALORES PARA "RLAM" E "R"?  
SE SIM ESCREVA "1" E, SE NAO ESCREVA "0"

STOP --

E os valores obtidos para  $g_i$  são apresentados  
na forma a seguir:

LAMBDA= 0.1000E+01      R= 0.9000E+04

G 1 = -0.21697E+01

G 2 = 0.15771E+01

G 3 = -0.38241E+00

LAMBDA= 0.1000E+01      R= 0.1000E+04

G 1 = -0.13871E+01

G 2 = 0.47927E+00



## 6 - PROGRAMA OAPAMV

Este programa simula a observação adaptativa de sistemas multivariáveis (ou monovariáveis) descritos em termos de variáveis de estado. O observador é do tipo Paralelo.

Os dados de entrada exigidos pelo programa são: a ordem do processo, número de entradas e de saídas, as ordens dos observadores (ou a ordem, no caso monovariável). As matrizes do processo, na Forma Canônica de Observabilidade ou na Forma Associada, são dadas para efeito de simulação do desenvolvimento das trajetórias dos seus estados e para comparação com as matrizes e vetores de estado correspondentes fornecidos pelo observador, obtendo-se assim a distância paramétrica e distância de estado. Entra-se com os dados referentes aos parâmetros  $g_i$  dos filtros, com os ganhos iniciais, com a média e a variância do ruído gaussiano e com os números das entradas pseudo-aleatórias. No caso dos parâmetros  $g_i$ , eles são precedidos do parâmetro  $g_0$  que é sempre igual a um. Quanto aos números das entradas pseudo-aleatórias, cada um deles se refere a um período específico. A listagem seguinte mostra como se procede na entrada de dados para este programa.

RUN DX1:DAPAMV

ENTRE COM O VALOR DE N (ORDEM DO SISTEMA)

5

ENTRE COM O VALOR DE NE (NUMERO DE ENTRADAS)  
E O VALOR DE NS (NUMERO DE SAIDAS)

2, 2

ENTRE COM AS ORDENS DOS 2 OBSERVADORES  
SE TODOS TIVEREM A MESMA ORDEM ESCREVA "1" NA PROXIMA LINHA

3, 2

ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "A( 5, 5)"  
ENTRE COM 5 ELEMENTOS POR LINHA

2.3229, 1.0, 0.0  
-1.7831, 0.0, 1.0  
0.45221, 0.0, 0.0  
0.0, 0.0, 0.0, 1.4101, 1.0  
0.0, 0.0, 0.0, -0.49121, 0.0

ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "B( 5, 3)"  
ENTRE COM 3 ELEMENTOS POR LINHA

0.0, 0.01246, 0.18551  
-0.011565, 0.0000054, -0.26068  
0.0091533, -0.011889, 0.090261  
0.079225, 0.015657, -0.03383  
-0.053122, 0.00269, 0.023646

ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "C( 2, 5)"  
ENTRE COM 5 ELEMENTOS POR LINHA

1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0  
0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 0.0

ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DO MATRIZ "D( 2, 3)"  
ENTRE COM 3 ELEMENTOS POR LINHA

0.0, 1.0, 2.0  
0.32962, 0.17038, 0.34076

ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS "GI( 7 )"  
ESCREVA UM VALOR POR LINHA, COM O SINAL TROCADO

-1.0  
2.1697  
-1.5771  
0.38241  
-1.0  
1.3871  
-0.47927

DE OS GANHOS INICIAIS DAS 2 MATRIZES DE GANHOS DECRESCENTES "F"

0.1E+05  
0.1E+05

ESCREVA "1" SE QUISE RUIDO GAUSSIANO E, "0" SE NAO QUISE  
 QUER RUIDO NA ENTRADA?

QUER RUIDO NA SAIDA?

1

QUER RUIDO NOS ESTADOS?

ESCREVA A MEDIA<AM> E A VARIANCIA<AV>

0.0,0.01

ENTRE COM OS NUMEROS LOGICOS DAS ENTRADAS "NUL"

9,11

ESCREVA O NUMERO DE ITERACOES QUE DESEJA

15000

ESCREVA "1" SE QUISE GRAVAR OS DADOS PARA SEREM PLOTADOS  
 NO PLOTTER DO ANALOGICO, E "0" SE NAO QUISE

1

CURVAS A SEREM PLOTADAS:

1 - DISTANCIA PARAMETRICA

2 - DISTANCIA DE ESTADO

ESCREVA O NUMERO DO ARQUIVO

55

DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES QUER DETERMINAR  
 A MEDIA DOS DADOS A SEREM PLOTADOS?

50

NUMERO DE DADOS A SEREM ARMazenADOS POR CURVA: 300

DESEJA IMPRESSAO DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES?

1500

HL(1 1)= -0.53103E-01

HL(1 2)= -0.61545E-02

HL(1 3)= 0.43043E-01

HL(2 1)= -0.70599E-02

HL(2 2)= 0.11065E-01

STOP --

Os resultados são apresentados na forma seguin

te:

N=15000

PARAMETROS IDENTIFICADOS

SUBSISTEMA "1"

MATRIZ "AC"

0.21514E+01	0.10000E+01	0.00000E+00
-0.15515E+01	0.00000E+00	0.10000E+01
0.37681E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

MATRIZ "BC"

0.22527E-01	0.14505E-02	0.16407E+00
-0.59323E-01	0.28072E-01	-0.18699E+00
0.33902E-01	-0.17247E-01	0.55988E-01

MATRIZ "DC"

0.00000E+00	0.10003E+01	0.19996E+01
-------------	-------------	-------------

SUBSISTEMA "2"

MATRIZ "AC"

0.13734E+01	0.10000E+01
-0.46221E+00	0.00000E+00

MATRIZ "BC"

0.80416E-01	0.14983E-01	-0.31967E-01
-0.51565E-01	0.55975E-02	0.23576E-01

MATRIZ "DC"

0.32128E+00	0.17846E+00	0.35841E+00
-------------	-------------	-------------

NUMERO DE ITERACOES = 15000  
 DISTANCIA PARAMETRICA = 0.31877E+00  
 DISTANCIA DE ESTADO = 0.57931E-01  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "1" = 0.90566E-02  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA "2" = 0.99009E-02  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "1" = 0.48246E-03  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "2" = 0.34044E-02  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "3" = 0.44639E-03  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "4" = 0.17245E-03  
 ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO "5" = 0.51377E-04

#### 7 - PROGRAMA PLTMOD

Este programa comanda um ploter analógico. Permite traçar as curvas referentes à Distância Paramétrica e à Distância de Estado. O programa armazena os dados contidos em um determinado arquivo e após a escolha de uma das curvas, o operador ajusta o traçador nas escalas de sua conveniência, obtendo-se em seguida a curva desejada.

O temporizador serve para regular a velocidade de avanço da pena ao longo do eixo x.

Os dados de entrada se dispõem na forma seguinte:

RUN DX1:PLTMOD

ESCREVA O VALOR DO PERIODO DE AMOSTRAGEM  
0.1

ESCREVA O NUMERO DE DADOS ARMazenADOS P/ CADA CURVA  
300

ESCREVA O VALOR DO TEMPORIZADOR  
20

ENTRE COM O NUMERO DO ARQUIVO EM DX1  
55

QUAL A CURVA DESEJA TRACAR?  
1 - PARA A CURVA REFERENTE A DISTANCIA PARAMETRICA  
2 - PARA A CURVA REFERENTE A DISTANCIA DE ESTADO  
1

PAUSE -- AJUSTE TRACADOR

QUER AMPLIAR ESTA CURVA?  
SIM: INDIQUE OS PONTOS INICIAIS E FINAIS  
NAO: ESCREVA 0

DESEJA TRACAR OUTRA CURVA?      1 - SIM   0 - NAO  
1

QUAL A CURVA DESEJA TRACAR?  
1 - PARA A CURVA REFERENTE A DISTANCIA PARAMETRICA  
2 - PARA A CURVA REFERENTE A DISTANCIA DE ESTADO  
2

PAUSE -- AJUSTE TRACADOR

QUER AMPLIAR ESTA CURVA?  
SIM: INDIQUE OS PONTOS INICIAIS E FINAIS  
NAO: ESCREVA 0

DESEJA TRACAR OUTRA CURVA?      1 - SIM   0 - NAO

STOP --

Após o traçado de cada curva, o programa fornece, os valores máximo e mínimo e os valores inicial e final de cada curva, conforme a disposição mostrada a seguir:

#### Distância Paramétrica

VALOR INICIAL =	0.48038E+01
VALOR FINAL =	0.31983E+00
VALOR MINIMU =	0.19292E+00
VALOR MAXIMU =	0.23754E+02

#### Distância de Estado

VALOR INICIAL =	0.11935E+01
VALOR FINAL =	0.78834E-01
VALOR MINIMU =	0.39820E-01
VALOR MAXIMU =	0.22063E+02

QUARTA PARTE: LISTAGENS DOS PROGRAMAS

1 - Programas relativos à simulação do Observador Adaptativo Série-Paralelo Multivariável.

## 1.1 - Programa Principal

```

C      PROGRAM OASPMV
C      OBSERVADOR ADAPTATIVO SERIE-PARALELO MULTIVARIÁVEL
C      SISTEMA DE ORDEM N COM NE ENTRADAS E NS SAIDAS
C      DIMENSIONAMENTO DAS MATRIZES
C
COMMON IND(3,6),NOB(5),M(5),GF(5),GI(10),HL(5),A(5,5),B(5,5)
COMMON C(3,5),D(3,5),X(5),U(5),UT(20),YG(5),VURO(20),VU(45)
COMMON V(50),VY(5),FX(1000),TETA(50),R(5),EK(5),PB(50),PC(50)
COMMON ATC(5),CATD(20),EMB(45),WC(5),XC(5),YCB(5),VYC(5),VE(5)
COMMON FV(50),Z(2)
DIMENSION AT(5),XCX(5),ATCAT(5),BTCBT(5,5,5),BTCBT(5,5),NUL(5)
DIMENSION M2(2),M3(3),M4(4),M5(5),M6(6),M7(7),M8(8),M9(9)
DIMENSION M10(10),M11(11),EKM(5),XCXM(5),A1(5,5)
C      ENTRADA DE DADOS
C
07      WRITE(7,06)
06      FORMAT(5X,'ENTRE COM O VALOR DE N',2X,'(ORDEM DO SISTEMA)')
      READ(5,10)N
10      FORMAT(I2)
      WRITE(7,15)
15      FORMAT(5X,'ENTRE COM O VALOR DE NE (NUMERO DE ENTRADAS)',/,5X,
*E O VALOR DE NS (NUMERO DE SAIDAS)')
      READ(5,20)NE,NS
20      FORMAT(2I2)
      WRITE(7,138)NS
138     FORMAT(5X,'ENTRE COM AS ORDENS DOS',1X,I2,1X,'OBSERVADORES',/,
*5X,'SE TODOS TIVEREM A MESMA ORDEM ESCREVA *1* NA PROXIMA LINHA')
      READ(5,139)(NOB(I),I=1,NS)
139     FORMAT(5I2)
      READ(5,73)NU
73      FORMAT(I1)
      NT=NS+NE-1
      IF(NS.EQ.1) GO TO 280
      DO 275 I=1,NS
275     M(I)=(NOB(I)+1)*NT+NOB(I)
      CONTINUE
      GO TO 285
280     NT=NE
      M(1)=(NOB(1)+1)*NT+NOB(1)
285     WRITE(7,25)N,N,N
25     FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ *A*',I2,
*,',',I2,')',/,5X,'ENTRE COM',1X,I2,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
      DO 27 I=1,N
      READ(5,30)(A(I,J),J=1,N)
30     FORMAT(5E11.5)
27     CONTINUE
      WRITE(7,35)N,NT,NT
35     FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ *B*',I2,
*,',',I2,')',/,5X,'ENTRE COM',1X,I2,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
      DO 37 I=1,N
      READ(5,40)(B(I,J),J=1,NT)
40     FORMAT(5E11.5)
37     CONTINUE

```



```

-- WRITE(7,43)NS,N,N
43  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "C"',12
*,',',12,')',/,5X,'ENTRE COM',1X,12,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
  DO 48 I=1,NS
    READ(5,49)(C(I,J),J=1,N)
49  FORMAT(5E11.5)
48  CONTINUE
  WRITE(7,45)NS,NT,NT
45  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "D"',12
*,',',12,')',/,5X,'ENTRE COM',1X,12,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
  DO 47 I=1,NS
    READ(5,50)(D(I,J),J=1,NT)
50  FORMAT(5E11.5)
47  CONTINUE
    K=0
2000 WRITE(7,55)N
55  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS "HL"',12,')')
  DO 61 I=1,N
    READ(5,60)HL(I)
60  FORMAT(E11.5)
61  CONTINUE

  IF(K.NE.0) GO TO 2050-
2010 NGI=0
  DO 96 I=1,NS
    NGI=NGI+NOB(I)+1
96  CONTINUE
95  WRITE(7,95)NGI
  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS "GI"',1X,12,1X,')
*,',/,5X,'ESCREVA UM VALOR POR LINHA, COM O SINAL TROCADU')
  DO 97 I=1,NGI
    READ(5,100)GI(I)
100  FORMAT(E11.5)
97  CONTINUE
  IF(K.NE.0) GO TO 2050
2020 WRITE(7,136)NS
136  FORMAT(5X,'DE US GANHOS INICIAIS DAS',1X,12,1X,'MATRIZES
*, 'DE GANHOS DECRESCENTES "F"')
  DO 186 I=1,NS
    READ(5,137)GF(I)
137  FORMAT(E7.1)
186  CONTINUE
  IF(K.NE.0) GO TO 2050
2030 WRITE(7,201)
201  FORMAT(5X,'ESCREVA "1" SE QUISER RUIDO GAUSSIANO E, "0" SE NAO
*, 'QUISER',/,5X,'QUER RUIDO NA ENTRADA?')
  READ(5,202)JG
202  FORMAT(I1)
  WRITE(7,203)
203  FORMAT(5X,'QUER RUIDO NA SAIDA?')
  READ(5,204)JG
204  FORMAT(I1)
  WRITE(7,206)
206  FORMAT(5X,'QUER RUIDO NOS ESTADOS?')
  READ(5,207)KG
207  FORMAT(I1)
  WRITE(7,208)
208  FORMAT(5X,'ESCREVA A MEDIA(AM) E A VARIANCIA(AV)')
  READ(5,209)(Z(1),I=1,2)
209  FORMAT(2F8.6)
  IF(K.NE.0) GO TO 2050
2040 WRITE(7,75)
75  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS NUMEROS LOGICOS DAS ENTRADAS "NUL"')
  READ(5,76)(NUL(I),I=1,NE)
76  FORMAT(5I2)
2050 WRITE(7,65)
65  FORMAT(5X,'ESCREVA O NUMERO DE ITERACOES QUE DESEJA')
  READ(5,70)NI
70  FORMAT(I5)
  WRITE(7,2075)
2075  FORMAT(5X,'ESCREVA "1" SE QUISER GRAVAR OS DADOS PARA SEREM
*, 'PLUTADOS',/,5X,'NO PLUTER DO ANALOGICO, E "0" SE NAO QUISE')
  READ(5,2080)IAU
2080  FORMAT(I1)

```

```

      IF(IAU.EQ.0) GO TO 2095
      WRITE(7,240)
240   FORMAT(5X,'CURVAS A SEREM PLOTADAS:',/,5X,'1 - DISTANCIA
      * PARAMETRICA',/,5X,'2 - DISTANCIA DE ESTADO',/)
      WRITE(7,2085)
2085  FORMAT(5X,'ESCREVA O NUMERO DO ARQUIVO')
      READ(5,2090)NAKU
2090  FORMAT(I2)
      WRITE(7,2091)
2091  FORMAT(5X,'DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES QUER DETERMINAR',/,5X
      * , 'A MEDIA DOS DADOS A SEREM PLOTADOS?')
      READ(5,2092)NA
2092  FORMAT(I3)
      LNA=NI/NA
      WRITE(7,2500)LNA
2500  FORMAT(5X,'NUMERO DE DADOS A SEREM ARMAZENADOS POR CURVA: ',I4)
2095  NU=NI-200
      DO 140 I=1,6
      IND(I,I)=1
140   CONTINUE

      IF(NS.EQ.1) GO TO 141
      DO 351 I=2,NS
      IND(I,1)=IND(I-1,1)+NOB(I-1)*NT
      IND(I,2)=IND(I-1,2)+NOB(I-1)+1
      IND(I,3)=IND(I-1,3)+NT
      IND(I,4)=IND(I-1,4)+N(I-1)
      IND(I,5)=IND(I-1,5)+NOB(I-1)
      IND(I,6)=IND(I-1,6)+(N(I-1))*2
351  CONTINUE
C
C      DADOS A SEREM LISTADOS
C
141  WRITE(6,111)
111  FORMAT(5X,'OBSERVADOR ADAPTATIVO MULTIVARIÁVEL SERIE-PARALELO')
      WRITE(6,142)
142  FORMAT(5X,'MATRIZ "A"')
      DO 152 I=1,N
      WRITE(6,143)(A(I,J),J=1,N)
143  FORMAT(5X,5E15.5)
152  CONTINUE
      WRITE(6,144)
144  FORMAT(5X,'MATRIZ "B"')
      DO 153 I=1,N
      WRITE(6,145)(B(I,J),J=1,NT)
145  FORMAT(5X,5E15.5)
153  CONTINUE
      WRITE(6,146)
146  FORMAT(5X,'MATRIZ "D"')
      DO 151 I=1,NS
      WRITE(6,147)(D(I,J),J=1,NT)
147  FORMAT(5X,5E15.5)
151  CONTINUE
      WRITE(6,155)NI
155  FORMAT(5X,'NUMERO DE ITERACOES = ',I4,I5)
      WRITE(7,71)
71   FORMAT(/,5X,'DESEJA IMPRESSAO DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES?')
      READ(5,72)NIA
72   FORMAT(I5)
C
C      INICIALIZACAO DAS MATRIZES E VARIÁVEIS
C
      K=0
      DO 51 I=1,NS
      DO 51 J=1,NOB(I)
      KK=IND(I,5)
      JJ=IND(I,5)+J-1
      AT(JJ)=A(JJ,KK)
51  CONTINUE
      DO 160 I=1,NS
      YG(I)=0.
      YCB(I)=0.
160  CONTINUE

```

```

DO 170 I=1,NE
170  U(I)=0.
CONTINUE
DO 185 I=1,5
AIC(I)=0.
X(I)=0.0
XC(I)=0.0
WC(I)=0.0
VY(I)=0.0
VYC(I)=0.0
VE(I)=0.0
EKH(I)=0.0
XCXM(I)=0.0
185  CONTINUE
DO 175 I=1,20
CATD(I)=0.
VURO(I)=0.
175  CONTINUE
DO 190 I=1,45
VU(I)=0.0
EMB(I)=0.0
190  CONTINUE
DO 225 I=1,50
V(I)=0.
TETA(I)=0.
FB(I)=0.
FC(I)=0.
FV(I)=0.
225  CONTINUE

DP1=0.0
DE1=0.0
DP2=0.0
DE2=0.0
DO 101 I=1,11
M11(I)=-1
IF(I.GT.10) GO TO 101
M10(I)=-1
IF(I.GT.9) GO TO 101
M9(I)=-1
IF(I.GT.8) GO TO 101
M8(I)=-1
IF(I.GT.7) GO TO 101
M7(I)=-1
IF(I.GT.6) GO TO 101
M6(I)=-1
IF(I.GT.5) GO TO 101
M5(I)=-1
IF(I.GT.4) GO TO 101
M4(I)=-1
IF(I.GT.3) GO TO 101
M3(I)=-1
IF(I.GT.2) GO TO 101
M2(I)=-1
101  CONTINUE
KNIA=-1
KNA=-1
CALL SMF(NS)

C
C  INICIO DO LACO DE PROGRAMACAO
C
C  CALCULO DA SAIDA DO PROCESSO
C
800  CALL SAIPRO(NS,NE,NT,N,IG)
CALL SUT(NS,NT,JG)

C
C  CALCULO DO FILTRO VURO (K)
C
CALL FVURO(NS,NT,NU)

C
C  ARRANJO DO VETOR V
C
CALL SFVSP(NS,NT)

```



```

C
C   DIFERENÇA ENTRE OS ESTADOS DO OBSERVADOR E DO PROCESSO
C
DO 330 I=1,N
XCX(I)=XC(I)-X(I)
330 CONTINUE
DE=0.
DO 2140 I=1,N
DE=DE+(XCX(I))**2.
2140 CONTINUE
DE=SQRT(DE)
C
C   ARMAZENAMENTO DE DADOS
C
IF(IAR.EQ.0) GO TO 2180
DP1=DP1+DP
DE1=DE1+DE
KNA=KNA+1
IF(KNA.NE.NA) GO TO 2180
ENA=FLUAT(NA)
DP1=DP1/ENA
DE1=DE1/ENA
WRITE(NAKU,2120)DP1
WRITE(NAKU,2120)DE1
2120 FORMAT(E15.5)
KNA=0
DP1=0.0
DE1=0.0
C
C   IMPRESSÃO DOS RESULTADOS DO TEMPO K
C
2180 KNIA=KNIA+1
IF(KNIA.NE.NIA) GO TO 591
WRITE(6,515)K
515 FORMAT(/,/,/,SX,'K=',I5)
WRITE(6,405)
405 FORMAT(/,/,SX,'PARAMETROS IDENTIFICADOS')
IF(NS.EQ.1) GO TO 335
DO 340 L=1,NS
WRITE(6,345)L
345 FORMAT(/,/,SX,'SUBSISTEMA ',I1,' ',/)
GO TO 336
335 L=1
336 WRITE(6,346)
346 FORMAT(/,/,SX,'MATRIZ "AC"',/)
DO 334 I=1,NOB(L)
DO 334 J=1,NOB(L)
A1(I,J)=0.0
334 CONTINUE
DO 520 I=1,NOB(L)
IJ=IND(L,5)+I-1
A1(I,1)=A1C(IJ)
520 CONTINUE
DO 525 I=1,(NOB(L)-1)
J=I+1
A1(I,J)=1.0
525 CONTINUE
DO 526 I=1,NOB(L)
WRITE(6,527)(A1(I,J),J=1,NOB(L))
527 FORMAT(5E15.5)
526 CONTINUE
WRITE(6,407)
407 FORMAT(/,/,SX,'MATRIZ "BC"',/)
I=IND(L,1)
DO 355 J=1,NOB(L)
WRITE(6,360)(EMB(LK),LK=1,I+NT-1)
360 FORMAT(8E15.5)
I=I+NT
355 CONTINUE
WRITE(6,409)
409 FORMAT(/,/,SX,'MATRIZ "DC"',/)
I=IND(L,3)
WRITE(6,570)(CAD(LK),LK=1,I+NT-1)
570 FORMAT(8E15.5)
IF(NS.EQ.1) GO TO 341
340 CONTINUE

```

```

341      KNIA=0
591      IF(K.LE.NU) GO TO 592
          DP2=DP2+DP
          DE2=DE2+DE
          DO 593 I=1,NS
          EKM(I)=EKM(I)+EK(I)**2.
593      CONTINUE
          DO 596 I=1,N
          XCXM(I)=XCXM(I)+XCX(I)**2.
596      CONTINUE
          IF(K.NE.NI) GO TO 592
          DP2=DP2/200.
          DE2=DE2/200.
          DO 594 I=1,NS
          EKM(I)=EKM(I)/200.
594      CONTINUE
          DO 597 I=1,N
          XCXM(I)=XCXM(I)/200.
597      CONTINUE
          WRITE(6,2165)K,DP2,DE2
2165     FORMAT(/,/,5X,'NUMERO DE ITERACOES =',2X,I5,/,/,5X,'DISTANCIA
*PARAMETRICA =',2X,E15.5,/,/,5X,'DISTANCIA DE ESTADO =',2X,E15.5)
          DO 2170 I=1,NS
          WRITE(6,2175)I,EKM(I)
2175     FORMAT(/,5X,'ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA ',11,','=',2X,E15.5)
2170     CONTINUE
          DO 601 I=1,N
          WRITE(6,602)I,XCXM(I)
602     FORMAT(/,5X,'ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO ',11,','=',
*,2X,E15.5)
601     CONTINUE
C
C      CALCULO DAS MATRIZES CUJOS RESULTADOS SERAO
C      UTILIZADOS NA PROXIMA ITERACAO (K+1)
C
C      CALCULO DE X      (K+1)
C
592     CALL ESTADO(N,NS,NT,KB)
C
C      CALCULO DE XC      (K+1)
C
C      CALL OBESSP(NS,NT,NE)
C
C      CALCULO DOS FILTROS VU -- VY      (K+1)
C
C      CALL VUVYSP(NS,NT)
C
C      CALCULO DE F      (K+1)
C
C      CALL SFGD(NS)
C
C      CALCULO DE TETA      (K+1)
C
699     CALL STETAS(NS)
C
C      IF(K.EQ.NI) GO TO 760
C
C      CALCULO DA PROXIMA ENTRADA U      (K+1)
C
752     DO 738 L=1,NE
          CALL GSEPA(NUL,L,K,m1,m2,m3,m4,m5,m6,m7,m8,m9,m10,m11)
          LK=NUL(L)
          GO TO (1,2,3,4,5,11,22,33,44,56,66),LK
1          U(L)=m1
          GO TO 738
2          U(L)=m2(2)
          GO TO 738
3          U(L)=m3(3)
          GO TO 738
4          U(L)=m4(4)
          GO TO 738
5          U(L)=m5(5)
          GO TO 738
11         U(L)=m6(6)

```

```

22      GO TO 738
        U(L)=M7(7)
        GO TO 738
33      U(L)=M8(8)
        GO TO 738
44      U(L)=M9(9)
        GO TO 738
56      U(L)=M10(10)
        GO TO 738
66      U(L)=M11(11)
738     CONTINUE
C
        N=N+1
C
        GO TO 800
C
760     IF(IAQ.NE.0) GO TO 2101
        WRITE(7,765)
765     FORMAT(5X,'ESCREVA:',/,5X,'1 - PARA ENTRAR COM NOVOS PARAMETROS
* DO VETOR 'HL'',/,5X,'2 - PARA ENTRAR COM NOVOS PARAMETROS DO VET
*OR 'GI'',/,5X,'3 - PARA ENTRAR COM NOVOS GANHOS INICIAIS 'F'',/,5X
*, '4 - PARA ENTRAR COM NOVAS MEDIA E VARIANCIA PARA O RUIDO')
        WRITE(7,780)
780     FORMAT(5X,'5 - PARA ENTRAR COM NOVAS SEQUENCIAS BINARIAS PSEUDO
*-ALEATORIAS',/,5X,'0 - PARA ENCERRAR A SIMULACAO')
        READ(5,785)KE
785     FORMAT(I1)
        IF(KE.EQ.1) GO TO 2000
        IF(KE.EQ.2) GO TO 2010
        IF(KE.EQ.3) GO TO 2020
        IF(KE.EQ.4) GO TO 2030
        IF(KE.EQ.5) GO TO 2040
2101    STOP
        END

```

## 1.2 - Subprogramas

```

SUBROUTINE SMF(NSS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),ERS(5),FRS(50),FCS(50),ATCS(5),CAIDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 5 IL=1,NSS
DO 5 I=1,MS(IL)
DO 5 J=1,MS(IL)
JJ=J+INDS(IL,6)-1+MS(IL)*(I-1)
FS(JJ)=0.0
IF(I.EQ.J) FS(JJ)=GFS(IL)
5     CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAIPRO(NSS,NES,NIS,NC,IGS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),FCS(50),AFC(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50),ZS(2)
AM=ZS(1)
AV=ZS(2)
REAL W(5),ZW(5),UT2(10)
DO 10 I=1,NSS
W(I)=0.
DO 10 J=1,NC
W(I)=W(I)+CS(1,J)*XS(J)
10 CONTINUE
IF(NSS.NE.1) GO TO 65
ZW(1)=0.0
DO 11 J=1,NES
ZW(1)=ZW(1)+DS(1,J)*US(J)
11 CONTINUE
GO TO 70
65 DO 20 I=1,NSS
ZW(I)=0.
L=0
DO 20 J=NSS,NIS
L=L+1
ZW(I)=ZW(I)+DS(1,J)*US(L)
20 CONTINUE
70 DO 30 I=1,NSS
YGS(I)=W(I)+ZW(I)
30 CONTINUE
DO 60 I=1,NSS
CALL GAUSS(Z1,AM,AV)
YGS(I)=YGS(I)+IGS*Z1
60 CONTINUE
IF(NSS.EQ.1) GO TO 55
KY=1
45 DO 35 I=1,KY
UT2(I)=YGS(I)
35 CONTINUE
I=KY+1
W(I)=0.0
DO 50 J=1,NSS-1
W(I)=W(I)+US(1,J)*UT2(J)
50 CONTINUE
YGS(I)=YGS(I)+W(I)
KY=KY+1
IF(KY.EQ.NSS) GO TO 55
GO TO 45
55 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SUT(NSS,NTS,JGS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),FCS(50),AFC(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50),ZS(2)
AM=ZS(1)
AV=ZS(2)
CALL GAUSS(Z1,AM,AV)
IF(NSS.NE.1) GO TO 12
DO 1 I=1,NTS
UTS(I)=US(I)+Z1*JGS
1 CONTINUE
GO TO 20
12 DO 40 I=1,NSS
K=0

```



```

DO 45 J=1,NSS
IF(J.EQ.I) GO TO 45
K=K+1
L=INDS(I,3)-1+K
UTS(L)=YGS(J)
45 CONTINUE
M=0
DO 55 J=NSS,NTS
M=M+1
L=INDS(I,3)-1+J
UTS(L)=US(M)+Z1*JGS
55 CONTINUE
40 CONTINUE
20 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FVURO(NSS,NTS,NUS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UIS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),FIETAS(50)
COMMON KS(5),EKS(5),FRS(50),FLS(50),ALS(5),CAIIS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YGS(5),QYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 25 IL=1,NSS
DO 15 I=1,NTS
L=1+INDS(IL,3)-1
VUROS(L)=0.
DO 20 J=1,NUBS(IL)
LL=J+INDS(IL,2)
JJ=1+INDS(IL,1)-1+NTS*(J-1)
VUROS(L)=VUROS(L)+GIS(LL)*VUS(JJ)
20 CONTINUE
M=INDS(IL,3)-1+I
VUROS(L)=VUROS(L)+UTS(M)
15 CONTINUE
25 CONTINUE
IF(NSS.EQ.1) GO TO 55
IF(NUS.EQ.1) GO TO 45
DO 40 IL=1,NSS-1
DO 40 J=IL,NSS-1
KJ=J+INDS(IL,3)-1
VUROS(KJ)=0.0
40 CONTINUE
GO TO 55
45 DO 50 IL=1,NSS
DO 50 J=1,NSS-1
KJ=J+INDS(IL,3)-1
VUROS(KJ)=0.0
50 CONTINUE
55 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SFVSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CAIDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 30 IL=1,NSS
DO 5 I=1,NOBS(IL)
L=I+INDS(IL,4)-1
LL=I+INDS(IL,5)-1
VS(L)=VYS(LL)
5 CONTINUE
KL=1
I=NOBS(IL)+1
J=1
10 L=I+INDS(IL,4)-1
LL=J+INDS(IL,3)-1
VS(L)=VUROS(LL)
ML=I+1
DO 15 K=1,NOBS(IL)
L=ML+INDS(IL,4)-1
JJ=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(K-1)
VS(L)=VUS(JJ)
ML=ML+1
15 CONTINUE
KL=KL+1
IF(KL.GT.NTS) GO TO 30
I=(NOBS(IL)+1)*KL
J=J+1
GO TO 10
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE EKRUSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PLS(50),ATCS(5),CAIDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 25 IL=1,NSS
DO 5 I=1,MS(IL)
K=I+INDS(IL,4)-1
FVS(K)=0.
DO 5 J=1,MS(IL)
JZ=J+MS(IL)*(I-1)+INDS(IL,6)-1
JH=J+INDS(IL,4)-1
FVS(K)=FVS(K)+FS(JZ)*VS(JH)
5 CONTINUE
RS(IL)=0.
DO 15 I=1,MS(IL)
JH=I+INDS(IL,4)-1
RS(IL)=RS(IL)+VS(JH)*FVS(JH)
15 CONTINUE
RS(IL)=RS(IL)+1.
TETAU=0.
DO 20 I=1,NTS
J=INDS(IL,4)-1+(NOBS(IL)+1)*I
L=INDS(IL,3)-1+I
TETAU=TETAU+TETAS(J)*UTS(L)
20 CONTINUE
K=INDS(IL,5)
EKS(IL)=(YGS(IL)-XCS(K)-TETAU)/RS(IL)
25 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE PRPCSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GPS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON KS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 60 IL=1,NSS
DO 15 I=1,MS(IL)
JZ=I+INDS(IL,4)-1
PBS(JZ)=FVS(JZ)*EKS(IL)
15 CONTINUE
DO 20 I=1,MS(IL)
JZ=I+INDS(IL,4)-1
PCS(JZ)=TETAS(JZ)+PBS(JZ)
20 CONTINUE
DO 25 I=1,NOBS(IL)
IZ=I+INDS(IL,5)-1
IH=I+INDS(IL,4)-1
ATCS(IZ)=PCS(IH)
25 CONTINUE
DO 30 I=1,NTS
LL=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1
LH=I+INDS(IL,3)-1
CATDS(LH)=PCS(LL)
30 CONTINUE
DO 35 J=1,NTS
DO 35 I=1,NOBS(IL)
LL=I+INDS(IL,4)-1+(NOBS(IL)+1)*J
JJ=J+INDS(IL,3)-1
II=I+INDS(IL,5)-1
KK=INDS(IL,1)-1+J+NTS*(I-1)
EMBS(KK)=PCS(LL)+CATDS(JJ)*ATCS(II)
35 CONTINUE
60 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SWCOSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GPS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON KS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 30 IL=1,NSS
AV=0.
DO 5 I=1,NOBS(IL)
II=I+INDS(IL,4)-1
IK=I+INDS(IL,5)-1
AV=AV+PBS(II)*VYS(IK)
5 CONTINUE
DBV=0.
DO 10 I=1,NTS
L=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1
K=I+INDS(IL,3)-1
DBV=DBV+PBS(L)*VUROS(K)
10 CONTINUE
BTV=0.
DO 15 I=1,NTS
DO 15 J=1,NOBS(IL)
L=(NOBS(IL)+1)*I+J+INDS(IL,4)-1
JJ=I+INDS(IL,1)-1+NTS*(J-1)
BTV=BTV+PBS(L)*VUS(JJ)
15 CONTINUE
DBU=0.
DO 25 I=1,NTS
L=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1
J=INDS(IL,3)-1+I
DBU=DBU+PBS(L)*UTS(J)
25 CONTINUE
J=INDS(IL,5)
WCS(J)=AV+DBV+BTV-DBU
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SWCNSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PLS(50),AICS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL VUS2(5,10)
DO 70 IL=1,NSS
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 70
DO 1 I=1,NOBS(IL)
DO 3 J=1,NTS
L=J+INDS(IL,1)-1+(NTS*(I-1))
VUS2(I,J)=VUS(L)
3 CONTINUE
1 CONTINUE
DO 5 L=1,(NOBS(IL)-1)
DGV=0.
DO 10 I=1,NTS
DO 10 J=(L+1),NOBS(IL)
LK=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1
LL=J+INDS(IL,2)
10 DGV=DGV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(J-L,I)
CONTINUE
BTGV=0.
DO 20 MR=1,NTS
DO 20 I=1,L
LK=(NOBS(IL)+1)*MR+I+INDS(IL,4)-1
DO 20 J=(L+1),NOBS(IL)
LL=J+INDS(IL,2)
IJ=I+J-L
20 BTGV=BTGV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(IJ,MR)
CONTINUE
BTRV=0.
DO 35 MR=1,NTS
DO 35 I=(L+1),NOBS(IL)
LK=(NOBS(IL)+1)*MR+I+INDS(IL,4)-1
DO 35 J=1,(L+1)
LL=J+INDS(IL,2)-1
IJ=1+J-L-1
35 BTRV=BTRV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(IJ,MR)
CONTINUE
AGVY=0.
DO 50 I=1,L
DO 50 J=(L+1),NOBS(IL)
IJ=1+J-L+INDS(IL,5)-1
LL=J+INDS(IL,2)
LK=I+INDS(IL,4)-1
50 AGVY=AGVY+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VYS(IJ)
CONTINUE
ABVY=0.
DO 60 I=(L+1),NOBS(IL)
DO 60 J=1,(L+1)
IJ=I+J-L-1+INDS(IL,5)-1
LL=J+INDS(IL,2)-1
LK=I+INDS(IL,4)-1
60 ABVY=ABVY+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VYS(IJ)
CONTINUE
IK=INDS(IL,5)+L
WCS(IK)=-DGV-BTGV+BTRV-AGVY+ABVY
5 CONTINUE
70 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SAIOBS(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCGS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 5 IL=1,NSS
DCU=0.0
DO 30 I=1,NTS
J=I+INDS(IL,3)-1
DCU=DCU+CATDS(J)*UTS(J)
30 CONTINUE
I=INDS(IL,5)
YCGS(IL)=XCS(I)+DCU+WCS(I)
5 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE ESTADO(NC,NSS,NTS,KGS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCGS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50),ZS(2)
REAL Z(5),W(5)
AM=ZS(1)
AV=ZS(2)
DO 5 I=1,NC
Z(I)=0.
DO 5 J=1,NC
Z(I)=Z(I)+AS(I,J)*XS(J)
5 CONTINUE
K=0
DO 15 L=1,NSS
DO 15 I=1,NOBS(L)
II=I+INDS(L,5)-1
K=K+1
W(K)=0.0
DO 15 J=1,NTS
JJ=J+INDS(L,3)-1
15 W(K)=W(K)+BS(II,J)*(UTS(JJ))
CONTINUE
DO 25 I=1,NC
CALL GAUSS(Z1,AM,AV)
XS(I)=Z(1)+W(I)+KGS*Z1
25 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE GAUSS(W1,AM,AV)
1 RN=RAN(L1,L2)
IF(RN)2,1,2
2 RM=RAN(L1,L2)
AL=-2.*ALOG(RN)*AV
W1=SQRT(AL)*COS(6.2832*RM)+AM
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE OBRESSP(NSS,NTS,NES)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PRS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL ACH(5),WCH(5),Z(5),WL(5),WCS2(6),HCLS2(5,5)
DO 100 IL=1,NSS
DO 5 I=1,6
WCS2(I)=0.
5 CONTINUE
DO 10 I=1,NOBS(IL)
J=I+INDS(IL,5)-1
WCS2(I)=WCS(J)
10 CONTINUE
DO 15 I=1,NOBS(IL)
ACH(I)=0.
J=I+INDS(IL,5)-1
ACH(I)=ATCS(J)+HLS(J)
15 CONTINUE
WCS2(NOBS(IL)+1)=0.
DO 20 I=1,NOBS(IL)
WCH(I)=0.
J=I+INDS(IL,5)-1
WCH(I)=WCS2(I+1)-HLS(J)*WCS2(I)
20 CONTINUE
DO 25 I=1,NOBS(IL)
J=I+INDS(IL,5)-1
HCLS2(I,1)=-HLS(J)
25 CONTINUE
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 47
DO 30 I=1,NOBS(IL)
DO 30 J=2,NOBS(IL)
HCLS2(I,J)=0.0
IF(J.EQ.(I+1)) HCLS2(I,J)=1.
30 CONTINUE
47 DO 50 I=1,NOBS(IL)
Z(I)=0.
DO 50 J=1,NOBS(IL)
K=J+INDS(IL,5)-1
Z(I)=Z(I)+HCLS2(I,J)*XCS(K)
50 CONTINUE
DCU=0.
DO 60 I=1,NTS
J=I+INDS(IL,3)-1
DCU=DCU+CATDS(J)*UTS(J)
60 CONTINUE
YDK=YGS(IL)-DCU
DO 75 I=1,NOBS(IL)
WL(I)=0.
DO 75 J=1,NTS
L=INDS(IL,3)-1+J
LL=J+INDS(IL,1)-1+(I-1)*NTS
WL(I)=WL(I)+EMBS(LL)*UTS(L)
75 CONTINUE
DO 85 I=1,NOBS(IL)
J=I+INDS(IL,5)-1
XCS(J)=Z(I)+ACH(I)*YDK+WL(I)+WCH(I)
85 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VUVYSP(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PRS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL ZL(5,10),Z(5),GS2(5,5)
DO 100 IL=1,NSS
DO 5 J=1,NOBS(IL)
JJ=J+INDS(IL,2)
GS2(1,J)=GIS(JJ)
5 CONTINUE

```

```

IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 30
DO 10 I=2,NOBS(IL)
DO 10 J=1,NOBS(IL)
GS2(I,J)=0.0
IF((J+1).EQ.1) GS2(1,J)=1.0
10 CONTINUE
DO 35 I=1,NOBS(IL)
Z(I)=0.
DO 35 J=1,NOBS(IL)
JJ=J+INDS(IL,5)-1
Z(I)=Z(I)+GS2(I,J)*VYS(JJ)
35 CONTINUE
J=INDS(IL,5)
VYS(J)=Z(I)+YGS(IL)
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 50
DO 45 I=2,NOBS(IL)
II=I+INDS(IL,5)-1
VYS(II)=Z(I)
45 CONTINUE
DO 55 I=1,NOBS(IL)
DO 55 J=1,NTS
ZL(I,J)=0.
DO 55 L=1,NOBS(IL)
LL=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(L-1)
ZL(I,J)=ZL(I,J)+GS2(I,L)*VUS(LL)
55 CONTINUE
DO 70 I=1,NTS
L=INDS(IL,3)-1+1
LL=I+INDS(IL,1)-1
VUS(LL)=ZL(1,I)+UTS(L)
70 CONTINUE
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 100
DO 75 I=2,NOBS(IL)
DO 75 J=1,NTS
LL=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(I-1)
VUS(LL)=ZL(1,J)
75 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SFGD(NSS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATCS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL FF(30,30)
DO 60 IL=1,NSS
DO 25 I=1,MS(IL)
KI=I+INDS(IL,4)-1
DO 25 J=1,MS(IL)
KJ=J+INDS(IL,4)-1
FF(I,J)=0.
25 FF(I,J)=FF(I,J)+(FVS(KI)*FVS(KJ))/RS(IL)
CONTINUE
DO 45 I=1,MS(IL)
DO 45 J=1,MS(IL)
JJ=J+INDS(IL,6)-1+MS(IL)*(I-1)
FS(JJ)=FS(JJ)-FF(I,J)
45 CONTINUE
60 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE STETAS(NSS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATCS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 10 IL=1,NSS
DO 10 I=1,MS(IL)
J=I+INDS(IL,4)-1
TETAS(J)=TETAS(J)+PBS(J)
10 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE GSBFA(NULS,LS,KS,MA1,MA2,MA3,MA4,MA5,MA6,MA7,MAB,MAY,
*MA10,MA11)
DIMENSION MA2(2),MA3(3),MA4(4),MA5(5),MA6(6)
DIMENSION NULS(5),MA7(7),MAB(8),MAY(9),MA10(10),MA11(11)
C   ESTA SUBROTINA GERA SEQUENCIAS BINARIAS PSEUDO-ALEATORIAS
C   COM UNZE COMPRIMENTOS DIFERENTES.
LK=NULS(LS)
GO TO (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11),LK
1  MA1=(-1)**KS
GO TO 65
2  M=MA2(1)*MA2(2)
MA2(2)=MA2(1)
MA2(1)=M
GO TO 65
3  M=MA3(2)*MA3(3)
DO 90 I=1,2
MA3(4-I)=MA3(3-I)
90 CONTINUE
MA3(1)=M
GO TO 65
4  M=MA4(3)*MA4(4)
DO 95 I=1,3
MA4(5-I)=MA4(4-I)
95 CONTINUE
MA4(1)=M
GO TO 65
5  M=MA5(3)*MA5(5)
DO 100 I=1,4
MA5(6-I)=MA5(5-I)
100 CONTINUE
MA5(1)=M
GO TO 65
6  M=MA6(5)*MA6(6)
DO 105 I=1,5
MA6(7-I)=MA6(6-I)
105 CONTINUE
MA6(1)=M
GO TO 65
7  M=MA7(4)*MA7(7)
DO 20 L=1,6
MA7(8-L)=MA7(7-L)
20 CONTINUE
MA7(1)=M
GO TO 65
8  M=MAB(2)*MAB(3)*MAB(4)*MAB(8)
DO 30 L=1,7
MAB(9-L)=MAB(8-L)
30 CONTINUE
MAB(1)=M
GO TO 65
9  M=MAY(5)*MAY(9)
DO 40 L=1,8
MAY(10-L)=MAY(9-L)
40 CONTINUE
MAY(1)=M
GO TO 65
10 M=MA10(2)*MA10(10)
DO 50 L=1,9
MA10(11-L)=MA10(10-L)
50 CONTINUE
MA10(1)=M
GO TO 65
11 M=MA11(9)*MA11(11)
DO 60 L=1,10
MA11(12-L)=MA11(10-L)
60 CONTINUE
MA11(1)=M
65 RETURN
END

```



## 2 - Programas relativos à simulação do Observador Adaptativo Paralelo Multivariável.

### 2.1 - Programa Principal

```

PROGRAM DAPAMV
C
C
C
C
C
OBSERVADOR ADAPTATIVO PARALELO MULTIVARIÁVEL
SISTEMA DE ORDEM N COM NE ENTRADAS E NS SAIDAS
DIMENSIONAMENTO DAS MATRIZES
COMMON IND(3,6),NOB(5),M(5),GF(5),GI(10),HL(5),A(5,5),B(5,5)
COMMON C(3,5),H(3,5),X(5),U(5),UT(20),YB(5),VURO(20),VU(45)
COMMON V(50),VY(5),F(1000),TELA(50),R(5),EK(5),PR(50),PC(50)
COMMON ATC(5),CATD(20),EMB(45),WC(5),XC(5),YCB(5),VYC(5),VE(5)
COMMON FV(50),Z(2)
DIMENSION AT(5),XCX(5),ATCAT(5),BTCBT(5,5,5),BTCBT(5,5),NUL(5)
DIMENSION M2(2),M3(3),M4(4),M5(5),M6(6),M7(7),M8(8),M9(9)
DIMENSION M10(10),M11(11),HLM(5),EKM(5),XCXM(5),A1(5,5)
C
C
C
ENTRADA DE DADOS
07 WRITE(7,06)
06 FORMAT(5X,'ENTRE COM O VALOR DE N',2X,'(ORDEM DO SISTEMA)')
READ(5,10)N
10 FORMAT(I2)
WRITE(7,15)
15 FORMAT(5X,'ENTRE COM O VALOR DE NE (NUMERO DE ENTRADAS)',/,5X,
*E O VALOR DE NS (NUMERO DE SAIDAS)')
READ(5,20)NE,NS
20 FORMAT(2I2)
WRITE(7,138)NS
138 FORMAT(5X,'ENTRE COM AS ORDENS DOS',1X,I2,1X,' OBSERVADORES',/,
*5X,' SE TODOS TIVEREM A MESMA ORDEM ESCREVA "1" NA PRÓXIMA LINHA')
READ(5,139)(NOB(I),I=1,NS)
139 FORMAT(5I2)
READ(5,73)NO
73 FORMAT(I1)
NI=NS+NE-1
IF(NS.EQ.1) GO TO 280
DO 275 I=1,NS
275 M(I)=(NOB(I)+1)*NI+2*NOB(I)
CONTINUE
GO TO 285
280 NI=NE
M(I)=(NOB(I)+1)*NI+2*NOB(I)
285 WRITE(7,25)N,N,N
25 FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "A",12
*,',/,I2,',)',/,5X,'ENTRE COM',1X,I2,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
DO 27 I=1,N
READ(5,30)(A(I,J),J=1,N)
30 FORMAT(5E11.5)
27 CONTINUE
WRITE(7,35)N,NI,NI
35 FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "B",12
*,',/,I2,',)',/,5X,'ENTRE COM',1X,I2,1X,'ELEMENTOS POR LINHA')
DO 37 I=1,N
READ(5,40)(B(I,J),J=1,NI)
40 FORMAT(5E11.5)
37 CONTINUE

```

```

WRITE(7,43)NS,N,N
43  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "C(',I2
*,',',I2,')'",/,5X,'ENTRE COM',I1,I2,I1,'ELEMENTOS POR LINHA')
DO 48 I=1,NS
READ(5,49)(C(I,J),J=1,N)
49  FORMAT(5E11.5)
48  CONTINUE
WRITE(7,45)NS,NT,NT
45  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS ELEMENTOS DA MATRIZ "D(',I2
*,',',I2,')'",/,5X,'ENTRE COM',I1,I2,I1,'ELEMENTOS POR LINHA')
DO 47 I=1,NS
READ(5,50)(D(I,J),J=1,NT)
50  FORMAT(5E11.5)
47  CONTINUE
K=0
2010 NGI=0
DO 96 I=1,NS
NGI=NGI+NUB(I)+1
96  CONTINUE
WRITE(7,95)NGI
95  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS VALORES DOS PARAMETROS "GI(',I1,I2,I1,')
* ',/,5X,'ESCREVA UM VALOR POR LINHA, COM O SINAL TROCADU')
DO 97 I=1,NGI
READ(5,100)GI(I)
100  FORMAT(E11.5)
97  CONTINUE
IF(K.NE.0) GO TO 2050
2020 WRITE(7,136)NS
136  FORMAT(5X,'DE OS GANHOS INICIAIS DAS',I1,I2,I1,'MATRIZES
* DE GANHOS DECRESCENTES "F"')
DO 186 I=1,NS
READ(5,137)GF(I)
137  FORMAT(E7.1)
186  CONTINUE
IF(K.NE.0) GO TO 2050
2030 WRITE(7,201)
201  FORMAT(5X,'ESCREVA *1* SE QUIZER RUIDO GAUSSIANO E, *0* SE NAO
* QUIZER',/,5X,'QUER RUIDO NA ENTRADA?')
READ(5,202)JG
202  FORMAT(I1)
WRITE(7,203)
203  FORMAT(5X,'QUER RUIDO NA SAIDA?')
READ(5,204)IG
204  FORMAT(I1)
WRITE(7,206)
206  FORMAT(5X,'QUER RUIDO NOS ESTADOS?')
READ(5,207)KG
207  FORMAT(I1)
WRITE(7,208)
208  FORMAT(5X,'ESCREVA A MEDIA(AM) E A VARIANCIA(AV)')
READ(5,209)(Z(I),I=1,2)
209  FORMAT(2F8.6)
IF(K.NE.0) GO TO 2050
2040 WRITE(7,75)
75  FORMAT(5X,'ENTRE COM OS NUMEROS LOGICOS DAS ENTRADAS "NUL"')
READ(5,76)(NUL(I),I=1,NE)
76  FORMAT(5I2)
2050 WRITE(7,65)
65  FORMAT(5X,'ESCREVA O NUMERO DE ITERACOES QUE DESEJA')
READ(5,70)NI
70  FORMAT(I5)
WRITE(7,2075)
2075  FORMAT(5X,'ESCREVA *1* SE QUIZER GRAVAR OS DADOS PARA SEREM
* PLUTADOS',/,5X,'NO PLUTIER DO ANALOGICO, E *0* SE NAO QUIZER')
READ(5,2080)IAU
2080  FORMAT(I1)
IF(IAU.EU.0) GO TO 2095
WRITE(7,240)
240  FORMAT(5X,'CURVAS A SEREM PLUTADAS:',/,5X,'1 - DISTANCIA
* PARAMETRICA',/,5X,'2 - DISTANCIA DE ESTADO',/)
WRITE(7,2085)

```

```

2085   FORMAT(5X, 'ESCREVA O NUMERO DO ARQUIVO')
      READ(5,2090)NAKU
2090   FORMAT(12)
      WRITE(7,2091)
2091   FORMAT(5X, 'DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES QUEL DETERMINAR', //, 5X
      * 'A MEDIA DOS DADOS A SEREM PLUJADOS?')
      READ(5,2092)NA
2092   FORMAT(13)
      LNA=NI/NA
      WRITE(7,2500)LNA
2500   FORMAT(5X, 'NUMERO DE DADOS A SEREM ARMAZENADOS POR CURVA: ',14)
2095   NU=NI-200
      DO 140 I=1,6
      IND(1,I)=1
-----
140   CONTINUE
      IF(NS.EQ.1) GO TO 141
      DO 351 I=2,NS
      IND(I,1)=IND(I-1,1)+NOB(I-1)*NI
      IND(I,2)=IND(I-1,2)+NOB(I-1)+1
      IND(I,3)=IND(I-1,3)+NI
      IND(I,4)=IND(I-1,4)+M(I-1)
      IND(I,5)=IND(I-1,5)+NOB(I-1)
      IND(I,6)=IND(I-1,6)+(M(I-1))*2
351   CONTINUE
C
C   DADOS A SEREM LISTADOS
C
141   WRITE(6,111)
111   FORMAT(5X, 'OBSERVADOR ADAPTATIVO MULTIVARIÁVEL PARALELO')
      WRITE(6,142)
142   FORMAT(5X, 'MATRIZ "A"')
      DO 152 I=1,N
      WRITE(6,143)(A(I,J),J=1,N)
143   FORMAT(5X,5E15.5)
152   CONTINUE
      WRITE(6,144)
144   FORMAT(5X, 'MATRIZ "B"')
      DO 153 I=1,N
      WRITE(6,145)(B(I,J),J=1,NI)
145   FORMAT(5X,5E15.5)
153   CONTINUE
      WRITE(6,146)
146   FORMAT(5X, 'MATRIZ "D"')
      DO 151 I=1,NS
      WRITE(6,147)(D(I,J),J=1,NI)
147   FORMAT(5X,5E15.5)
151   CONTINUE
      WRITE(6,155)NI
155   FORMAT(5X, 'NUMERO DE ITERACOES =',1X,15)
      WRITE(7,71)
71   FORMAT(7,5X, 'DESEJA IMPRESSAO DE QUANTAS EM QUANTAS ITERACOES?')
      READ(5,72)NIA
72   FORMAT(15)
C
C   INICIALIZACAO DAS MATRIZES E VARIÁVEIS
C
      K=0
      DO 51 I=1,NS
      DO 51 J=1,NOB(I)
      KK=IND(I,5)
      JJ=IND(I,5)+J-1
      AT(JJ)=A(JJ,KK)
51   CONTINUE
      DO 160 I=1,NS
      YG(I)=0.
      YCG(I)=0.
160   CONTINUE
      DO 170 I=1,NE
      U(I)=0.
70   CONTINUE

```

```

DO 185 I=1,5
  ATC(I)=0.
  X(I)=0.0
  XC(I)=0.0
  WC(I)=0.0
  HL(I)=0.0
  VY(I)=0.0
  VYC(I)=0.0
  VE(I)=0.0
  HLM(I)=0.0
  ERM(I)=0.0
  XCXM(I)=0.0
185  CONTINUE
DO 175 I=1,20
  CATD(I)=0.
  VURO(I)=0.
175  CONTINUE
DO 190 I=1,45
  VU(I)=0.0
  EMB(I)=0.0
190  CONTINUE
DO 225 I=1,50
  V(I)=0.
  TETA(I)=0.
  FB(I)=0.
  FC(I)=0.
  FV(I)=0.
225  CONTINUE
  DP1=0.0
  DE1=0.0
  DP2=0.0
  DE2=0.0
DO 101 I=1,11
  M11(I)=-1
  IF(I.GT.10) GO TO 101
  M10(I)=-1
  IF(I.GT.9) GO TO 101
  M9(I)=-1
  IF(I.GT.8) GO TO 101
  M8(I)=-1
  IF(I.GT.7) GO TO 101
  M7(I)=-1
  IF(I.GT.6) GO TO 101
  M6(I)=-1
  IF(I.GT.5) GO TO 101
  M5(I)=-1
  IF(I.GT.4) GO TO 101
  M4(I)=-1
  IF(I.GT.3) GO TO 101
  M3(I)=-1
  IF(I.GT.2) GO TO 101
  M2(I)=-1
101  CONTINUE
  KNIA=-1
  KNA=-1
  CALL SMF(NS).

C
C  INICIO DO LACO DE PROGRAMACAO
C
C  CALCULO DA SAIDA DO PROCESSO
C
800  CALL SAIPRO(NS,NE,NT,N,IG)
     CALL SUT(NS,NT,J6)
C
C  CALCULO DO FILTRO VURO (K)
C
     CALL FVURO(NS,NT,NU)
C
C  ARRANJO DO VETOR V
C
     CALL SFV(NS,NT)

```



```

C
C   DIFERENÇA ENTRE OS ESTADOS DO OBSERVADOR E DO PROCESSO
C
DO 330 I=1,N
XCX(I)=XC(I)-X(I)
330 CONTINUE
DE=0.
DO 2140 I=1,N
DE=DE+(XCX(I))**2.
2140 CONTINUE
DE=SQRT(DE)

C
C   ARMAZENAMENTO DE DADOS
C
IF(IAR.EQ.0) GO TO 2180
DP1=DP1+DP
DE1=DE1+DE
KNA=KNA+1
IF(KNA.NE.NA) GO TO 2180
ENA=FLUAT(NA)
DP1=DP1/ENA
DE1=DE1/ENA
WRITE(NAKU,2120)DP1
WRITE(NAKU,2120)DE1
2120 FORMAT(E15.5)
KNA=0
DP1=0.0
DE1=0.0

C
C   IMPRESSÃO DOS RESULTADOS DO TEMPO K
C
2180 KNIA=KNIA+1
IF(KNIA.NE.NNIA) GO TO 591
WRITE(6,515)K
515 FORMAT(/,/,5X,'K=',I5)
WRITE(6,405)
405 FORMAT(/,/,5X,'PARAMETROS IDENTIFICADOS')
IF(NS.EQ.1) GO TO 335
DO 340 L=1,NS
WRITE(6,345)L
345 FORMAT(/,/,5X,'SUBSISTEMA ',I1,' ',/)
GO TO 336
335 L=1
336 WRITE(6,346)
346 FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ "AC"',/)
DO 334 I=1,NOB(L)
DO 334 J=1,NOB(L)
A1(I,J)=0.0
334 CONTINUE
DO 520 I=1,NOB(L)
IJ=IND(L,5)+I-1
A1(I,1)=ATC(IJ)
520 CONTINUE
DO 525 I=1,(NOB(L)-1)
J=I+1
A1(I,J)=1.0
525 CONTINUE
DO 526 I=1,NOB(L)
WRITE(6,527)(A1(I,J),J=1,NOB(L))
527 FORMAT(8E15.5)
526 CONTINUE
WRITE(6,407)
407 FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ "BC"',/)
I=IND(L,1)
DO 355 J=1,NOB(L)
WRITE(6,360)(EMB(LK),LK=I,I+NT-1)
360 FORMAT(8E15.5)
I=I+NT
355 CONTINUE
WRITE(6,409)
409 FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ "DC"',/)
I=IND(L,3)
WRITE(6,570)(CATD(LK),LK=I,I+NT-1)
570 FORMAT(8E15.5)

```

```

IF(NS.EQ.1) GO TO 341
340 CONTINUE
341 KNIA=0
591 IF(K.LE.NI) GO TO 592
DP2=DP2+DP
DE2=DE2+DE
DO 593 I=1,NS
EKM(I)=EKM(I)+EK(I)**2.
593 CONTINUE
DO 596 I=1,N
XCXM(I)=XCXM(I)+XCX(I)**2.
HLM(I)=HLM(I)+HL(I)
596 CONTINUE
IF(K.NE.NI) GO TO 592
DP2=DP2/200.
DE2=DE2/200.
DO 594 I=1,NS
EKM(I)=EKM(I)/200.
594 CONTINUE
DO 597 I=1,N
XCXM(I)=XCXM(I)/200.
HLM(I)=HLM(I)/200.
597 CONTINUE
WRITE(6,2165)K,DP2,DE2
2165 FORMAT(/,/,5X,'NUMERO DE ITERACOES =',2X,I5,/,/,5X,'DISTANCIA
*PARAMETRICA =',2X,E15.5,/,/,5X,'DISTANCIA DE ESTADO =',2X,E15.5)
DO 2170 I=1,NS
WRITE(6,2175)I,EKM(I)
2175 FORMAT(/,5X,'ERRO MEDIO QUADRATICO DE SAIDA ',I1,'='',2X,E15.5)
2170 CONTINUE
DO 601 I=1,N
WRITE(6,602)I,XCXM(I)
602 FORMAT(/,5X,'ERRO MEDIO QUADRATICO DE ESTADO ',I1,'='',
*,2X,E15.5)
601 CONTINUE
L=0
DO 598 I=1,NS
DO 598 J=1,NOR(I)
L=L+1
WRITE(7,599)I,J,HLM(L)
599 FORMAT(5X,'HL(',I1,I1,')='',2X,E15.5)
598 CONTINUE
C
C
C CALCULO DAS MATRIZES CUJOS RESULTADOS SERAO
C UTILIZADOS NA PROXIMA INTERACAO (K+1)
C
C
C CALCULO DE X (K+1)
C
C
C 592 CALL ESTADO(N,NS,NT,KG)
C
C
C CALCULO DE XC (K+1)
C
C
C CALL ORES(NS,NT,NE)
C
C
C CALCULO DOS FILTROS UU - VY (K+1)
C
C
C CALL FVUVY(NS,NT)
C
C
C CALCULO DE F (K+1)
C
C
C CALL SF6D(NS)
C
C
C CALCULO DE TETA (K+1)
C
C
C 699 CALL STETAS(NS)
C
C
C IF(K.EQ.NI) GO TO 760

```

```

C
C      CALCULO DA PROXIMA ENTRADA U      (K+1)
C
752  DO 738 L=1,NE
      CALL GSBPA(NUL,L,K,M1,M2,M3,M4,M5,M6,M7,M8,M9,M10,M11)
      LK=NUL(L)
      GO TO (1,2,3,4,5,11,22,33,44,56,66),LK
1    U(L)=M1
      GO TO 738
2    U(L)=M2(2)
      GO TO 738
3    U(L)=M3(3)
      GO TO 738
4    U(L)=M4(4)
      GO TO 738
5    U(L)=M5(5)
      GO TO 738
11   U(L)=M6(6)
      GO TO 738
22   U(L)=M7(7)
      GO TO 738
33   U(L)=M8(8)
      GO TO 738
44   U(L)=M9(9)
      GO TO 738
56   U(L)=M10(10)
      GO TO 738
66   U(L)=M11(11)
758  CONTINUE
C
      K=K+1
C
      GO TO 800
C
760  IF(IAQ.NE.0) GO TO 2101
      WRITE(7,765)
765  FORMAT(5X,'ESCREVA: ',/5X,'1 - PARA ENTRAR COM NOVOS PARÂMETROS
      *OU VETOR "G1"',/5X,'2 - PARA ENTRAR COM NOVOS GÂMMA INICIAIS "F"
      *',/5X,'3 - PARA ENTRAR COM NOVAS MÉDIA E VARIÂNCIA PARA U RUÍDO')
      WRITE(7,780)
780  FORMAT(5X,'4 - PARA ENTRAR COM NOVAS SEQUÊNCIAS BINÁRIAS PSEUDO
      *-ALEATORIAS',/5X,'0 - PARA ENCERRAR A SIMULAÇÃO')
      READ(5,785)KE
785  FORMAT(I1)
      IF(KE.EQ.1) GO TO 2010
      IF(KE.EQ.2) GO TO 2020
      IF(KE.EQ.3) GO TO 2030
      IF(KE.EQ.4) GO TO 2040
2101 STOP
      END

```

## 2.2 - Subprogramas

Obs.: Alguns subprogramas, chamados por este programa principal, já foram apresentados anteriormente.



```

SUBROUTINE SFV(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),FBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 30 IL=1,NSS
DO 5 I=1,NOBS(IL)
L=I+INDS(IL,4)-1
LL=I+INDS(IL,5)-1
VS(L)=VYCS(LL)
5 CONTINUE
DO 35 I=1,NOBS(IL)
L=I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
LL=I+INDS(IL,5)-1
VS(L)=VES(LL)
35 CONTINUE
KL=1
I=2*NOBS(IL)+1
J=1
L=I+INDS(IL,4)-1
LL=J+INDS(IL,3)-1
VS(L)=VUROS(LL)
ML=I+1
DO 15 K=1,NOBS(IL)
L=ML+INDS(IL,4)-1
JJ=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(K-1)
VS(L)=VUS(JJ)
15 ML=ML+1
CONTINUE
KL=KL+1
IF(KL.GT.NTS) GO TO 30
I=(NOBS(IL)+1)*(KL+1)-1
J=J+1
GO TO 10
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE ERRO(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),FBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 25 IL=1,NSS
DO 5 I=1,MS(IL)
K=I+INDS(IL,4)-1
FVS(K)=0.
DO 5 J=1,MS(IL)
JZ=J+MS(IL)*(I-1)+INDS(IL,6)-1
JH=J+INDS(IL,4)-1
FVS(K)=FVS(K)+FS(JZ)*VS(JH)
5 CONTINUE
RS(IL)=0.
DO 15 I=1,MS(IL)
JH=I+INDS(IL,4)-1
RS(IL)=RS(IL)+VS(JH)*FVS(JH)
15 CONTINUE
RS(IL)=RS(IL)+1.
TETAU=0.
DO 20 I=1,NTS
J=INDS(IL,4)-1+(NOBS(IL)+1)*I+NOBS(IL)
L=INDS(IL,3)-1+I
TETAU=TETAU+TETAS(J)*UTS(L)
20 CONTINUE
K=INDS(IL,5)
EKS(IL)=(YGS(IL)-XCS(K)-TETAU)/RS(IL)
25 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE FBPC(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),TGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON KS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 60 IL=1,NSS
DO 15 I=1,MS(IL)
JZ=I+INDS(IL,4)-1
PBS(JZ)=FVS(JZ)*EKS(IL)
CONTINUE
15 DO 20 I=1,MS(IL)
JZ=I+INDS(IL,4)-1
PCS(JZ)=TETAS(JZ)+PBS(JZ)
CONTINUE
20 DO 25 I=1,NUBS(IL)
IZ=I+INDS(IL,5)-1
IH=I+INDS(IL,4)-1
ATCS(IZ)=PCS(IH)
CONTINUE
25 DO 65 I=1,NUBS(IL)
L=INDS(IL,4)+I-1+NUBS(IL)
LL=INDS(IL,5)+I-1
HLS(LL)=PCS(L)
CONTINUE
65 DO 30 I=1,NTS
LL=(NUBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1+NUBS(IL)
LH=I+INDS(IL,3)-1
CATDS(LH)=PCS(LL)
CONTINUE
30 DO 35 J=1,NTS
DO 35 I=1,NUBS(IL)
LL=I+INDS(IL,4)-1+(NUBS(IL)+1)*J+NUBS(IL)
JJ=J+INDS(IL,3)-1
II=I+INDS(IL,5)-1
KK=INDS(IL,1)-1+J+NTS*(I-1)
EMBS(KK)=PCS(LL)+CATDS(JJ)*ATCS(II)
CONTINUE
35 CONTINUE
60 RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SWCO(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NUBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),TGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON KS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
DO 30 IL=1,NSS
AV=0.
DO 5 I=1,NUBS(IL)
II=I+INDS(IL,4)-1
IK=I+INDS(IL,5)-1
AV=AV+PBS(II)*VYCS(IK)
CONTINUE
5 DRV=0.
DO 10 I=1,NTS
L=(NUBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1+NUBS(IL)
K=I+INDS(IL,3)-1
DEV=DRV+PBS(L)*VUKOS(K)
CONTINUE
10 BTV=0.
DO 15 I=1,NTS
DO 15 J=1,NUBS(IL)
L=(NUBS(IL)+1)*I+J+INDS(IL,4)-1+NUBS(IL)
JJ=J+INDS(IL,3)-1
BTV=BTV+PBS(L)*VUS(JJ)
CONTINUE
15

```

```

DRU=0.
DO 25 I=1,NTS
L=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
J=INDS(IL,3)-1+I
DRU=DRU+PBS(L)*UTS(J)
25 CONTINUE
HBV=0.0
DO 35 I=1,NOBS(IL)
L=NOBS(IL)+I+INDS(IL,4)-1
LL=I+INDS(IL,5)-1
HBV=HBV+PBS(L)*VES(LL)
35 CONTINUE
J=INDS(IL,5)
WCS(J)=AV+DBV+BTU-DRU+HBV
30 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE SWCN(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),FCS(50),ATCS(5),CATIS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCBS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL VUS2(5,10)
DO 70 IL=1,NSS
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 70
DO 1 I=1,NOBS(IL)
DO 3 J=1,NTS
L=J+INDS(IL,1)-1+(NTS*(I-1))
VUS2(I,J)=VUS(L)
3 CONTINUE
1 CONTINUE
DO 5 L=1,(NOBS(IL)-1)
IGV=0.
DO 10 I=1,NTS
DO 10 J=(L+1),NOBS(IL)
LK=(NOBS(IL)+1)*I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
LL=J+INDS(IL,2)
IGV=IGV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(J-L,I)
10 CONTINUE
BTGV=0.
DO 20 MR=1,NTS
DO 20 I=1,L
LK=(NOBS(IL)+1)*MR+I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
DO 20 J=(L+1),NOBS(IL)
LL=J+INDS(IL,2)
IJ=I+J-L
BTGV=BTGV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(IJ,MR)
20 CONTINUE
BTRV=0.
DO 35 MR=1,NTS
DO 35 I=(L+1),NOBS(IL)
LK=(NOBS(IL)+1)*MR+I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
DO 35 J=1,(L+1)
LL=J+INDS(IL,2)-1
IJ=I+J-L-1
BTRV=BTRV+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VUS2(IJ,MR)
35 CONTINUE
AGVY=0.
DO 50 I=1,L
DO 50 J=(L+1),NOBS(IL)
IJ=I+J-L+INDS(IL,5)-1
LL=J+INDS(IL,2)
LK=I+INDS(IL,4)-1
AGVY=AGVY+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VYCS(IJ)
50 CONTINUE

```

```

    ARVY=0.
    DO 60 I=(L+1),NOBS(IL)
    DO 60 J=1,(L+1)
    IJ=I+J-L-1+INDS(IL,5)-1
    LL=J+INDS(IL,2)-1
    LK=1+INDS(IL,4)-1
    ARVY=ARVY+PBS(LK)*(-GIS(LL))*VYCS(IJ)
60  CONTINUE
    HGVE=0.0
    DO 90 I=1,L
    DO 90 J=(L+1),NOBS(IL)
    IJ=I+J-L+INDS(IL,5)-1
    IH=I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
    LL=J+INDS(IL,2)
    HGVE=HGVE+PBS(IH)*(-GIS(LL))*VES(IJ)
90  CONTINUE
    HBVE=0.0
    DO 100 I=(L+1),NOBS(IL)
    DO 100 J=1,(L+1)
    IJ=I+J-L-1+INDS(IL,5)-1
    IH=I+INDS(IL,4)-1+NOBS(IL)
    LL=J+INDS(IL,2)-1
    HBVE=HBVE+PBS(IH)*(-GIS(LL))*VES(IJ)
100 CONTINUE
    IK=INDS(IL,5)+L
    WCS(IK)=-DBGV-BTGV+BTBV-ARVY+ARVY-HGVE+HBVE
5  CONTINUE
70  CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE OBES(NSS,NTS,NES)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUROS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),ERS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL ACH(5,5),WCH(5),Z(5),WL(5),WCS2(6)
DO 100 IL=1,NSS
DO 5 I=1,6
WCS2(I)=0.
5  CONTINUE
DO 10 I=1,NOBS(IL)
J=I+INDS(IL,5)-1
WCS2(I)=WCS(J)
10  CONTINUE
DO 15 I=1,NOBS(IL)
ACH(I,1)=0.
J=I+INDS(IL,5)-1
ACH(I,1)=ATCS(J)-HLS(J)
15  CONTINUE
DO 25 I=1,NOBS(IL)
DO 25 J=2,NOBS(IL)
ACH(I,J)=0.0
IF(J.EQ.(I+1)) ACH(I,J)=1.0
25  CONTINUE
WCS2(NOBS(IL)+1)=0.
DO 20 I=1,NOBS(IL)
WCH(I)=0.
J=I+INDS(IL,5)-1
WCH(I)=WCS2(I+1)+(ATCS(J)-HLS(J))*WCS2(I)
20  CONTINUE
DO 50 I=1,NOBS(IL)
Z(I)=0.
DO 50 J=1,NOBS(IL)
K=J+INDS(IL,5)-1
Z(I)=Z(I)+ACH(I,J)*XCS(K)
50  CONTINUE
DCU=0.
DO 60 I=1,NTS
J=I+INDS(IL,3)-1
DCU=DCU+CATDS(J)*UTS(J)
60  CONTINUE
YDK=YGS(IL)-DCU

```

```

DO 75 I=1,NOBS(IL)
  WL(I)=0.
  DO 75 J=1,NTS
    L=INDS(IL,3)-1+J
    LL=J+INDS(IL,1)-1+(I-1)*NTS
    WL(I)=WL(I)+EMBS(LL)*UTS(L)
75  CONTINUE
    DO 85 I=1,NOBS(IL)
      J=I+INDS(IL,5)-1
      XCS(J)=Z(I)+HLS(J)*YDK+WL(I)+WCH(I)
85  CONTINUE
100 CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE FOUVY(NSS,NTS)
COMMON INDS(3,6),NOBS(5),MS(5),GFS(5),GIS(10),HLS(5),AS(5,5)
COMMON BS(5,5),CS(3,5),DS(3,5),XS(5),US(5),UTS(20),YGS(5)
COMMON VUKOS(20),VUS(45),VS(50),VYS(5),FS(1000),TETAS(50)
COMMON RS(5),EKS(5),PBS(50),PCS(50),ATCS(5),CATDS(20),EMBS(45)
COMMON WCS(5),XCS(5),YCGS(5),VYCS(5),VES(5),FVS(50)
REAL ZL(5,10),Z(5),GS2(5,5)
DO 100 IL=1,NSS
  DO 5 J=1,NOBS(IL)
    JJ=J+INDS(IL,2)
    GS2(1,J)=GIS(JJ)
5  CONTINUE
    IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 30
    DO 10 I=2,NOBS(IL)
      DO 10 J=1,NOBS(IL)
        GS2(I,J)=0.0
        IF((J+1).EQ.1) GS2(I,J)=1.0
10  CONTINUE
30  DO 35 I=1,NOBS(IL)
      Z(I)=0.
      DO 35 J=1,NOBS(IL)
        JJ=J+INDS(IL,5)-1
        Z(I)=Z(I)+GS2(I,J)*VYCS(JJ)
35  CONTINUE
      J=INDS(IL,5)
      VYCS(J)=Z(1)+YCGS(IL)
      IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 50
      DO 45 I=2,NOBS(IL)
        II=I+INDS(IL,5)-1
        VYCS(II)=Z(I)
45  CONTINUE
50  DO 55 I=1,NOBS(IL)
      DO 55 J=1,NTS
        ZL(I,J)=0.
        DO 55 L=1,NOBS(IL)
          LL=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(L-1)
          ZL(I,J)=ZL(I,J)+GS2(I,L)*VUS(LL)
55  CONTINUE
        DO 70 I=1,NTS
          L=INDS(IL,3)-1+I
          LL=I+INDS(IL,1)-1
          VUS(LL)=ZL(1,I)+UTS(L)
70  CONTINUE
          IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 85
          DO 75 I=2,NOBS(IL)
            DO 75 J=1,NTS
              LL=J+INDS(IL,1)-1+NTS*(I-1)
              VUS(LL)=ZL(1,J)
75  CONTINUE
85  DO 130 I=1,NOBS(IL)
      Z(I)=0.0
      DO 130 J=1,NOBS(IL)
        JJ=J+INDS(IL,5)-1
        Z(I)=Z(I)+GS2(I,J)*VES(JJ)
130 CONTINUE

```

```

J=INDS(IL,5)
VES(J)=Z(1)+EKS(IL)
IF(NOBS(IL).EQ.1) GO TO 100
DO 140 I=2,NOBS(IL)
II=I+INDS(IL,5)-1
VES(II)=Z(I)
140 CONTINUE
100 CONTINUE
RETURN
END

```

### 3 - Programas de Apoio

```

PROGRAM CANONI
DIMENSION A(4,5,5),B(5,5),C(5,5),PM2B(25,5),PMO(5,5),PMU(5,5)
DIMENSION Q(5,5),Q1(5,5),AC(5,5),BC(5,5),CC(5,5),NSS(5),CESC(5)
DIMENSION A2(5,5),AU(5,5),U(5,5)
WRITE(7,5)
5 FORMAT(5X,'ENTRE COM A ORDEM "N" DO SISTEMA')
READ(5,10)N
10 FORMAT(I2)
WRITE(7,15)
15 FORMAT(5X,'ENTRE COM O NUMERO DE ENTRADAS "NE" E O NUMERO DE SAI
*IDAS "NS"')
READ(5,20)NE,NS
20 FORMAT(2I2)
IF(NS.EQ.1) GO TO 35
WRITE(7,25)NS
25 FORMAT(5X,'ENTRE COM AS ORDENS DOS "IX,IZ,IX," SUBSISTEMAS')
READ(5,30)(NSS(I),I=1,NS)
30 FORMAT(5I2)
35 WRITE(7,40)N,N
40 FORMAT(5X,'ENTRE COM A MATRIZ "A(",IZ,',',IZ,')" DO PROCESSO')
DO 45 I=1,N
READ(5,50)(A(I,I,J),J=1,N)
50 FORMAT(5E15.5)
45 CONTINUE
WRITE(7,55)N,NE
55 FORMAT(5X,'ENTRE COM A MATRIZ "B(",IZ,',',IZ,')" DO PROCESSO')
DO 60 I=1,N
READ(5,65)(B(I,J),J=1,NE)
65 FORMAT(5E15.5)
60 CONTINUE
WRITE(7,70)NS,N
70 FORMAT(5X,'ENTRE COM A MATRIZ "C(",IZ,',',IZ,')" DO PROCESSO')
DO 75 I=1,NS
READ(5,80)(C(I,J),J=1,N)
80 FORMAT(5E15.5)
75 CONTINUE
WRITE(7,71)NS,NE
71 FORMAT(5X,'ENTRE COM A MATRIZ "D(",IZ,',',IZ,')" DO PROCESSO')
DO 72 I=1,NE
READ(5,73)(D(I,J),J=1,NE)
73 FORMAT(5E15.5)
72 CONTINUE
DO 83 L=1,N-2
DO 83 I=1,N
DO 83 J=1,N
A((L+1),I,J)=0.0
DO 83 K=1,N
A((L+1),I,J)=A((L+1),I,J)+B(1,I,K)*A(L,K,J)
83 CONTINUE
IF(NS.NE.1) GO TO 95
PMO(1,1)=C(1,1)
85 CONTINUE

```

```

DO 90 L=2,N
DO 90 I=1,N
PMO(L,I)=0.0
DO 90 J=1,N
PMO(L,I)=PMO(L,I)+C(I,J)*A(L-1,J,I)
90 CONTINUE
GO TO 145
95 NM=NS*N
DO 100 LK=1,NS
K=LK+(N-1)*(LK-1)
DO 105 J=1,N
PM2B(K,J)=C(LK,J)
105 CONTINUE
LL=1
DO 100 I=1,(N-1)
L=K+1
LL=LL+1
DO 100 II=1,N
PM2B(L,II)=0.0
DO 100 JJ=1,N
PM2B(L,II)=PM2B(L,II)+C(LK,JJ)*A(LL-1,JJ,II)
100 CONTINUE
KN=0
DO 600 I=1,NS
KM=N*(I-1)
DO 600 J=1,NSS(I)
KN=KN+1
LESC(KN)=K+J
600 CONTINUE
DO 135 J=1,N
DO 135 I=1,NM
IF(I.NE.LESC(J)) GO TO 135
DO 140 L=1,N
PMO(J,L)=PM2B(I,L)
140 CONTINUE
135 CONTINUE
145 N1=N
CALL INVER(PMO,PMOI,N1)
L=0
K=0
DO 160 I=1,NS
IF(NS.EQ.1) GO TO 165
K=K+NSS(I)
K1=NSS(I)
GO TO 170
165 K=N
K1=N
170 DO 175 J=1,K1
M=K1-J
L=L+1
IF(M.EQ.0) GO TO 180
DO 177 JJ=1,N
Q(JJ,L)=0.0
DO 177 KK=1,N
Q(JJ,L)=Q(JJ,L)+A(M,JJ,KK)*PMOI(KK,K)
177 CONTINUE
GO TO 175
180 DO 185 II=1,N
Q(II,L)=PMOI(II,L)
185 CONTINUE
175 CONTINUE
160 CONTINUE
WRITE(7,500)
500 FORMAT(5X,'MATRIX "Q"')
DO 510 I=1,N
WRITE(7,515)(Q(I,J),J=1,N)
515 FORMAT(5E15.5)
510 CONTINUE
WRITE(7,300)
300 FORMAT(5X,'A MATRIX "Q" IS INVERSIVELY',5X,'1 - SIM 0 - NAU')
READ(5,305)IZ
305 FORMAT(I2)
IF(IZ.NE.1) GO TO 245
CALL INVER(Q,RI,N1)

```

```

      DO 190 I=1,N
      DO 190 J=1,N
      A2(1,J)=A(1,1,J)
190   CONTINUE
      CALL MULT(QI,A2,AU,N,N,N)
      CALL MULT(AU,Q,AC,N,N,N)
      CALL MULT(QI,B,BC,N,NE,N)
      CALL MULT(Q,U,CC,NS,N,N)
      WRITE(6,193)
193   FORMAT(5X,'MATRIZ *AC*',/)
      DO 195 I=1,N
      WRITE(6,200)(AC(I,J),J=1,N)
200   FORMAT(5E15.5)
195   CONTINUE
      WRITE(6,205)
205   FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *BC*',/)
      DO 210 I=1,N
      WRITE(6,215)(BC(I,J),J=1,NE)
215   FORMAT(5E15.5)
210   CONTINUE
      WRITE(6,220)
220   FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *CC*',/)
      DO 225 I=1,NS
      WRITE(6,230)(CC(I,J),J=1,N)
230   FORMAT(5E15.5)
225   CONTINUE
      WRITE(6,201)
201   FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *DC*',/)
      DO 202 I=1,NS
      WRITE(6,203)(D(I,J),J=1,NE)
203   FORMAT(5E15.5)
202   CONTINUE
245   STOP
      END

```

```

PROGRAM FCPFA
DIMENSION AC(5,5,5),A2B(5,5,5),SKI(5,5),SLAM(5,5),BC(5,5,5)
DIMENSION DC(5,5),SKI(5,5),AT(5,5),SKT(5,5),SMT(5,5,5),BT(5,5,5)
DIMENSION DT(5,5),NUS(5),NSS(6),ATT(5,5)
WRITE(7,5)
5   FORMAT(10X,'ENTRE COM A ORDEM *N* DO SISTEMA')
   READ(5,10)N
10  FORMAT(I2)
   WRITE(7,15)
15  FORMAT(10X,'ENTRE COM O NUMERO DE SAIDAS *NS*',/,10X,'E COM O
*NUMERO DE ENTRADAS *NE*')
   READ(5,20)NS,NE
20  FORMAT(2I2)
   WRITE(7,25)
25  FORMAT(10X,'ENTRE COM A ORDEM DE CADA SUBSISTEMA *NUS*')
   READ(5,30)(NUS(I),I=1,NS)
30  FORMAT(5I2)
   WRITE(7,35)
35  FORMAT(10X,'ENTRE COM A MATRIZ *AC(NS,NUS,NS)*')
   DO 40 I=1,NS
   DO 40 J=1,NUS(I)
   READ(5,60)(AC(I,J,K),K=1,NS)
60  FORMAT(5E15.5)
40  CONTINUE
   WRITE(7,65)
65  FORMAT(10X,'ENTRE COM A MATRIZ *BC(NS,NUS,NE)*')
   DO 70 I=1,NS
   DO 70 J=1,NUS(I)
   READ(5,90)(BC(I,J,K),K=1,NE)
90  FORMAT(5E15.5)
70  CONTINUE
   WRITE(7,95)
95  FORMAT(10X,'ENTRE COM A MATRIZ *DC(NS,NE)*')
   DO 100 I=1,NS
   READ(5,105)(DC(I,J),J=1,NE)
105 FORMAT(5E15.5)
100 CONTINUE

```



```

WRITE(7,110)
110  FORMAT(10X,'ENTRE COM A MATRIZ *SKI(NS,NS)*')
      DO 115 I=1,NS
      READ(5,120)(SKI(I,J),J=1,NS)
120  FORMAT(5E15.5)
115  CONTINUE
      CALL INVER(SKI,SKI,NS)
      DO 125 I=1,NS
      DO 125 J=1,NUS(I)
      SLAM(I,J)=0.
      IF((I+1).GT.NS) GO TO 125
      DO 125 L=(I+1),NS
      SLAM(I,J)=SLAM(I,J)+(-(AC(I,J,L)*SKI(L,I)))
125  CONTINUE
      DO 160 I=1,NS
      DO 160 J=1,NUS(I)
      DO 160 K=1,NS
      IF(I.EQ.K) GO TO 175
      A2B(I,J,K)=AC(I,J,K)
      GO TO 160
175  A2B(I,J,K)=SLAM(I,J)
160  CONTINUE
      DO 190 I=1,NS
      K=I
      DO 190 J=1,NUS(I)
      A1(I,J)=AC(I,J,K)-SLAM(I,J)
190  CONTINUE
      DO 200 I=1,NS
      DO 200 J=1,NS
      IF(I.EQ.J) GO TO 210
      SKT(I,J)=-SK1(I,J)
      GO TO 200
210  SKT(I,J)=1.-SK1(I,J)
200  CONTINUE
      DO 215 I=1,NS
      DO 215 J=1,NE
      DT(I,J)=0.
      DO 215 K=1,NS
      DT(I,J)=DT(I,J)+SK1(I,K)*DC(K,J)
215  CONTINUE
      DO 230 I=1,NS
      DO 230 J=1,NUS(I)
      DO 230 L=1,NS
      SMT(I,J,L)=0.
      DO 230 K=1,NS
      SMT(I,J,L)=SMT(I,J,L)+A2B(I,J,K)*SK1(K,L)
230  CONTINUE
      DO 250 I=1,NS
      DO 250 J=1,NUS(I)
      DO 250 K=1,NE
      BT(I,J,K)=0.
      DO 250 L=1,NS
      BT(I,J,K)=BT(I,J,K)+SMT(I,J,L)*DC(L,K)
250  CONTINUE
      DO 270 I=1,NS
      DO 270 J=1,NUS(I)
      DO 270 K=1,NE
      BT(I,J,K)=BC(I,J,K)-BT(I,J,K)
270  CONTINUE
      DO 1001 L=1,NS
      WRITE(6,1001) L
1002  FORMAT(/,/,/,5X,'SUBSISTEMA ',11,'')
      DO 1000 I=1,NUS(L)
      DO 1000 J=1,NUS(L)
      AT(I,J)=0.0
1000  CONTINUE
      DO 1010 I=1,NUS(L)
      AT(I,I)=AT(L,I)
1010  CONTINUE
      DO 1011 I=1,NUS(L)
      J=111
      AT(I,J)=1.0
1011  CONTINUE

```

```

WRITE(6,285)
285  FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *A*',/)
      DO 1030 I=1,NUS(L)
      WRITE(6,1040)(A(I,J),J=1,NUS(L))
1040  FORMAT(5E15.5)
1030  CONTINUE
      WRITE(6,303)
303  FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *M*',/)
      DO 335 J=1,NUS(L)
      WRITE(6,350)(SMT(L,J,K),K=1,NS)
350  FORMAT(5E15.5)
335  CONTINUE
      WRITE(6,301)
301  FORMAT(/,/,5X,'MATRIZ *B*',/)
      DO 300 J=1,NUS(L)
      WRITE(6,315)(B(L,J,K),K=1,NE)
315  FORMAT(5E15.5)
300  CONTINUE
      WRITE(6,302)
302  FORMAT(/,/,5X,'VETOR *CK*',/)
      WRITE(6,330)(SKT(L,J),J=1,NS)
330  FORMAT(5E15.5)
      WRITE(6,304)
304  FORMAT(/,/,5X,'VETOR *DT*',/)
      WRITE(6,365)(D(L,J),J=1,NE)
365  FORMAT(5E15.5)
1001  CONTINUE
      STOP
      END

```

```

PROGRAM FILTRO
DIMENSION A(5,5),AE(5,5),X(5),P(5),C(5),G(5),AI(5)
WRITE(7,5)
5  FORMAT(10X,'ENTRE COM A ORDEM *N* DO SISTEMA')
   READ(5,10)N
10  FORMAT(I2)
   WRITE(7,15)N,N,N
15  FORMAT(10X,'ENTRE COM OS VALORES DA MATRIZ *A(',I2,',',
* I2,')='/,/,10X,'ENTRE COM',I2,I2,1X,'ELEMENTOS POR LINHA E PRES
*SIONE CK',/,/,10X,'FORMATO E11.5')
   DO 20 I=1,N
   READ(5,25)(A(I,J),J=1,N)
25  FORMAT(5E11.5)
20  CONTINUE
   DO 26 I=1,N
   AI(I)=A(1,I)
26  CONTINUE
C
C  FORMACAO DA MATRIZ AE(N,N)
C
   AE(1,1)=0.
   DO 30 I=1,N
   AE(1,1)=AE(1,1)+(AI(I))**2.
30  CONTINUE
   AE(1,1)=AE(1,1)-1.
   IF(N.EQ.1) GO TO 105
   DO 35 J=2,N
   AE(1,J)=(AI(J-1))**2.
35  CONTINUE
   L=0
   DO 40 I=2,N
   AE(I,1)=0.
   L=L+1
   K=L+1
   DO 40 J=1,N-L
   AE(I,1)=AI(J)*AI(K)+AE(I,1)
   K=K+1
40  CONTINUE

```

```

J=2
DO 50 I=2,N
IF(J.GT.N) GO TO 55
AE(I,1)=AI(J)-1.
GO TO 60
55 AE(I,1)=-1.
60 J=J+2
50 CONTINUE
IF(N.EQ.2) GO TO 105
DO 65 I=1,N-2
L=2
K=I+2
J=I+2
70 IF(J.GT.N) GO TO 75
AE(L,K)=AI(I)+AI(J)
GO TO 80
75 AE(L,K)=AI(I)
80 L=L+1
K=K+1
J=J+2
IF(K.GT.N) GO TO 65
GO TO 70
CONTINUE
DO 85 I=1,N-2
L=2
K=I+2
J=I+2
100 IF(J.GT.N) GO TO 90
AE(K,L)=AI(J)
GO TO 95
90 AE(K,L)=0.
95 L=L+1
K=K+1
J=J+2
IF(K.GT.N) GO TO 85
GO TO 100
CONTINUE
85
C
C FORMACAO DO VETOR X(N)
C
105 E=FLOAT(N)
X(1)=-E
IF(N.EQ.1) GO TO 140
DO 110 I=2,N
X(I)=0.
110 CONTINUE
DO 115 I=1,N-1
Q=AE(I,I)
I1=I+1
DO 115 J=I1,N
S=AE(J,I)
AE(J,I)=S/Q.
K1=I+1
DO 115 K=K1,N
AE(J,K)=AE(J,K)-AE(I,K)*S/Q
115 CONTINUE
DO 120 J=2,N
I2=J-1
DO 120 I=1,I2
X(J)=X(J)-AE(J,I)*X(I)
120 CONTINUE
X(N)=X(N)/AE(N,N)
KK=N-1
DO 125 JJ=1,KK
J=N-JJ
KI=J+1
DO 130 K=KI,N
X(J)=X(J)-AE(J,K)*X(K)
130 CONTINUE
X(J)=X(J)/AE(J,J)
125 CONTINUE
DO 135 I=1,N
F(I)=X(I)
135 CONTINUE
GO TO 210
140 F(1)=-1/AE(1,1)

```

```

C
C      CALCULO DO VETOR *G*
C
210  WRITE (7,160)
160  FORMAT(10X,'ENTRE COM OS VALORES DE *0.<= KLAM <2.*,E DE *R >0.*')
      READ(5,165)RLAM,R
165  FORMAT(E12.4,E12.4)
      DO 170 I=1,N
        C(I)=0.
        DO 170 J=1,N
          C(I)=C(I)+P(J)*A(J,I)
170  CONTINUE
        B=(2.-RLAM)/(R+P(1))
        DO 180 I=1,N
          C(I)=C(I)*B
180  CONTINUE
        DO 185 I=1,N
          G(I)=C(I)-AI(I)
185  CONTINUE
        WRITE(6,150)RLAM,R
150  FORMAT(/,/,10X,'LAMBDA=',E12.4,5X,'R=',E12.4,/,/)
        DO 195 I=1,N
          WRITE(6,190)I,G(I)
190  FORMAT(10X,'G',I2,' =',E14.5)
195  CONTINUE
        WRITE(7,200)
200  FORMAT(10X,'QUER ENTRAR COM NOVOS VALORES PARA *RLAM* E
      *R*?',/,10X,'SE SIM ESCREVA *1* E, SE NAU ESCREVA *0*')
        READ(5,205)KB
205  FORMAT(I2)
        IF(KB.EQ.1) GO TO 210
        STOP
        END

```

```

PROGRAM PLTMOD
DIMENSION A(1000,4)
WRITE(7,15)
15  FORMAT(5X,'ESCREVA O VALOR DO PERIODO DE AMOSTRAGEM')
      READ(5,20)I
20  FORMAT(F8.5)
      WRITE(7,25)
25  FORMAT(5X,'ESCREVA O NUMERO DE DADOS ARMAZENADOS P/ CADA CURVA')
      READ(5,30)N2
30  FORMAT(I4)
      WRITE(7,35)
35  FORMAT(5X,'ESCREVA O VALOR DO TEMPORIZADOR')
      READ(5,11)MTEMP
11  FORMAT(I3)
      WRITE(7,37)
37  FORMAT(5X,'ENTRE COM O NUMERO DO ARQUIVO EM DX1')
      READ(5,39)NARQ
39  FORMAT(I2)
      DO 50 I=1,N2
        READ(NARQ,55)DP
        READ(NARQ,55)DE
55  FORMAT(E15.5)
        A(I,1)=DP
        A(I,2)=DE
50  CONTINUE
160  WRITE(7,40)
40  FORMAT(5X,'QUAL A CURVA DESEJA TRACAR?',/,5X,'1 - PARA A CURVA
      * REFERENTE A DISTANCIA PARAMETRICA',/,5X,'2 - PARA A CURVA REFE
      *RENTE A DISTANCIA DE ESTADO')
      READ(5,45)NES
45  FORMAT(I2)

```

```

N=N2
NI=1
AMAX=0.
AMIN=1.
H=T
T0=0.
TF=T*N
TF=T0-H
DO 200 J=1,N
IF(A(J,KES).GT.AMAX) AMAX=A(J,KES)
IF(A(J,KES).LT.AMIN) AMIN=A(J,KES)
200 CONTINUE
415 ESCX=4000./ABS(TF-T0)
IF(ABS(AMAX-AMIN).EQ.0) GO TO 410
ESCY=4095./ABS(AMAX-AMIN)
XI=0.
YJ=(A(NI,KES)-AMIN)*ESCY
II=IFIX(XI)
JJ=IFIX(YJ)
CALL CHA(II,JJ)
PAUSE 'AJUSTE TRACADUR'
DO 101 K=N1,N
TF=TF+H
XI=(TF-T0)*ESCX
YJ=(A(K,KES)-AMIN)*ESCY
II=IFIX(XI)
JJ=IFIX(YJ)
IF(K.EQ.NI) GO TO 103
AUX=(YJ-Y0)/(XI-X0)
L=IFIX(XI-X0)
DO 102 M=1,L
X0=X0+1.
II=IFIX(X0)
Y=AUX*FLUAT(M)+Y0
JJ=IFIX(Y)
DO 260 KJK=1,MTEMP
PTLCD=SQR(10.)
260 CONTINUE
CALL CHA(II,JJ)
102 CONTINUE
103 X0=XI
Y0=YJ
101 CONTINUE
WRITE(6,300)A(NI,KES),A(N,KES),AMIN,AMAX
300 FORMAT(5X,'VALOR INICIAL =',2X,E15.5,/,5X,'VALOR FINAL =',2X,E15
*.5,/,5X,'VALOR MINIMO =',2X,E15.5,/,5X,'VALOR MAXIMO =',2X,E15.5)
WRITE(7,400)
400 FORMAT(5X,'QUER AMPLIAR ESTA CURVA?',/,5X,'SIM: INDIQUE OS
* PONTOS INICIAIS E FINAIS',/,5X,'NAO: ESCREVA 0')
READ(5,405)NL,N
405 FORMAT(2I4)
IF(NI.EQ.0) GO TO 410
T0=(NI-1)*H
TF=N*H
TF=TF-H
GO TO 415
410 WRITE(7,150)
150 FORMAT(5X,'DESEJA TRACAR OUTRA CURVA?',5X,'1 = SIM 0 = NAO')
READ(5,155)NVC
155 FORMAT(I1)
IF(NVC.EQ.1) GO TO 160
RETURN
END

```

## B I B L I O G R A F I A

- [1] - SILVEIRA, H. M. - "Contributions a la Synthèse des Systemes Adaptatifs Avec Modele Sans Acces Aux Variables D'Etat". Thèse de Docteur Es-Sciences Physiques, I.N.P. de Grenoble, 1978.
- [2] - LANDAU, I. D. - "Adaptive Control: The Model Reference Approach". New York, Marcel Dekker, 1979.
- [3] - LANDAU, I. D. & SILVEIRA, H. M. - "A Stability Theorem with Applications to Adaptive Control". IEEE, Trans. Automatic Control, Vol. AC-24, Nº 2, pp. 305-311, Abril 1979.
- [4] - LUENBERGER, D. G. - "Observers for Multivariable Systems". IEEE, Trans. Automatic Control, Vol. AC-11, Nº 2, pp. 190-196, Abril 1966.
- [5] - CHEN, C. T. - "Introduction to Linear System Theory". Holt, Rinehart And Winston, Inc., New York, 1970.
- [6] - GUIDORZI, R. - "Canonical Structures in The Identification of Multivariable Systems". Automatica, Vol. 11, Nº 4, pp. 361 - 374, Julho 1975.

- [7] - ALVES, J. B. M. - "Extração de Mensagem Gaussiana a Partir de Observação não Gaussiana Usando um Filtro Linear Variante no Tempo". Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ, RJ, Junho 1981.
- [8] - GRAUPE, D. - "Identification of Systems". Van Nostrand Reinhold, New York, 1972.
- [9] - POPOV, V. M. - "Hyperstability of Control Systems". Springer-Verlag, Berlin, 1973.
- [10] - LANDAU, I. D. - "Unbiased Recursive Identification Using Model Reference Adaptive Techniques". IEEE, Trans. Automatic Control, Vol. AC-21, pp. 194 - 202, abril 1976.
- [11] - LUENBERGER, D. G. - "An Introduction to Observers". IEEE, Trans. Automatic Control, Vol. AC-16, Nº 6, pp.596 - 602, Dezembro 1971.
- [12] - CARROL, R. L. & LINDORF, D. P. - "Stable Adaptive Observer for Single-input Single-output Linear Systems". IEEE, Trans. Automatic Control, vol. AC-18, Nº 5, pp. 428 - 435, October 1973.
- [13] - HANG, C. C. - "A New Form of Stable Adaptive Observer". IEEE-Trans. Automatic Control, vol. AC-21, Nº 4, pp. 544-547, August 1976.

- [14] - KUDVA, P. & NARENDRA, K. S. - "Synthesis of an Adaptive Observer Using Liapunov's Direct Method". Int. Journal of Control, vol. 18, №6, pp.1201-1210, December 1973
- [15] - LÜDERS, G. & NARENDRA, K. S. - "An Adaptive Observer and Identifier for a Linear System". IEEE, Trans. Automatic Control, pp. 496 - 499, October 1973.
- [16] - LÜDERS, G. & NARENDRA, K. S. - "Stable Adaptive Control Schemes for State Estimation and Identification of Linear Systems". IEEE, Trans. Automatic Control, vol. AC-19, №6, pp. 841 - 847, December 1974.
- [17] - NARENDRA, K. S. & VALAVANI, L. S. - "Stable Adaptive Observers and Controllers". Proceeding of the IEEE, vol. 64, № 8, August 1976.
- [18] - SUZUKI, T. & ANDOH, M. - "Desing of a Discrete Adaptive Observer Based on Hiperstability Theorem". Int. J. Control, vol. 26, № 4, pp. 643 - 653, 1977.