

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

*Este exemplar corresponde a redação final
da tese defendida por Maria de Lourdes M.
Pataca e aprovada pela Comissão Julgadora
em 07/junho/1984.*

Li P. Magalhães
(Wagner)

DISTRIBUIÇÃO DE TAREFAS
ENTRE HOMEM E MÁQUINA
EM SUPERVISÃO DE PROCESSOS

MARIA DE LOURDES M. PATACA

Orientadores: LEO PINI MAGALHÃES
WAGNER CARADORI DO AMARAL

039/84

Tese apresentada à Faculdade
de Engenharia da Universida-
de Estadual de Campinas -UNI
CAMP - como parte dos requi-
sitos exigidos para obtenção
do título de MESTRE EM
CIÊNCIAS

Pelo incansável esforço e colaboração na orientação desta tese, agradeço ao Dr. Léo Pini Magalhães e ao Dr. Wagner Cardori do Amaral.

Polas sugestões e colaboração

Este trabalho contou com o apoio financeiro do Conselho
Nacional de Pesquisa - CNPq

RESUMO

Neste trabalho desenvolve-se um critério para distribuição de tarefas (de supervisão de um sistema de controle de processos) entre o Homem e a Máquina. Para efetuar esta distribuição define-se o elemento observador, o qual distribui as tarefas comuns ao homem e à máquina baseado no conhecimento do estado de ambos os elementos.

Neste trabalho estuda-se o comportamento do homem através de um modelo desenvolvido para o operador, a partir de um tempo previsto a-priori para execução das tarefas e da sobrecarga. O tempo previsto inicial para execução das tarefas é obtido da simulação de um modelo do operador, escolhido entre diversos modelos existentes na bibliografia.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

Introdução	2
------------------	---

CAPÍTULO 2

2.1 - Introdução	9
2.2 - Caracterização de um operador quando supervisionando um processo	10
2.2.1 - Absorção de informação	10
2.2.2 - Computação mental	11
2.2.3 - Movimento anatômico e manipulação de controle	11
2.3 - Modelos do operador humano	12
2.3.1 - Modelo de detecção de sinal	12
2.3.1.1 - Características do modelo	12
2.3.1.2 - Aplicações do modelo	14
2.3.2 - Modelo de monitoramento	14
2.3.2.1 - Características do modelo	14
2.3.2.2 - Aplicações do modelo	15
2.3.3 - Modelo de controle ótimo	16
2.3.3.1 - Características do modelo	16
2.3.3.2 - Aplicações do modelo	17
2.3.4 - Modelo isomórfico estrutural	18
2.3.4.1 - Características do modelo	18
2.3.4.2 - Aplicações do modelo	20
2.4 - Descrição do modelo isomórfico	20
2.4.1 - Elementos sensórios	21
2.4.2 - Processamento mental	22
2.4.3 - Sistema neuromuscular	25
2.4.4 - Representação da dinâmica do operador	29
2.5 - Simulações do modelo isomórfico	29

CAPÍTULO 3

3.1 - Introdução	39
3.2 - Desenvolvimento de um modelo estocástico para o operador	40
3.2.1 - Obtenção do tempo previsto a-priori	42
3.2.2 - Obtenção do tempo previsto a-posteriori	43
3.2.2.1 - Função linear por partes.	44
3.2.2.2 - Função parabólica	47
3.3 - Simulação do modelo	48
3.3.1 - Inicialização	48
3.3.2 - Simulação de μ a-priori	50
3.3.3 - Simulação de μ a-posteriori	56
3.3.3.1 - Função linear por partes.	56
3.3.3.2 - Função parabólica	58
3.3.4 - Simulação geral	59

CAPÍTULO 4

4.1 - Introdução	72
4.2 - Definição das estratégias	72
4.3 - Simulação da estratégia de divisão de tarefas	75
4.4 - Análise dos resultados obtidos	77

CAPÍTULO 5

5.1 - Conclusões	84
------------------------	----

CAPÍTULO 6

Bibliografia	88
Anexo A	92
Anexo B	95

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

A figura 1.1 mostra o esquema de controle de um processo, onde um sistema de computação (controlador) usando as informações do processo (x) e das atuações de controle (r), atua sobre o processo na forma que se convencionou chamar controle centralizado.

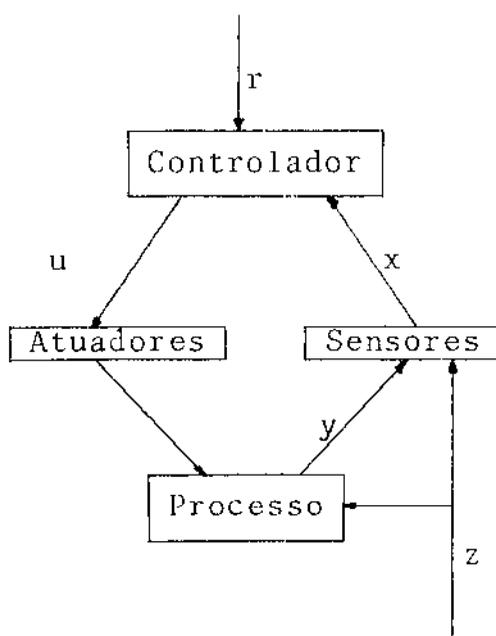


Figura 1.1 - Estrutura de controle centralizado

Os valores das variáveis de saída do processo (y), são transmitidos ao controlador através de sensores ou dispositivos de medida. O controlador executa funções de controle e decisão a partir da informação do sistema (x) e do comportamento especificado para o sistema através da entrada r . O controlador age no processo através dos atuadores.

As perturbações z , afetam o processo e os sensores, e representam os efeitos das interações do processo e dos sensores com o meio externo. Devido a estas perturbações e à entrada de referência, que pode variar, o processo deve ser controlado continuamente.

Tendo como objetivo que a saída y acompanhe a referência especificada, torna-se difícil o controle centralizado num sistema de grande porte, devido à complexidade do sistema; à variedade de restrições a serem satisfeitas e ao comportamento variável no tempo. Para resolver este problema distinguem-se dois tipos de estrutura: hierárquica e distribuída.

A figura 1.2 representa uma estrutura de controle distribuído-hierárquico de quatro níveis, a qual é muito usada em processos industriais.

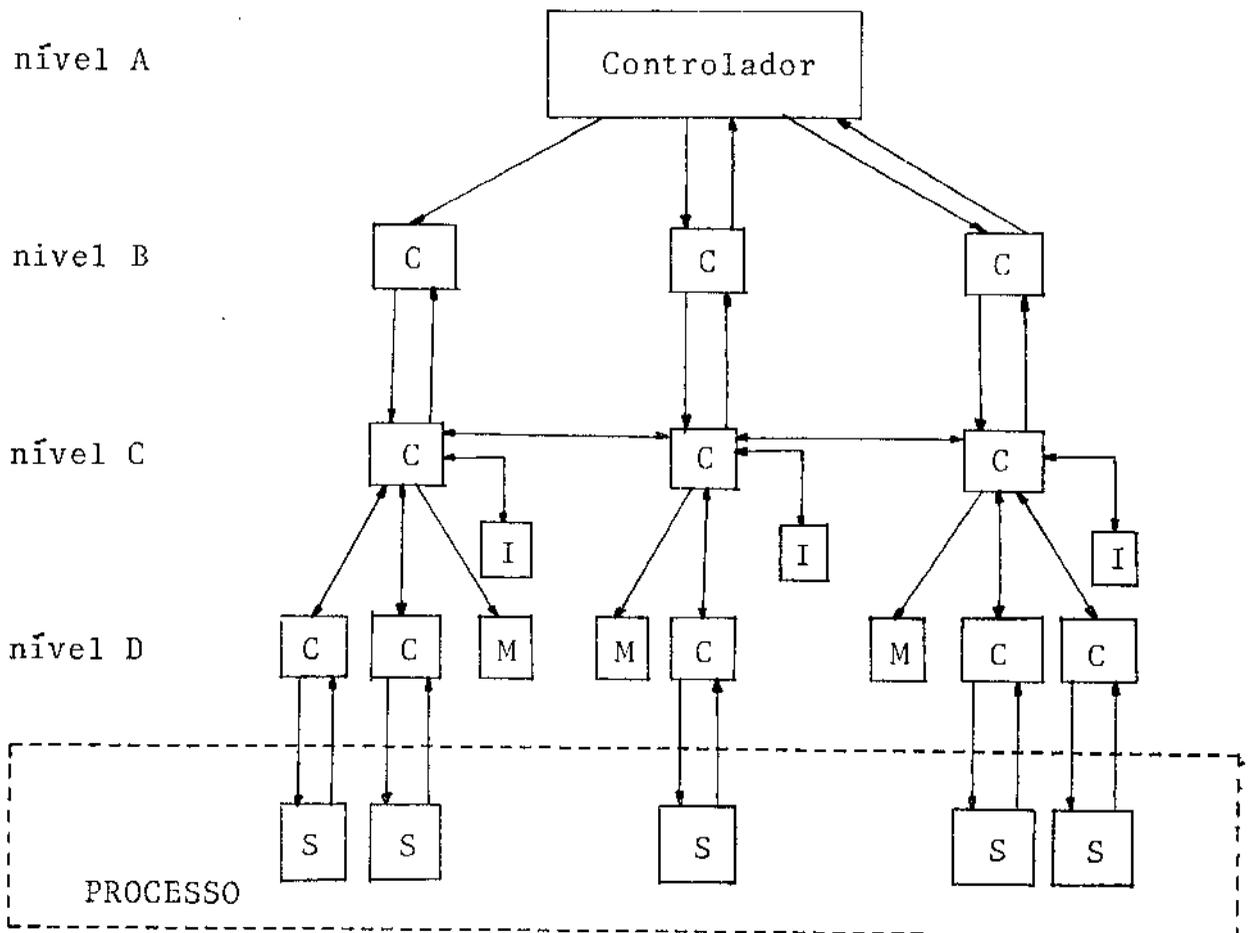


Figura 1.2 - Estrutura de controle distribuído-hierárquico

Neste esquema o nível A representa o planejamento da produção, no nível B as instruções de trabalho são ordenadas, no nível C realiza-se a otimização da produção e o nível D re-

presenta o controle do processo.

Numa estrutura distribuída, o sistema é subdividido em subsistemas e sobre cada um deles atua um controlador. Entretanto, os subsistemas são interdependentes, e o problema de interação entre eles é resolvido por um segundo nível. Isto pode ser verificado na figura 1.2, onde cada controlador do nível C coordena os controladores locais do nível D. Igualmente, existem mais dois níveis, A e B, que resolvem o problema de interação entre os controladores dos níveis B e C, respectivamente.

No nível D os controladores atuam diretamente no processo e a função de cada um deles é subdividida em várias funções, como por exemplo: identificação dos parâmetros do sistema, otimização e implementação. Este tipo de estrutura do nível D representa uma estrutura hierárquica e a quantidade de funções atribuídas ao controlador representa a quantidade de níveis da estrutura.

De uma forma geral as decisões e ações de controle procedem de um nível de controle mais alto para um nível mais baixo, e a informação das ações principais na direção inversa.

Há também canais horizontais de fluxo de informação, através dos quais a unidade de controle pode receber informação das decisões de outras unidades no mesmo nível.

No nível A, um computador central simula o planejamento da produção através de modelos de grande porte. Neste nível a estratégia de operação é de longo prazo e a informação da operação é recebida dos níveis mais baixos e retida por um maior período de tempo.

No nível B existem vários computadores que acompanham a produção nas diversas unidades, e enviam o estado e os problemas ao nível A. Geralmente, o ciclo de processamento, no nível B, é diário.

No nível C são usados diversos mini e microcomputadores (M) que supervisionam diretamente a produção, exercendo fun-

ções de processamento, tomada de decisão e otimização. Aqui, o ciclo de operação é da ordem de segundos.

No nível C existem ainda, as interfaces homem-máquina, que são uma parte importante do sistema. Estas interfaces são indicadas pelos blocos I da figura 1.2 e representam os meios através dos quais o operador interage com o sistema.

A necessidade do homem interagir com o sistema é devida ao facto das especificações de desempenho num sistema complexo poderem variar continuamente, sendo necessária a ação do homem para um controle eficiente da operação.

Aqui, surge uma questão básica que é a forma como as tarefas de supervisão devem ser distribuídas entre o homem e a máquina.

Rouse /Rous-80/ sugeriu uma distribuição dinâmica em que a cada instante a tarefa a ser executada, fôsse alocada ao elemento que no momento estivesse mais apto para executar a tarefa. Desta forma, a distribuição depende do estado da máquina e do homem.

Neste trabalho analisa-se a distribuição de tarefas de supervisão entre o homem e a máquina através do observador, o qual é um elemento de tomada de decisões, baseada no conhecimento do estado do homem e da máquina, como representado na figura 1.3.

Somente as tarefas susceptíveis de serem executadas tanto pelo operador como pela automação são analisadas para fins de distribuição. Entretanto, a ausência ou presença de outras tarefas, influencia na sobrecarga dos elementos, sendo também consideradas como influências externas.

Para simplicidade de cálculo, neste trabalho supõe-se que a máquina estará sempre disponível para executar as tarefas que o operador não puder executar, e deseja-se alocar o maior número de tarefas para o homem, para mantê-lo em um nível de ocupa

ção adequado.

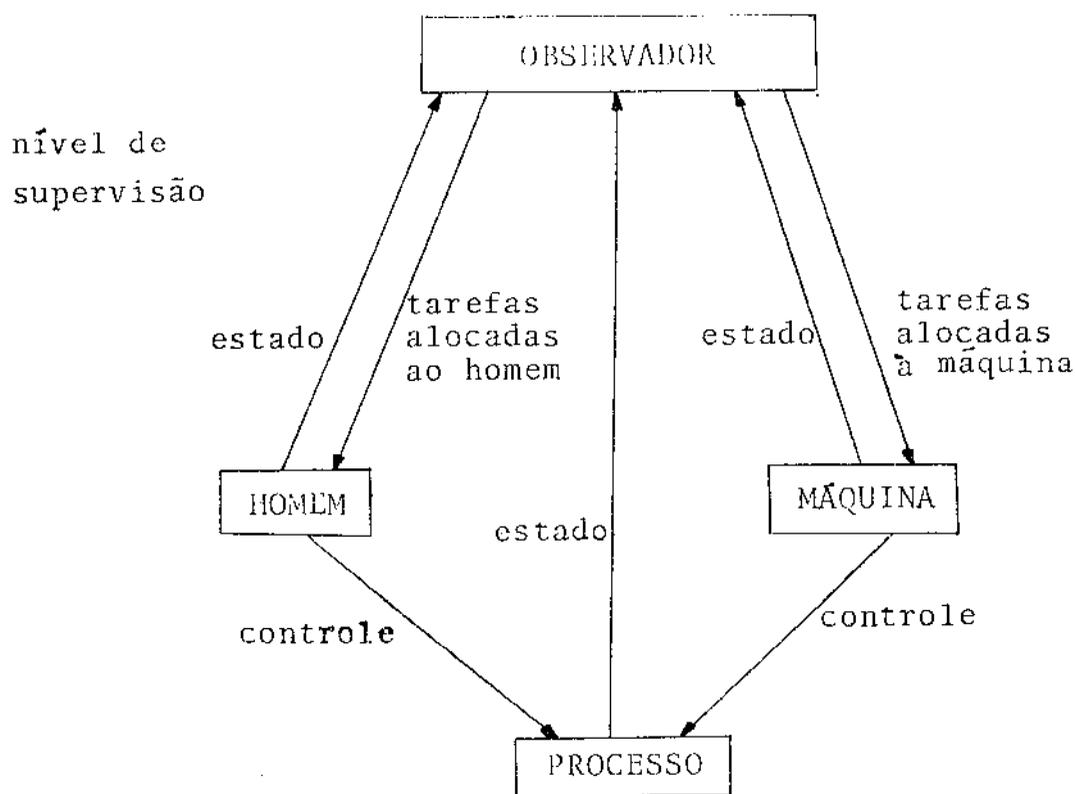


Figura 1.3 - Alocação de tarefas comuns ao homem e ao computador

Para o modelamento do estado do homem realiza-se um estudo dos diversos modelos do operador existentes na bibliografia. Neste estudo serão analisadas as aplicações, vantagens e desvantagens de cada modelo, quando o operador atua em dados apresentados num monitor.

Da comparação dos modelos que representam o comportamento humano, obtem-se um que descreve o comportamento do homem através do tempo que o operador dispensa para a execução de uma tarefa. Neste trabalho, mostra-se que este tempo de resposta varia devido a diversos fatores que influenciam no desempenho do homem, e que são:

- i) aprendizagem;
- ii) diferenças individuais: habilidade, velocidade, energia;

- iii) motivação: estrutura de salário, pressão social, regulamentos;
- iv) meio: temperatura, umidade, ventilação, nível de ruído;
- v) esforço: tempo inadequado para executar tarefas , fadiga física, fadiga mental, fadiga visual.

Simula-se o modelo do estado do homem considerando-se os fatores acima. Com os resultados obtidos, classifica-se o operador em: experiente, médio ou inexperiente.

Como o modelo acima não considera o problema de acúmulo de tarefas, constrói-se a seguir um novo modelo, que melhora a previsão do tempo de resposta a partir da resposta do modelo' citado e da influência da sobrecarga.

O modelo desenvolvido é simulado para os três tipos ' de operadores, experiente, médio e inexperiente, a fim de se obter o comportamento de todos os tipos de operador.

Finalmente, a partir dos resultados obtidos na simulação do novo modelo, propõe-se um critério de distribuição de tarefas pelo observador de modo que não ocorra acúmulo de tarefas no homem e na máquina.

CAPÍTULO 2

MODELOS DE OPERADORES HUMANOS

- 2.1 - Introdução
- 2.2 - Caracterização de um operador quando supervisionando um processo
 - 2.2.1 - Absorção de informação
 - 2.2.2 - Computação mental
 - 2.2.3 - Movimento anatômico e manipulação de controle
- 2.3 - Modelos do operador humano
 - 2.3.1 - Modelo de detecção de sinal
 - 2.3.2 - Modelo de monitoramento
 - 2.3.3 - Modelo de controle ótimo
 - 2.3.4 - Modelo isomórfico estrutural
- 2.4 - Descrição do modelo isomórfico
 - 2.4.1 - Elementos sensórios
 - 2.4.2 - Processamento mental
 - 2.4.3 - Sistema neuromuscular
 - 2.4.4 - Representação da dinâmica do operador
- 2.5 - Simulações do modelo isomórfico

2.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo inicialmente analisar-se-á o comportamento do homem dentro de um sistema de supervisão de controle de processos, onde a automação (máquina) e o operador humano cooperam na execução de tarefas.

Podem-se distinguir três tipos de tarefas executadas neste nível:

- i) aquelas passíveis de serem executadas exclusivamente pelo operador humano,
- ii) aquelas passíveis de serem executadas exclusivamente pela automação,
- iii) aquelas que podem ser executadas por ambos os elementos.

Para um desempenho eficiente do sistema, as tarefas comuns ao homem e à automação devem ser alocadas adequadamente entre estes elementos, via uma distribuição dinâmica adaptada ao momento, considerando as peculiaridades, tanto do homem como da automação, a cada instante.

Para executar a distribuição de tarefas define-se, no próximo capítulo, o elemento observador, que executa sua função a partir do conhecimento do estado do homem e da automação (máquina), através de modelos dos mesmos. Neste trabalho, como o objetivo é modelar a atuação do homem, supõe-se que a máquina estará sempre disponível para executar as tarefas que o operador não puder executar.

A análise do comportamento do operador humano será realizada a partir do tempo de resposta do operador, ou seja, do tempo que o operador dispense na execução de uma tarefa. Para obtenção deste tempo de resposta, simular-se-á um modelo do operador, o qual será escolhido entre os diversos tipos de modelos existentes na literatura, após análise das aplicações, vantagens e desvantagens de cada um.

Modelar-se-á o operador quando observando e atuando em

dados apresentados num monitor.

A seguir apresentam-se as principais atividades envolvendo as funções do operador quando supervisionando um processo, e que deverão constar do modelo a ser desenvolvido.

2.2 - CARACTERIZAÇÃO DE UM OPERADOR QUANDO SUPERVISIONANDO UM PROCESSO.

Quando envolvido em funções de nível de supervisão de um processo, as seguintes atividades caracterizam as tarefas de um operador humano:

2.2.1 - ABSORÇÃO DE INFORMAÇÃO

O operador absorve informação do sistema de entrada que é constituída pelos dados do processo apresentados no monitor, a través do seu sistema sensório formado pelos órgãos visuais.

Há diversos fatores que afetam a absorção de informação:

i) Aprendizagem

Quando um operador inexperiente está executando uma tarefa, aumenta o tempo necessário à percepção dos dados apresentados no monitor, aumentando também a probabilidade de erro. Um operador inexperiente necessita de um certo tempo para aprender a execução da tarefa.

ii) Diferenças individuais

A habilidade, a experiência e a velocidade variam de operador para operador e são fatores que afetam a absorção de informação, resultando em diferentes tempos e qualidade de execução das tarefas.

iii) Motivação

A estrutura de salário, a pressão social e os regula -

mentos, também afetam na velocidade e qualidade de absorção de informação.

iv) Meio

O excesso de temperatura, a umidade, a ventilação insuficiente e o nível de ruído geram fadiga, afetando o tempo de leitura do monitor; a luminosidade também afeta a leitura do monitor.

v) Esforço

O tempo inadequado para acompanhar as tarefas, e a fadiga visual afetam o tempo e a qualidade de absorção de informação.

2.2.2 - COMPUTAÇÃO MENTAL

Os dados adquiridos através da absorção de informação são processados mentalmente pelo operador.

Igualmente como descrito no item anterior, a aprendizagem, as diferenças individuais e a motivação afetam a computação mental.

Os fatores do meio externo, excluído o nível de luz, o esforço constituído pelo tempo inadequado para acompanhar as tarefas e a fadiga mental também afetam no tempo e na qualidade de computação mental.

2.2.3 - MOVIMENTO ANATÔMICO E MANIPULAÇÃO DE CONTROLE

O movimento anatômico (movimento de uma parte do corpo) e a manipulação de controle são realizados pelo sistema de atuação neuromuscular do homem.

Da mesma forma que na absorção de informação e na computação mental, os fatores que afetam na atuação neuromuscular do operador são:

- i) aprendizagem;
- ii) diferenças individuais;
- iii) motivação;
- iv) meio;
- v) esforço (tempo inadequado para executar tarefas ou fadiga física).

Após a apresentação dos diversos modelos existentes, será escolhido e simulado o modelo considerado adequado para o sistema em questão e a partir da análise dos resultados obtidos, em função dos itens i) e ii), classificar-se-á o operador em experiente, médio e inexperiente, associando a cada um destes tipos de operador uma função de probabilidade de tempo de execução de tarefas.

A caracterização da sobrecarga do operador com as características iii), iv) e v) serão consideradas no próximo capítulo.

2.3 - MODELOS DO OPERADOR HUMANO

Entre os diversos modelos de operadores humanos, existentes na literatura, os que modelam as características apresentadas na seção 2.2, são:

- 1) Modelo de Detecção de Sinal/Dav - 80/
- 2) Modelo de Monitoramento /Dav - 80/
- 3) Modelo de Controle Ótimo /Klei - 70/
- 4) Modelo Isomórfico Estrutural /McRu - 80/

A idéia geral de cada modelo e as suas aplicações são descritas a seguir.

2.3.1 - MODELO DE DETECÇÃO DE SINAL

2.3.1.1 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO

A função do operador, na tarefa de detecção de sinal, é

verificar a ocorrência de dados num monitor conforme estratégia de operação pré-definida. Assim, o modelo de detecção de sinal concentra-se no modelamento das características visuais de entrada de um operador, dando informação sobre as atuais características de percepção do mesmo.

A detecção de sinal foi modelada por Luce e Green(1970) como uma detecção discreta de sinais que ocorrem em tempos aleatórios.

O modelo de detecção de sinal de Luce e Green, representado na figura 2.1, descreve o processo de detecção através de três subsistemas: o processo sensório, a direção da resposta (sinal mais ruído) e o processo da resposta (introdução de um atraso).

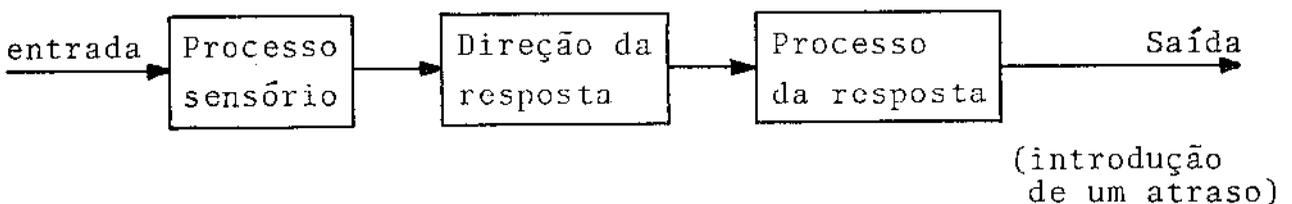


Figura 2.1 - Modelo de Detecção de Sinal de Luce e Green.

Luce e Green descrevem o processo de detecção de sinal como segue:

- i) A entrada é o estímulo que ativa os elementos sensórios.
- ii) O processo sensório é a percepção através dos elementos sensórios do estímulo de entrada. Esta percepção contém um ruído que corresponde ao atraso e à ocorrência de falha na percepção.
- iii) A direção da resposta é a probabilidade de detecção e atuação sobre o estímulo de entrada. O operador pode perceber ou não o sinal de entrada.
- iv) O processo de resposta é o subsistema que corresponde ao processamento mental da percepção do operador através dos elementos sensórios.

O processamento mental introduz um atraso em relação ao sinal de entrada.

- v) A saída do modelo será implementada por uma ação física ou uma comunicação com o sistema ou com outros operadores.

2.3.1.2 - APLICAÇÕES DO MODELO

O modelo de detecção de sinal é usado quando a função do operador é detectar a ocorrência de eventos como por exemplo num radar, ou quando o operador cuida de vários processos. Neste caso, o modelo é aplicado quando um único alarme aparece de cada vez. Se ocorrerem vários alarmes simultaneamente, o modelo de detecção de sinal não pode ser aplicado.

No presente caso, o modelo de detecção de sinal não será usado porque:

- i) A função do operador é executar tarefas de supervisão que surgem no monitor e não, detectar eventos.
- ii) O modelo de detecção de sinal satisfaz aos itens 2.2.1 e 2.2.2, ou seja, modela o processo sensório e a computação mental, mas não modela a atuação neuromuscular do operador (item 2.2.3).

2.3.2 - MODELO DE MONITORAMENTO

Como foi visto, o modelo de detecção de sinal apenas detecta a ocorrência de eventos. Para análise de eventos ocorridos é usado o modelo de monitoramento, conforme descrito abaixo.

2.3.2.1- CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Para monitoramento, o operador deve conhecer os estados do sistema. Ele deve manter o modelo mental do processo e, para tanto, são necessárias observações repetidas no vídeo de monitramento do processo.

A frequência com que o operador deve observar o vídeo

depende da ocorrência de variações no processo e da capacidade de aquisição de informação por parte do operador e de mantê-la mentalmente.

Como o operador não está constantemente observando o vídeo, consideram-se três tipos de monitoramento de um processo /Dav - 80/:

- i) monitoramento por exceção;
- ii) monitoramento com interrupção;
- iii) monitoramento contínuo.

No monitoramento por exceção o operador pode estar ocioso ou ocupado com outras tarefas, mas numa emergência ele monitora o processo um certo tempo e volta ao estado anterior.

O monitoramento com interrupções refere-se a uma situação onde o monitoramento é a principal atividade do operador. Ele pode interromper ou executar outras tarefas, mas retorna ao estado de preparação para a próxima tarefa de monitoramento.

No monitoramento contínuo de um processo, o operador determina a frequência de monitoramento. Este tipo de monitoramento ocorre em situações onde as variáveis de estado do processo são observadas em períodos aleatórios de tempo.

2.3.2.2 - APLICAÇÕES DO MODELO

Há um modelo para cada tipo de monitoramento e eles são usados quando a função do operador é monitorar (observar e verificar se os dados apresentados na tela permanecem em sua faixa de operação) um processo.

Neste trabalho, o modelo de monitoramento não será usado porque:

- i) O modelo de monitoramento descreve a absorção de informação e a computação mental (seções 2.2.1 e 2.2.2), mas não considera a atuação neuromuscular do operador (seção 2.2.3).

ii) A função do operador , neste trabalho, não é monitorar, mas sim, observar e atuar em tarefas de supervisão apresentadas num monitor.

2.3.3 - MODELO DE CONTROLE ÓTIMO

Viu-se que o modelo de detecção de sinal apenas detecta a ocorrência de eventos e o modelo de monitoramento analisa a ocorrência de eventos, mas estes modelos não descrevem a atuação do operador e por isso não são úteis para os objetivos deste trabalho.

Um modelo que considera as três atividades do operadoador descritas em 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3 é o modelo de controle ô-tímo, o qual será descrito a seguir.

2.3.3.1 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO

O modelo de controle ôtímo foi desenvolvido para descrever o desempenho de um sistema homem-máquina quando o operador atua manualmente no processo, a fim de otimizar o desempenho do processo. Este modelo é usado quando se conhece a dinâmica do processo e sobre ela o operador faz um controle ôtímo para a saída.

A figura 2.2 mostra o diagrama de blocos do modelo de controle ôtímo.

Através da figura, observa-se que o processo de execução do controle da dinamica do processo é realizado pelo operadoador através da detecção de sinal, do monitoramento e da atuação neuromuscular.

A detecção de sinal é realizada pelos órgãos visuais a partir da informação existente no vídeo.

No processo de detecção de sinal existem ruídos de observação que representam os efeitos de perturbações estocásticas nas características de resposta do homem, as variações de

tempo nos parâmetros da resposta e os erros aleatórios na observação do vídeo /Klei - 70/.

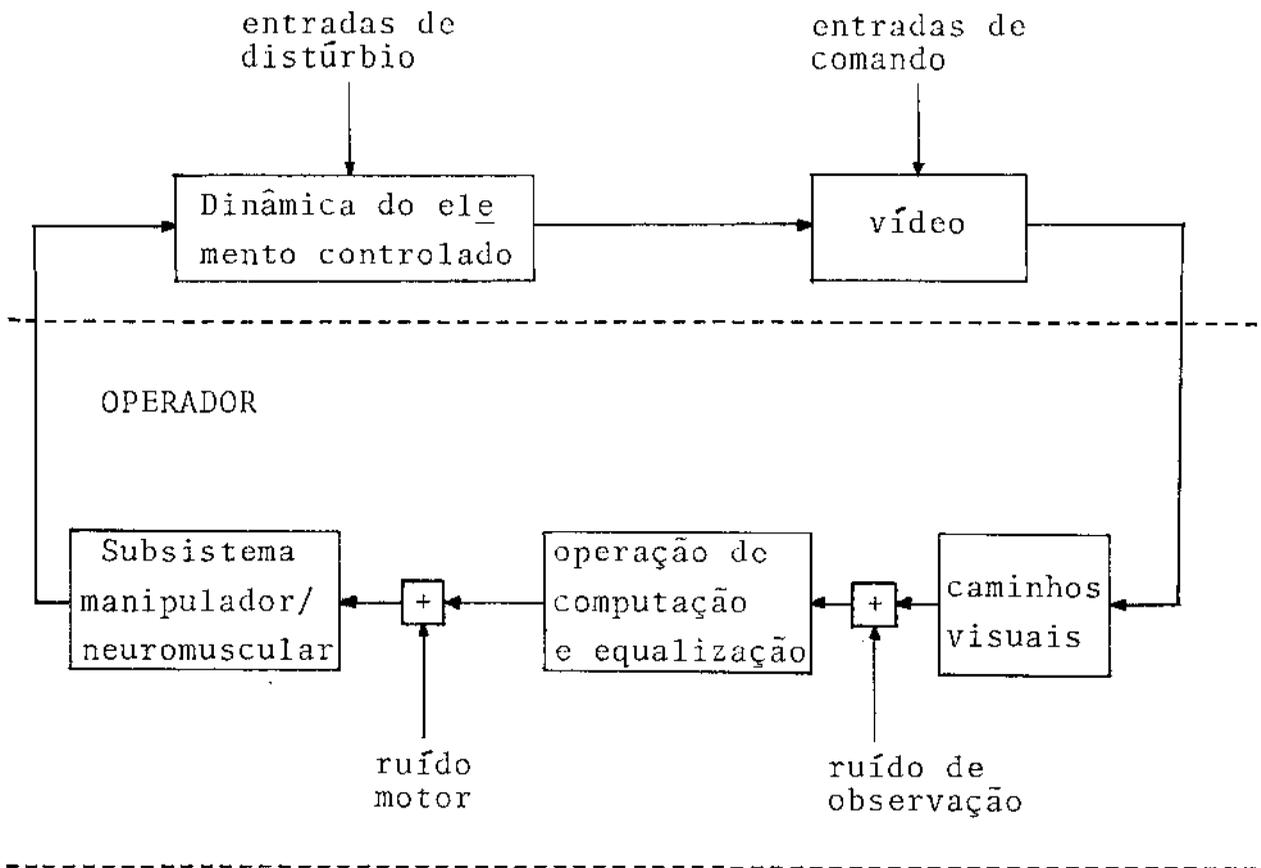


Figura 2.2 - Estrutura generalizada do modelo de controle ótimo.

Após a detecção de sinal, o operador seleciona e equaliza sinais apropriados enviando os resultados para o subsistema de atuação neuromuscular.

A equalização representa o meio pelo qual o homem tenta otimizar a sua estratégia de controle /Klei - 70/.

Na atuação neuromuscular, existem ruídos motores que representam erros aleatórios na execução de movimentos de controle, ou o fato de que o homem não tem perfeito conhecimento de entrada do sistema:

2.3.3.2 = APLICAÇÕES DO MODELO

O modelo de controle ótimo é usado quando a função do operador é otimizar a dinâmica do processo, que é previamente conhecida.

Neste trabalho, a dinâmica do processo não é conhecida e a função do operador é executar tarefas de supervisão que surgem no vídeo. Assim, o modelo de controle ótimo não será usado.

2.3.4 - MODELO ISOMÓRFICO ESTRUTURAL

Na introdução, mostrou-se que o modelo adequado a este trabalho deve levar em consideração o comportamento do homem quando observando e atuando em dados apresentados num monitor e cujas atividades são a observação de informação, a computação mental e a atuação neuromuscular, conforme especificadas em 2.2.

Os modelos de detecção de sinal e de monitoramento, descritos em 2.3.1 e 2.3.2, respectivamente, não podem ser usados neste trabalho porque não levam em consideração o sistema de atuação neuromuscular do operador.

O modelo de controle ótimo, descrito em 2.3.3, também não pode ser usado porque no presente caso não se conhece a dinâmica do processo.

Em seguida analisa-se o modelo Isomórfico Estrutural, que é um modelo que considera a percepção do operador através dos elementos sensórios, o processamento mental e o sistema de atuação neuromuscular e, tem como saída o tempo de atuação do homem.

2.3.4.1 - CARACTERÍSTICAS DO MODELO

Na figura 2.3 mostra-se um diagrama esquemático do modelo isomórfico estrutural.

Nesta figura, os blocos: elemento controlado e vídeo, especificam o processo; e os blocos: elementos sensórios, processamento mental e sistema de atuação neuromuscular, referem-se ao homem.

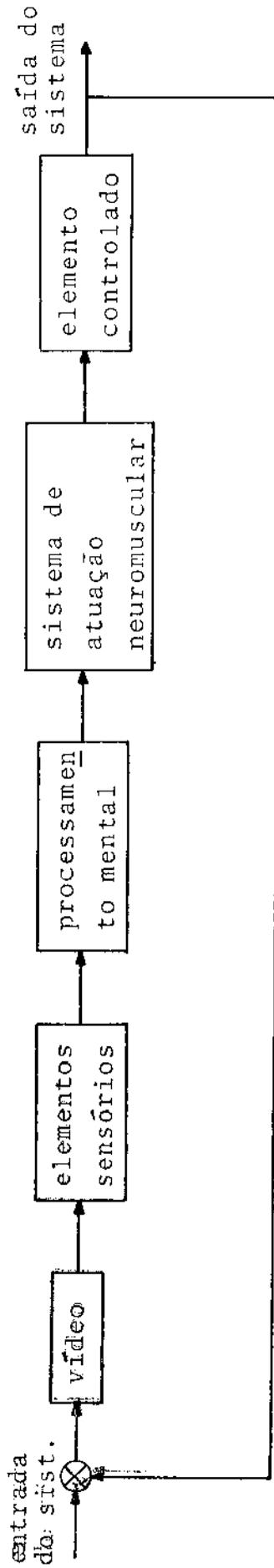


Figura 2.3 - Diagrama esquemático do modelo isomórfico estrutural.

Como os subsistemas referentes ao homem - elementos sensórios, processamento mental e sistema de atuação neuromuscular - são isolados, se houver alterações nestes subsistemas, pode-se medir e examinar cada um deles separadamente. As alterações que podem ocorrer são principalmente devidas a um ajuste do elemento controlado, a variação do manipulador, variações do meio externo ou a alterações físicas e psíquicas do homem.

Os subsistemas do modelo isomórfico estrutural consideram os tempos de atraso na reação dos respectivos elementos, com base no que se conhece da fisiologia e psicologia experimental /McRu - 80/.

O operador opera sobre sinais que surgem no vídeo e que variam numa certa frequência. Os sinais referem-se a desvios da trajetória de referência e a função do operador é minimizar esses desvios.

2.3.4.2 - APLICAÇÕES DO MODELO

O modelo isomórfico aplica-se no modelamento de um operador que observa os sinais existentes em um vídeo e atua sobre esses sinais através do sistema neuromuscular. A saída do modelo é o tempo de atuação do homem, ou seja, o tempo entre o momento em que surge o sinal no vídeo e o momento em que o operador termina de executar a ação correspondente.

Conforme a descrição do modelo, verifica-se que ele pode ser aplicado, no mesmo caso, porque modela os elementos sensórios, a computação mental e a atuação neuromuscular do operador segundo a caracterização de um operador quando supervisionando um processo, descrito em 2.2.

A seguir, faz-se um detalhamento do modelo isomórfico.

2.4 - DESCRIÇÃO DO MODELO ISOMÓRFICO

Para uma melhor análise do modelo isomórfico, faz-se um detalhamento dos subsistemas de operador que, como se viu anteri

ormente, são:

- i) elementos sensórios;
- ii) processamento mental;
- iii) sistema de atuação neuromuscular.

2.4.1 - ELEMENTOS SENSÓRIOS

Os mecanismos sensórios apresentam-se como mostrados na figura 2.4.

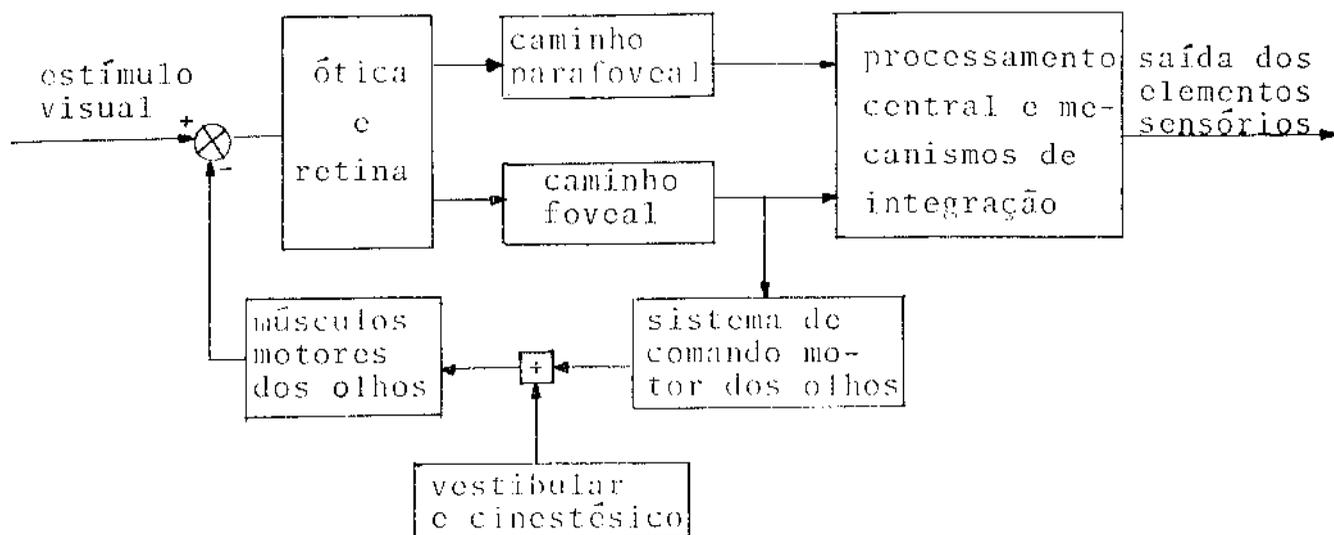


Figura 2.4 - Mecanismos sensórios.

Os elementos sensórios são:

- foveal (retina central);
- parafoveal (fora da retina central);
- vestibular (elemento de equilíbrio);
- cinestésico (elemento de equilíbrio).

As características mais importantes do caminho visual são as operações paralelas da visão foveal e parafoveal e o controle do movimento dos olhos /McRu - 80/.

Neste trabalho, considera-se um sistema de controle e o operador trabalhando num nível de supervisão, por isso, os elementos vestibular e cinestésico não são usados, pois referem-se a elementos de equilíbrio, estando presentes só quando o operador está em movimento /McRu - 80/.

Dessa forma, o modelo dos mecanismos sensórios será simplificado para a figura 2.5.

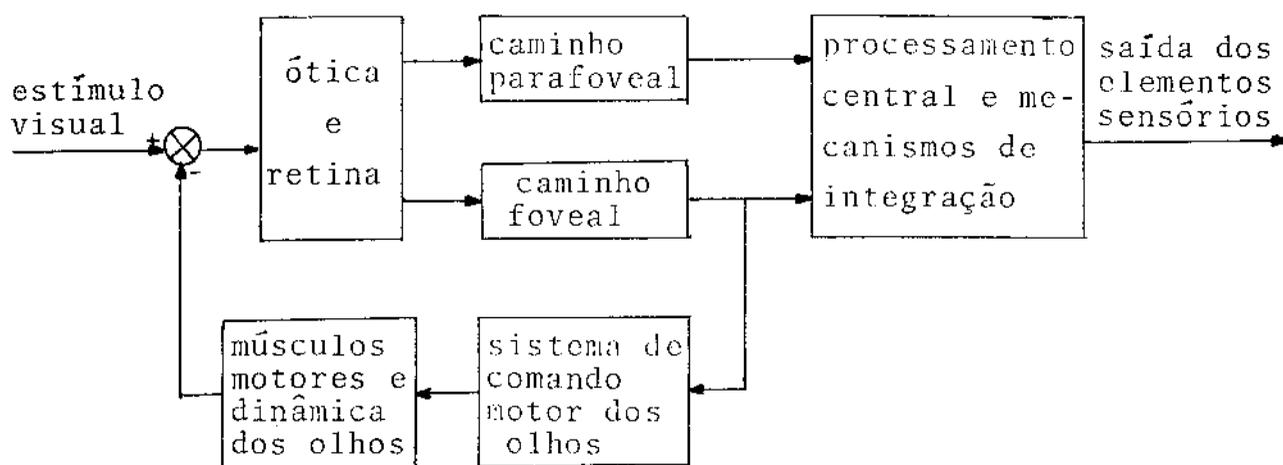


Figura 2.5 - Modelo dos mecanismos sensórios.

Neste subsistema, a entrada é o estímulo visual que se refere ao desvio da trajetória de referência sobre a qual o operador opera. O atraso correspondente aos mecanismos sensórios, descrito neste item, será englobado no processamento mental, descrito a seguir.

2.4.2 - PROCESSAMENTO MENTAL

O processamento mental pode ser modelado como a soma de uma função de atraso, de uma função proporcional e de uma função de antecipação dos dados que surgem no vídeo.

A figura 2.6 mostra esquematicamente estas três variações.

A função de atraso corresponde ao atraso do sistema sensorio que é devido à inexperiência do operador. A função propor-

cional não possui atraso nem antecipação, ou seja, ao mesmo tempo que surge o sinal no vídeo, ele é processado na mente do operador. A função de antecipação corresponde à experiência do operador, ele prevê o sinal antes que o mesmo apareça no vídeo.

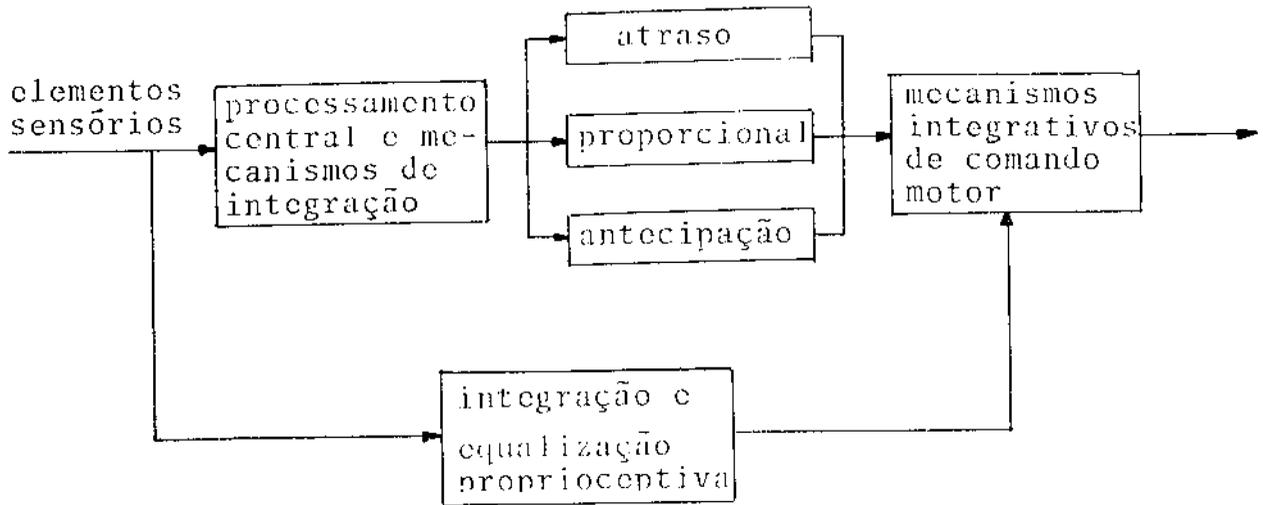


Figura 2.6 - Processamento mental.

A função de atraso, $F_1(s)$, é representada por:

$$F_1(s) = \frac{1}{T_i s + 1}, \quad (2.1)$$

onde:

T_i é o tempo de atraso e varia de operador para operador sendo dependente da sua experiência.

A função proporcional, $F_2(s)$, é dada por: $F_2(s) = K_p$.

A função de antecipação, $F_3(s)$, é representada por:

$$F_3(s) = (T_\lambda s + 1), \quad (2.2)$$

onde:

T_λ é o tempo de antecipação e varia de operador para operador, dependendo da sua experiência.

Na saída do processamento mental há um atraso τ , correspondente ao atraso devido aos elementos sensórios e ao atraso do processamento mental. Assim, nos mecanismos de integração ao co

mando motor o termo e^{-tS} , refere-se ao atraso devido ao tempo de reação do sistema nervoso do homem.

O bloco da figura 2.6, que representa a integração e equalização proprioceptiva, não é levado em consideração porque os mecanismos proprioceptivos só são usados no caso em que o operador necessita executar movimentos para exercer outras tarefas além de observar o vídeo, como por exemplo, um piloto que executa funções de controle.

No processo mental, analisa-se apenas o comportamento do operador quando ele observa o vídeo e processa o sinal existente no mesmo. Dessa forma, o modelo do processamento mental será simplificado para a figura 2.7.

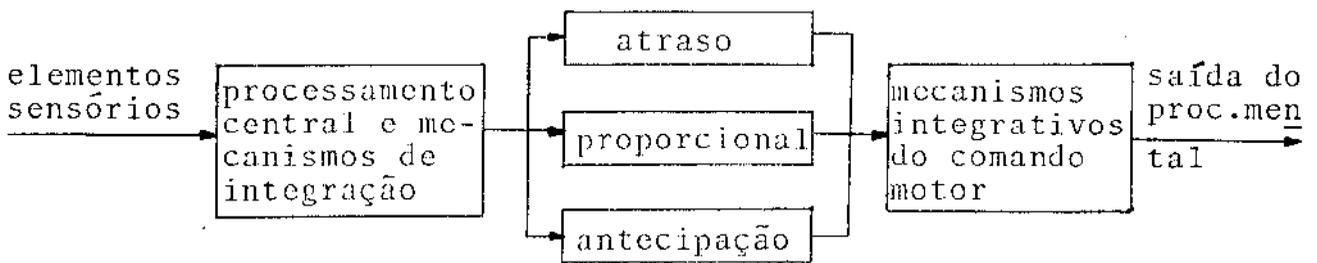


Figura 2.7 - Processamento mental

A entrada do subsistema - processamento mental - é constituída pelos dados obtidos do monitor através do sistema sensório, e a saída pelos comandos de atuação que a mente envia para o subsistema neuromuscular. Assim, o processamento mental é representado pela função de transferência $H(s)$:

$$H(s) = \frac{K_p(T_d s + 1)}{(T_i s + 1)} \tag{2.3}$$

A seguir, descreve-se o comportamento do sistema de atuação neuromuscular.

2.4.3 - SISTEMA NEUROMUSCULAR

O sistema neuromuscular recebe da mente os comandos de atuação e, através dos músculos, exerce esses comandos.

Mc-Ruer /McRu - 80/ propôs a utilização de um modelo para o sistema neuromuscular, composto por um caminho direto constituído de membro, músculo e manipulador dinâmico, e por uma realimentação formada pelas fibras receptoras do músculo (spindle) e pelo tendão que prende essas fibras, conforme mostra a figura 2.8.

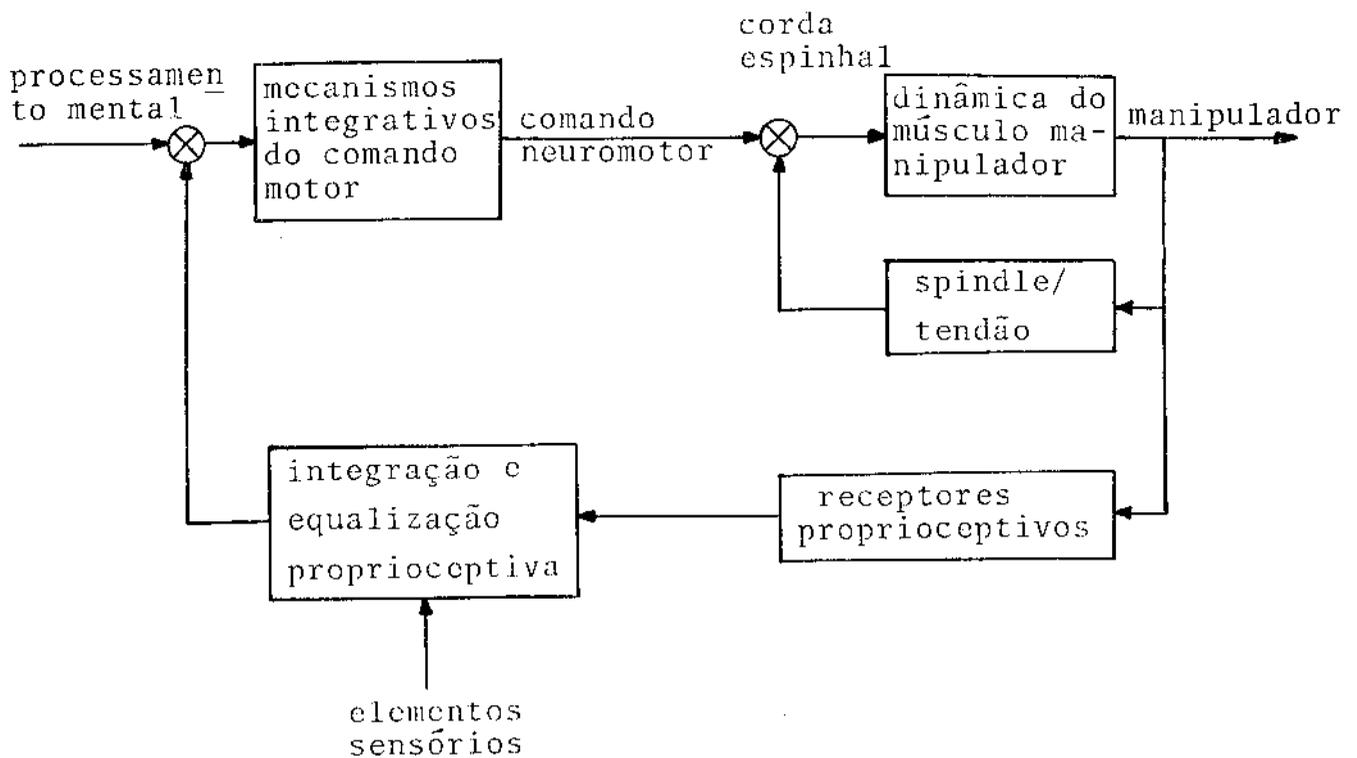


Figura 2.8 - Sistema de atuação neuromuscular.

O caminho proprioceptivo deriva de várias fontes, tais como a visão periférica e a junção de receptores no braço, e é usado quando o operador exerce várias funções além de atuação no computador.

Neste trabalho, supõem-se que o operador execute somente tarefas de supervisão. Portanto, a dinâmica devida ao cami -

nhô proprioceptivo serã desprezada.

Conseqüentemente, o modelo do sistema de atuação neuromuscular serã simplificado conforme mostra a figura 2.9.

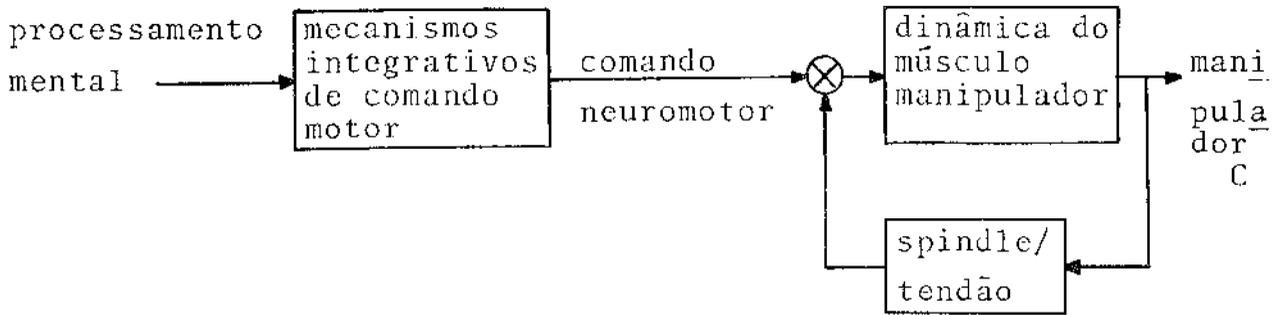


Figura 2.9 - Sistema de atuação neuromuscular.

O sistema de atuação neuromuscular é representado por uma função de transferência ($M(jw)$) de terceira ordem com termos de atraso e antecipação /Magd - 68/, da seguinte forma:

$$M(jw) = \left(\frac{\pm Tkjw + 1}{Tk'jw + 1} \right) \left\{ \frac{1}{(Tn_1jw + 1) \left[\left(\frac{jw}{wn} \right)^2 + \frac{2\zeta_n jw}{wn} + 1 \right]} \right\} \quad (2.4)$$

onde:

- Tk e Tk' são constantes de tempo de atraso e antecipação ,
- Tn₁ é uma constante de primeira ordem de tempo de atraso do sistema neuromuscular,
- w é a frequência de atuação,
- wn é a frequência natural do sistema neuromuscular,
- ζ_n é o amortecimento.

No caso de operadores em tarefas de supervisão, tem-se o seguinte intervalo de valores para estes parâmetros /Magd-68/:

$$Tk' > Tk > 40 \text{ seg.};$$

$$wn = 20 \text{ rad/seg.};$$

$$Tn_1 = 0.1;$$

$$\zeta_n = 0.12.$$

Neste trabalho, os valores de frequência de atuação do operador são supostos entre 0,015 Hz e 0,66 Hz, isto é, o tempo de resposta do operador está entre 1,5seg. e 65,0seg.

Com estas frequências de operação e com os valores assumidos, na literatura, para os parâmetros que caracterizam o modelo neuromuscular, podem ser realizadas as seguintes hipóteses simplificadoras:

$$i) \frac{T_k j\omega + 1}{T_k' j\omega + 1} = \sqrt{\frac{(T_k \omega)^2 + 1}{(T_k' \omega)^2 + 1}} e^{j \arctg \frac{\omega(T_k - T_k')}{1 + T_k T_k' \omega^2}}$$

Para $\omega T_k, \omega T_k' \gg 1$ tem-se que:

$$\frac{T_k j\omega + 1}{T_k' j\omega + 1} \approx \frac{T_k}{T_k'} = K_1$$

$$ii) \frac{1}{(Tn_1 j\omega + 1) \left[\left(\frac{j\omega}{\omega_n} \right)^2 + 1 + \frac{2\zeta_n j\omega}{\omega_n} \right]} = \frac{1}{(Tn j\omega + 1)} \quad (2.5)$$

com:

$$Tn = Tn_1 + \frac{2\zeta_n}{\omega_n}$$

Pois, para $\omega \ll \omega_n$, tem-se que $1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_n} \right)^2 \approx 1$.

Com estas hipóteses simplificadoras a equação (2.4) pode ser escrita como segue:

$$M(j\omega) = \frac{k_1}{1 + j\omega Tn} \quad (2.6)$$

Na seção seguinte obtem-se a dinâmica total do operador.

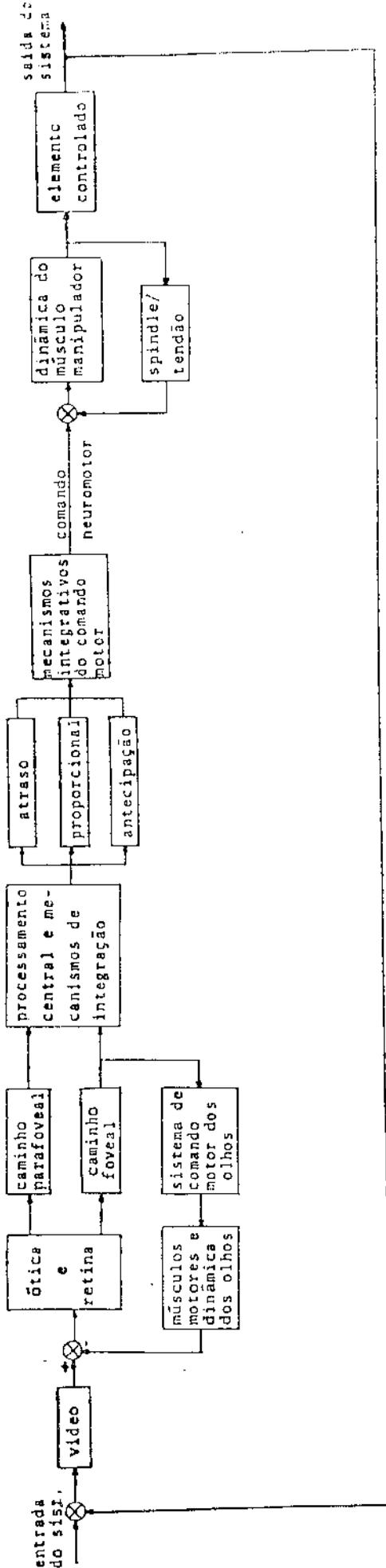


Figura 2.10 - Modelo Isomórfico Estrutural

2.4.4 - REPRESENTAÇÃO DA DINÂMICA DO OPERADOR

Associando-se os subsistemas do operador, tem-se o modelo isomórfico mostrado na figura 2.10.

Multiplicando-se as funções de transferência de cada subsistema (equações (2.3) e (2.6)), obtém-se que o modelo que representa a dinâmica do operador, em malha aberta, é dado pela equação (2.7).

$$Y_p = k.e^{-j\omega\tau} \frac{(T_d j\omega + 1)}{(T_i j\omega + 1)(T_n j\omega + 1)}, \quad (2.7)$$

com $K = K_p K_i$

Como os parâmetros da equação (2.7) referem-se aos subsistemas, processamento mental e sistema neuromuscular do homem, eles variam de operador para operador.

Sheridan /Garn - 67/ obteve faixas de variação dos parâmetros através de experiências realizadas. O parâmetro K , que representa a sensibilidade ou ganho do operador, pode assumir valores na faixa de 1 a 100. O parâmetro τ assume valores na faixa de 0,12 a 0,3 seg. e é o tempo de reação do sistema nervoso central. Este atraso é o limite da capacidade do operador de controlar situações de movimento rápido. T_d corresponde à antecipação do operador (quando o operador possui experiência) e está geralmente entre 0,1 e 2,5 seg. T_i refere-se ao atraso do operador e muda de 0,1 a 20 seg. e T_n corresponde ao atraso neuromuscular e é estimado em cerca de 0,1 seg.

A seguir descreve-se a simulação do modelo isomórfico e analisam-se os resultados obtidos.

2.5 - SIMULAÇÕES DO MODELO ISOMÓRFICO

No presente caso, o operador trabalha em frequências baixas porque o estudo do comportamento do homem está sendo realiza-

do quando ele opera sobre pulsos que aparecem esporadicamente no vídeo. A função do operador será apenas de, por exemplo, apertar uma tecla. Neste caso, como descrito no item 2.4.4, a função de transferência do homem pode ser aproximada por:

$$g(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s} (1 + sT\ell)}{(1 + sTi)(1 + sTn)} = \frac{c(s)}{u(s)}.$$

Supõe-se que as ações do operador são discretas, portanto é necessário discretizar-se no tempo a função de transferência descrita pela equação (2.7).

$$c(s) = \frac{K \cdot e^{-\tau s} T\ell s u(s) + K \cdot e^{-\tau s} u(s)}{TiTns^2 + (Ti + Tn)s + 1}.$$

Da equação (2.7), tem-se a equação diferencial descrita como:

$$TiTn\ddot{c} + (Ti + Tn)\dot{c} + c = kT\ell\dot{u}(t - \tau) + Ku(t - \tau). \quad (2.8)$$

Discretizando a equação (2.8) em "backward", tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{c(t) - 2c(t-\Delta t) + c(t-2\Delta t)}{\Delta t^2} + \frac{(Ti+Tn)c(t)}{TiTn\Delta t} - \frac{(Ti+Tn)c(t-\Delta t)}{TiTn\Delta t} + \frac{c(t)}{TiTn} = \\ = \frac{KT\ell u(t-\tau)}{TiTn\Delta t} - \frac{KT\ell u(t-\tau-\Delta t)}{TiTn\Delta t} + \frac{Ku(t-\tau)}{TiTn}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

sendo:

$$A = \frac{Ti+Tn}{TiTn} \quad ; \quad B = \frac{1}{TiTn} \quad ; \quad D = \frac{KT\ell}{TiTn} \quad ; \quad E = \frac{K}{TiTn}$$

E substituindo-se estas expressões na equação (2.9), tem-se:

$$\begin{aligned} c(t) - 2c(t-\Delta t) + c(t-2\Delta t) - \Delta t c(t) - \Delta t c(t-\Delta t) + \Delta t^2 B c(t) = \\ = D\Delta t u(t-\tau) - D\Delta t u(t-\tau-\Delta t) + E\Delta t^2 u(t-\tau) \quad \therefore \end{aligned}$$

$$(2 + \Delta t A) c(t - \Delta t) - c(t - 2\Delta t) + (\Delta t D + \Delta t^2 E) u(t - \tau) - \Delta t D u(t - \tau - \Delta t)$$

Com este modelo discreto fizeram-se simulações para uma entrada degrau, a fim de obter-se o tempo de execução de uma tarefa pelo operador (programa OPERA.LOU, anexo A).

Simulou-se para uma entrada degrau porque o operador atua sobre ações que aparecem esporadicamente no vídeo e permanecem durante um certo período de tempo.

Os parâmetros da equação de transferência dados pela equação (2.7) variam dentro de uma grande faixa de valores, porque a saída do modelo (tempo de execução de uma tarefa) varia de operador para operador, devido a diversos fatores, como foi visto na introdução. Esses fatores são:

- i) Aprendizagem;
- ii) diferenças individuais;
- iii) motivação;
- iv) meio;
- v) esforço.

Sheridan /Garn - 67/ obteve valores experimentais para os parâmetros da função de transferência e concluiu que:

- i) K (ganho do operador) varia de 1 a 100 de acordo com a frequência de entrada;
- ii) τ (tempo de reação do sistema nervoso central) pode ser considerado como igual a $0,2 / \text{Back}^{-79}$;
- iii) T_d (tempo de antecipação) varia de 0.1 a 2.5s.;
- iv) T_i (atraso do operador) varia de 0.1 a 20 seg.;
- v) T_n (atraso neuromuscular) é estimado em 0.1 seg..

Como, nos casos aqui analisados, o operador opera em frequências baixas, pode-se considerar que não existe ganho, podendo-se atribuir o valor unitário a K .

Propondo-se que o operador responda a uma entrada degrau, fez-se a simulação do modelo isomórfico (Anexo A) com:

$$K = 1. ; \quad \tau = 0.2 ; \quad 0.1 \leq T_d \leq 2.5 \quad \text{e} \quad 0.1 \leq T_i \leq 20$$

e obteve-se a seguinte tabela:

$T_g \backslash T_i$	0.1	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0
2.5	1.2	7.5	20.0	29.0	45.0	60.0
1.5	1.2	8.0	21.0	30.0	46.0	61.0
1.0	1.5	8.5	21.5	31.0	46.5	61.5
0.5	1.5	9.5	22.0	31.0	47.5	61.5

Tabela 2.1 - Tempos de resposta do operador, variando-se T_i e T_g .

Através desta tabela, verifica-se a pouca influência do parâmetro T_g na resposta do operador. Então, tomando-se um T_g médio ($T_g = 1.0$) e variando-se T_i de 0.1 a 20.0, obtém-se a tabela 2.2 para uma entrada degrau.

$T_g \backslash T_i$	0.1	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
1.0	1.5	2.4	5.0	8.5	11.7	15.5	18.5	21.5	24.5	27.5

$T_g \backslash T_i$	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
1.0	31.0	34.0	37.8	41.0	44.0	46.5	50.0	53.0	55.8	59.0	61.5

Tabela 2.2 - Tempos de resposta do operador, considerando-se $T_g = 1.0$ e T_i variando de 0.1 a 20.0.

Na tabela 2.2 verifica-se que o tempo de execução de um operador para uma entrada degrau estará entre 1.5 e 61.5 seg.

Neste trabalho, supõem-se que:

- i) O primeiro valor representará um operador atuando num ambiente com todas as características favoráveis e, portanto, deverá representar o tempo mínimo de execução para todo operador.
- ii) O segundo valor corresponde ao tempo máximo de execução, pois nele estão incluídas todas as condições desfavoráveis.
- iii) Todo operador apresenta um tempo de execução dentro desta faixa.
- iv) Cada operador terá um tempo de resposta diferente, procurando-se neste trabalho classificar três tipos de operadores:
 - Os mais experientes que executam as tarefas num tempo próximo a t_{\min} .
 - Os menos experientes que executam as tarefas num tempo próximo a t_{\max} .
 - Os médios que atuam numa faixa intermediária.
- v) As variáveis de cada subsistema do operador, como o atraso na percepção visual e o atraso do sistema de atuação neuromuscular variam de operador para operador. Pode-se então propor, a partir do teorema do limite central, uma distribuição normal dos tempos de execução para cada tipo de operador.

Os parâmetros da distribuição normal dos tempos de execução são calculados a partir da tabela 2.2.

Para cada tipo de operador propõe-se uma distribuição normal, conforme mostra a figura 2.11, que inclui as características de aprendizagem e as diferenças individuais conforme descrito em 2.2.

Na figura 2.11, verifica-se que cada tipo de operador

executa as tarefas numa determinada faixa de valores de tempo de execução. Supondo-se que o operador não executa uma tarefa num tempo menor do que t_{min} , podem-se truncar as curvas em t_{min} .

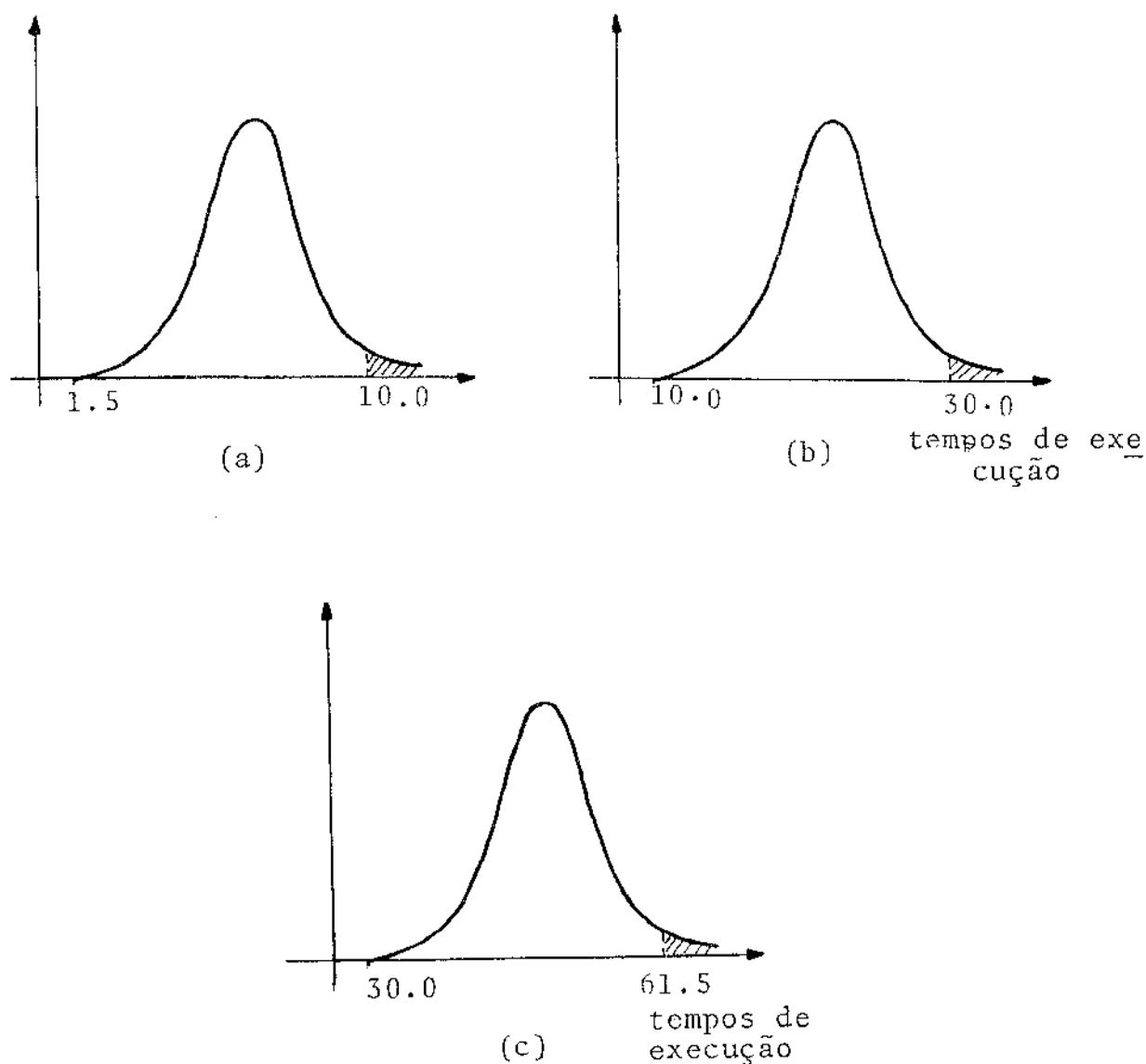


Figura 2.11 - Distribuição normal dos tempos de execução.

- (a) - Operador experiente
- (b) - Operador médio
- (c) - Operador inexperiente

Para t_{max} propõe-se uma variação de 5% em torno dos valores mencionados na figura 2.11.

Com os valores de t_{min} e t_{max} calcula-se o tempo médio e a variância da seguinte forma:

i) Do lado direito da curva tem-se:

$$P \left(\frac{t_{max} - \mu}{\sigma} \right) = 45\%,$$

onde:

μ é a média;

σ é a variância.

Considera-se uma área de 45% supondo-se que o valor de t_{max} varia numa faixa de 5%.

A partir de valores tabelados, tem-se que:

$$\frac{t_{max} - \mu}{\sigma} = 1.65. \quad (2.10)$$

ii) Do lado esquerdo, como a curva é truncada em t_{min} considera-se uma área de 50%, conseqüentemente:

$$P \left(\frac{\mu - t_{min}}{\sigma} \right) = 50\%$$

Igualmente, a partir de valores tabelados, obtêm-se:

$$\frac{\mu - t_{min}}{\sigma} = 4. \quad (2.11)$$

Das equações 2.10 e 2.11 obtêm-se os valores de μ e σ , em função de t_{min} e t_{max} :

$$\sigma = \frac{t_{max} - t_{min}}{5.65}; \quad (2.12)$$

$$\mu = \frac{4t_{max} + 1.65t_{min}}{5.65}. \quad (2.13)$$

Substituindo-se t_{max} e t_{min} , nas equações (2.12) e

(2.13), pelos valores mostrados na figura 2.11, obtêm-se σ e μ para os três tipos de operadores.

i) Para o operador experiente

$$t_{\min} = 1.5;$$
$$t_{\max} = 10.0;$$

$$\sigma = \frac{10. - 1.5}{5.65} = 1.5;$$

$$\mu = \frac{40. + 1.65 \times 1.5}{5.65} = 7.5.$$

ii) Para o operador médio

$$t_{\min} = 10.0;$$
$$t_{\max} = 30.0;$$

$$\sigma = \frac{30.0 - 10.0}{5.65} = 3.5;$$

$$\mu = \frac{4 \times 30.0 + 1.65 \times 10.0}{5.65} = 24.0.$$

iii) Para o operador inexperiente

$$t_{\min} = 30.0;$$
$$t_{\max} = 61.5;$$

$$\sigma = \frac{61.5 - 30.0}{5.65} = 5.5;$$

$$\mu = \frac{4 \times 61.5 + 1.65 \times 30.0}{5.65} = 52.2.$$

Estes valores dos tempos médios de execução para os diversos tipos de operador servirão como uma informação a-priori pa-

ra o desenvolvimento de um modelo estocástico (modelo devido a variações no operador ou contorno), a partir do qual analisar-se-á o comportamento do operador, a fim de se desenvolver estratégias de divisão de tarefas para o observador.

Nos próximos capítulos apresentam-se um detalhamento deste modelo estocástico e a proposta de uma estratégia de divisão de tarefas.

CAPÍTULO 3

MODELO ESTOCÁSTICO DO OPERADOR

- 3.1 - Introdução
- 3.2 - Desenvolvimento de um modelo estocástico para o operador
 - 3.2.1 - Obtenção do tempo previsto a-priori
 - 3.2.2 - Obtenção do tempo previsto a-posteriori
 - 3.2.2.1 - Função linear por partes
 - 3.2.2.2 - Função parabólica
- 3.3 - Simulação do modelo
 - 3.3.1 - Inicialização
 - 3.3.2 - Simulação de μ a-priori
 - 3.3.3 - Simulação de μ a-posteriori
 - 3.3.3.1 - Função linear por partes
 - 3.3.3.2 - Função parabólica
 - 3.3.4 - Simulação geral

3.1 - INTRODUÇÃO

Como já exposto no capítulo anterior, este trabalho trata de um sistema de supervisão de controle de processos, onde a máquina e o operador partilham a execução de tarefas comuns a ambos.

Para um desempenho eficiente do sistema é necessária uma distribuição dinâmica dessas tarefas. Realiza-se esta distribuição considerando-se em cada instante o estado de cada um dos elementos, abstraindo esta informação a partir do tempo de resposta do homem e da máquina.

A distribuição será realizada por um elemento - o observador - baseada no modelamento do comportamento do homem, pois considera-se, neste trabalho, que a máquina estará sempre disponível para executar as tarefas que o operador não puder executar.

No capítulo anterior analisou-se o comportamento do operador através de resultados obtidos na simulação do modelo Isomórfico Estrutural, classificando-se o operador em:

- i) experiente;
- ii) médio;
- iii) inexperiente.

Foram obtidos tempos de execução de tarefas para os três tipos de operadores e, a partir desses tempos, desenvolve-se neste capítulo, um modelo para análise do comportamento do homem quando há uma sequência de tarefas a serem executadas pelo operador humano e pela máquina.

Por simplificação, o estudo será feito para cada tipo de operador separadamente, visto que, os tempos de execução variam bastante para cada tipo de operador. Os tempos de execução das tarefas, obtidos no capítulo anterior serão considerados como a previsão inicial do tempo de execução da sequência de tarefas recebidas.

Também, para facilitar a observação do comportamento do operador consideram-se apenas tarefas em que o tempo necessário para sua execução é uma variável aleatória com uma distribuição Gaussiana de média μ_0 e variância σ^2 .

Após desenvolvido o modelo para o operador quando há uma sequência de tarefas a serem executadas, fazem-se simulações do modelo para os três tipos de operadores e analisam-se os resultados obtidos.

No próximo item descreve-se como é desenvolvido o modelo estocástico do operador. Em seguida descreve-se como são obtidos os parâmetros do modelo e como são realizadas as simulações do modelo geral.

3.2 - DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO ESTOCÁSTICO PARA O OPERADOR

O tempo de execução de uma tarefa, obtido no capítulo anterior, com a simulação do modelo Isomórfico, é função dos parâmetros da função de transferência do operador. Estes parâmetros são os atrasos devidos à percepção visual e à atuação neuromuscular do operador, e variam dependendo da aprendizagem e das diferenças individuais.

Na distribuição de uma sequência de tarefas de supervisão em um ambiente de controle de processos, a sobrecarga do operador, ou seja, o acúmulo de tarefas, também é um fator que influencia negativamente no tempo de resposta do mesmo. Então, desenvolve-se aqui, um modelo para o estudo do comportamento do homem quando há uma sequência de tarefas a serem executadas, a fim de se analisar o tempo de resposta do operador devido à sobrecarga e ao fato de já existir uma informação inicial sobre o comportamento do operador. Esta informação inicial é o resultado obtido no capítulo anterior com a simulação do modelo Isomórfico.

Inicializa-se o algoritmo com o tempo previsto obtido a partir do modelo Isomórfico, e quando se recebe uma tare-

fa, faz-se uma nova previsão do tempo que o operador gastará na sua execução a partir da previsão anterior e da sobrecarga do operador.

Na figura 3.1 mostra-se o diagrama do modelo estocástico proposto.

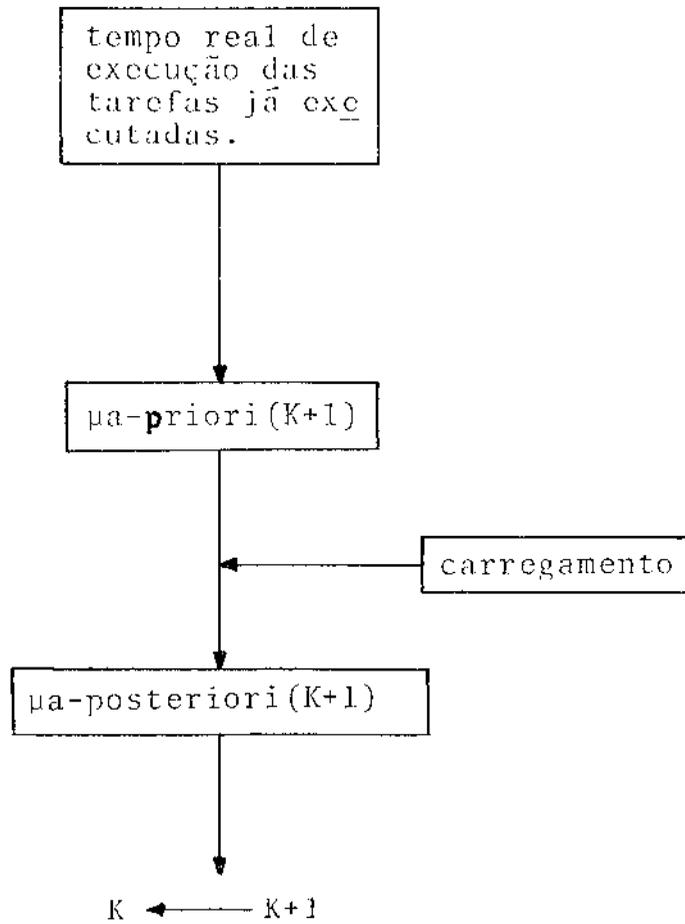


Figura 3.1 - Modelo estocástico do operador.

Sendo:

$\mu a\text{-priori}(k+1)$ o tempo previsto para execução da tarefa $k+1$ antes que ela chegue. É calculado a partir do tempo real de execução das tarefas anteriormente executadas,

$\mu a\text{-posteriori}(k+1)$ a nova previsão do tempo de execução da tarefa $k+1$. É calculado a partir do $\mu a\text{-priori}$ e do carregamento do operador.

A seguir faz-se um detalhamento de como serão obtidas as variáveis (μ -priori e μ -posteriori) do modelo estocástico proposto.

3.2.1 - OBTENÇÃO DO TEMPO PREVISTO A PRIORI

Antes que uma dada tarefa $k+1$ surja no monitor, realiza-se uma previsão do tempo que o operador irá dispende na sua execução. Este tempo previsto, denominado μ -priori($k+1$) é calculado sem considerar-se a existência de sobrecarga, ou seja, quando o operador terminar de executar a tarefa k e surgir a tarefa $k+1$ ele irá executá-la num tempo previsto igual a μ -priori.

O tempo previsto para execução de uma tarefa é calculado a partir do tempo real de execução das últimas tarefas já executadas pelo operador. Para o cálculo do tempo real, parte-se da hipótese de que o tempo necessário para executar as tarefas é uma variável aleatória com uma distribuição Gaussiana de média μ_0 e uma pequena variância σ^2 . A variância é pequena porque as tarefas não são muito distintas, sendo que a maior variação que pode ocorrer é devida à experiência que o operador vai adquirindo (tempo de execução decresce) ou ao seu cansaço (tempo de execução cresce).

A partir desta idéia propõe-se o seguinte algoritmo para cálculo do μ -priori:

- i) Quando chega uma tarefa $k+1$ verifica-se se o operador já terminou de executar a tarefa k .
- ii) Se a tarefa k já foi executada, calcula-se a porcentagem de erro entre o tempo previsto a-posteriori de k (este cálculo será descrito na próxima seção 3.3.3) e o tempo real de execução de k .
 - a) Se a porcentagem de erro for maior do que um valor aceitável, o μ -priori da tarefa $k+2$ será igual ao tempo real de execução da tarefa k . O valor aceitável para o erro foi de 10%, sendo que outros valores também foram utilizados.
 - b) Se a porcentagem de erro for menor do que o valor

utilizado em a), analisa-se se o erro entre o tempo real e o tempo previsto das tarefas anteriormente executadas é decrescente, crescente ou oscilante.

- b1) Se o erro é decrescente devido à experiência que o operador vai adquirindo, o μ a-priori(k+2) será igual ao tempo real de execução da tarefa k menos a média dos erros das três últimas tarefas executadas.
 - b2) Se o erro é crescente (tempo de execução das tarefas é crescente devido a cansaço do operador), o μ a-priori(k+2) será igual ao tempo real de execução da tarefa k mais a média dos erros das três últimas tarefas executadas.
 - b3) Se o erro é oscilante, (operador executando as tarefas em torno de um certo valor), o μ a-priori da tarefa k+2 será igual ao tempo real de execução da tarefa k.
- iii) Se o operador ainda não terminou de executar a tarefa k, analisa-se se o erro é decrescente ou oscilante.
- a) Se o erro é decrescente, o μ a-priori(k+2) será igual ao μ a-posteriori(k), (calculado conforme descrito na seção 3.2.2), menos a média dos erros das três últimas tarefas executadas.
 - b) Se o erro é oscilante, o μ a-priori(k+2) será igual ao μ a-posteriori(k).

3.2.2 - OBTENÇÃO DO TEMPO PREVISTO A-POSTERIORI

Viu-se no item anterior que, antes que uma dada tarefa k+1 apareça no monitor, realiza-se uma previsão do tempo que o operador irá dispender na sua execução.

Quando chega a tarefa k+1, analisa-se a sobrecarga do operador e recalcula-se o tempo previsto para execução da tarefa k+1. Esta nova previsão é o μ a-posteriori(k+1) e é calculada a partir do tempo previsto a-priori(k+1) e do carregamento do operador.

O carregamento do operador é analisado através do

intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas $k+1$ e k (Δt). Se Δt é menor do que o tempo previsto anteriormente (μ a-priori), há um acúmulo de tarefas - operador sobrecarregado - ocasionando um aumento na probabilidade de erro. Existindo erro, o operador terá que executar novamente a tarefa, e consequentemente o tempo previsto para execução da tarefa (μ a-posteriori) será maior do que a previsão anterior (μ a-priori), a qual foi utilizada para o caso da não existência de carregamento.

Se Δt é maior do que μ a-priori - operador ocioso - o tempo previsto μ a-posteriori será menor do que μ a-priori.

Se Δt cresce muito e fica muito maior do que μ a-priori - operador muito ocioso - a probabilidade de erro aumenta e o tempo previsto aumenta.

A partir desta idéia, propõe-se o seguinte algoritmo para cálculo de μ a-posteriori($k+1$):

- i) Quando o intervalo do tempo entre as chegadas das tarefas $k+1$ e k (Δt) é igual a μ a-priori($k+1$), significa que a chegada de uma nova tarefa $k+1$ coincide com o fim da tarefa k , então μ a-posteriori($k+1$) será igual a μ a-priori($k+1$).
- ii) Se o intervalo de tempo (Δt) diminui, o tempo de execução aumenta devido ao aumento da probabilidade de erro com o aumento da sobrecarga do operador.
- iii) Quando o intervalo de tempo (Δt) aumenta, o tempo de execução diminui até um mínimo. Se este intervalo de tempo fica muito grande, é observado um aumento (até t_{max}) no tempo de execução, como uma consequência da ociosidade do operador.

Para estas relações de μ a-posteriori em função de μ a-priori e Δt propõem-se dois tipos de funções: uma função linear por partes e uma função parabólica.

3.2.2.1 - FUNÇÃO LINEAR POR PARTES

Supõe-se inicialmente que a relação de μ a-posteriori

$\mu(k+1)$ em função de μ a-priori(k+1) e Δt , conforme o algoritmo proposto, é linear por partes, podendo-se representá-la graficamente da seguinte forma (figura 3.2) :

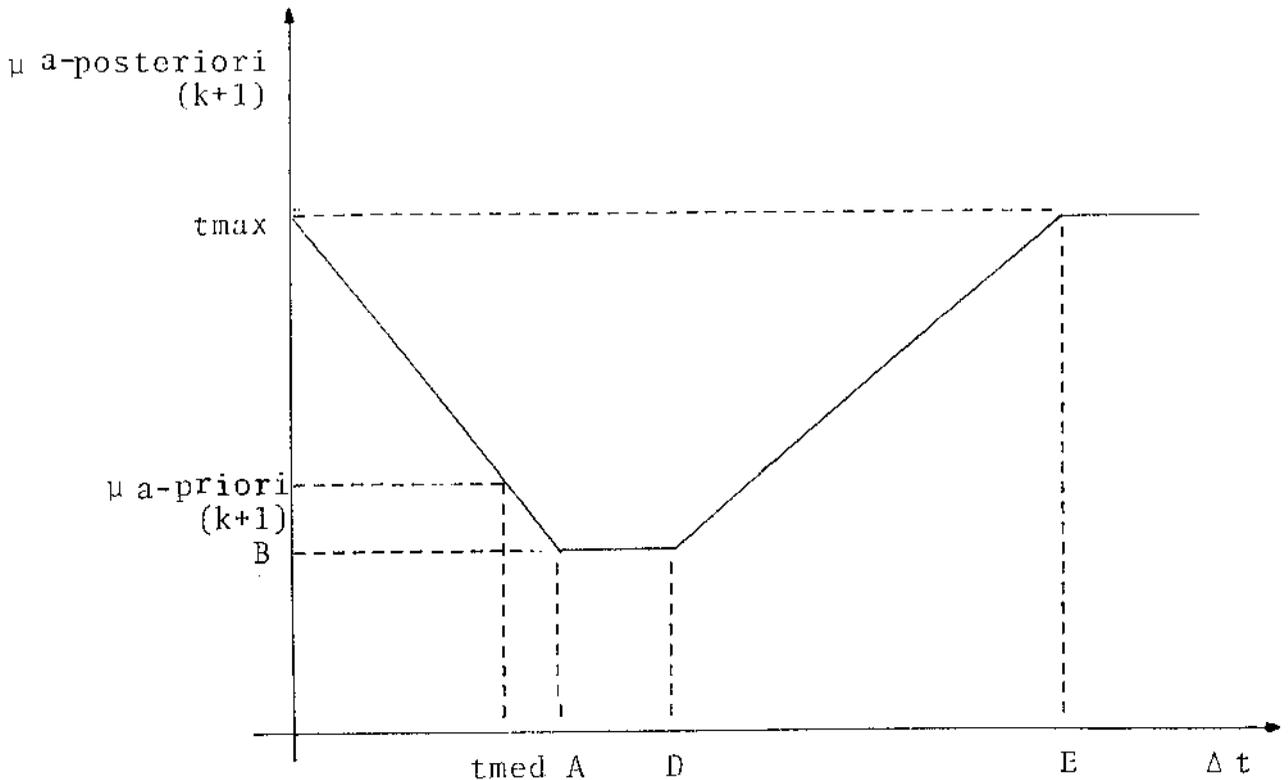


Figura 3.2 - Função linear por partes de μ a-posteriori em relação a Δt .

onde:

t_{max} é o valor de μ a-posteriori(k+1) quando $\Delta t = 0$, ou seja, duas tarefas chegam num mesmo instante e por isso o operador fica sobrecarregado, aumentando o tempo de execução para t_{max} , que é o tempo máximo de execução das tarefas, e foi calculado no capítulo 2 para os três tipos de operadores.

t_{med} é o intervalo médio de tempo de chegada entre as tarefas k+1 e k (Δt médio). Propõe-se que este valor seja igual ao tempo médio de execução das tarefas (calculado no capítulo anterior para cada tipo de operador) para facilitar o estudo do comportamento do homem, pois assim, não haverá acúmulo nem escassez de tarefas.

A é o valor de Δt onde μ_a -posteriori é mínimo. No intervalo de $\Delta t = 0$ a $\Delta t = A$ o tempo previsto para execução das tarefas decresce de t_{max} a B porque o intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas diminui. Um valor proposto para A é 15% a mais sobre t_{med} .

D é o valor de Δt onde μ_a -posteriori é mínimo e acima do qual o operador fica ocioso, aumentando o tempo de execução. O operador atinge o tempo mínimo de execução em $\Delta t = A$ e permanece executando as tarefas num tempo mínimo até $\Delta t = D$. Propõe-se um valor para D até 20% a mais sobre t_{med} .

E é o valor de Δt onde μ_a -posteriori atinge o valor máximo devido à grande ociosidade do operador. Atribui-se o valor de 50% a mais sobre t_{med} .

B é o valor de μ_a -posteriori(k+1) para Δt maior do que A e menor que D.

μ_a -priori(k+1) é o valor de μ_a -priori(k+1) calculado conforme descrito na seção anterior.

Na figura 3.2 pode-se observar que:

- i) Para $\Delta t = 0$, ou seja, chegam mais do que uma tarefa simultaneamente, o tempo previsto para execução é máximo porque o operador ficando sobrecarregado, aumenta a probabilidade de erro.
- ii) Para $\Delta t = \mu_a$ -priori, o que significa que o operador termina de executar uma tarefa quando chega outra, o μ_a -posteriori é igual ao μ_a -priori.
O tempo previsto para execução das tarefas diminui de t_{max} até t_{min} de $\Delta t = 0$ a $\Delta t = A$ (figura 3.2) porque com Δt maior o operador fica menos sobrecarregado.
- iii) Quando o operador atinge um tempo mínimo de execução ($\Delta t = A$), ele permanece executando as tarefas num tempo mínimo com um aumento de Δt , na figura 3.2 considera-se de A a D.
- iv) Se Δt aumenta muito (maior do que D), o operador fica muito ocioso aumentando novamente a probabilidade de erro devido à distração. Consequentemente, o tempo de execução aumenta porque o operador errando tem que executar novamente a tarefa. O tempo de execução aumenta até t_{max} (

$\Delta t = E$), onde permanece com o aumento de Δt , ou seja, para Δt maior do que E .

3.2.2.2 - FUNÇÃO PARABÓLICA

Sendo a relação de μ_a -posteriori(k+1) em função de μ_a -priori(k+1) e Δt , conforme o algoritmo proposto, parabólica, pode-se representá-la graficamente da seguinte forma (figura 3.3) :

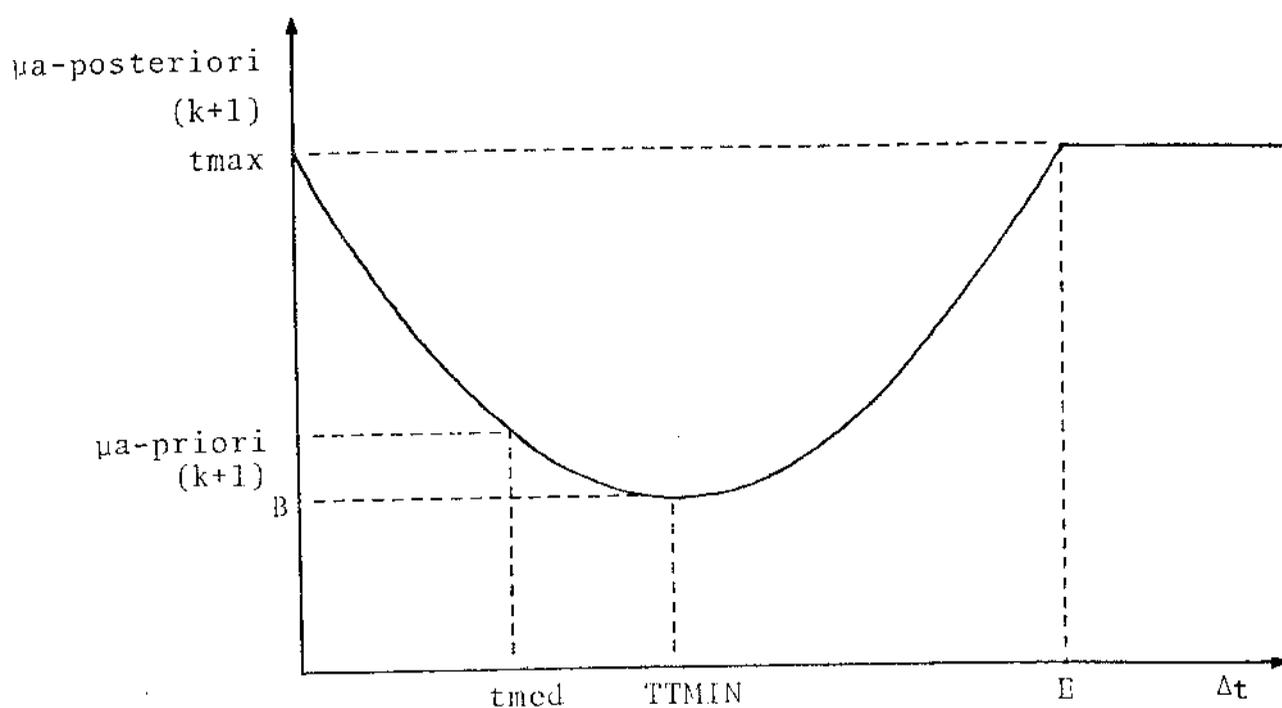


Figura 3,3 - Função parabólica de μ_a -posteriori em função de Δt ,

onde:

t_{max} , t_{med} , B e E são os mesmos valores especificados para uma função linear por partes (seção 3.2.2.1)
 t_{min} é o valor de Δt para o qual μ_a -posteriori(k+1) é mínimo

A análise de qual função (parabólica ou linear por partes) representa de melhor forma o carregamento do homem, será realizada na seção 3.3.3 através dos resultados obtidos na simulação do modelo para ambos os casos.

A seguir descreve-se como foram realizadas as simulações do modelo e a análise dos resultados obtidos.

3.3 - SIMULAÇÃO DO MODELO

O modelo estocástico proposto, foi simulado para os três tipos de operadores a fim de se realizar uma análise do comportamento do homem através dos resultados obtidos.

Para uma melhor compreensão, antes da simulação geral do modelo, descreve-se isoladamente como foi realizada a inicialização e a simulação de cada função do modelo (μ -priori e μ -posteriori).

As simulações de μ -priori e μ -posteriori são realizadas a partir do que foi descrito na seção anterior.

Viu-se que para o cálculo do μ -priori é necessário o histórico dos tempos reais de execução para se poder avaliar o comportamento do operador. Estes tempos são calculados através de simulações realizadas considerando-se variações que podem ocorrer nos tempos de execução devidas a fatores externos e internos do operador, como por exemplo, o decréscimo no tempo de execução devido à experiência adquirida.

Para cálculo do μ -posteriori foram propostas duas funções - uma linear por partes e uma parabólica - que são simuladas isoladamente. A partir dos resultados obtidos, analisa-se qual função representa de melhor forma o carregamento do homem.

Após a descrição destas simulações, expõe-se a simulação geral do modelo.

3.3.1 - INICIALIZAÇÃO

Para inicialização da simulação do modelo estocástico fazem-se as seguintes suposições:

- i) A primeira tarefa chega num tempo igual a zero.
- ii) A primeira tarefa é executada pelo operador.
- iii) O operador inicia a execução das tarefas em $t = 0$, ou seja, logo que chega a primeira tarefa.
- iv) O tempo previsto inicial para execução das tarefas é igual ao tempo de execução obtido a partir do modelo isomórfico.
- v) O tempo real de execução da primeira tarefa é igual ao tempo previsto inicial mencionado em iv).

Estas condições estão indicadas na inicialização do programa de simulação do modelo, apresentado no anexo B:

TCT(1) = 0
JT(1) = 1
TREAL(1) = 0
TPR(1) = TMAX
TPR(2) = TMAX
TPS(1) = TMAX

onde:

TCT(1) é o tempo de chegada da primeira tarefa.

JT(i) é igual a 1 quando a tarefa é executada pelo operador.

TREAL(1) é o tempo de início de execução da primeira tarefa.

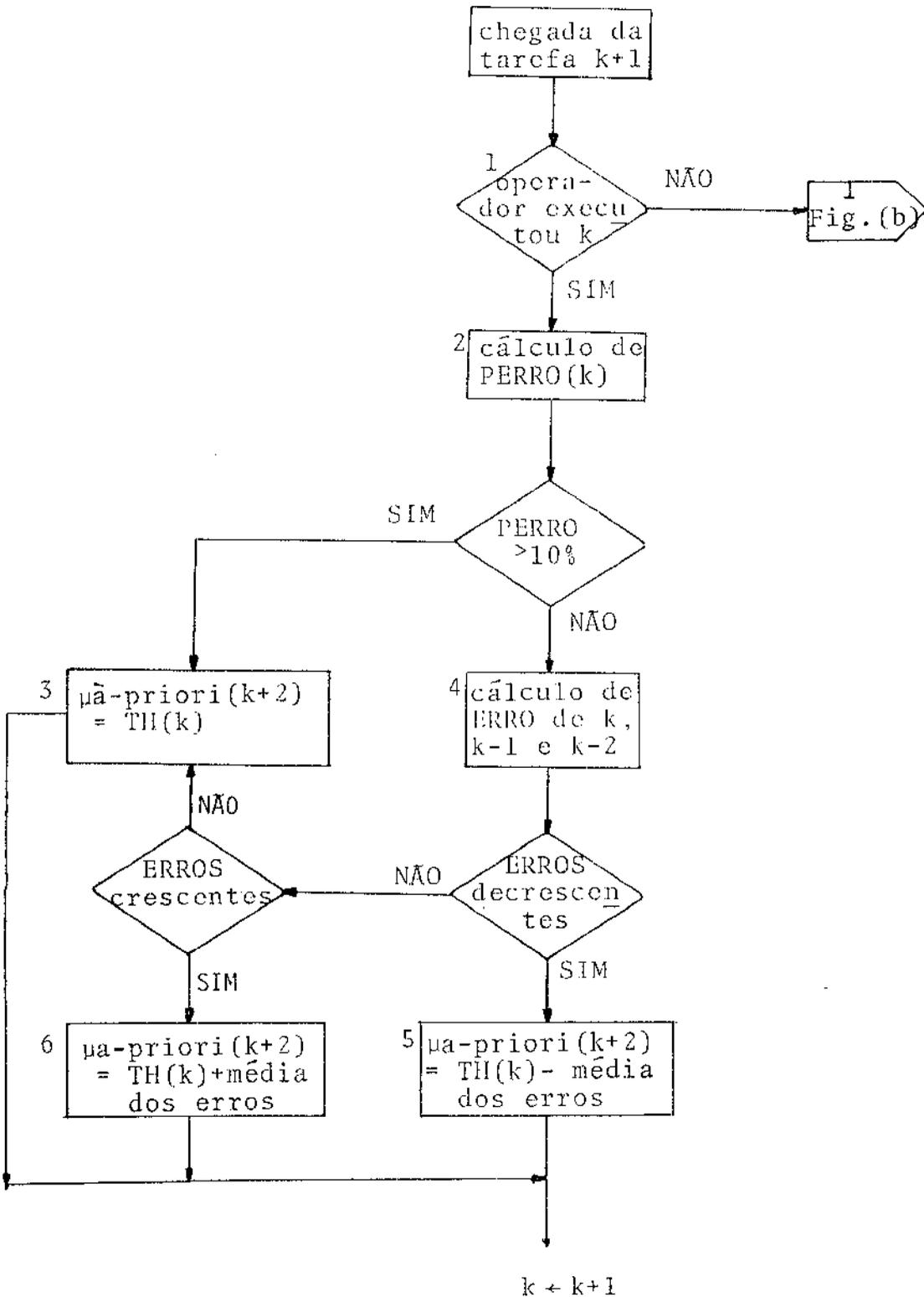
TPR(1) e TPR(2) são os tempos previstos a-priori para a primeira e segunda tarefas. Estes tempos serão iguais a tmax (tempo máximo de execução calculado no capítulo 2), se o operador inicialmente não possuir experiência, ou poderá ser qualquer outro valor (entre tmax e tmin) se o operador inicialmente já possuir uma certa experiência.

TPS(1) é o tempo previsto a-posteriori para a primeira tarefa e possui o mesmo valor que TPR(1) e TPR(2).

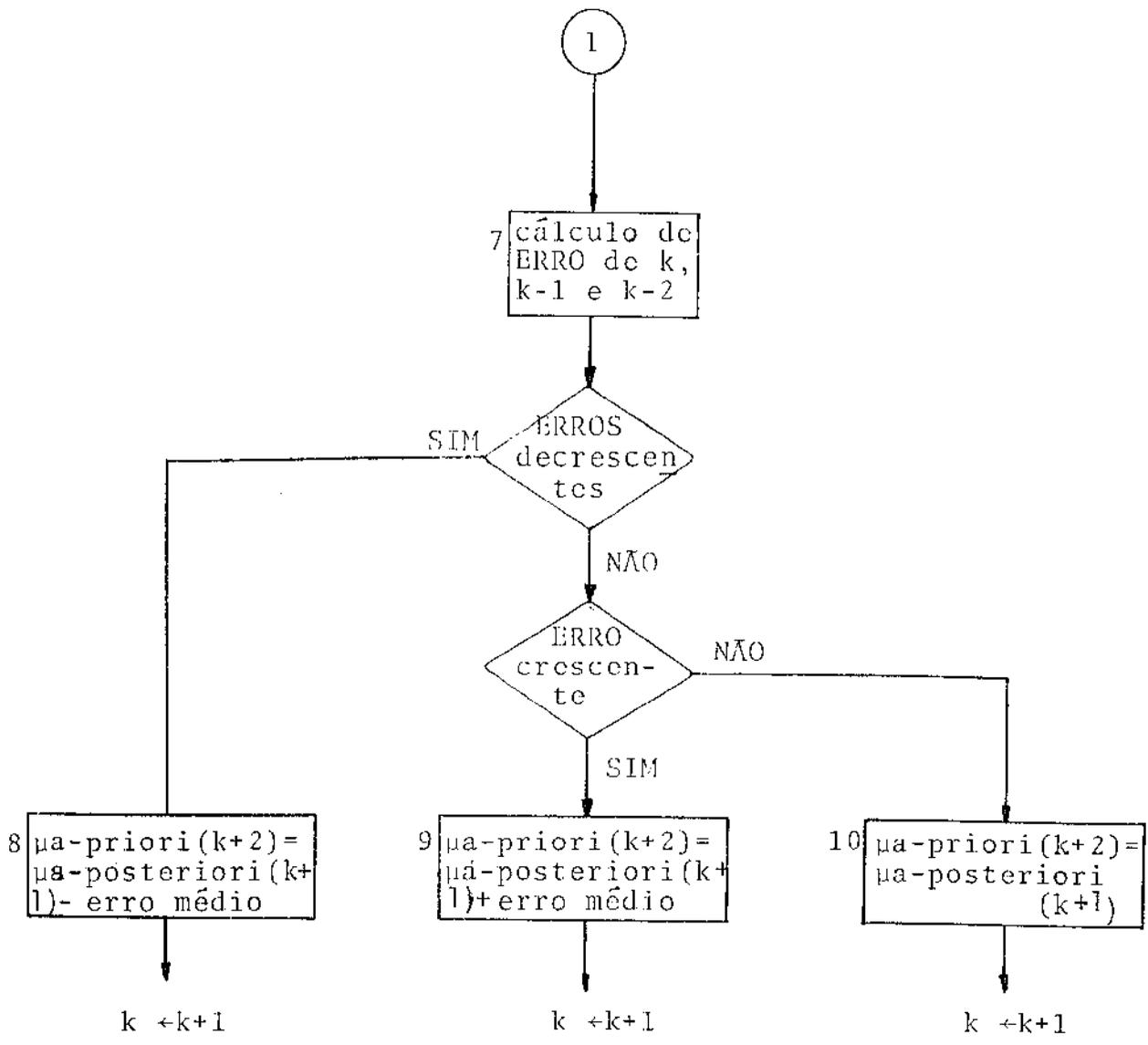
TH(1) é o tempo real de execução da primeira tarefa e possui o mesmo valor que os tempos previstos inicialmente.

3.3.2 - SIMULAÇÃO DE μ A-PRIORI

A simulação do μ a-priori é realizada a partir do algoritmo descrito em 3.2.1, o qual pode ser representado pelo diagrama de blocos da figura 3.4.



(a)



(b)

Figura 3.4 - Diagrama de blocos do algoritmo de cálculo de μ a-priori.

- (a) - Operador já terminou de executar a tarefa k quando chega k+1.
- (b) - Operador não terminou de executar a tarefa k quando chega k+1.

i) Função do bloco 1

Quando chega a tarefa k+1 verifica-se se o operador já terminou de executar a tarefa k, comparando-se o tempo de chegada da tarefa k+1 (TCT(k+1)) com o tempo de término de execução da tarefa k (TTE(k)), isto é, utiliza-se a inequação 3.1.

$$TCT(k+1) > TTE(k). \quad (3.1)$$

Se a inequação é verdadeira, o operador já terminou de executar a tarefa k.

O tempo de término de execução da tarefa k (TTE(k)) é calculado a partir da equação 3.2.

$$TTE(k) = TREAL(k) + TH(k), \quad (3.2)$$

onde:

TREAL(k) é o tempo de início de execução da tarefa k,
TH(k) é o tempo real de execução da tarefa k.

Simula-se uma variação no tempo de execução de tarefas através de uma equação a diferenças de primeira ordem, como descrito na equação 3.3.

$$TH(k+1) = F \cdot TH(k) + w(k), \quad (3.3)$$

onde:

F é uma constante,
w é a saída de uma subrotina de números aleatórios com média zero e variância σ_w^2 .

Multiplicando-se uma constante F por TH(k) obtém-se um decréscimo exponencial para TH(k+1) e w fornece uma oscilação em torno da exponencial.

Quando o tempo de execução é suposto oscilante, utiliza-se para modelá-lo a equação 3.4.

$$TII(k+1) = A + w(k), \quad (3.4)$$

onde:

A é um valor constante.

Como exposto na inicialização, o operador inicia a execução da primeira tarefa em $t = 0$. O tempo de início de execução da tarefa k ($TREAL(K)$), mencionado na equação (3.2) é calculado a partir da equação (3.5).

$$TREAL(k) = \text{Máximo} (TTE(k-1), TCT(k)), \quad (3.5)$$

onde:

$TTE(k-1)$ é o tempo de término de execução da tarefa anterior $k-1$,

$TCT(k)$ é o tempo de chegada da tarefa k .

O tempo de chegada da primeira tarefa é igual a zero, como exposto na inicialização, e o tempo de chegada das demais tarefas é calculado a partir da equação (3.6).

$$TCT(k+1) = TCT(k) + TT(k+1), \quad (3.6)$$

onde $TT(k+1)$ é o intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas $k+1$ e k .

Para cada tipo de operador, utilizaram-se os valores dos tempos médios de execução das tarefas, calculados no capítulo anterior, como média de chegada das tarefas.

Para simplificação da observação do comportamento do homem, atribui-se um pequeno valor ($\approx 1,5$) ao desvio padrão de $TT(k+1)$, porque se este valor for grande, dificulta a previsão do tempo de execução, que, como foi mostrado na seção 3.3.3, depende do intervalo de tempo entre tarefas.

Como as tarefas chegam aleatoriamente, o $TT(k+1)$ é simulado por uma subrotina que gera números aleatórios com média igual ao tempo médio de execução e desvio padrão σ_{tt}^2 .

ii) Função do bloco 2

Se a tarefa k já foi executada (inequação 3.1 é verdadeira), calcula-se a porcentagem de erro entre o tempo previsto a-posteriori de k e o tempo real de execução de k .

O tempo previsto a-posteriori é simulado conforme descrito no próximo item do capítulo e o tempo real de execução de k é calculado a partir da equação (3.3).

O tempo previsto a-priori é calculado a partir dos tempos reais das tarefas anteriormente executadas. Este cálculo é influenciado pela porcentagem de erro (PERRO) entre μ a-posteriori e TH, conforme descrito a seguir.

iii) Função do bloco 3

Se a porcentagem de erro é maior do que 10% (valor proposto ii)-b) de 3.2.1), é porque houve a ocorrência de algum distúrbio no operador ou a influência de fatores externos. Consequentemente, propõe-se que o μ a-priori da tarefa $k+2$ seja igual ao TH(k).

iv) Função do bloco 4

Se a porcentagem de erro for menor do que 10%, verifica-se se o erro entre o tempo real e o tempo previsto das três últimas tarefas já executadas é decrescente ou oscilante.

O erro é decrescente se os tempos de execução das tarefas anteriores está decrescendo (operador adquirindo experiência).

O erro é oscilante se os tempos de execução das tarefas estão oscilando em torno de um determinado valor.

Além de decrescente e oscilante o erro pode ser crescente se o operador está cansado, mas, para este caso, não foram realizadas simulações.

v) Função do bloco 5

Se o erro é decrescente propõe-se que o μ a-priori(k+2) seja dado pela equação (3.7).

$$\mu\text{-priori}(k+2) = TH(k) - \left(\frac{ERRO(k) + ERRO(k-1) + ERRO(k-2)}{3} \right), \quad (3.7)$$

onde:

$\frac{ERRO(k) + ERRO(k-1) + ERRO(k-2)}{3}$ é a média dos erros

entre o tempo previsto (μ a-posteriori) e o tempo real das três últimas tarefas já executadas.

Subtrai-se o erro ao tempo real porque este tempo está decrescendo devido à experiência que o operador vai adquirindo.

vi) Função do bloco 6

Se o erro é crescente, o μ a-priori(k+2) é dado pela equação (3.8).

$$\mu\text{-priori}(k+2) = TH(k) + \left(\frac{ERRO(k) + ERRO(k-1) + ERRO(k-2)}{3} \right). \quad (3.8)$$

Se o erro é oscilante o μ a-priori(k+2) é igual a TH(k) da mesma forma que para o caso da porcentagem de erro ser maior que 10%, conforme descrito em iii).

vii) Função do bloco 7

Se o operador ainda não terminou de executar a tarefa k, ou seja, se a inequação (3.1) não é verdadeira, calcula-se o erro entre o tempo real e o tempo previsto (μ a-posteriori) das três últimas tarefas já executadas e verifica-se se estes erros são decrescentes, oscilantes ou crescentes.

viii) Função do bloco 8

Se o erro $\bar{\epsilon}$ decrescente, o μ a-priori(k+2) é dado pela equação (3.9).

$$\mu \text{ a-priori}(k+2) = \mu \text{ a-posteriori}(k+1) - \left(\frac{\text{ERRO}(k-1) + \text{ERRO}(k-2) + \text{ERRO}(k-3)}{3} \right). \quad (3.9)$$

Subtrai-se a média dos erros das três últimas tarefas já executadas porque o tempo de execução está decrescendo.

ix) Função do bloco 9

Se o erro $\bar{\epsilon}$ crescente, o μ a-priori(k+2) é dado pela equação (3.10).

$$\mu \text{ a-priori}(k+2) = \mu \text{ a-posteriori}(k+1) + \frac{\text{ERRO}(k-1) + \text{ERRO}(k-2) + \text{ERRO}(k-3)}{3}. \quad (3.10)$$

Soma-se a média dos erros porque o tempo de execução das tarefas está crescendo.

x) Função do bloco 10

Se o erro $\bar{\epsilon}$ oscilante, o μ a-priori(k+2) é dado pela equação (3.11).

$$\mu \text{ a-priori}(k+2) = \mu \text{ a-posteriori}(k+1) \quad (3.11)$$

3.3.3 - SIMULAÇÃO DE μ A-POSTERIORI

A simulação do tempo previsto a-posteriori é realizada a partir do algoritmo descrito em 3.2.2, o qual está representado graficamente na figura 3.2 para uma função linear por partes e na figura 3.3 para uma função parabólica.

3.3.2.1 - FUNÇÃO LINEAR POR PARTES

Para simulação de μ a-posteriori, quando este varia li

nearmente em função do intervalo de tempo de chegada entre as tarefas, determinam-se as equações das retas da figura 3.2.

Redesenhando a figura 3.2 com mais detalhes para uma melhor compreensão dos cálculos que serão descritos, tem-se a figura 3.5.

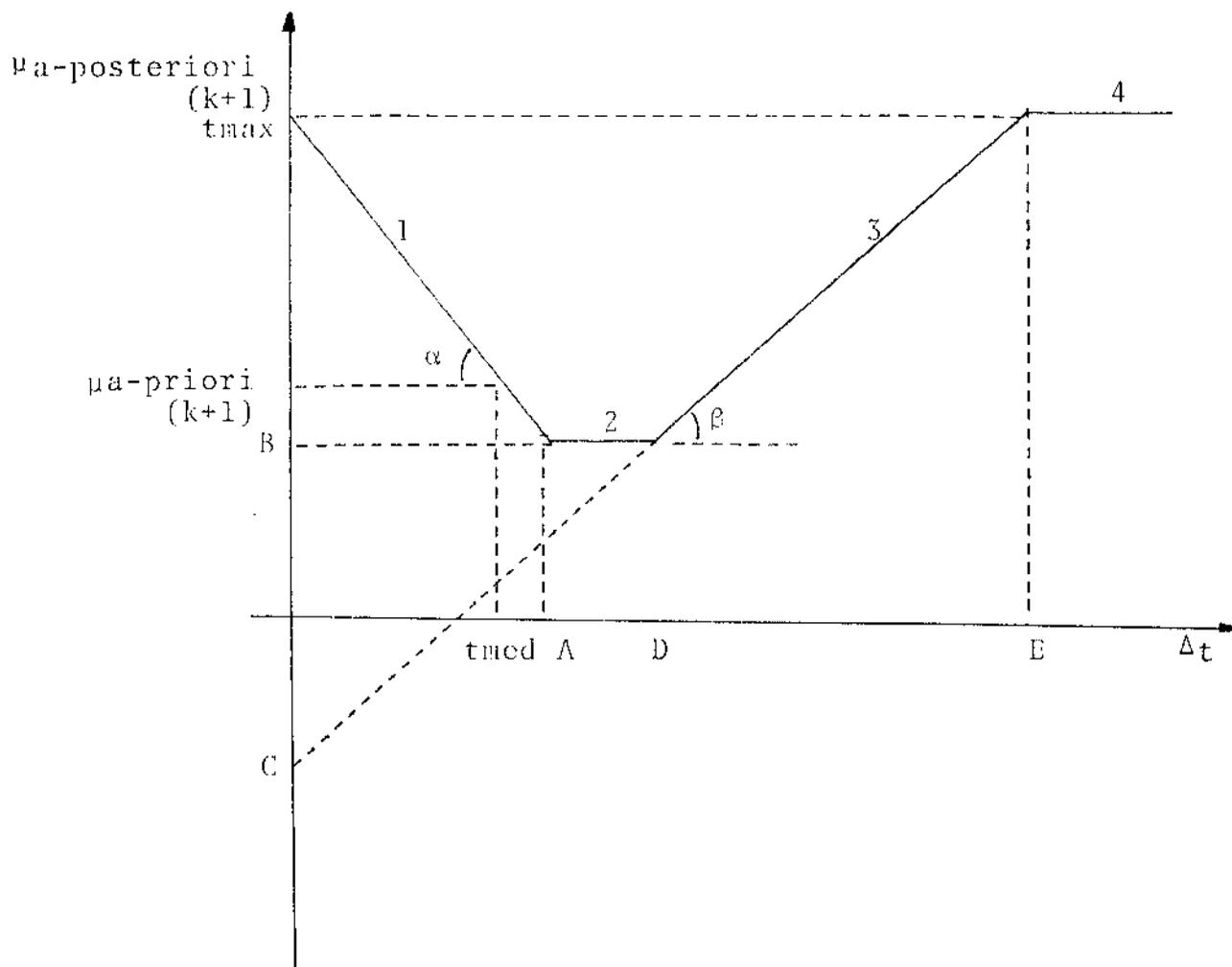


Figura 3.5 - Função linear por partes de $\mu_{a\text{-posteriori}}$

onde:

t_{\max} , t_{med} , A, B, D, E e $\mu_{a\text{-priori}}(k+1)$ são os valores descritos em 3.2.2.1 para a figura 3.2,

C é o ponto onde a reta 3 intercepta o eixo das ordenadas,
 α é o ângulo de inclinação da reta 1,
 β é o ângulo de inclinação da reta 3.

A equação da reta 1 é dada por

$$\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1) = -\text{tg } \alpha \cdot TT + t_{\text{max}}, \quad (3.12)$$

onde:

$$\text{tg } \alpha = \frac{t_{\text{max}} - \mu_{a\text{-priori}}(k+1)}{t_{\text{med}}}$$

A equação da reta 2 é dada por

$$\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1) = B, \quad (3.13)$$

onde

$$B = -\text{tg } \alpha \cdot A + t_{\text{max}}.$$

A equação da reta 3 é dada por

$$\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1) = \text{tg } \beta \cdot TT - C, \quad (3.14)$$

onde

$$\text{tg } \beta = \frac{t_{\text{max}} - B}{E - D}$$

A equação da reta 4 é dada por

$$\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1) = t_{\text{max}}. \quad (3.15)$$

Quando chega a tarefa $k+1$, tem-se o valor do intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas $k+1$ e k ($TT(k+1)$). Verifica-se em qual intervalo da figura se encontra o valor de $TT(k+1)$ e, através da equação da reta correspondente, determina-se o valor de $\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1)$.

3.3.2.2 - FUNÇÃO PARABÓLICA

Sendo a relação de $\mu_{a\text{-posteriori}}(k+1)$ em função do in

intervalo de tempo de chegada entre as tarefas, parabólica, determina-se a equação da curva da figura 3.3.

Se a curva for simétrica em relação a TTMIN, (ponto de mínimo) a equação da curva será dada pela equação (3.16).

$$\mu\text{-posteriori}(k+1) = uTT^2 + vTT + c. \quad (3.16)$$

Determinando o valor da equação (3.16) nos pontos (0, tmax), (tmed, $\mu\text{-priori}$) e (E, tmax) obtêm-se os valores de c, u e v que são dados pelas equações (3.17), (3.18) e (3.19), respectivamente.

$$c = tmax, \quad (3.17)$$

$$u = \frac{tmax - \mu\text{apriori}(k+1)}{E \cdot tmed - tmed^2}, \quad (3.18)$$

$$v = \frac{E \cdot \mu\text{apriori}(k+1) - E \cdot tmax}{E \cdot tmed - tmed^2}. \quad (3.19)$$

Os valores das variáveis destas equações são obtidos conforme descrito anteriormente, podendo-se determinar os valores de c, u e v.

Quando chega a tarefa k+1 obtém-se o valor do intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas k+1 e k (TT(k+1)), e com este valor calcula-se o $\mu\text{-posteriori}(k+1)$ através da equação (3.16).

A seguir, descreve-se como é realizada a simulação geral do modelo e a análise dos resultados obtidos.

3.3.4 - SIMULAÇÃO GERAL

A simulação do modelo estocástico do operador mostrado

na figura 3.1 foi realizada para os três tipos de operadores a fim de se obterem os tempos de resposta do operador, e, a partir da análise dos tempos obtidos, proporem-se critérios de decisão na distribuição de tarefas pelo operador.

Como foi visto na inicialização, os tempos previstos iniciais para execução das tarefas são iguais aos tempos obtidos no capítulo anterior. Os tempos previstos a-priori e a-posteriori são simulados conforme descrito nas seções 3.3.1 e 3.3.2.

Para simulação do μ a-priori, são necessários os tempos reais de execução das tarefas. Na simulação destes tempos reais, consideram-se três possíveis variações que são:

i) Se o operador não possui experiência, ele inicia a execução das tarefas num tempo máximo e este tempo decresce até t_{min} à medida que o operador vai adquirindo experiência.

Os valores de t_{max} e t_{min} foram obtidos no capítulo anterior para cada tipo de operador.

ii) O operador inicia a execução num tempo máximo e este tempo vai decrescendo até um certo valor, onde, devido à ocorrência de algum fator externo, ou mesmo de algum distúrbio do operador, o tempo de execução sobe para t_{max} e novamente decresce até t_{min} .

iii) O operador inicia a execução das tarefas com um tempo máximo e este tempo vai decrescendo até uma determinada tarefa. A tarefa seguinte é executada pelo operador num tempo máximo, devido a algum fator imprevisto, e volta a executar as tarefas no tempo anterior, a partir do qual vai decrescendo até t_{min} .

Conforme pode-se verificar no programa de simulação (Anexo B), as variações i), ii) e iii) são simuladas a partir das subrotinas TH1, TH2 e TH3, respectivamente.

A simulação de μ a-priori(k+2) é realizada segundo a subrotina APR11 (anexo B) e a simulação de μ a-posteriori(k+1) é feita para uma função linear por partes das subrotinas PREV1 e PREV2, respectivamente.

Foram realizadas simulações para os três tipos de operadores, separadamente, considerando-se para cada operador as diversas variações. Usaram-se as seguintes combinações de subrotinas:

- APRI1, PREV1, TH1
- APRI1, PREV1, TH2
- APRI1, PREV1, TH3
- APRI1, PREV2, TH1
- APRI1, PREV2, TH2
- APRI1, PREV2, TH3.

Além das variações i), ii) e iii), (descritas acima) para o tempo real de execução das tarefas, que consideram a aprendizagem do operador, cada uma das simulações foi também realizada para o caso do operador já possuir experiência (depois do aprendizado).

Analisando-se os resultados obtidos nas simulações, onde o intervalo de tempo de chegada entre as tarefas é igual ao tempo médio de execução de um operador médio (calculado no capítulo 2), verifica-se que:

- 1.) Usando-se uma função linear por partes de μ -posteriori(k+1) (subrotina PREV1) e uma função exponencial de t_{max} até t_{min} para o tempo real (subrotina TH1), obtem-se, para um operador médio, o gráfico mostrado na figura 3.6, onde a linha tracejada representa o tempo real de execução e a linha cheia o tempo previsto a posteriori.

Observou-se que o operador adquiriu experiência até à vigésima quinta tarefa e a partir desta o tempo de execução ficou oscilando em torno de t_{min} .

Observou-se, também, um erro porcentual entre o tempo previsto e o tempo real menor do que 10% para as duas faixas (operador adquirindo experiência e após adquirir experiência). Isto deve-se ao fato de se supor que as tarefas chegam em torno de uma média (vinte e quatro que é o tempo médio de

execução de um operador médio) e um desvio padrão pequeno, o que torna o μ a-posteriori próximo a μ a-priori, como se pode verificar na figura 3.2. Também, o tempo previsto acompanha o tempo real, o que mostra ser a dequada a estratégia utilizada.

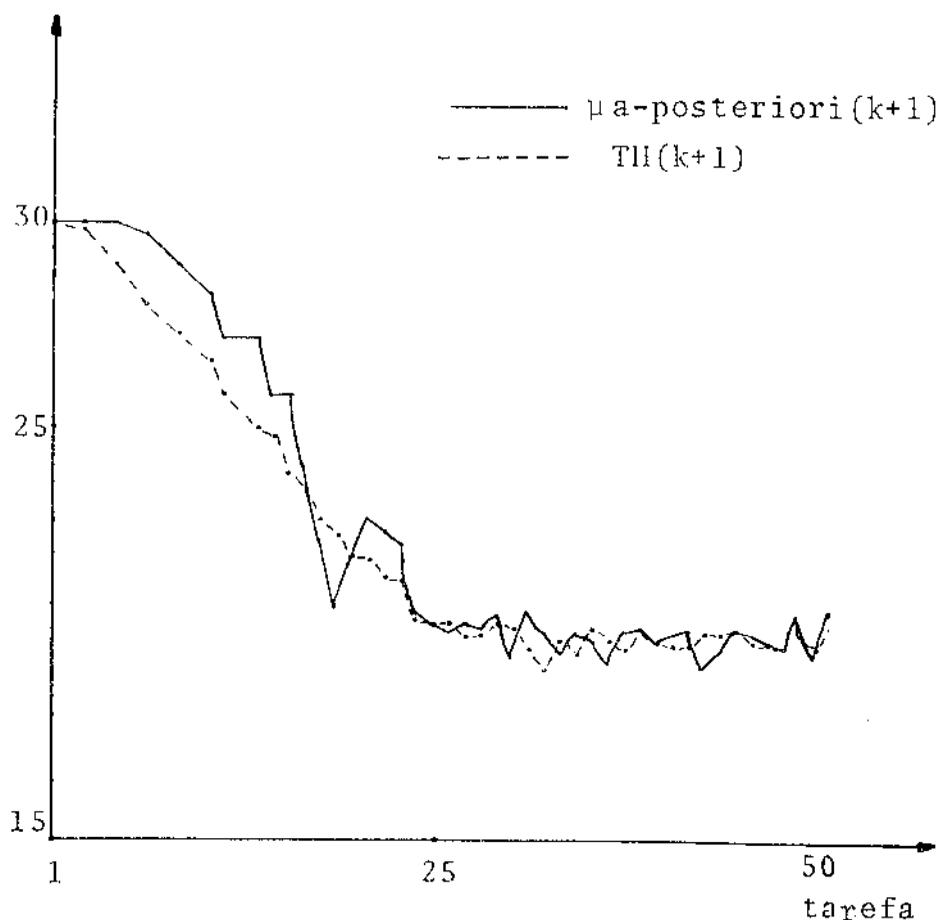


Figura 3.6 - Resultados obtidos das simulações do modelo do operador, usando-se as subrotinas APRI1, PREV1 e TH1 para um operador médio.

2) Usando-se uma função linear por partes de μ a-posteriori (subrotina PREV1) e uma função de TH conforme descrito em ii), (subrotina TH2), obtem-se, para um operador médio, o gráfico mostrado na figura 3.7, onde a li

na cheia representa o tempo real e a linha tracejada o tempo previsto a-posteriori.

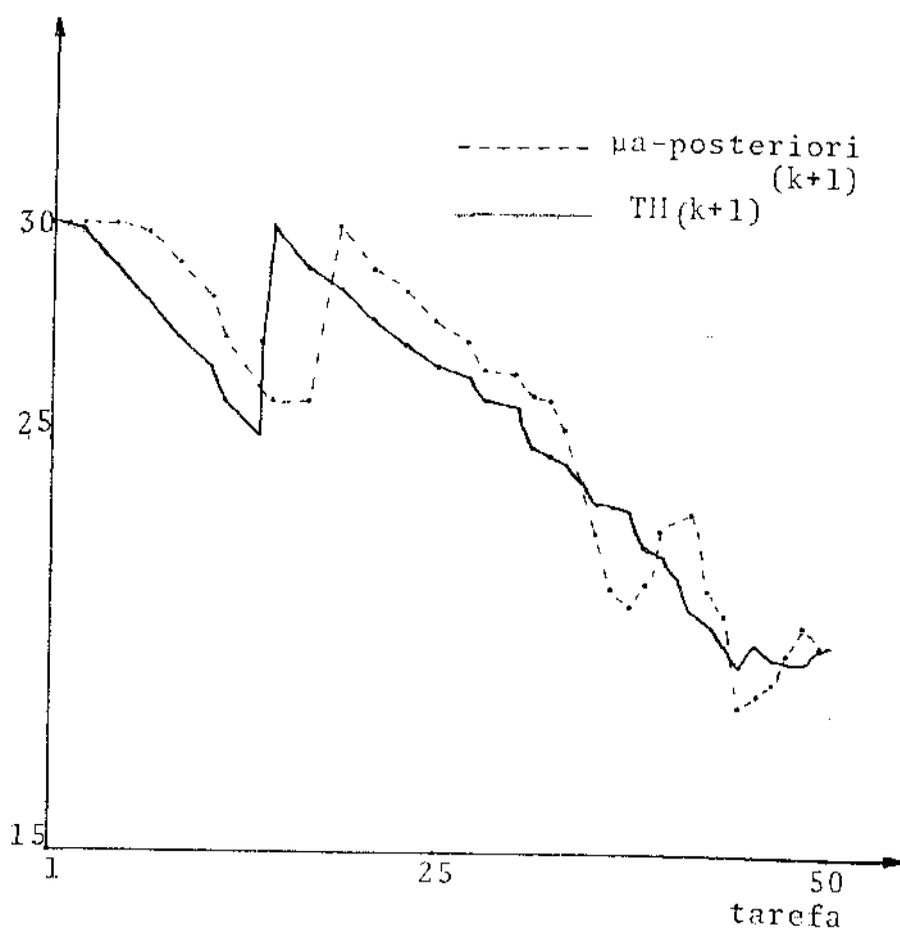


Figura 3.7 - Resultados obtidos das simulações do modelo estocástico, usando-se as subrotinas APR11, PREV1 e TH2 para um operador médio.

Neste caso, também se observou uma porcentagem de erro entre o tempo previsto e o tempo real menor do que 10%, com exceção da tarefa (décima quinta) em que o tempo real aumenta para t_{max} . O erro da décima quinta tarefa é grande porque o cálculo do tempo previsto é feito baseado no tempo real das tarefas já executadas, o qual estava decrescendo. Quando ocorrem vari-

ações aleatórias, tipo ruído branco, o algoritmo não consegue prevê-las pois estas variações não são correlatas com as saídas do processo.

- 3) Usando-se uma função linear de μ a-posteriori (subrotina PREV1) e uma função de TH conforme descrito em iii), (subrotina TH3), obtem-se, para um operador \bar{m} é dio, o gráfico mostrado na figura 3.8, onde a linha cheia representa o tempo real e a linha tracejada o tempo previsto a-posteriori.

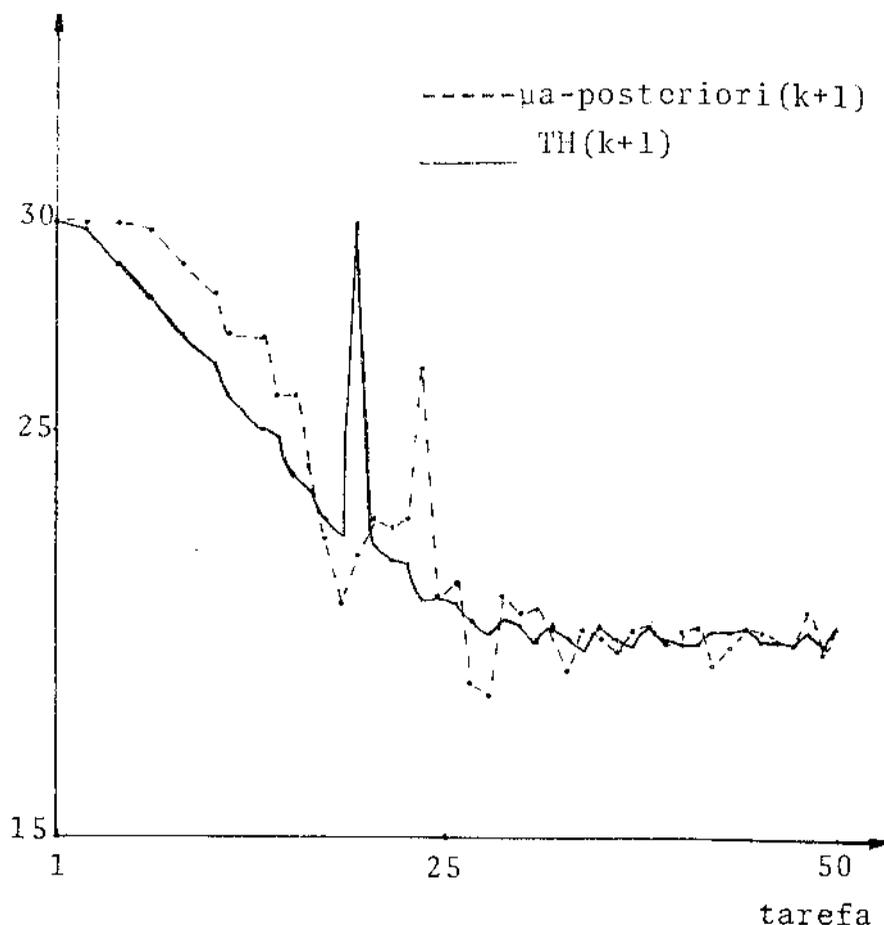


Figura 3.8- Resultados obtidos das simulações do modelo estocástico, usando-se as subrotinas APRI1, PREV1 e TH3 para um operador médio.

Observou-se, neste caso, uma porcentagem de erro entre o tempo previsto e o tempo real menor do que 10% com exceção da tarefa em que o tempo real aumenta para t_{max} (vigésima quinta). Nas duas tarefas que se seguem, a porcentagem de erro também é grande porque o operador volta a executar as tarefas no tempo que estava executando anteriormente, e o tempo previsto é calculado sobre o tempo real das tarefas anteriormente executadas. Isto não significa que a estratégia de cálculo do tempo previsto é inadequada pois, as porcentagens de erro elevadas são devidas ao imprevisto que ocorreu.

- 4) Usando-se uma função parabólica de μ -a-posteriori(k+1) (subrotina PREV2) e as variações de TH (subrotinas TH1, TH2 e TH3), obtém-se os mesmos resultados que para uma função linear por partes, como pode ser visto nas figuras 3.9, 3.10 e 3.11. Em algumas tarefas a porcentagem de erro entre o tempo previsto e o tempo real é maior, e em outras é menor, sendo que a diferença é mínima.

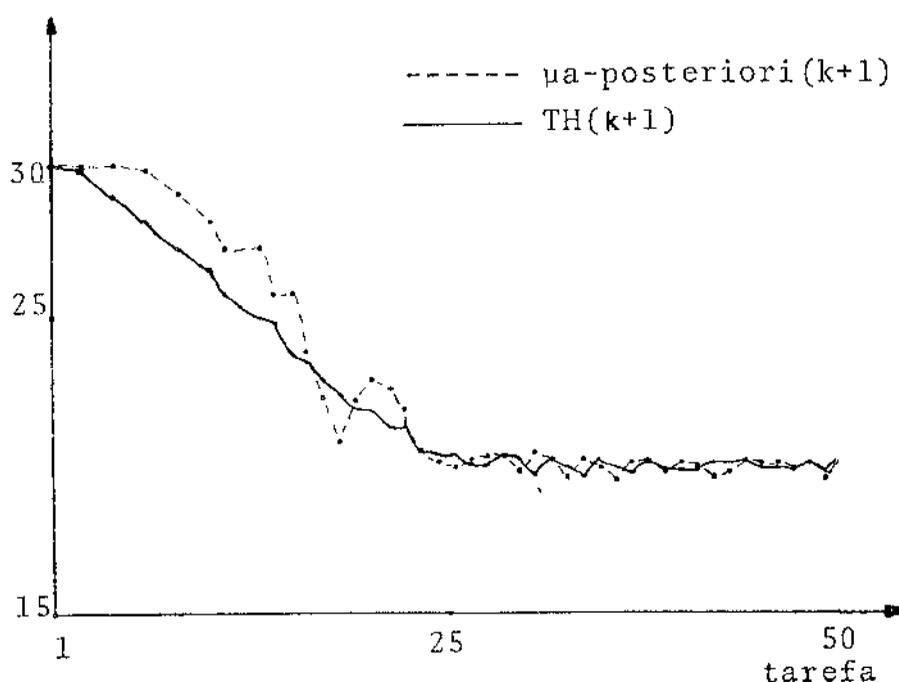


Figura 3.9 - Resultados obtidos usando-se as subrotinas APR11, PREV2 e TH1.

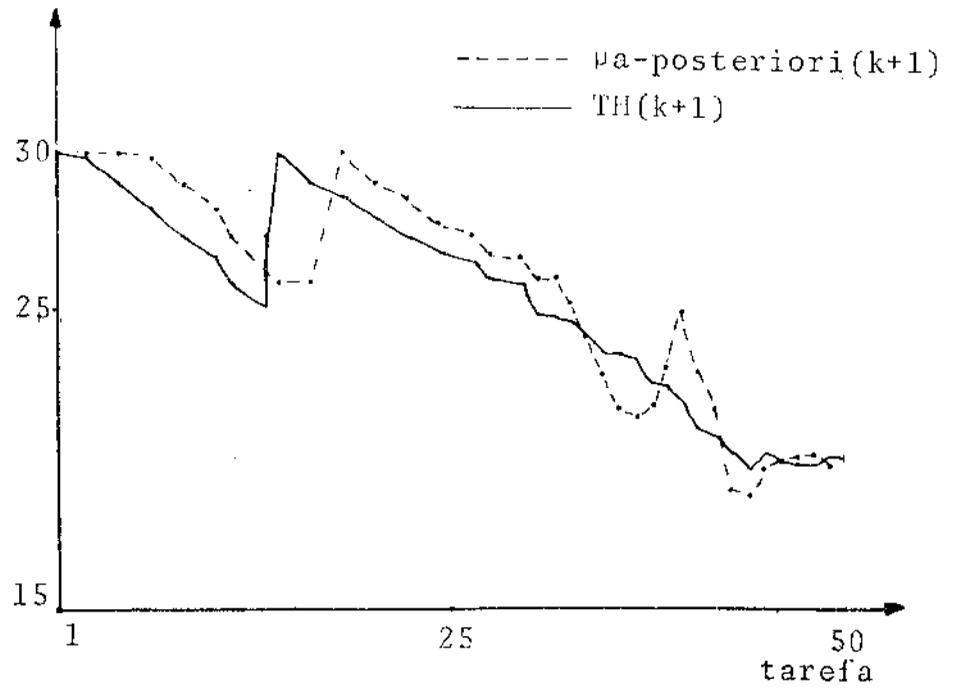


Figura 3.10 - Resultados obtidos usando-se as subrotinas APR11, PREV2 e TH2.

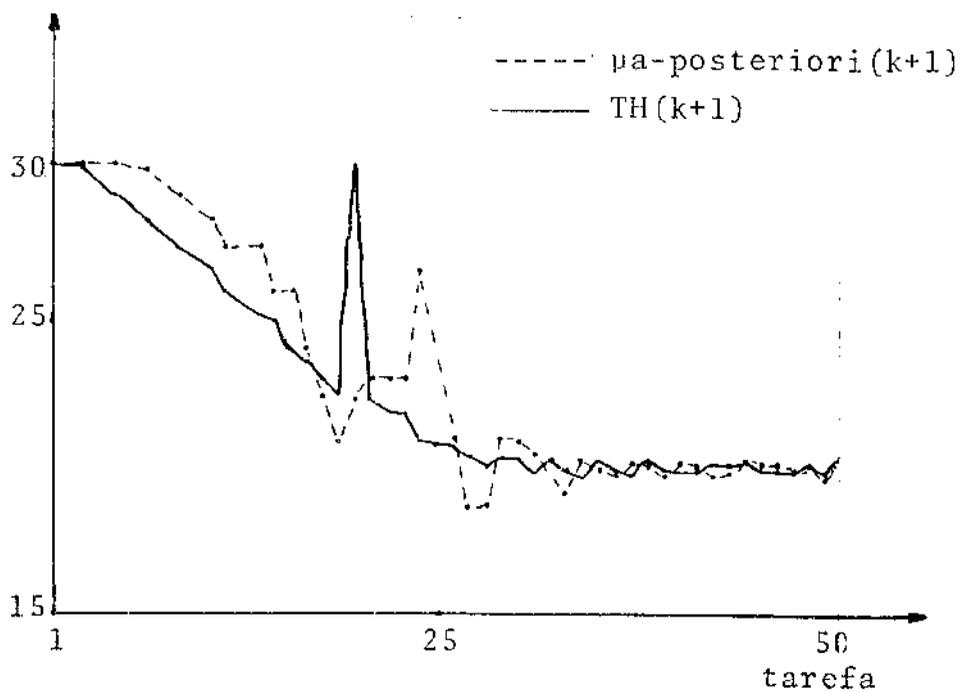


Figura 3.11 - Resultados obtidos usando-se as subrotinas APR11, PREV2 e TH3.

- 5) Simulando-se o modelo, com as diversas variações, para um operador experiente e para um operador inexperiente, observou-se que os comportamentos obtidos são do mesmo tipo que para um operador médio. Assim, a estratégia de cálculo do tempo previsto é adequada para os três tipos de operadores.
- 6) Analisando-se a sobrecarga do operador através dos resultados obtidos nas simulações, observou-se que um operador experiente sempre termina de executar uma tarefa antes que chegue a próxima (tempo de execução menor do que o intervalo de tempo de chegada entre as tarefas).
- 7) Analisando-se a sobrecarga de um operador médio através dos resultados obtidos nas simulações, verificou-se que, inicialmente, quando o operador ainda não possui experiência, há um acúmulo de tarefas e, à medida que ele vai adquirindo experiência, a sobrecarga vai diminuindo até que deixa de existir quando o tempo de execução é menor do que o intervalo de tempo de chegada entre as tarefas. A porcentagem de acúmulo de tarefas é mostrada nos gráficos das figuras 3.12, 3.13 e 3.14, que foram obtidos dos resultados das simulações, utilizando-se as variações i), ii) e iii) para o tempo real de execução das tarefas (subrotinas TH1, TH2 e TH3).
- 8) Analisando-se a sobrecarga de um operador inexperiente, através dos dados obtidos nas simulações, verifica-se que o acúmulo de tarefas é grande porque o tempo de execução é maior do que o intervalo de tempo de chegada entre as tarefas.

Como a diferença entre o intervalo de tempo de chegada e o tempo de execução é grande, as variações propostas para os tempos reais não afetam o acúmulo de tarefas e por isso este acúmulo é o mesmo para as três variações. Na figura 3.15 mostra-se a porcentagem de acúmulo para as três variações.

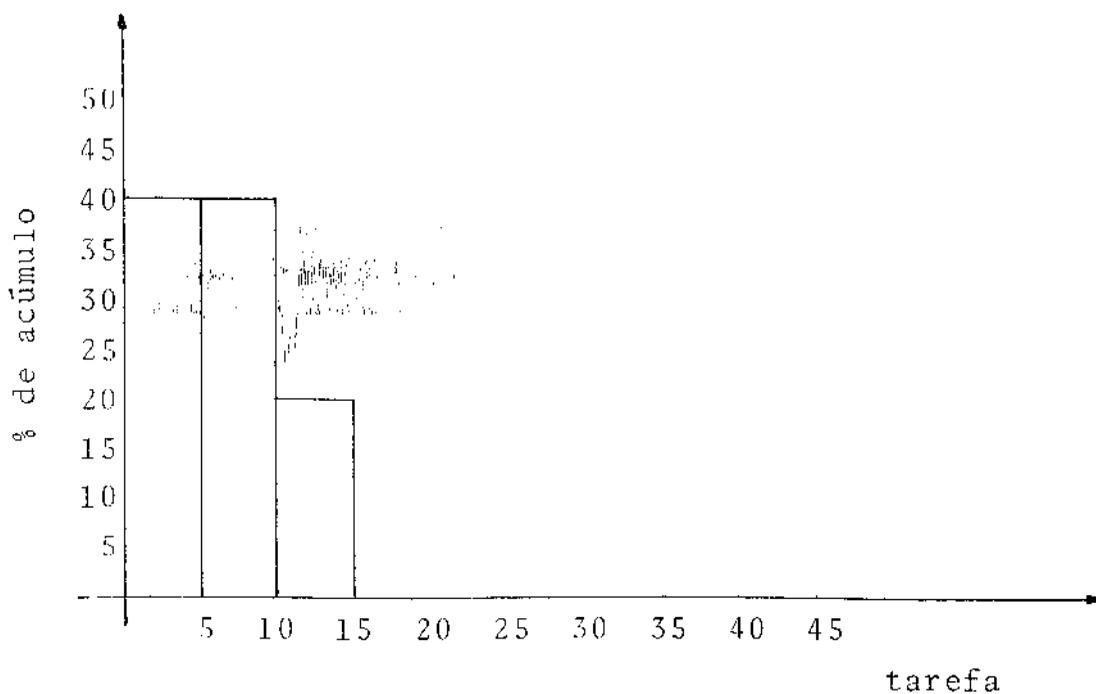


Figura 3.12 - Sobrecarga de um operador médio usando-se a subrotina TH1

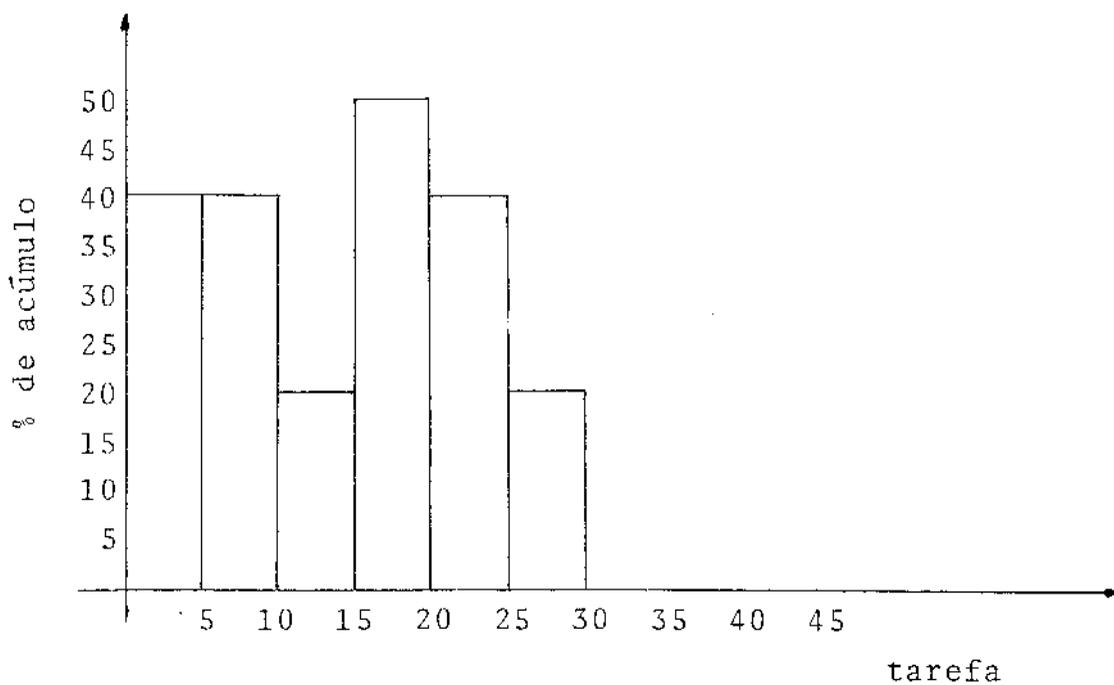


Figura 3.13 - Sobrecarga de um operador médio usando-se a subrotina TH2.

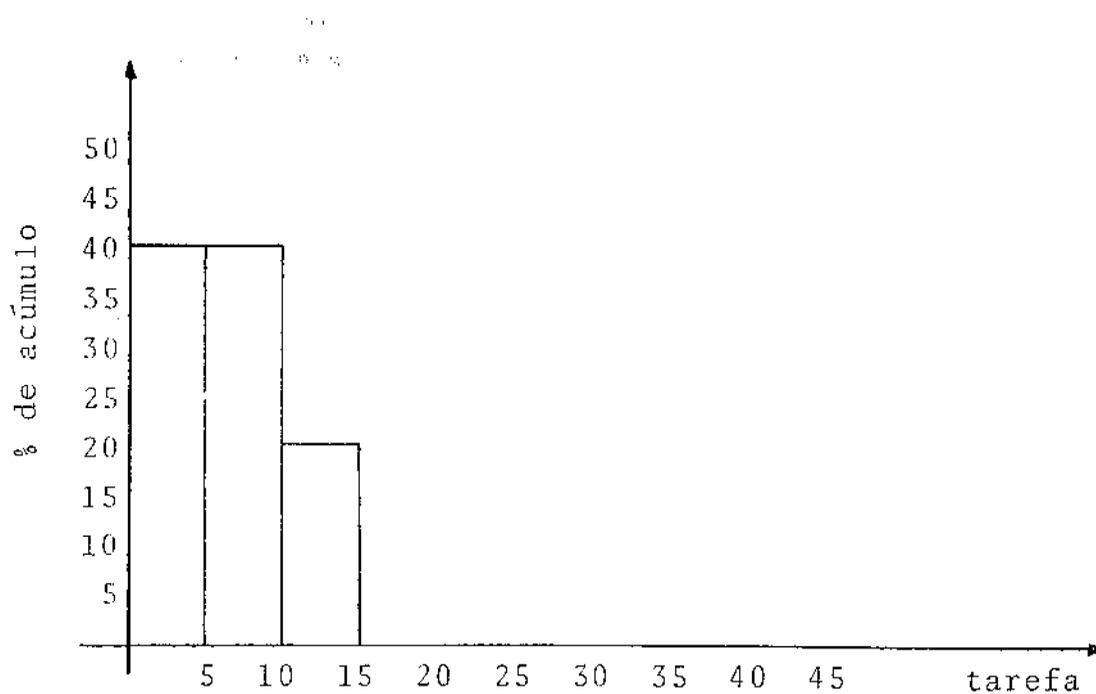


Figura 3.14 - Sobrecarga de um operador médio usando-se a subrotina TH3.

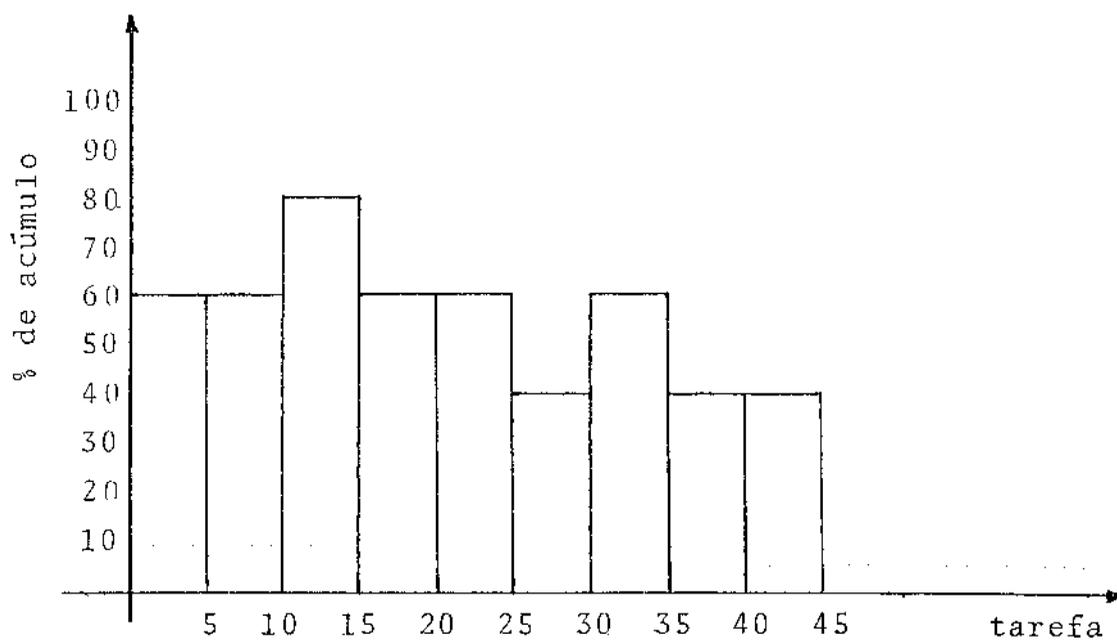


Figura 3.15 - Sobrecarga de um operador inexperiente.

Fizeram-se também simulações considerando o intervalo entre chegada de tarefas consecutivas dependente do tipo de operador.

Neste caso, inicializou-se a simulação com um tempo previsto igual ao tempo máximo considerado na distribuição Gaussiana dos tempos de execução deste operador, considerando que o operador inicialmente não possui experiência.

O intervalo entre as chegadas das tarefas é igual à média da distribuição Gaussiana do modelo inicial do respectivo operador e, desta forma, observa-se um acúmulo inicial enquanto o operador não adquire experiência suficiente para executar as tarefas num tempo menor ou igual ao intervalo de tempo de chegada entre as tarefas.

Também verificou-se nestas simulações que o erro entre o tempo previsto e o tempo real é da ordem de grandeza da componente estocástica utilizada na simulação do tempo real, o que torna válido o critério de cálculo do tempo previsto.

Verificou-se, então, que os resultados são os mesmos que foram obtidos para um operador médio quando o intervalo médio de tempo de chegada entre as tarefas é igual ao tempo médio de execução de um operador médio e estão mostrados nas figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14.

Com os resultados obtidos nas simulações do modelo estocástico do operador, definem-se critérios para distribuição de tarefas entre o operador humano e a máquina, a fim de se obter uma distribuição eficiente de tarefas.

No próximo capítulo definem-se estes critérios e analisa-se o comportamento do observador através de simulações do modelo do operador juntamente com os critérios definidos.

CAPÍTULO 4

ESTRATÉGIAS DE DIVISÃO DE TAREFAS

- 4.1 - Introdução
- 4.2 - Definição das estratégias
- 4.3 - Simulação da estratégia de divisão de tarefas
- 4.4 - Análise dos resultados obtidos

4.1 - INTRODUÇÃO

Como já exposto nos capítulos anteriores, a finalidade deste trabalho é discutir e propor soluções para a otimização do desempenho de um sistema em que o operador humano e a automação (máquina) trabalham num nível de supervisão de controle de processos.

A otimização é realizada com a finalidade de se obter uma distribuição adequada das tarefas entre o homem e a máquina. Para efetuar esta distribuição, define-se o elemento observador, o qual distribui as tarefas, baseado em critérios que serão definidos neste capítulo, a partir dos resultados obtidos no capítulo anterior com a simulação do modelo estocástico do operador.

O objetivo é distribuir as tarefas de tal forma que não ocorra sobrecarga em nenhum dos elementos. Assim, se uma tarefa chega antes que o operador termina de executar a tarefa anterior, há uma sobrecarga aparente (potencial). Entretanto, se o intervalo de tempo de chegada de uma nova tarefa é suficientemente grande, a última tarefa poderá ser executada sem sobrecarga do operador. A partir desta visão desenvolvem-se, neste capítulo, algoritmos para distribuição de tarefas.

Após a definição dos algoritmos, descrevem-se como são realizadas as simulações desses algoritmos juntamente com o modelo estocástico do operador (desenvolvido no capítulo anterior), e faz-se uma análise dos resultados obtidos.

4.2 - DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

O observador decide se uma tarefa pode ser executada pelo operador a partir do tempo previsto para sua execução e do tempo de resposta das tarefas anteriormente executadas. Consequentemente, a decisão só pode ser efetuada após a chegada da nova tarefa porque, como descrito no capítulo anterior, o cálculo do tempo previsto da tarefa é uma função do instante de chegada

da tarefa.

O objetivo é que não haja atraso na execução das tarefas, ou seja, que tarefas não se acumulem em uma fila de espera. Entretanto, se quando chega uma tarefa o operador ainda está executando a tarefa anterior, há uma sobrecarga aparente (potencial), mas, se o intervalo de tempo de chegada de uma nova tarefa é suficientemente grande, a última tarefa poderá ser executada sem sobrecarga do operador. Isto significa que o operador poderá executar uma tarefa se o tempo de término de execução desta tarefa for menor do que o tempo de chegada de uma nova tarefa. A partir desta visão, a decisão se uma tarefa será executada ou não, obedecerá o seguinte algoritmo:

- i) Quando chega uma tarefa $k+1$ analisa-se se o operador já terminou de executar a tarefa k .
- ii) Se o operador já executou a tarefa k ele pode executar a tarefa $k+1$ sem ser analisado o problema de sobrecarga.
- iii) Se o operador ainda não terminou de executar a tarefa k há uma sobrecarga aparente, mas se o intervalo de tempo de chegada da tarefa $k+2$ é suficientemente grande, a tarefa $k+1$ pode ser executada pelo operador, ou seja, se a inequação 4.1 for verdadeira, o operador pode executar a tarefa $k+1$, isto é:

$$TTE(k+1) \leq TCT(k+2), \quad (4.1)$$

onde:

$TTE(k+1)$ é o tempo de término de execução da tarefa $k+1$,

$TCT(k+2)$ é o tempo de chegada da tarefa $k+2$.

Como a tarefa $k+1$ não terminou de ser executada e a tarefa $k+2$ ainda não foi necessariamente requisitada, as variáveis $TTE(k+1)$ e $TCT(k+2)$, não são disponíveis. Então, propõe-se a seguinte aproximação para estes valores:

- a) o tempo de término de execução da tarefa $k+1$ é aproximado pelo tempo previsto para término de

execução da tarefa k+1, conforme equação 4.2

$$TTE(k+1) = TPTE(k) + TPS(k+1), \quad (4.2)$$

onde:

TPTE(k) é o tempo previsto para término de execução de k,

TPS(k+1) é o tempo previsto para execução da tarefa k+1,

TPTE(k) + TPS(k+1) é o tempo previsto para término de execução da tarefa k+1 porque o operador só inicia a execução de k+1 quando termina de executar k;

- b) o tempo de chegada da tarefa k+2 é aproximado pelo tempo de chegada da tarefa k+1 mais o tempo que o operador gastaria na execução de k+1 nas piores condições, conforme descrito na equação 4.3

$$TCT(k+2) = TCT(k+1) + TMAX, \quad (4.3)$$

onde:

TCT(k+1) é o tempo de chegada da tarefa k+1,

TMAX é o tempo máximo que o operador gasta na execução de uma tarefa.

Substituindo as equações (4.2) e (4.3) em (4.1) obtém-se a equação (4.4):

$$TPTE(k) + TPS(k+1) \leq TCT(k+1) + TMAX. \quad (4.4)$$

Se esta inequação não é satisfeita, o observador ainda não pode atribuir a execução da tarefa k+1 ao operador. Neste caso, pode-se fazer um novo teste quando do término de k, pois o operador pode terminar de executar a tarefa k antes do tempo previsto, tornando possível a execução da tarefa k+1. Este será o passo iv) do algoritmo.

- iv) Se, quando chega a tarefa k+1, o operador ainda não terminou de executar a tarefa k, há uma sobrecarga aparente, mas se o operador terminar de executar

a tarefa k antes do tempo previsto e se o intervalo de tempo de chegada da tarefa k+2 é suficientemente grande, a tarefa k+1 também pode ser executada pelo operador. Neste caso a decisão se o operador pode executar a tarefa k+1 não é tomada quando chega a tarefa k+1, mas quando o operador termina de executar a tarefa k. A inequação (4.1) continua sendo testada, mas o tempo de término de execução de k+1 (TTE(k+1)) é agora aproximado pela equação (4.5).

$$TTE(k+1) = TTE(k) + TPS(k+1), \quad (4.5)$$

onde:

TTE(k) é o tempo de término de execução da tarefa k e é dado pela equação 3.2,

TPS(k+1) é o tempo previsto para execução de k+1.

O tempo de chegada da tarefa k+2 (TCT(k+2)) dado na inequação (4.1) continua sendo aproximado pela equação (4.3), e substituindo (4.3) e (4.5) em (4.1), obtém-se (4.6).

$$TTE(k) + TPS(k+1) \leq TCT(k+1) + TMAX \quad (4.6)$$

Se esta inequação é verdadeira, a tarefa é alocada para o operador.

A seguir, descreve-se como é realizada a simulação da estratégia proposta.

4.3 - SIMULAÇÃO DA ESTRATÉGIA PROPOSTA

Como descrito na seção 4.2.i), quando chega a tarefa k+1 o observador verifica se o operador já terminou de executar a tarefa anterior k. Na simulação, esta análise é feita a partir da inequação (4.7):

$$TCT(k+1) > TTE(k), \quad (4.7)$$

onde:

TCT(k+1) é o tempo de chegada da tarefa k+1 e é calculado a partir da equação (3.6),

TTE(k) é o tempo de término de execução da tarefa k e é calculado a partir da equação (3.2).

Se a inequação (4.4) é verdadeira, o operador já terminou de executar a tarefa k quando chega a tarefa k+1 e por isso o observador irá alocar a tarefa k+1 imediatamente para o operador, conforme foi visto em ii) da seção 4.2.

Se o operador ainda não terminou de executar a tarefa k, ele poderá executar a tarefa k+1 se a inequação (4.4) for verdadeira (seção 4.2-iii)), onde:

TCT(k+1) é calculado através da equação (3.6),

TMAX foi calculado no capítulo 2 para os três tipos de operadores,

TPS(k+1) é obtido conforme descrito em 3.3.2,

TPTE(k) é calculado a partir da equação (4.8).

$$TPTE(k) = TREAL(k) + TPS(k), \quad (4.8)$$

onde:

TREAL(k) é o tempo de início de execução da tarefa k e é obtido a partir da equação (3.5).

Como o operador pode terminar de executar a tarefa k antes do tempo previsto para término de sua execução, faz-se um segundo teste (seção 4.2-iv)) através da inequação (4.6), onde TTE(k) é calculado a partir da equação (3.2).

Realizaram-se simulações da estratégia proposta para os três tipos de operadores, experiente, médio e inexperiente, considerando-se para cada tipo de operador as três variações no tempo real de execução das tarefas (subrotinas TH1, TH2 e TH3 do anexo B) e as duas funções do tempo previsto a-posteriori (subrotinas PREV1 e PREV2 do anexo B), conforme descritas na seção 3.3.3.

O primeiro teste de verificação se o operador pode ou

não executar a tarefa (inequação (4.4)) é simulado a partir da subrotina EXEC1 e o segundo teste (inequação (4.6)) é simulado através da subrotina EXEC2 (anexo B).

A seguir analisam-se os resultados obtidos nas simulações.

4.4 - ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Considerando-se que o intervalo médio de tempo de chegada entre as tarefas é igual ao tempo médio de execução de um operador médio (calculado no capítulo 2), obtem-se os seguintes resultados:

- 1) Usando o primeiro teste, de verificação se o operador pode ou não executar a tarefa (subrotina EXEC1), para um operador médio, em que o tempo previsto a posteriori é uma função linear por partes (subrotina PREV1) e o tempo real é a função proposta na seção 3.3.3-i) (subrotina TH1), obtem-se uma porcentagem de tarefas que podem ser executadas pelo operador conforme mostra a figura 4.1.

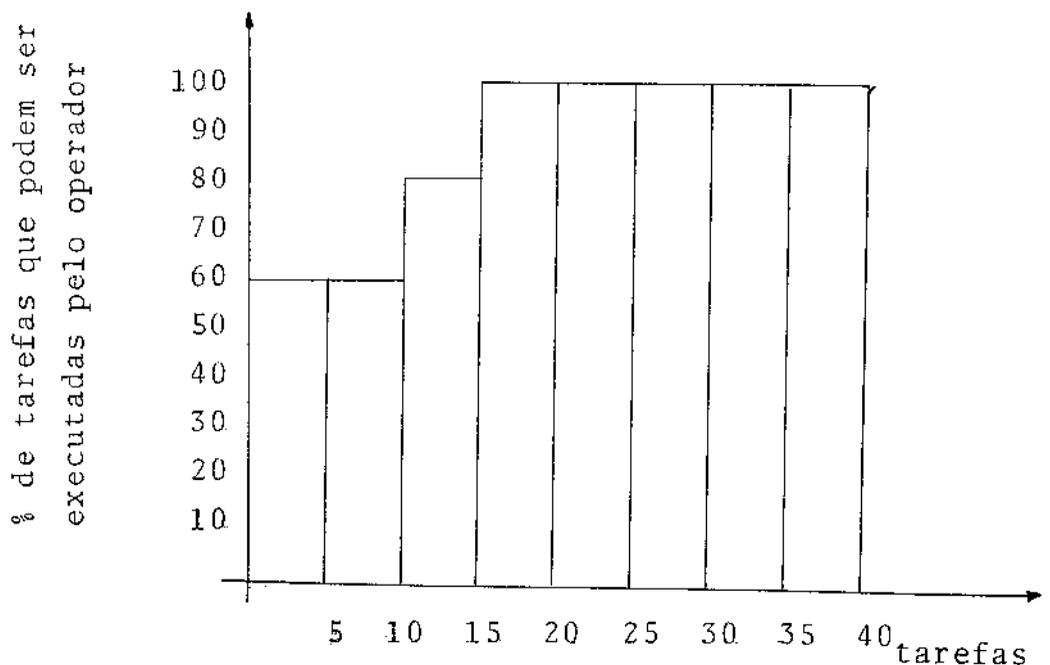


Figura 4.1 - Porcentagem de tarefas executadas por um operador médio usando-se a subrotina TH1.

Inicialmente o operador executa as tarefas num tempo máximo e este tempo vai decrescendo à medida que o operador vai adquirindo experiência. Enquanto o tempo de execução é maior do que o intervalo de tempo entre a chegada das tarefas (tempo médio de execução) há acúmulo de tarefas e, por isso, como se verifica na figura 4.1, o operador não pode executar todas as tarefas.

A partir da décima quinta tarefa o tempo de execução é menor do que o intervalo de tempo de chegada das tarefas e o operador pode executar todas as tarefas.

- 2) Usando-se o primeiro teste (subrotina EXEC1) para um operador médio, em que o tempo previsto a-posteriori é uma função linear por partes e o tempo real é uma função conforme descrito na seção 3.3.3-ii) (subrotina TH2), obtém-se uma porcentagem de tarefas que podem ser executadas pelo operador conforme mostra a figura 4.2.

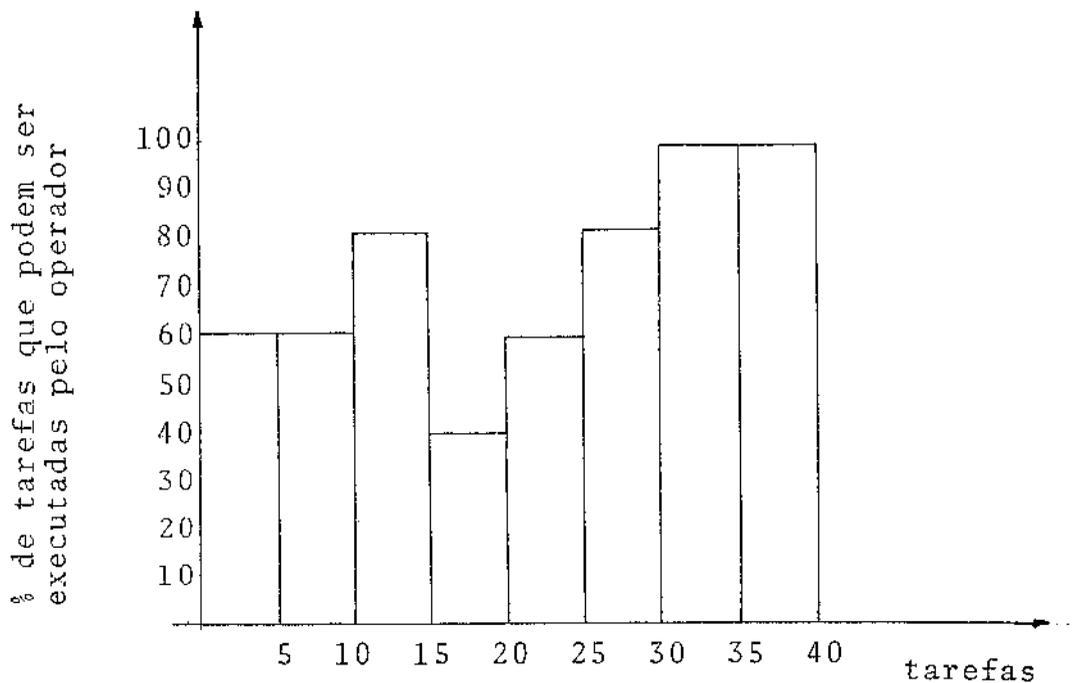


Figura 4.2 - Porcentagem de tarefas executadas por um operador médio usando-se a subrotina TH2.

O operador inicia a execução das tarefas em t_{max}

e este tempo vai decrescendo até à décima quinta tarefa onde volta para t_{max} e, após esta tarefa, o tempo de execução decresce novamente. Pela figura 4.2 observa-se que o operador ainda não tinha atingido um tempo de execução menor do que o intervalo de tempo de chegada das tarefas quando o tempo de execução subiu e, só a partir da trigésima tarefa é que este tempo ficou menor do que o intervalo entre as tarefas, deixando de existir sobrecarga e, conseqüentemente, o operador pôde executar todas as tarefas.

- 3) Usando-se o primeiro teste (subrotina EXEC1), para um operador médio, em que o tempo previsto a-posteriori é uma função linear por partes e o tempo real é uma função conforme descrito na seção 3.3.3-iii) (subrotina TH3), obtem-se uma percentagem de tarefas que podem ser executadas pelo operador conforme mostra a figura 4.3.

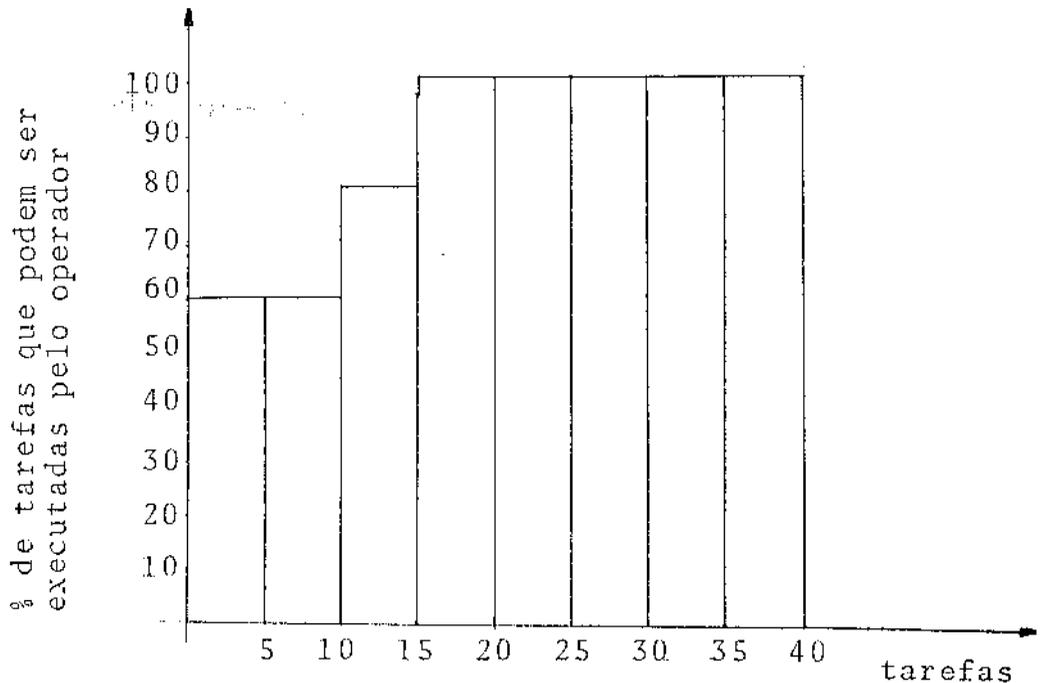


Figura 4.3 - Percentagem de tarefas executadas por um operador médio, usando-se a subrotina TH3.

A vigésima tarefa é executada pelo operador num tempo máximo, mas, como pode-se verificar na figura 4.3, não houve alteração na percentagem de tarefas a

a serem executadas pelo operador. Isto ocorre porque, a partir da décima quinta tarefa, o tempo de execução é menor do que o intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas e este tempo de execução continua decrescendo até t_{min} . Então, como na vigésima tarefa o operador já está executando as tarefas num tempo bem menor, há uma certa folga para o operador, não ocorrendo acúmulo apesar do operador ter executado a vigésima tarefa num tempo máximo.

- 4) Usando-se o segundo teste, para verificação se a tarefa pode ou não ser executada pelo operador (subrotina EXEC2), para um operador médio, em que o tempo previsto a-posteriori é uma função linear por partes (subrotina PREV1) e o tempo real é calculado a partir das subrotinas TH1, TH2, TH3, obtêm-se as mesmas porcentagens de tarefas que podem ser executadas pelo operador, do que as obtidas usando-se o primeiro teste. Isto ocorre porque, conforme foi visto no capítulo 3, a diferença entre o tempo previsto para término de execução de uma tarefa e o tempo real de término é da ordem de grandeza da componente estocástica utilizada na simulação do tempo real, e a diferença entre os dois testes propostos no critério para distribuição de tarefas (como pode-se verificar nas inequações (4.1) e (4.2)), é a análise pelo TPE(k) e TTE(k).
- 5) Realizando-se as simulações mencionadas em 1), 2), 3) e 4), para um operador experiente, verifica-se que todas as tarefas podem ser executadas pelo operador. Isto ocorre porque o tempo de execução das tarefas é muito menor do que o intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas.
- 6) Usando-se o primeiro teste (subrotina EXEC1), para um operador inexperiente, em que o tempo previsto a-posteriori é uma função linear por partes (subrotina PREV1) e o tempo real é uma função conforme descrito na seção 3.3.3-i) (subrotina TH1), obtém-se a porcentagem de tarefas que podem ser executadas pelo operador mostrada na figura 4.4.

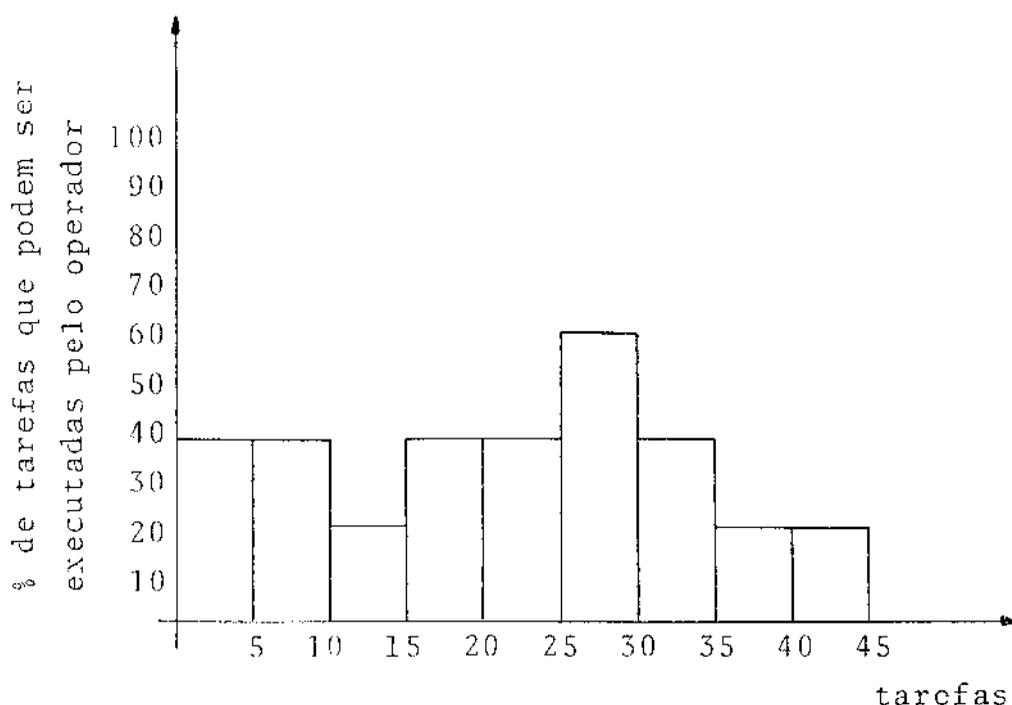


Figura 4.4 - Porcentagem de tarefas executadas por um operador inexperiente.

Verifica-se que a porcentagem é pequena porque o tempo de execução das tarefas é muito maior do que o intervalo de tempo entre as chegadas das mesmas, ocasionando uma sobrecarga elevada.

Usando-se as subrotinas TH2 e TH3, os resultados são os mesmos porque a variação que existe no tempo de execução é insignificante comparada com a diferença entre o tempo de execução das tarefas e o intervalo de tempo de chegada das mesmas.

- 7) Usando-se o segundo teste (subrotina EXEC2), para um operador inexperiente, e as variações mencionadas em 6) obtêm-se as mesmas porcentagens de tarefas que podem ser executadas pelo operador que as obtidas em 6) pelo mesmo motivo mencionado em 4).
- 8) Todas as variações mencionadas nos itens anteriores, com exceção do ua-posteriori, que foi calculado usando-se a subrotina PREV2 (função parabólica), foram realizadas, e os resultados obtidos foram prática -

mente os mesmos. As pequenas variações que ocorrem são insignificantes e não afetam o resultado, ou seja, a porcentagem de tarefas que o operador pode executar.

Estas simulações foram também realizadas para o caso em que o intervalo de tempo entre as chegadas das tarefas depende do tipo de operador. Neste caso, inicializou-se a simulação com um tempo previsto igual ao tempo máximo considerado na distribuição Gaussiana dos tempos de execução deste operador, considerando que o operador inicialmente não possui experiência.

O intervalo entre as chegadas das tarefas é igual à média da distribuição Gaussiana do modelo inicial do respectivo operador e, desta forma, os resultados obtidos foram os mesmos que para um operador médio conforme mencionado em 1), 2), 3), 4) e 8).

No próximo capítulo apresentam-se as conclusões deste trabalho a partir dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

Neste trabalho desenvolveu-se um modelo para análise do comportamento de um operador humano quando atuando em um sistema de supervisão de controle de processos.

Mostrou-se no capítulo 2 que o modelo isomórfico caracteriza eficientemente o comportamento do operador humano devido a incluir toda a dinâmica relacionada com a atuação do homem e independe do sistema a ser controlado.

O modelo isomórfico é caracterizado pelos parâmetros k , τ , $T\theta$, T_i e T_n , (equação (2.7)), que representam, respectivamente, o ganho, o tempo de reação do sistema nervoso, a experiência, a inexperiência e o atraso neuromuscular do operador.

A partir de simulações deste modelo verificou-se (tabela 2.1) que o tempo de atraso T_i , é o parâmetro que mais influencia o tempo de resposta fornecido. A partir da variação do parâmetro T_i classificaram-se os operadores em três classes, caracterizadas pelo grau de experiência dos mesmos.

Para cada classe de operador propôs-se um modelo estocástico função do tempo de reação do operador. Este modelo é caracterizado por uma distribuição Gaussiana com média e variância calculadas a partir dos tempos mínimo e máximo de reação de cada tipo de operador.

O capítulo 3 introduz um modelo estocástico para o operador. Este modelo adapta a previsão do tempo de resposta do operador (obtido do modelo do capítulo 2) em função da carga à qual o mesmo está submetido. Esta carga é avaliada a partir do intervalo de tempo entre chegada de tarefas consecutivas.

Representa-se a relação entre o novo tempo previsto para execução de tarefas e o intervalo de tempo entre chegada de tarefas, por uma função linear por partes ou uma função parabólica.

As simulações realizadas mostram a aplicabilidade do modelo proposto, pois a porcentagem de erro obtido, entre o tempo previsto e o tempo real de execução das tarefas, foi da ordem de grandeza da componente estocástica utilizada na simulação do tempo real (ver figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11).

No capítulo 4 apresenta-se um critério para a distribuição das tarefas entre o operador e a máquina.

O objetivo desta distribuição é não permitir que as tarefas se acumulem em uma fila de espera. A distribuição é feita de tal forma que não ocorra sobrecarga nos elementos do sistema de supervisão, sendo que a estratégia aloca as tarefas a serem executadas preferencialmente ao operador.

Se o instante de tempo de chegada de uma tarefa é posterior ao instante de tempo de término da última tarefa, então a tarefa que chegou é alocada imediatamente ao operador. Porém, se uma nova tarefa ($k+1$) chegar antes que o operador termine de executar a tarefa atual (k) ele somente poderá executar esta nova tarefa ($k+1$) se o tempo de término de execução desta tarefa for menor do que o tempo de chegada da próxima tarefa ($k+2$). Como não se dispõe de medidas destas variáveis, propõe-se a utilização de uma previsão para o tempo de término de execução da tarefa ($k+1$). O tempo de chegada da próxima tarefa ($k+2$) é substituído pelo tempo de chegada da tarefa $k+1$ acrescido do tempo máximo de execução das tarefas.

Da análise dos resultados obtidos, antevêm-se os seguintes tópicos como continuação do presente trabalho:

- 1 - Aperfeiçoamento do modelo proposto no capítulo 2, através de um aumento na faixa de frequências de atuação do operador.
- 2 - Aperfeiçoamento do modelo proposto no capítulo 2 através da introdução dos movimentos de equilíbrio, os quais estão presentes quando o operador está em movimento.

- 3 - Aperfeiçoamento do modelo estocástico proposto para o operador (capítulo 3), considerando-se a probabilidade de erro do operador, além do tempo de resposta.
- 4 - Definição de novos critérios de distribuição de tarefas.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFIA E ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

- /Alle - 79/ The Man Machine Control e Interface-Pursuit
Control.
R. Wade Allen and Duane McRuer
Automatica, vol.15, pp.683-686 - 1979
- /Back - 79/ Physical Design of Electronic Systems - vol.1
D. Backer, D.C. Koehler, W.O.Fleckenstein ,
C.E. Roden, R.Sabia.
- /Beke - 60/ Discrete Models of the Human Operator in
Control System.
G.A. Bekey
IFAC Mundial 1960
- /Davi - 80/ Man-Machine Simulations in Industrial Systems.
Gary Irving Davis and James R. Buck
Report number 118, vol.I and vol.II, Purdue
Laboratory for Applied Industrial Control.
- /Deso - 82/ Use of Physiological Information in Man -
- Machine Systems.
A.A. Desova
Automation and Remote Control - 1982
- /Geis - 80/ Ergonomic Design of Man-Machine Interfaces.
G.Geiser
IFAC - Oct./80 Düsseldorf
- /Joha - 79/ Mathematical Concepts for Modeling Human
Behavior in Complex Man-Machine Systems.
Gunnar Johannsen and William B. Rouse
Human Factors, 1979, 21(6) 733-747
- /Klei - 70/ An optimal Control Model of Human Response.
Part I: Theory and Validation
D.L. Kleinmand, S.Baron and W.H. Levison
Automatica, vol.6 pp.357-369 - 1970

- /Kuro - 82/ Statistical Optimization of Interaction in Man-Machine Systems
I.V. Kurochkin and A.A. Mal'tsev
Automation and Remote Control - 1982
- /Lefk - 77/ Integrated Control of Industrial Systems
I. Lefkowitz
Phil.Trans. R. Soc. Lond. A. 287, 443-465
(1977)
- /Magd - 68/ Small Perturbation Dynamics of the Neuromuscular System in Tracking Tasks
Raymond E. Magdaleno, Duane T. McRuer, George P. Moore
- /McRu - 68/ A Neuromuscular Actuation System Model
Duane T. McRuer, Raymond E. Magdaleno, George P. Moore
IEEE Transactions on Man-Machine Systems, vol. MMS-9, n°3, September 1968
- /McRu - 80/ Human Dynamics in Man-Machine Systems
Duane McRuer
Automatica, vol.6, n°3, May-80, pp.237-253
- /Pata - 84/ Task Distribution in a Supervisory Process
M.L.M. Pataca, L.P. Magalhães, W.C. Amaral
International 84 Minneapolis Summer Conference, Aug./1984.
- /Rous - 77/ Human - Computer Interaction in Multitask Situations
William B.Rouse
IEEE Transactions on Systems Man and Cybern. vol.SMC-7, n°5, May-1977
- /Rous - 80/ System Engineering Models of Human-Machine Interaction
Willian Rouse
North Holland Series in System Science and Engineering, vol 6

- /Rous - 82/ A Model of Human Decisionmaking in
Multiple Process Monitoring Situations
Joel S. Greenstein and W.B. Rouse
IEEE Trans. on System Man and Cybern
vol. SMC-12, n°2, March/Abril 1982
- /Tsib - 81/ Discrete Models of a Human Operator
Survey of Foreign Reserch
I.E. Tsibulevskii
Automation and Remote Control - 1981
- /Tulg - 80/ Dynamic Decisions and Workload in Multitask
Supervisory Control
M.Kâmil Tulga and Thomas B. Sheridan
IEEE Trans. on System Man and Cybern.
vol. SMC-10, n°5, May 1980
- /Umbe - 79/ Models of the Process Operator
I.G. Umbers
Int.J. Man-Machine Studies (1979), 11, 263
- /Wild - 62/ The Characteristics of the Human Operator
engaged in a Tracking Task
R.W.Wilde and Westcott
Automatica, vol.1, pp.5-19, 1982
- /Garn - 67/ Evaluation of Human Operator Coupled Dynamic Systems
K.C.Garner
Proc. of the Conf. on the Human Operator in Complex
Systems, Birmingham, 1967

[Illegible text]

ANEXO A

*****PROGRAMA DE SIMULACAO DO MODELO ISOMORFICO DO OPERADOR*****

DECLARACAO DAS VARIAVEIS

TI - TEMPO DE ATRASO. FUNCAO DE CADA OPERADOR, VARIANDO DE
0.1 A 70 SEGUNDOS.
TN - TEMPO DE ATRASO CORRESPONDENTE AO SISTEMA NEURO-MUSCU-
LAR, IGUAL A 0.1 SEGUNDOS
TL - TEMPO DE ANTECIPACAO CORRESPONDENDO A EXPERIENCIA DO
OPERADOR. VARIA DE 0.1 A 2.5 SEGUNDOS.
TK - GANHO DO OPERADOR, VARIA DE 1 A 100
GAMA - TEMPO DE REACAO DO SISTEMA NERVOSO. VARIA DE 0.1 A
0.3 SEGUNDOS

DIMENSION C(0/100),U(0/100),T(0/100),VET(90)

ENTRADA DE PARAMETROS

READ(21,5) TI,TN,TL,TK,GAMA,PASSO,
FORMAT(1X,/,6F)

CALCULO COEFICIENTES DA EQUACAO (2.9)

A = (TI+TN)/(TI*TN)
B = 1./(TI*TN)
D = (TK*TL)/(TI*TN)
E = TK/(TI*TN)

CONDICOES INICIAIS

C(0) = 0.
T(0) = 0.

CALCULO DOS TEMPOS DE RESPOSTA DO OPERADOR (EQUACAO (2.7)) COMO
FUNCAO DE K.

DO 55 K=1,40
T(K) = K*PASSO
IF((K-2).LT.0.)10,15
10 VAR1 = 0.
GO TO 20
15 VAR1 = C(K-2)
20 IF(((FLOAT(K)*PASSO)-GAMA).LT.0.)25,30
25 VAR2 = 0.
GO TO 35
30 VAR2 = 1.
35 IF(((FLOAT(K)*PASSO)-GAMA-PASSO).LT.0.)40,45
40 VAR3 = 0.
GO TO 50
45 VAR3 = U(K-1)
50 U(K) = VAR2
DIV = 1.+(PASSO*A)+((PASSO**2)*B)
SUM = ((2.+PASSO*A)*C(K-1))-VAR1
C(K) = (SUM+((PASSO*D+(PASSO**2)*E)*VAR2)-(PASSO*D*VAR3))/DIV
CONTINUE

```
CC      SAIDA DOS RESULTADOS
C
        WRITE(22,60)
60      FORMAT(8X,'A',12X,'B',12X,'D',12X,'E',11X,'PASSO')
        WRITE(22,65)A,B,D,E,PASSO
65      FORMAT(5(5X,F8.4),/)
        WRITE(22,70)
70      FORMAT(7X,'T',9X,'C(K)',9X,'U(K)')
        DO 80 I=1,40
        WRITE(22,75) T(I),C(I),U(I)
75      FORMAT(5X,F6.2,2(5X,F8.4))
80      CONTINUE
C
        STOP
        END
```

...
...
...
...
...

ANEXO B

 *****PROGRAMA DE SIMULACAO DE UM OBSERVADOR QUE*****
 *****DISTRIBUI TAREFAS ENTRE O HOMEM E A MAQUINA*****

DECLARACAO DAS VARIAVEIS

TH(I) - TEMPO REAL DE EXECUCAO DA TAREFA I
 TPR(I) - TEMPO MEDIO A-PRIORI DE EXECUCAO DA TAREFA I
 TT(I) - TEMPO DE CHEGADA DA TAREFA I MENOS TEMPO DE CHEGADA DA TAREFA I-1
 TPS(I) - TEMPO PREVISTO A-POSTERIORI DE EXECUCAO DA TAREFA I
 TCI(I) - TEMPO(ACUMULADO) DE CHEGADA DA TAREFA I
 TREAL(I) - TEMPO DE INICIO DE EXECUCAO DA TAREFA I (ACUMULADO)
 JT(I) - SE JT=0 A TAREFA NAO PODE SER EXECUTADA PELO OPERADOR; SE JT=1, A TAREFA E EXECUTADA PELO OPERADOR
 PERRO(I) - PORCENTAGEM DE ERRO ENTRE O TEMPO PREVISTO E O TEMPO REAL DA TAREFA I
 ITE(I) - TEMPO (ACUMULADO) DE TERMINO DE EXECUCAO DA TAREFA I
 A - VALOR DE TT EM QUE TPS E MINIMO
 U - VALOR DE TT (MAIOR DO QUE A) EM QUE TPS E MINIMO
 D - VALOR DE TPS PARA TT = A (OU D)
 E - VALOR DE TT EM QUE TPS E MAXIMO (OPERADOR OCIOSO)
 TMED - VALOR MEDIO DE TT
 VG1 - DESVIO PADRAO DE TT
 VG2 - DESVIO PADRAO DE TH
 TMIN - TEMPO MINIMO DE EXECUCAO DAS TAREFAS
 TMAX - TEMPO MAXIMO DE EXECUCAO DAS TAREFAS
 TALFA - TANGENTE DO ANGULO DE INCLINACAO DA RETA 1 DA FIG.3.5
 TBETA - TANGENTE DO ANGULO DE INCLINACAO DA RETA 3 DA FIG.3.5
 C - PONTO DE INTERCPCAO DA RETA 3 DA FIG.3.5 COM O EIXO DAS ORDENADAS.
 U - PARAMETRO DA EQUACAO DA PARABOLA (EQUACAO (3.16))
 V - PARAMETRO DA EQUACAO DA PARABOLA (EQUACAO (3.16))
 TTMIN - VALOR DE TT ONDE TPS E MINIMO (FUNCAO PARABOLICA DE TPS
 W - SAIDA DA SUBROTINA QUE FORNECE A OSCILACAO DE TH (EQUACAO (3.3)).
 TM - MEDIA DE W (EQUACAO (3.3))
 F - CONSTANTE (EQUACAO (3.3))
 IG1 - INICIALIZACAO DA SUBROTINA QUE GERA TT
 IG2 - INICIALIZACAO DA SUBROTINA QUE GERA TH

LEITURA DE DADOS

COMMON K
 COMMON /C1/TMAX
 COMMON /C2/TPR(56)
 COMMON /C3/TMED,A,D,E,IG1,VG1
 COMMON /C4/TT(55)
 COMMON /C5/TPS(55)
 COMMON /C6/TPTE(55),TCT(55)
 COMMON /C7/TREAL(55),PERRO(55)
 COMMON /C8/JT(55)
 COMMON /C9/TTE(55)
 COMMON /C10/TH(55)
 COMMON /C11/F,IG2,VG2,TM,TMIN


```

C
  TALFA(K+1) = (TMAX-TPR(K+1))/TMED
  B(K+1) = (-TALFA(K+1)*A)+TMAX
  TBETA(K+1) = (TMAX-B(K+1))/(E-D)
  C(K+1) = ((D*TMAX)-(B(K+1)*E))/(E-D)

```

```

C
CC  OBTENCAO DO INTERVALO DE CHEGADA ENTRE TAREFAS
C

```

```

  CALL GAUSS1(IG1,VG1,TMED,SAI1)
  TT(K+1) = SAI1

```

```

C
CC  CALCULO DO TEMPO PREVISTO A-POSTERIORI EM FUNCAO DAS REGIOES
CC  DA FIGURA 3.5
C

```

```

  IF(TT(K+1).LE.A)5,6

```

```

C
CC  REGIAO 1
C

```

```

  TPS(K+1) = (-TALFA(K+1)*TT(K+1))+TMAX
  RETURN

```

```

C
CC  REGIAO 2
C

```

```

  IF(TT(K+1).LE.D)7,8
  TPS(K+1) = B(K+1)
  RETURN

```

```

C
CC  REGIAO 3
C

```

```

  IF(TT(K+1).LE.E)9,10
  TPS(K+1) = (TBETA(K+1)*TT(K+1))-C(K+1)
  RETURN

```

```

C
CC  REGIAO 4
C

```

```

  TPS(K+1) = TMAX

```

```

  RETURN
  END

```

```

C
C
C
C
  SUBROUTINE PREV2

```

```

C
CC  SUBROTINA QUE CALCULA O TEMPO PREVISTO A-POSTERIORI PARA EXECU-
CC  CAO DA TAREFA K+1.
CC  A CURVA E UMA PARABOLA, EM QUE PARA TT=0 E TT=E,
CC  TPS = TMAX E PARA TT = TMED/TPS=TPR. O PONTO (TTMIN,B) E O
CC  PONTO DE MINIMO DA CURVA.
C

```

```

  DIMENSION U(55),V(55),TTMIN(55),B(55)
  COMMON K
  COMMON /C1/TMAX
  COMMON /C2/TPR(56)
  COMMON /C3/TMED,A,D,E,IG1,VG1
  COMMON /C4/TT(55)
  COMMON /C5/TPS(55)

```

```

C
CC  OBTENCAO DO INTERVALO DE CHEGADA ENTRE TAREFAS

```

```
C
CALL GAUSS1(IG1, VG1, TMED, SAI1)
TT(K+1) = SAI1
```

```
C
CC
C CALCULO DO TEMPO PREVISTO A-POSTERIORI (FIGURA 3.3)
```

```
DIV = (E*TMED)-(TMED**2)
U(K+1) = (TMAX-TPR(K+1))/DIV
V(K+1) = (E*TPR(K+1)-E*TMAX)/DIV
TTMIN(K+1) = (-V(K+1))/(2*U(K+1))
B(K+1) = ((4*U(K+1)*TMAX)-(V(K+1)**2))/(4*U(K+1))
IPS(K+1) = (U(K+1)*(TT(K+1)**2))+(V(K+1)*TT(K+1))+TMAX
```

```
C
RETURN
END
```

```
C
C
C
C
C
SUBROUTINE APRI1
```

```
C
CC
C SUBROTINA QUE CALCULA O TEMPO PREVISTO A-PRIORI DA TAREFA K+2
```

```
DIMENSION ERRO(55)
COMMON K
COMMON /C1/TMAX
COMMON /C2/TPR(56)
COMMON /C4/TT(55)
COMMON /C5/TPS(55)
COMMON /C6/TPTE(55),TCT(55)
COMMON /C7/TREAL(55),PERRO(55)
COMMON /C8/JT(55)
COMMON /C9/TTE(55)
COMMON /C10/TH(55)
COMMON /C11/F,IG2,VG2, TM, TMIN
```

```
C
CC
CC
C CALCULO DO TEMPO PREVISTO PARA TERMINO DE EXECUCAO DA TAREFA K,
E DO TEMPO DE CHEGADA DA TAREFA K+1
```

```
TPTE(K) = TREAL(K) + TPS(K)
TCT(K+1) = TCT(K) + TT(K+1)
```

```
C
CC
CC
CC
C TESTE DE VERIFICACAO SE A TAREFA K+1 PODE SER EXECUTADA PELO O-
PERADOR (EQUACAO 4.4 PARA O PRIMEIRO TESTE E EQUACAO 4.6 PARA
O SEGUNDO TESTE). CHAMA-SE A SUBROTINA EXEC1 PARA O PRIMEIRO
TESTE E A SUBROTINA EXEC2 PARA O SEGUNDO TESTE.
```

```
C
CALL EXEC1
```

```
C
CC
CC
C CALCULO DO TEMPO PREVISTO A-PRIORI SE A TAREFA K+1 NAO PODE SER
EXECUTADA PELO OPERADOR.
```

```
15 IF(JT(K+1).EQ.0)15,16
TREAL(K+1) = TREAL(K)
TPS(K+1) = TPS(K)
TTE(K+1) = TTE(K)
TH(K+1) = TH(K)
PERRO(K+1) = PERRO(K)
TPR(K+2) = TPR(K+1)
RETURN
```

```

C
CC  OBTENCAO DO TEMPO REAL DE EXECUCAO DA TAREFA K+1. CHAMA-SE
CC  AS SUBROTINAS TH1, TH2 E TH3 PARA AS VARIACOES I), II) E III)
CC  (SECAO 3.3.3) RESPECTIVAMENTE.
C
16  CALL TH3
C
CC  CALCULO DO TEMPO PREVISTO A-PRIORI SE A TAREFA K+1 E EXECUTADA
CC  PELO OPERADOR.
C
    PERRO(K+1) = (100*ABS(TPS(K+1)-TH(K+1)))/TH(K+1)
    ERRO(K) = TPS(K)-TH(K)
    IF((TTE(K).LE.TCT(K+1)))17,26
17  IF(PERRO(K).LT.10.)18,25
18  IF(K.EQ.1)19,20
19  TPR(K+2) = TH(K)-ERRO(K)
    GO TO 31
20  IF(K.EQ.2)21,22
21  TPR(K+2) = TH(K)-((ERRO(K)+ERRO(K-1))/2.)
    GO TO 31
22  IF((TH(K)-TH(K-1)).LT.0.)23,25
23  IF((TH(K-1)-TH(K-2)).LT.0.)24,25
24  TPR(K+2) = TH(K)-((ERRO(K)+ERRO(K-1)+ERRO(K-2))/3.)
    GO TO 31
25  TPR(K+2) = TH(K)
    GO TO 31
26  IF(K.LT.4)27,28
27  TPR(K+2) = TPS(K+1)
    GO TO 31
28  IF((TH(K)-TH(K-1)).LT.0.)29,27
29  IF((TH(K-1)-TH(K-2)).LT.0.)30,27
30  TPR(K+2) = TPS(K+1)-((ERRO(K-1)+ERRO(K-2))/2.)
C
CC  CALCULO DOS TEMPOS DE INICIO E DE TERMINO DE EXECUCAO DA TAREFA
CC  K+1
C
31  TREAL(K+1) = AMAX1(TTE(K),TCT(K+1))
    TTE(K+1) = TREAL(K+1)+TH(K+1)
    RETURN
    END
C
CC  SUBROUTINE REGIS1
C
CC  SAIDA DE DADOS
C
    COMMON K
    COMMON /C2/TPR(56)
    COMMON /C4/TT(55)
    COMMON /C5/TPS(55)
    COMMON /C6/TPTE(55),TCT(55)
    COMMON /C7/TREAL(55),PERRO(55)
    COMMON /C8/JT(55)
    COMMON /C9/TTE(55)
    COMMON /C10/TH(55)
C
    WRITE (44,35)
35  FORMAT(4X,'I',8X,'TREAL',7X,'TT(I)',7X,'TCT(I)',7X,

```

```
1'1PR(I)',6X,'TPS(I)',5X,'TPTE(I)',7X,'TH(I)',7X,  
1'TTE(I)',4X,'PERRO(I)',8X,'JT(I)',/)
```

```
DO 40 I=1,50  
WRITE(44,36)I,TREAL(I),TT(I),TCT(I),TPR(I),TPS(I),TPTE(I),  
1TH(I),TTE(I),PERRO(I),JT(I)  
36 FORMAT(5X,I2,9(4X,F8.2),I)  
40 CONTINUE
```

```
RETURN  
END
```

SUBROUTINE GRAF

SUBROTINA QUE TRACA O GRAFICO DO TEMPO REAL E DO TEMPO PRE-
VISTO A POSTERIORI DE EXECUCAO DAS TAREFAS

```
DIMENSION VET(150)  
COMMON K  
COMMON /C5/TPS(55)  
COMMON /C8/JT(55)  
COMMON /C10/TH(55)
```

```
DO 200 I=1,50  
VET(I) = 1  
VET(I+50) = TH(I)  
VET(I+100) = TPS(I)  
200 CONTINUE
```

```
CALL PLOT(1,VET,50,3,50,0,44)
```

```
RETURN  
END
```

SUBROUTINE EXEC1

SUBROTINA QUE DETERMINA SE O OPERADOR PODE OU NAO EXECUTAR
A TAREFA K+1. A DECISAO E REALIZADA QUANDO CHEGA A TAREFA K+1
E O OPERADOR AINDA NAO TERMINOU DE EXECUTAR A TAREFA K.

```
COMMON K  
COMMON /C1/TMAX  
COMMON /C2/TPR(56)  
COMMON /C6/TPTE(55),TCT(55)  
COMMON /C8/JT(55)  
COMMON /C9/TTE(55)
```

IMPLEMENTACAO DO PRIMEIRO TESTE (EQUACAO 4.4).

```
IF(TPTE(K).LT.TCT(K+1))44,41  
41 IF((TCT(K+1)+TMAX-TPTE(K)).LE.0.)43,42  
42 IF((TCT(K+1)+TMAX-TPR(K+1)).LT.TTE(K))43,44  
43 JT(K+1) = 0  
RETURN
```

44 JT(K+1) = 1

RETURN
END

SUBROUTINE EXEC2

SUBROTINA QUE DETERMINA SE O OPERADOR PODE OU NAO EXECUTAR A TAREFA K+1, APÓS TER TERMINADO DE EXECUTAR A TAREFA K.

COMMON K
COMMON /C1/TMAX
COMMON /C2/TPR(56)
COMMON /C6/TPTE(55),TCT(55)
COMMON /C8/JI(55)
COMMON /C9/TTE(55)

IMPLEMENTACAO DO SEGUNDO TESTE (EQUACAO 4.6).

IF(TPTE(K).LT.TCT(K+1))48,45
IF((TCT(K+1)+TMAX-TPTE(K)).LE.0.)47,46
IF((TCT(K+1)+TMAX-TPR(K+1)).LT.TTE(K))47,48
JT(K+1) = 0
RETURN

48 JT(K+1) = 1

RETURN
END

SUBROUTINE TH1

SUBROTINA QUE CALCULA OS TEMPOS REAIS DE EXECUCAO DAS TAREFAS QUANDO O OPERADOR INICIA A EXECUCAO COM TMAX E DECRESCCE ATE TMIN A MEDIDA QUE VAI ADQUIRINDO EXPERIENCIA.

DIMENSION W(54)
COMMON K
COMMON /C1/TMAX
COMMON /C10/TH(55)
COMMON /C11/F,IG2,VG2,TM,TMIN

OBTENCAO DE TH(K+1)

CALL GAUSS1(IG2,VG2,TM,SAI2)
W(K) = SAI2
TH(K+1) = F*TH(K)+W(K)
IF(TH(K+1).LT.TMIN)51,52
TH(K+1) = TMIN + W(K)

51
52 RETURN
END

SUBROUTINE TH2

SUBROTINA QUE CALCULA OS TEMPOS REAIS DE EXECUCAO DAS TAREFAS CONFORME VARIACAO II) DA SECAO 3.3.3.

```

DIMENSION W(54)
COMMON K
COMMON /C1/TMAX
COMMON /C10/TH(55)
COMMON /C11/F,IG2,VG2,TM,TMIN

```

```

OBTENCAO DE TH(K+1)
CALL GAUSS1(IG2,VG2,TM,SAI2)

```

```

W(K) = SAI2
IF(K.EQ.14)53,54
53 TH(K+1) = TMAX
RETURN
54 IH(K+1) = F*TH(K)+W(K)
IF(TH(K+1).LT.TMIN)55,56
55 TH(K+1) = TMIN+W(K)

```

```

RETURN
END

```

SUBROUTINE TH3

SUBROTINA QUE CALCULA OS TEMPOS REAIS DE EXECUCAO DAS TAREFAS CONFORME VARIACAO III) DA SECAO 3.3.3.

```

DIMENSION W(54)
COMMON K
COMMON /C1/TMAX
COMMON /C10/TH(55)
COMMON /C11/F,IG2,VG2,TM,TMIN

```

```

OBTENCAO DE TH(K+1)
CALL GAUSS1(IG2,VG2,TM,SAI2)

```

```

W(K) = SAI2
IF(K.LT.19)61,62
62 IF(K.EQ.19)63,64
63 IH(K+1) = TMAX
RETURN
64 IF(K.EQ.20)65,61
65 IH(K+1) = F*TH(K-1)+W(K)
RETURN

```

```

61 IH(K+1) = F*TH(K) +W(K)
IF(TH(K+1).LT.TMIN)66,67
66 TH(K+1) = TMIN+W(K)

```

```

RETURN
END

```