ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DA ARQUITETURA COGNITIVA EPIC PARA A ANÁLISE DE TAREFAS DE UM OPERADOR DE UMA USINA NUCLEAR

Herculano Vieira Soares

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA NUCLEAR.

Aprovada por:

Prof. Roberto Schirru, D.Sc.

Dr. Marco Antônio Bayout Alvarenga, D.Sc.

Prof. Paulo Fernando Ferreira Frutuoso e Melo, D.Sc.

Dr. Sérgio de Queiroz Bogado Leite, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2003

COPPE NUCLEAR UFRJ

SOARES, HERCULANO VIEIRA

Estudo Sobre a Utilização da Arquitetura Cognitiva EPIC Para a Análise de Tarefas de um Operador de uma Usina Nuclear [Rio de Janeiro] 2003

XI, 170 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Nuclear, 2003)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Desempenho humano

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DA ARQUITETURA COGNITIVA EPIC PARA A ANÁLISE DE TAREFAS DE UM OPERADOR DE UMA USINA NUCLEAR

Herculano Vieira Soares

Março/2003

Orientadores: Roberto Schirru
Marco Antonio Bayout Alvarenga

Programa: Engenharia Nuclear

Este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização da arquitetura cognitiva integrativa denominada EPIC – Executive Process – Interctive Control, projetada para a avaliação do desempenho de uma pessoa realizando tarefas em paralelo em uma interface homem-máquina, como uma metodologia para Análise Cognitiva de Tarefas de um operador de uma usina nuclear.

É feita uma comparação dos resultados obtidos com a utilização desta arquitetura nas tarefas do PO-E-3 – Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor, de Angra 1, com os obtidos com a utilização da arquitetura paramétrica Model Human Processor – MHP. Para subsidiar esta comparação foi feito um experimento no Simulador Pleno da Usina Angra 2 onde os tempos de execução de três tarefas foram determinados experimentalmente e comparados com os obtidos pela modelagem com as arquiteturas MHP e EPIC.

As previsões obtidas com modelos construídos com a utilização das duas arquiteturas não corroboram os resultados obtidos experimentalmente. A arquitetura EPIC é a mais apropriada para esta tarefa mas requer ajustes nos seus parâmetros.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

STUDY ON THE UTILIZATION OF THE COGNITIVE ARCHITECTURE EPIC TO THE TASK ANALYSIS OF A NUCLEAR POWER PLANT OPERATOR

Herculano Vieira Soares

March/2003

Advisors: Roberto Schirru
Marco Antonio Bayout Alvarenga

Department: Nuclear Engineering

This work presents a study of the use of the integrative cognitive architecture EPIC - Executive-Process – Interactive-Control, designed to evaluate the performance of a person performing tasks in parallel in a man-machine interface, as a methodology for cognitive task analysis of a nuclear power plant operator.

A comparison of the results obtained by the simulation by EPIC and the results obtained by application of the MHP model to the tasks performed by a shift operator during the execution of the procedure PO-E-3 – Steam Generator Tube Rupture of Angra 1 Nuclear Power Plant is performed. To allow for that comparison, an experiment was conducted at the Angra 2 Nuclear Power Plant Full Scope Simulator in which three operator tasks were executed, its completion time measured and compared with the results of MHP and EPIC modeling.

The predictions obtained from models constructed based on both architectures do not agree with experimental results. The EPIC architecture is the most appropriate for task analysis but requires adjustments in its parameters.

LISTA DE SIGLAS

AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
ACT-R	Adaptative Control of Thought
AIA	Armazenamento de Imagem Auditiva
AIV	Armazenamento de Imagem Visual
EBP	Evento Bases de Projeto
BRR	Bomba de Refrigeração do Reator
CE	Combustion Engineering
CRT	Catode Ray Tube
COGP	Processador Cognitivo
EFH	Engenharia de Fatores Humanos
EPIC	Executive Process – Interactive Control
EPRI	Electric Power Reserch Institute
GV	Gerador de Vapor
GOMS	Goals, Operators, Methods and Selection Rules
HOS	Human Operator Simulator
LISP	Linguagem de programação LISP
MHP	Model Human Processor
MIDAS	Man-machine Integrated Design and Analysis System
NRC	Nuclear Regulatory Commission (Comissão Regulatória Nuclear Americana)
OMOT	Sub-rotina do EPIC que realiza o movimento ocular
POE	Procedimento de Operação em Emergência
POE-3	Procedimento de Operação em Emergência - Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor de Angra 1
PZR	Pressurizador
PPS	Parcimonious Production System
PWR	Pressurized Water Reactor

RTGV	Acidente de Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor
RCR	Remoção de Calor Residual
SOAR	States Operators and Results
SRR	Sistema de Refrigeração do Reator
TMI-2	Unidade 2 da Central Nuclear de Three Mile Island
THERP	Technic for Human Error Rate Prediction
TIB	Tanque de Injeção de Boro

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO

1.1 A ENGENHARIA DE FATORES HUMANOS NO PROJETO DE USINAS NUCLEARES 1
1.2 ELEMENTO 3 – ANÁLISE DE REQUISITOS FUNCIONAIS E ALOCAÇÃO DE FUNÇÕES 3
1.3 ELEMENTO 4 - ANÁLISE DE TAREFAS 5
1.4 O MÉTODO ADOTADO PELA INDÚSTRIA PARA ANÁLISE DE TAREFAS E ALOCAÇÃO DE FUNÇÕES 6
1.5 OBJETIVOS DESTE TRABALHO 7
1.6 A ESTRUTURA DESTA TESE 8

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ARQUITETURAS INTEGRATIVAS 10
2.2 CONCEITO DE TAREFAS DO OPERADOR EM UM ACIDENTE 16
2.3 A NORMA ANSI/ANS-58.8-1994 "TIME RESPONSE DESIGN CRITERIA FOR SAFETY-RELATED OPERATOR ACTIONS" 18
2.4 CENÁRIO DO ACIDENTE MODELADO 23

3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS

3.1 O MODEL HUMAN PROCESSOR – MHP 29

3.1.1 O SISTEMA PERCEPTUAL 31
3.1.2 MEMÓRIAS PERCEPTUAIS 32
3.1.3 O PROCESSADOR PERCEPTUAL 34
3.1.4 O SISTEMA MOTOR 35
3.1.5 O SISTEMA COGNITIVO 35
3.1.6 A MEMÓRIA DE TRABALHO 35
3.1.7 A MEMÓRIA DE LONGA DURAÇÃO 36
3.1.8 O PROCESSADOR COGNITIVO 37
3.1.9 O DESEMPENHO HUMANO 37

3.1.10 HABILIDADE MOTORA – FEI DE FITTS 38
3.1.11 DECISÕES SIMPLES 40
3.1.11.1 TEMPO DE REAÇÃO SIMPLES 40
3.1.11.2 CASAMENTO FÍSICO 41
3.1.11.3 CASAMENTO DE NOME 42
3.1.11.4 CASAMENTO DE CLASSE 42
3.1.11.5 REAÇÃO DE ESCOLHA 42

3.2 A ARQUITETURA EPIC 44

3.2.1 O PROCESSADOR COGNITIVO 47
3.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS REGRAS DE PRODUÇÃO 51
3.2.3 CONDIÇÕES DAS REGRAS DE PRODUÇÃO 51
3.2.4 AÇÕES DAS REGRAS DE PRODUÇÃO 53
3.2.5 FUNÇÕES DE AÇÕES ESPECIAIS 54
3.2.6 PROCESSADORES PERCEPTUAIS
3.2.6.1 O PROCESSADOR VISUAL 56
3.2.6.2 O PROCESSADOR AUDITIVO 56
3.2.7 OS PROCESSADORES MOTORES 57
3.2.8 RESTRIÇÕES NA CONTRUÇÃO DE MODELOS 59

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO MHP AO PO-E-3 61
4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO EPIC AO PO-E-3 63
4.2.1 DADOS DE ENTRADA PARA A ARQUITETURA 63
4.2.2 RESULTADOS DA MODELAGEM EPIC DO PO-E-3 64
4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS SIMULAÇÕES PELO MHP, GOMS E EPIC DAS AÇÕES DO INTERVALO SÉTIMO DO PO-E-3 69
4.4 EXPERIMENTO NO SIMULADOR 70

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 73
6 REFERÊNCIAS 79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Modelo de Revisão do Programa de Engenharia de Fatores humanos	4
Figura 2.1	Arquiteturas Cognitivas	9
Figura 2.2	A organização do Conhecimento na Memória	12
Figura 2.3	Definição dos Pontos de Tempos Discretos	21
Figura 2.4	Definição dos Intervalos de Tempo	21
Figura 2.5	Exemplos de Análise de Eventos	22
Figura 2.6	Estrutura Causal de uma RTGV (Fase Inicial)	27
Figura 3.1	O Model Human Processor	33
Figura 3.2	Diagrama Geral do Sistema EPIC, Mostrando o Ambiente da Tarefa e a Arquitetura EPIC	45
Figura 4.1	Tempo de Acesso Médio por Parâmetro ao Longo do Evento	62
Figura 4.2	ANGRA 1 - Painel Principal - Seção B	65
Figura 4.3	ANGRA 1 - Painel Principal - Seção C	65
Figura 4.4	ANGRA 1 - Painel Principal - Seção D	66
Figura 4.5	ANGRA 1 - Painel Principal - Seção E	66
Figura 4.6	Sala de Controle de ANGRA I – Visão Geral	67
Figura 4.7	Setores do Painel Principal	68

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1	Modelos Integrativos com Processadores Motores	14
Tabela 2.2	Classificação das Condições da Instalação	20
Tabela 2.3	Seqüência de Objetivos no Evento RTGV	28
Tabela 2.4	Duração do PO-E-03 (Demonstração em Simulador da KSU)	29
Tabela 4.1	Tempos obtidos pela modelagem EPIC do intervalo sétimo do PO-E-3	64
Tabela 4.2	Comparação dos resultados obtidos pelo GOMS, MHP e EPIC.	69
Tabela 4.3	Tempos Medidos e Tempos Calculados dos Experimentos no Simulador de Angra 2	71

ÍNDICE DE APÊNDICES

APENDICE 1 Lista de Atividades Cognitivas para uma RTGV

APÊNDICE 2 Ações dos Operadores, e Tempo Gasto Nestas Ações, Durante um Acidente de RTGV na Usina ANGRA 1, Seguindo-se o PO-E3 e a Metodologia MHP-CE

APÊNDICE 3 Cálculo do Tempo de Acesso por Parâmetro ao Longo do Evento de RTGV

APÊNDICE 4
- 4.1 Posição dos Instrumentos no Painel
- 4.2 Programação da Regras do Sétimo Intervalo do PO-E-3 na Arquitetura EPIC
- 4.3 Saída do EPIC com os Últimos Ciclos e o Tempo Total Obtido

APÊNDICE 5 Tarefas do Experimento no Simulador

APÊNDICE 6 Cálculo do tempo do Experimento Utilizando-se o MHP

APÊNDICE 7 Programação das Regras para o Experimento no Simulador

1 INTRODUÇÃO

1.1 A ENGENHARIA DE FATORES HUMANOS NO PROJETO DE USINAS NUCLEARES

Em 28 de março de 1979, o acidente na Unidade 2 da Central Nuclear de Three Mile Island, iniciado por problemas mecânicos, foi exacerbado por uma combinação de erros humanos que ocorreram quando da resposta a esses problemas.

A Sala de Controle da usina de TMI-2 apresentava muitos pontos fracos, comuns às usinas naquela época, incluindo (1) indicadores de difícil leitura e que não distinguiam entre indicações normais e anormais; (2) controles localizados longe dos respectivos indicadores; (3) falha em indicar importantes parâmetros em posições de destaque; (4) falta de grupamento funcional de indicadores; (5) falta de mímica para identificar controles relacionados no console; (6) falta de codificação de cores e identificação de componentes consistente; (7) reflexos da iluminação nos painéis; (8) iluminação pobre; (9) excesso de alarmes e (10) alarmes não priorizados.

O acidente de TMI-2 tornou clara a necessidade de melhoria do projeto de Salas de Controle das Usinas Nucleares. Em agosto de 1979, uma força-tarefa composta de renomados cientistas e técnicos da agência regulatória americana do setor nuclear, Nuclear Regulatory Commission (NRC), emitiu um documento [1], no qual uma das recomendações foi a de que todos os licenciados deveriam fazer uma revisão de suas Salas de Controle.

Foram emitidos pela NRC, a seguir, diversos documentos, culminado com o NUREG-0711[2], o qual exigiu que fosse feita uma análise mais abrangente, alcançando todo o Programa de Engenharia de Fatores Humanos dos licenciados. O princípio racional geral que guia o desenvolvimento desse modelo de revisão é que "segurança da instalação" é um conceito não diretamente observável, mas que deve ser inferido das evidências disponíveis.

Esse conceito é definido pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) como: "Prevenir com alta confiança acidentes em uma usina nuclear; assegurar que, para todos os acidentes levados em conta no projeto da instalação, mesmo aqueles de probabilidade muito pequena, conseqüências radiológicas, se existirem, serão de

pequenas proporções; e assegurar que a probabilidade de acidentes severos com conseqüências radiológicas sérias seja extremamente pequena".

A Engenharia de Fatores humanos tem uma função importante em assegurar a segurança da instalação e prover a defesa em profundidade, conforme estabelecido pela AIEA:

"Uma das mais importantes lições de eventos, desde os menores incidentes a acidentes sérios, é que eles têm resultado de ações humanas incorretas. Freqüentemente tais eventos têm ocorrido quando o pessoal da instalação não reconhece o significado de segurança de suas ações, quando eles violam procedimentos, quando eles não estão atentos para a situação da instalação, foram mal dirigidos por dados incompletos, ou não compreendiam, completamente, a instalação" [3].

Deste modo, a consideração da engenharia de fatores humanos no projeto tornou-se princípio técnico básico essencial para a aplicação com sucesso da tecnologia de segurança de usinas nucleares. O princípio estabelece:

"O pessoal engajado em atividades com influência na segurança nuclear é treinado e qualificado para realizar suas funções. A possibilidade de erros humanos na operação de usinas nucleares é levada em consideração facilitando-se decisões corretas pelos operadores e inibindo ações incorretas, e provendo meios para detectar e corrigir ou compensar um erro" [3].

O Programa de Revisão da Engenharia de Fatores Humanos do NUREG 0711 consiste dos seguintes elementos:

1. Gerenciamento do Programa de EFH
2. Revisão da experiência operacional
3. Análise de requisitos funcionais e alocação de funções
4. Análise de tarefas
5. Estafe
6. Análise de confiabilidade humana
7. Desenvolvimento de procedimentos
8. Desenvolvimento de programa de treinamento
9. Projeto da interface homem-máquina

10. Verificação e validação de fatores humanos

Os estágios do processo de implementação do Programa de Engenharia de Fatores Humanos são mostrados na Figura 1.1.

Desses elementos, são de especial interesse para este trabalho o terceiro, Análise de Requisitos Funcionais e Alocação de Funções e o quarto, Análise de Tarefas, que serão descritos com mais detalhes a seguir.

1.2 ELEMENTO 3 – ANÁLISE DE REQUISITOS FUNCIONAIS E ALOCAÇÃO DE FUNÇÕES

Este elemento consiste de duas atividades de revisão distintas: análise de requisitos funcionais e alocação de funções. A primeira consiste na identificação daquelas funções que devem ser realizadas para satisfazer os objetivos de segurança da instalação, isto é, prevenir ou mitigar as conseqüências de acidentes postulados, que poderiam causar danos indevidos à saúde e segurança do público. Ela é conduzida para (1) determinar os objetivos, requisitos de desempenho e condições de contorno do projeto; (2) definir as funções que devem ser completadas para atingir os objetivos e o desempenho requerido; (3) definir os relacionamentos entre funções e processos da instalação responsáveis por executa-las; (4) prover um arcabouço para o entendimento do papel dos controladores (pessoal ou do sistema) no controle dos processos da instalação.

A alocação de funções é a análise dos requisitos para controle da instalação e a designação de funções de controle (1) ao operador humano (controle manual); (2) a elementos do sistema (controle automático e passivo, fenômenos auto controlados); e, (3) à combinação de controle manual e elementos do sistema (sistemas de controle ou ações automáticas compartilhadas com ação manual de retaguarda). A alocação de funções procura aumentar a segurança e confiabilidade global da instalação, pela exploração dos pontos fortes das pessoas e dos elementos do sistema, levando a aprimoramentos que podem ser conseguidos pela designação de funções de controle a esses elementos, com responsabilidades redundantes e superpostas.

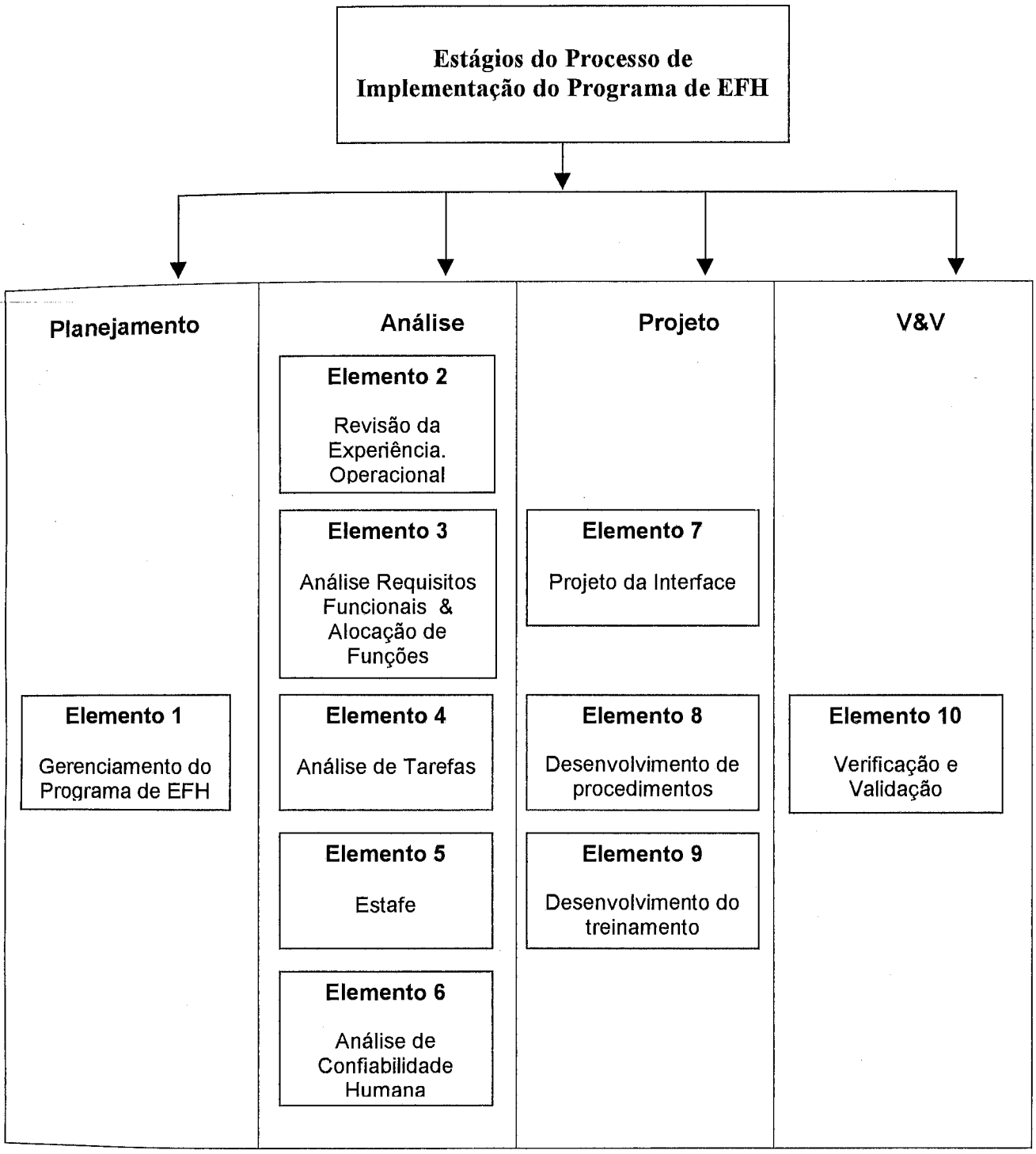


Figura 1.1: Modelo de Revisão do Programa de Engenharia de Fatores humanos

A Alocação de Funções deve ser baseada em princípios da Engenharia de Fatores Humanos, usando uma metodologia estruturada e bem documentada, que almeje alocar às pessoas tarefas lógicas, coerentes e significativas. Não deve ser baseada tão somente em considerações tecnológicas, que aloquem às pessoas tudo o que os projetistas não conseguirem automatizar.

Uma das maiores tendências em projetos avançados de usinas é um aumento em automação, para aquelas tarefas tradicionalmente realizadas pelos operadores. Um aumento na automação resulta em uma mudança da função do operador: de controlador direto manual para controlador supervisor e monitor do sistema. Presume-se que esse aumento da automação produz um aumento da confiabilidade global dos sistemas. Entretanto, surgem problemas, quando a automação é feita baseada grandemente na capacidade da tecnologia disponível, em vez de considerações do desempenho do operador como um componente integral do sistema como um todo. Bastl [4] chamou a atenção para o fato de que, dados de acidentes e relatório de eventos significativos, juntamente com uma revisão dos processos de projeto, antigos e correntes, revelam que projetistas de usinas, freqüentemente, não demonstram o uso de métodos sistemáticos, para fazer a série necessária de decisões críticas, que alocam funções ao homem ou à máquina, isto é, estabelecer a extensão e o papel da automação.

Uma pobre *consciência da situação* tem sido atribuída à interação humana com sistemas altamente automatizados [5]. Manter uma *consciência da situação* é difícil quando o operador é grandemente afastado do circuito de controle, isto é, seu papel trocado de controlador manual para supervisor e monitor [6]. Um aumento na automação é freqüentemente associado à perda de vigilância por parte do operador, causando um aumento de erros associados a esta [7].

1.3 ELEMENTO 4 - ANÁLISE DE TAREFAS

A Análise de Tarefas é a avaliação das demandas de desempenho do pessoal da instalação, para identificar os requisitos das tarefas e realizar as funções alocadas a eles [8]. É uma atividade muito importante porque ela define os requisitos da interface homem-máquina para a realização de tarefas pelo pessoal de suporte (e, por exclusão, o que é desnecessário). Pessoas realizam tarefas para cumprir suas

responsabilidades funcionais. Embora não exista uma definição precisa de uma tarefa no nível de abstração, uma tarefa é um grupo de atividades relacionadas que tem uma meta ou um objetivo comum. Por exemplo, a Análise de Tarefas forma as bases para:

- Avaliar a alocação de funções, isto é, para examinar a capacidade do pessoal da instalação em realizar tarefas a eles designadas.

- Suprir as bases para a definição de requisitos de pessoal e projeto dos postos de trabalho.

- Suprir requisitos das tarefas detalhados para apoiar o desenvolvimento de procedimentos detalhados.

- Identificar requisitos de treinamento.

1.4 O MÉTODO ADOTADO PELA INDÚSTRIA PARA ANÁLISE DE TAREFAS E ALOCAÇÃO DE FUNÇÕES

Na década de 90 houve uma queda na encomenda de novas usinas nucleoelétricas causando certa paralisação no desenvolvimento de novos projetos e conseqüentemente de metodologias para verificação da adequação da interface homem-máquina proposta.

A proposta de verificação sistemática da adequação da interface homem-máquina apresentada pela Combustion Engineering no projeto padrão SYSTEM 80+ [9], por exemplo, data de 1990. Esta proposta utilizou a arquitetura cognitiva MODEL HUMAN PROCESSOR – MHP [10], da década de 70.

Desta época até o presente, houve um grande desenvolvimento na área de arquiteturas cognitivas, especialmente no desenvolvimento das chamadas arquiteturas integrativas e conexionistas.

As arquiteturas integrativas, de especial interesse para a aplicação na verificação da adequação das interfaces homem-máquina, integram em um só

arcabouço os sistemas perceptual, cognitivo e motor, e são de grande utilidade na simulação do desempenho humano.

As arquiteturas conexionistas visam fazer com que a cognição seja alcançada por um modelo computacional que seja neurologicamente plausível. A integração da modelagem dos vários estágios de processamento da informação em um modelo que possa ser utilizado para simular o desempenho humano ao realizar uma tarefa, utilizando princípios conexionistas, levou ao desenvolvimento do modelo CAP (Controlled Automatic Processing Model) [11]. Este é o modelo que consegue representar a maior parte dos fenômenos da memória de trabalho (ver CARD em [12]). Porém, ainda não atingiu um estágio de desempenho compatível com o dos principais modelos integrativos em uso.

1.5 OBJETIVOS DESTE TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo:

a) apresentar uma metodologia para a Análise Cognitiva de Tarefas de um operador de uma usina nuclear com a utilização de uma arquitetura cognitiva integrativa. A arquitetura escolhida é denominada EPIC – Executive Process – Interactive Control [13], que contrariamente ao modelo MHP utilizado pela indústria, é voltada para a realização de tarefas em paralelo;

b) comparar os resultados obtidos com a utilização desta arquitetura na execução das tarefas do PO-E-3 – Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor, de Angra 1 [14], com os obtidos com a utilização da arquitetura paramétrica Model Human Processor – MHP; e

c) comparar os resultados obtidos com a simulação pelas arquiteturas MHP e EPIC de três tarefas executadas no Simulador Pleno da Usina Angra 2, com os tempos medidos experimentalmente.

Escolhemos a arquitetura integrativa EPIC por ser voltada para a realização de tarefas em paralelo, incluir num só arcabouço processadores perceptuais, cognitivos e motores, por sua disponibilidade para uso acadêmico, extensiva validação para os

tempos de reação e por ter tanto a parte perceptual quanto a parte motora, bem mais elaboradas que as do MHP.

Na verificação da funcionalidade da interface homem-máquina, a Análise de Tarefas tem como principal aplicação a Alocação de Funções, na qual se determina, analiticamente, quais funções deverão ser executadas pelo automatismo da instalação e quais deverão ser alocadas ao operador. Isto tem por objetivo evitar que ações, cujo tempo para execução é muito restrito, sejam alocadas ao operador e que um excesso de automatismo venha a prejudicar a vigilância do operador sobre a evolução do evento e o estado de segurança da instalação.

1.6 A ESTRUTURA DESTA TESE

Este capítulo introduz o problema que é alvo desta dissertação. O Capítulo 2 apresenta fundamentos teóricos sobre modelagem cognitiva, a comparação da arquitetura EPIC com as demais integrativas disponíveis, o conceito de tarefas do operador de uma usina nuclear durante acidente e o cenário escolhido para simulação com a utilização das arquiteturas MHP e EPIC. As arquiteturas cognitivas MHP e EPIC, utilizados nesta dissertação, são descritos no Capítulo 3. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a simulação pelos modelos e a comparação com dados experimentais. No Capítulo 5 são discutidas as conclusões e as recomendações para trabalhos futuros nesta área. No Capítulo 6 são relacionadas as referências bibliográficas. Finalmente, nos apêndices, são apresentadas as tabelas maiores, os cálculos, as programações das regras e ambiente da tarefa e a descrição detalhada dos experimentos no simulador.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Etimologicamente, cognição refere-se ao conhecimento e ao ato ou processo de conhecer, em oposição a emoções e desejos. Um modelo cognitivo de comportamento tenta descrever, explicar e predizer o comportamento humano naquele domínio, modelando que informação as pessoas coletam, como elas a adquirem, como ela é representada internamente, e como ela é usada para guiar o comportamento.

Existem duas linhas principais de arquiteturas cognitivas, a simbolicista e a sub-simbolicista, mostrados na Figura 2.1. A linha sub-simbolicista leva aos modelos conexionistas que são representados por redes de grande quantidade de *unidades* interconectadas, cada uma com uma certa quantidade de ativação, que se espalha para as outras unidades interconectadas por intermédio de pesos associados. Esta linha não é objeto deste trabalho. A linha simbolicista inicia-se com modelos paramétricos, como o MHP, que usa alguns parâmetros para caracterizar a arquitetura, evoluindo para os modelos integrativos, que apresentam como característica mecanismos cognitivos detalhados interagindo entre si [15].

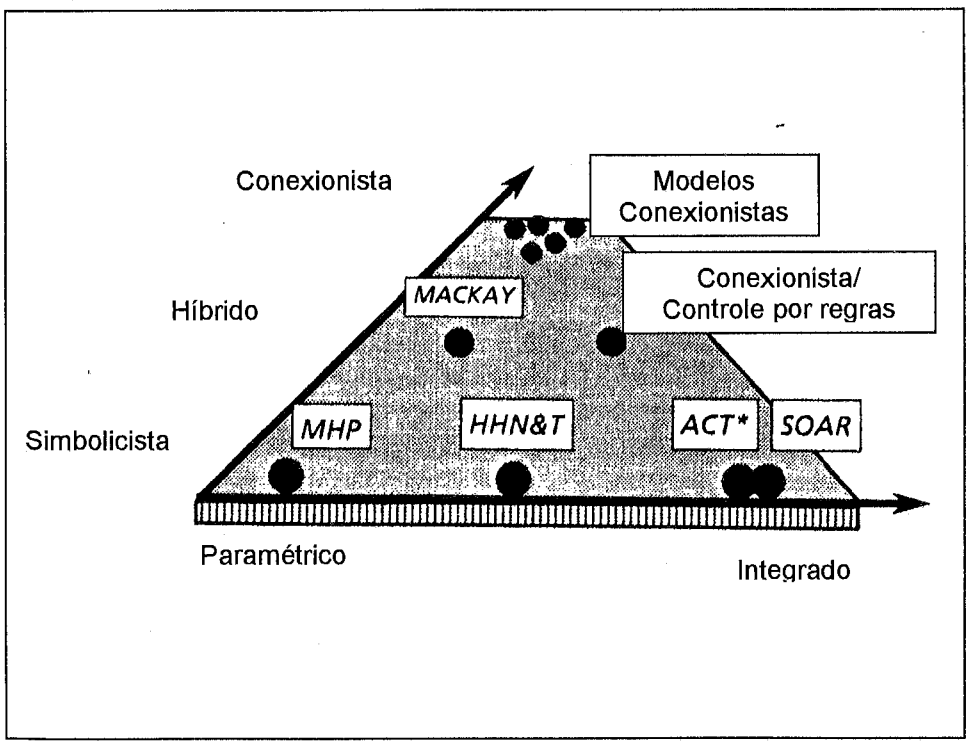


Figura 2.I: Arquiteturas Cognitivas

A modelagem cognitiva de produtos tem representado um importante avanço na pesquisa na área de fatores humanos. Similarmente a outros modelos de engenharia, a modelagem cognitiva pode fazer previsões sobre a usabilidade de interfaces homem-máquina. Como uma técnica de laboratório, a modelagem cognitiva pode ser usada em conjunto ou como alternativa a outros procedimentos, tais como a experimentação. Ela tem algumas vantagens distintas quando comparada com a experimentação. A experimentação exige que pelo menos um modelo do produto seja construído, antes que esta tenha início. Para se aplicar a modelagem cognitiva, apenas um arcabouço do projeto é necessário.

2.1 ARQUITETURAS INTEGRATIVAS

Arquiteturas integrativas, como seu nome sugere, integram em um único e coerente arcabouço, vários submodelos do comportamento humano (sensação, percepção, cognição e assim por diante). As arquiteturas integrativas, de algum modo, refletem uma teoria do comportamento humano unificada. Nestas, submodelos relacionados interagem por intermédio de representações, em comum, de resultados intermediários de processamento da informação, e nos quais, são usadas representações conceituais consistentes e ferramentas similares.

Existem quatro modos gerais principais de desenvolvimento de modelos de desempenho humano [11] : (1) *processamento da informação*, (2) *teoria do controle*, (3) *rede de tarefas* e (4) *baseado no conhecimento*. O modelo que vamos utilizar é uma arquitetura cuja tomada de decisão é *baseada no conhecimento*.

A *tomada de decisão* humana pode ser vista como um estágio do *processamento da informação*, que se coloca entre a percepção e a execução da resposta [16]. Sob esse ponto de vista, tomada de decisão é o processo utilizado quando se escolhe uma resposta ao um estímulo percebido. O processo utilizado depende de qual estratégia de decisão é aplicada e pode variar grandemente entre contextos de decisão.

As hipóteses do modo *processamento da informação* são baseados nas teorias psicológicas do processamento da informação humano e na crença de que o desempenho humano observado ou predito pode ser explicado (isto é, modelado) pela agregação dos processos internos requeridos para executar uma série de

procedimentos que definem a tarefa. Uma tarefa consiste de uma série de subtarefas e cada subtarefa pode ser modelada. Todos esses modelos são, então, utilizados para explicar o comportamento total.

Os modelos baseados na *teoria de controle* vêm de uma disciplina da engenharia e são principalmente orientados para descrições contínuas no tempo, otimização de desempenho em circuitos fechados homem-máquina e representação do processo de desempenho humano no nível de macro tarefa. Eles são mais adequados à área de aviação, pois, neste contexto, o piloto observa de imediato o resultado de suas ações no meio exterior. Numa usina nuclear o operador está afastado do processo a ser controlado, por razões óbvias.

Os modelos baseados em *redes de tarefas*, que emergiram de pesquisa em operação, são orientados primariamente para o sequenciamento de grandes número de tarefas discretas arranjadas em uma rede apropriada para obter um objetivo particular. Modelos baseados neste modo focam no tempo requerido para completar tarefas individuais e totais e na probabilidade de erro associado ao desempenho da tarefa. Eles são mais adequados aos modelos de Confiabilidade Humana clássicos, do tipo THERP [11], etc.

O modo *baseado no conhecimento* tem suas raízes na psicologia cognitiva e na ciência da computação (inteligência artificial). O campo da ciência cognitiva que representa a intersecção dessas disciplinas, tem como objetivo o desenvolvimento de representações formais dos processos cognitivos humanos, tais como tomada de decisão, resolução de problemas, planejamento ou entendimento. Algumas vezes essas representações são algoritmos; mais freqüentemente são expressas na forma de simulações dos processos, que se acredita serem utilizados pelos seres humanos. As ferramentas do especialista em inteligência artificial, tais como programação voltada para o objeto, estão começando a ser utilizadas para implementar essas simulações e estão sendo aplicadas para a modelagem de sistemas homem-máquina. Elas suprem as bases para modelos muito flexíveis que podem ser preparados com relativa simplicidade para produzir resultados métricos de desempenho ou ainda com saídas de sumários gráficos.

Modelos de desempenho humano *baseados no conhecimento*, são explicações de como as pessoas decidem o que deve ser feito para resolver um problema. Eles evoluíram das pesquisas de Newell e Simon [10] em simulação por computador da

resolução humana de problemas. Esses pesquisadores verificaram que programas de computador podem ser vistos como manipulação de símbolos em vez de execução de cálculos aritméticos. Eles argüiram que o pensamento humano é também um exemplo de manipulação de símbolos e desse modo podem ser modelados por programas de computador.

A idéia básica, por trás da simulação por computador, é que o conhecimento pode ser representado por estruturas de símbolos e regras para operação nestas. A idéia de que o pensamento pode ser modelado por programas de computador de nenhum modo implica que a maquinaria do cérebro humano seja logicamente similar aos dispositivos digitais modernos. Como mostrado na Figura 2.2, o conhecimento, nos modelos *baseados no conhecimento*, é organizado em duas classes distintas: informação na memória de trabalho (ou de curta duração) e informação na memória de longa duração.

A representação do problema é armazenada na memória de trabalho, como um conjunto de proposições. Essas proposições podem se referir a conhecimentos sobre o problema a ser resolvido.

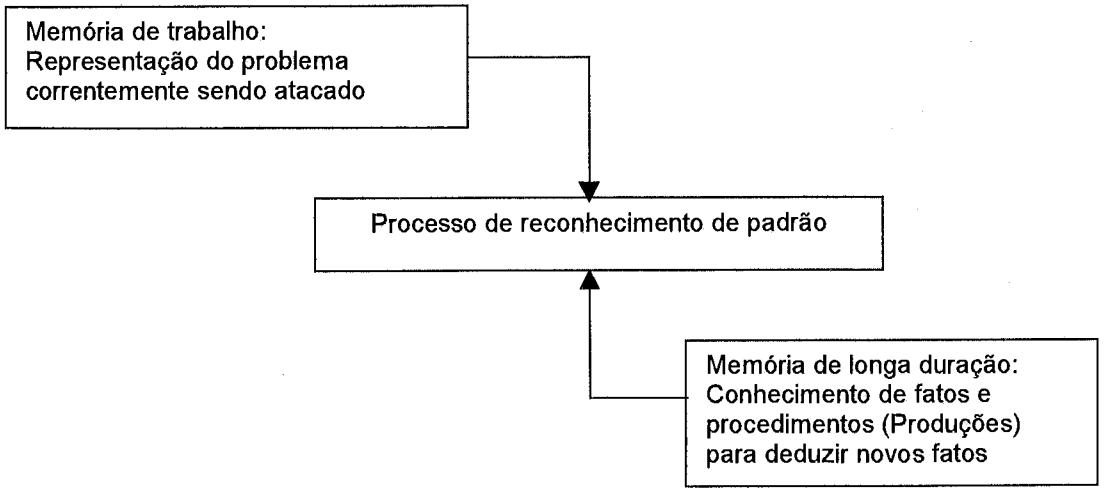


Figura 2.2: A organização do Conhecimento na Memória

Assume-se que a informação sobre como resolver problemas é residente na memória de longo termo. Os fatos e métodos são chamados de informação declarativa

sobre resolução de problemas. Eles estão armazenados na forma de regras "se→então", chamadas produções.

A resolução do problema prossegue, então, pelo reconhecimento de padrões. O tempo é organizado em ciclos discretos. Em cada ciclo a representação do problema é examinada para ver se contém informações que satisfazem a condição "se" de qualquer produção na memória de longo termo. Quando um casamento é encontrado, a ação associada – a parte "então" da produção – é executada. A seqüência de casamento de padrões prossegue até que a memória de trabalho contenha informações equivalentes à solução do problema.

A importância de modelos *baseados no conhecimento* é que eles oferecem um meio de modelar a maneira que as pessoas usam para resolver problemas difíceis, quando a situação oferece várias opções para escolha das ações. Por esse motivo é particularmente útil para entender o modo através do qual as pessoas executam a supervisão de controles, em sistemas homem-máquina.

Os modelos baseados em Processamento da Informação pressupõem a existência de uma arquitetura cognitiva básica advinda dos estudos da Psicologia Cognitiva. Nesta arquitetura identificamos quatro estruturas básicas, relativas a: (1) percepção (os cinco sentidos); (2) cognição (processador central de tomada de decisão com suas memórias de curta e longa duração); (3) ação motora (mãos e braços) e (4) atenção (regulando os conflitos entre os canais perceptuais, cognitivos e motores).

A Tabela 2.1 apresenta a comparação de vários modelos cognitivos que realizam de diversas maneiras uma arquitetura *baseada no conhecimento* e no *processamento humano da informação.*

Dos modelos apresentados, considerando a aplicação que desejamos fazer, escolhemos o modelo EPIC por ser, diferentemente dos outros analisados, orientado para a execução de multitarefas em paralelo e ter tanto a parte perceptual quanto a parte motora bem mais elaboradas que as do MHP, permitindo a modelagem física de um painel de controle, no módulo ambiente da tarefa. O MHP realiza somente o modelo do Processamento da Informação de forma paramétrica, ou seja, medindo parâmetros humanos para os processadores perceptuais, cognitivos e motores. O

EPIC, entretanto, realiza este modelo dentro de um ambiente modelado por Regras de Produção baseado no conhecimento.

Em algum sentido todas as arquiteturas permitem a execução de multitarefas, embora o ACT-R force a estrita execução das tarefas sem permitir interrupção. O grau de execução de multitarefas varia do HOS que permite a execução de apenas uma tarefa cognitiva (com paralelismo em casos muito especiais) ao EPIC, que permite qualquer número de tarefas concorrentes desde que os recursos disponíveis não sejam excedidos. Do ponto de vista de flexibilidade para multitarefas, arquiteturas como EPIC e MIDAS parecem oferecer os maiores potenciais [17]. A arquitetura MIDAS, baseada na *Teoria de Controle*, é especialmente projetada para fins militares não sendo, portanto, indicada para a aplicação objetivo deste trabalho.

Tabela 2.1: Modelos Integrativos com Processadores Motores [17]

Sub modelos	ACT-R	EPIC	HOS	SOAR
Sensação e percepção	Processadores perceptuais: visual, auditivo e tátil	Processadores perceptuais: visual, auditivo e tátil	Micro-modelos visual, auditivo	Processadores perceptuais: visual, auditivo
Memória de trabalho	Ativação de parte da memória de longa duração	Capacidade e duração ilimitada	Micro-modelo com capacidade e duração limitadas	Capacidade ilimitada. Duração ligada ao permitido pelo objetivo
Memória de longa duração	Rede de estruturas tipo esquema mais produções	Proposições e produções	Não modelada explicitamente	Produções
Motor	Processadores motores: manual, vocal, óculo-motor	Processadores motores: manual, vocal, óculo-motor	Micro-modelos do olho, mão, tronco, etc.	Processadores motores: manual, vocal, óculo-motor
Resultados de saída	Comportamento	Comportamento	Métricos	Comportamento

Representação do conhecimento	ACT-R	EPIC	HOS	SOAR
Declarativo	Estruturas tipo esquema	Proposições	Atributos do objeto armazenados na memória de trabalho	Produções
Procedimental	Produções	Produções	Linguagem procedimental HOS	Produções

Funções cognitivas de mais alto nível	ACT-R	EPIC	HOS	SOAR
Aprendizado	Ajuste de pesos, ajuste de força de produções, novas produções, novos esquemas	Inexistente	Inexistente	Aprendizado por agrupamento (chunking)
Planejamento	Cria novos planos	Prepara no momento planos gerais	Inexistente	Cria novos planos
Tomada de decisão	Baseada no conhecimento	Baseada no conhecimento	Inexistente	Baseada no conhecimento

Tabela 2.1: Modelos Integrativos com Processadores Motores (Cont.)

Realização de tarefas complexas	ACT-R	EPIC	HOS	SOAR
Série/paralelo	Em série com troca sem interrupção	Em paralelo	Em série com troca, com possibilidade de movimentos em paralelo	Em série com troca com interrupção
Representação de recursos	Quantidade de ativação de memória declarativa	Processadores motor e perceptual limitados. Processador cognitivo ilimitado	Canais cognitivo, fala, mão, pé.	Processador cognitivo em série, recursos perceptuais e motores limitados
Gerenciamento Objetivo/tarefa	Um objetivo de cada vez	Baseado na prioridade	Foco da atenção baseado na prioridade	Alocação da atenção baseado na preferência

Característica	ACT-R	EPIC	HOS	SOAR
Plataforma de implementação	MAC, PC (limitada)	Plataformas LISP	PC	MAC, PC, UNIX
Linguagem	LISP	LISP	FORTRAN	C
Ambiente de suporte	Editores, "debuggers"	Ferramentas do ambiente de programação LISP	Editores, na maioria texto	Editores, "debuggers"
Validação	Extensiva, em vários níveis	Extensiva, para tempo de reação	Micro modelos	Extensiva, em múltiplos níveis
Comentários	É focado em tarefas singelas de processamento da informação. Não foi ainda escalado para tarefas múltiplas complexas, ou domínios de alto conhecimento.	É focado em situações de duas simples tarefas simultâneas. Não foi ainda escalado para tarefas múltiplas complexas, ou domínios de alto conhecimento.	Correntemente somente capaz de comportamento predeterminado	Tem sido utilizado em simulações militares (STOW-E e STOW-97)

2.2 CONCEITO DE TAREFAS DO OPERADOR EM UM ACIDENTE [18]

O conjunto de ações para controle de um acidente em uma usina nuclear distingue entre gerenciamento *orientado para o evento* e *orientado para a função crítica de segurança.*

Por definição, gerenciamento de acidente *orientado para o evento* considera o tratamento específico para o evento que causou o acidente. A conexão direta entre a causa e o acidente permite que o guia para gerenciamento do acidente seja escrito na forma de procedimentos fixos.

Deste modo, podemos classificar sob este título as partes do Manual de Operação que incluem os seguintes grupos:

1. Acidentes de Perda de Refrigerante;

2. Acidentes do Lado Secundário;

3. Impactos Externos

Para este modo de gerenciamento do acidente, o método, a extensão e a seqüência de ações a serem tomados pela equipe de operação são apresentados como um fluxograma.

Um diagnóstico válido do acidente é um requisito essencial para o gerenciamento *orientado para o evento*. Isto deve ter sido previamente efetuado pela equipe. Após o diagnóstico ser feito, isto é, se o evento que causou o acidente foi determinado, será possível predizer o curso do acidente baseado no conhecimento da instalação e na experiência ganha em extensivas simulações por computador. Somente então deve-se reagir aos possíveis perigos para a instalação, realizando ações manuais no tempo correto.

Sob o conceito de gerenciamento *orientado para o evento*, o diagnóstico do acidente é suficiente para se escolher um procedimento específico para levar a instalação à condição de Desligada Fria.

Devido às múltiplas interações físicas entre os sistemas e a possibilidade de combinações de acidentes, os sintomas observáveis do acidente nem sempre permitem um reconhecimento preciso da causa. Conseqüentemente, o possível reconhecimento do acidente baseado nos sintomas será possível, somente após todos os outros acidentes que poderiam causar os mesmos sintomas terem sido descartados. Alem disso, para os casos em que um diagnóstico não possa ser feito, ou que um diagnóstico incorreto tenha sido feito, um outro conceito de gerenciamento do acidente deverá estar disponível. Isto será satisfeito pelo gerenciamento *orientado para as funções críticas de segurança.*

O atendimento às funções críticas de segurança assegura que, durante um acidente, os perigos sejam reduzidos mesmo que um diagnóstico não possa ser feito.

As funções críticas de segurança são:

- Subcriticalidade

- Resfriamento do núcleo

  - Inventário de refrigerante do primário
  - Transferência de calor do lado primário
  - Fonte-fria do lado secundário
  - Alimentação para os Geradores de Vapor
  - Integridade do circuito primário

O conceito de gerenciamento *orientado para as funções críticas de segurança* é dirigido a assegurar que estas estejam mantidas. Evidências da manutenção destas são garantidas por critérios bem definidos e verificados, continuamente monitorados. Em caso de uma função crítica ser ameaçada ou violada, o pessoal de operação é solicitado a realizar ações manuais. As funções de segurança estarão satisfeitas se nenhum dos seus respectivos critérios tiver sido ameaçado ou violado.

As ações manuais orientadas às funções críticas de segurança têm prioridade sobre os procedimentos *orientados para o evento*, se um procedimento de emergência não mostrar sinais de sucesso.

2.3 A NORMA ANSI/ANS-58.8-1994 "TIME RESPONSE DESIGN CRITERIA FOR SAFETY-RELATED OPERATOR ACTIONS" [19]

Os critérios contidos nessa Norma estabelecem requisitos de tempo a serem usados no projeto de sistemas relacionados com a segurança para usinas nucleares.

Esses critérios são utilizados para determinar os intervalos de tempo mínimos de resposta, para ações do operador, que são tomadas para mitigar Eventos Bases de Projeto (EBP) que resultam em Desarme do Reator.

Por intermédio desses critérios, o projetista poderá determinar se sistemas relacionados com a segurança podem ser iniciados por ações do operador, ou requerem iniciação por ações automáticas.

Os critérios de tempo de resposta da norma foram baseados em medições de desempenho do operador no simulador e dados de usinas coletados de eventos reais. O programa de medições foi conduzido pela General Physics Corporation, patrocinado pelo Electric Power Reserch Institute (EPRI), e pela Westinghouse Electric Corporation. Os dados foram coletados automaticamente e posteriormente tratados através do uso de métodos estatísticos.

Para podemos compreender os requisitos da norma será necessário definir alguns termos:

- **Início do evento (t_{st})** – Tempo no qual o Acidente Base de Projeto tem inicio.

- **Indicação do evento (t_{ind})** – Tempo no qual a informação está disponível, por exemplo, um ou mais alarmes, ao operador para informar que um EBP aconteceu.

- **Ação creditada mais próxima (t_{ECA})** – Tempo mais próximo ao início do evento, seguinte a t_{ind}, no qual poder-se-á tomar crédito por uma ação do operador.

- **Ação manual iniciada (t_{MAI})** – O ponto no tempo no qual a análise toma crédito pela iniciação de uma ação manual.

- **Ação relacionada com a segurança executada (t_{SCA})** – O tempo no qual a ação do operador é considerada completa.

- **Função de segurança executada (t_{SFC})** – Tempo no qual é recebida uma indicação de que um sistema relacionado à segurança realizou sua função de segurança.

- **Limite do evento (t_{Lim})** – O tempo mais próximo ao início do evento, no qual um requisito limitante do projeto será violado, caso uma função de segurança não tenha sido completada.

Os tempos definidos acima são mostrados na Figura 2.3.

- **Condição da instalação (PC)** – Classificação dos eventos em termos de freqüência de ocorrência com o propósito de estabelecer critérios de segurança nuclear.

As categorias mostradas na Tabela 2.2 são aplicáveis:

Tabela 2.2: Classificações das condições da instalação

Condição da instalação	Melhor estimativa de freqüência de ocorrência (F) por Reator Ano
PC-1	Operação normal
PC-2	$F \geq 10^{-1}$
PC-3	$10^{-1} > F \geq 10^{-2}$
PC-4	$10^{-2} > F \geq 10^{-4}$
PC-5	$10^{-4} > F \geq 10^{-6}$

- **Intervalo de tempo** – O tempo decorrido entre dois pontos discretos seqüenciais.

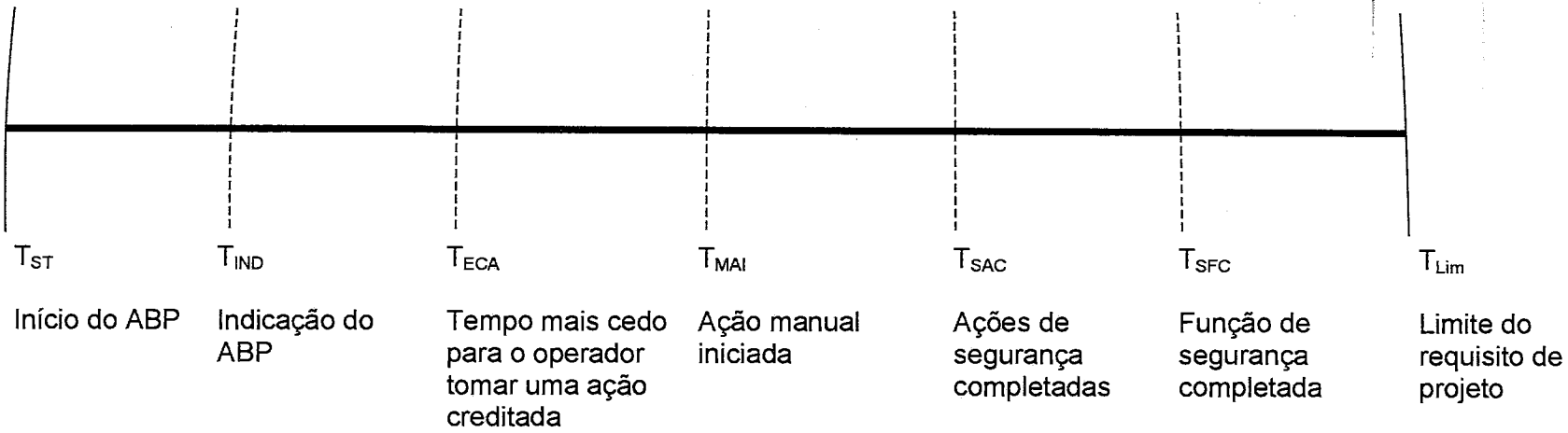


Figura 2.3: Definição dos Pontos de Tempos Discretos

NOTA: ABP = Acidente Básico de Projeto

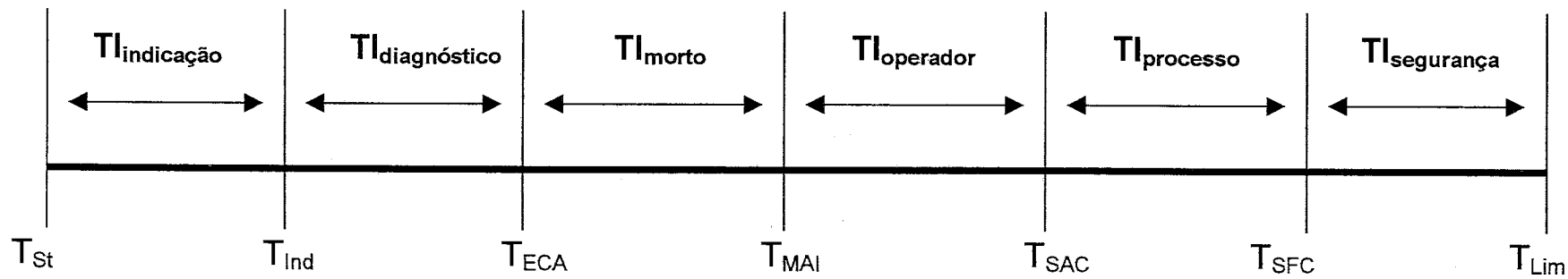
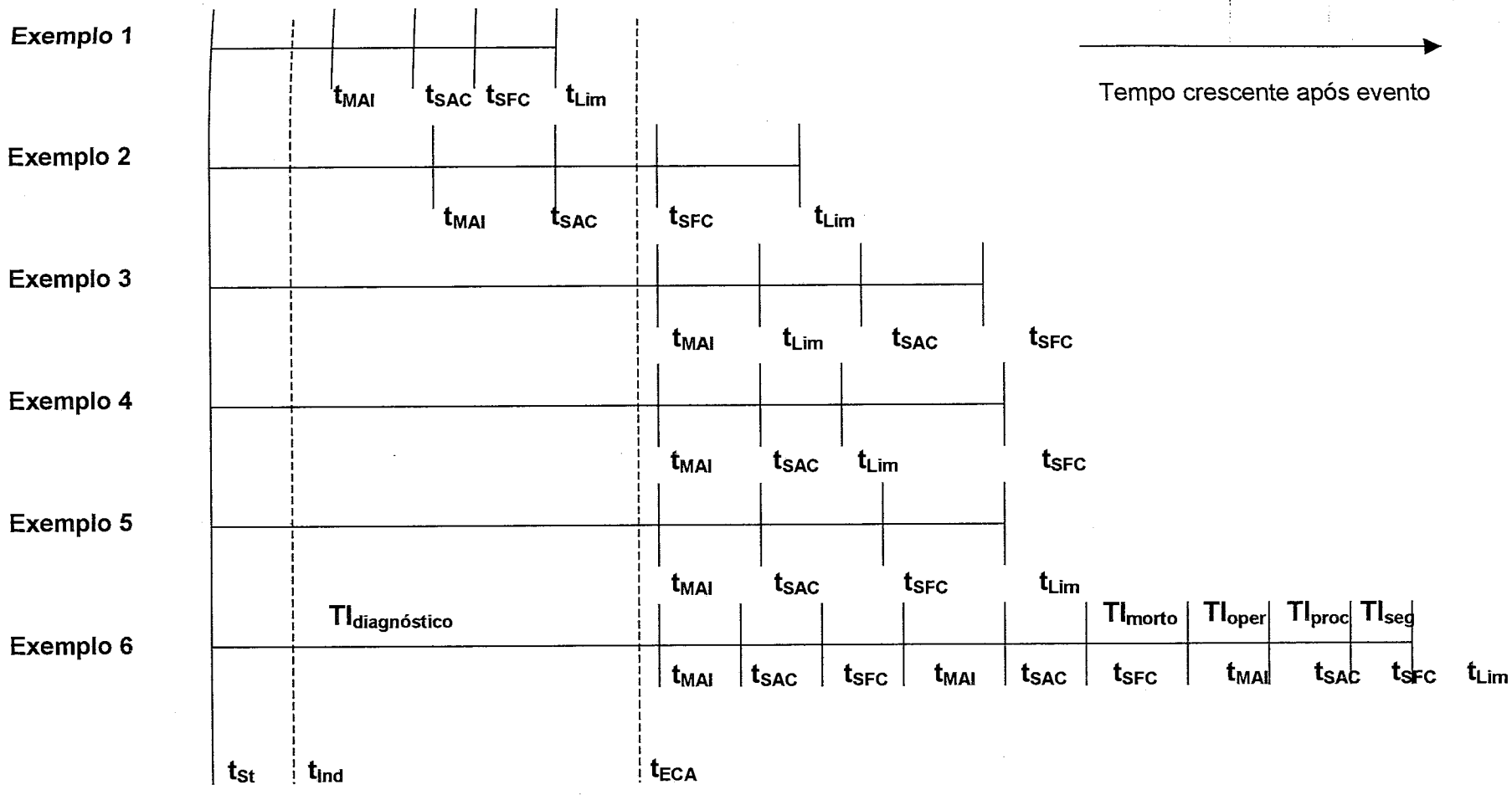


Figura 2.4: Definição dos intervalos de tempo



NOTAS: Nos exemplos 1 e 2, as condições de $TI_{diagnóstico}$ não são satisfeitas. Nos exemplos 3 e 4, as condições de $TI_{operador}$ não são satisfeitas. Todas as condições são satisfeitas nos exemplos 5 e 6.

Figura 2.5: Exemplos de Análise de Eventos

Esses intervalos de tempo são mostrados na Figura 2.4 e incluem:

1. **Indicação** ($TI_{Ind} = t_{Ind} - t_{st}$) – O intervalo de tempo entre o início do EBP e a primeira indicação deste para o operador.

2. **Diagnóstico** ($TI_{diag} = t_{ECA} - t_{Ind}$) – O intervalo de tempo entre a primeira indicação do EBP para os operadores e o tempo que se pode tomar crédito pela iniciação da ação do operador. Durante esse tempo assume-se que os operadores verificam as respostas automáticas, observam parâmetros da instalação e planejam as ações subseqüentes em resposta ao EBP.

3. **Morto** ($TI_{dead} = t_{MAI} - t_{ECA}$ **ou** $t_{MAI} - t_{SAC}$) – O intervalo de tempo entre TI_{diag} e TI_{safety} no qual os critérios analíticos permitem que seja creditada uma ação do operador, mas nenhuma ação de segurança ocorre na seqüência analisada.

4. **Resposta do operador** ($TI_{operator} = t_{SAC} - t_{MAI}$) – O intervalo de tempo durante o qual o operador inicia e completa ações de segurança.

5. **Resposta do processo** ($TI_{prosses} = t_{SFC} - t_{SAC}$) – O intervalo de tempo entre a ação do operador ter sido considerada completa e a indicação de que a função de segurança tenha sido completada pela resposta do equipamento de mitigação do EBP e da resposta do processo.

6. **Segurança** ($TI_{safety} = t_{Lim} - t_{SFC}$) – O intervalo de tempo entre o término da última função de segurança e quando o limite do evento seria atingido, sem ações do operador.

A Norma estabelece que, durante o intervalo de tempo TI_{diag}, nenhuma ação de segurança, do operador, deverá ser necessária. Todos os componentes e sistemas de segurança que devem ser iniciados no intervalo TI_{diag}, para cumprir funções relacionadas com a segurança ou evitar que algum requisito limitante de projeto seja excedido, deverão ser iniciados por ações de dispositivos automáticos de proteção.

Para cada análise de uma ação do operador, um valor não negativo de TI_{safety} deverá ser demonstrado, indicando que o projeto não excedeu um requisito limitante de projeto. Exemplos são apresentados na Figura 2.5.

Para cada ação relacionada com a segurança, requerida do operador, o valor de $TI_{operator}$ deverá ser calculado. A duração de $TI_{operator}$ reflete tanto a complexidade do EBP, quanto o número de manipulações individuais requeridas para completar a ação.

A Norma não estabelece o método para cálculo deste intervalo de tempo $TI_{operator}$, permitindo a escolha de um método apropriado.

2.4 CENÁRIO DO ACIDENTE MODELADO

O acidente de Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor (RTGV) é um dos acidentes de maior freqüência de ocorrência entre os acidentes base-de-projeto que podem levar à liberação de radioatividade para o meio ambiente, analisados no licenciamento da usina. Sua estrutura causal é mostrada na Figura 2.6. Este acidente demanda grande quantidade de ações manuais por parte dos operadores. Por estas duas características é o acidente normalmente escolhido para testar modelos cognitivos.

Este evento consiste na ruptura circunferencial de um dos 4.674 tubos de um dos Geradores de Vapor, permitindo a passagem de 40 lpm de refrigerante do circuito primário, que está a 157 kgf/cm^2 de pressão, para o circuito secundário a 72 kgf/cm^2.

Os objetivos do Procedimento de Operação em Emergência (POE) da Usina Angra 1, que tem a finalidade de combater este evento, são:

- **Que a pressão do circuito primário seja reduzida para conter o vazamento de refrigerante.** A pressão do circuito primário deve ser menor que a de abertura da Válvula de Segurança do Gerador de Vapor (GV), cujo ponto de ajuste é de 74 kgf/cm^2.

- **Que o Sistema de Remoção de Calor Residual seja colocado em operação.** O resfriamento do reator deverá ser transferido dos Geradores de Vapor para a última fonte de remoção de calor (água do mar).

Os pontos críticos deste procedimento, onde há uma importante concentração da carga de trabalho cognitiva, são:

1 **Diagnóstico do evento.** Para que os operadores possam iniciar o combate ao acidente.

2 **Isolamento do Gerador de Vapor afetado.** Fechamento das válvulas de alimentação, da linha de vapor e de amostragem para o GV afetado.

3 **Redução da temperatura do refrigerante primário.** A temperatura do refrigerante primário deverá ser reduzida abaixo da temperatura de saturação, para a pressão do Gerador de Vapor, para permitir a redução de pressão no primário, sem atingir a saturação, o que causaria grave redução do coeficiente de transferência de calor.

4 **Redução da pressão do primário.** A pressão do refrigerante primário deverá ser reduzida, para um valor abaixo do ponto de ajuste de abertura da Válvula de Segurança do Gerador de Vapor.

A estrutura simplificada dos objetivos do POE é apresentada na Tabela 2.3. Ela descreve apenas a primeira parte do procedimento, onde se concentra a carga de trabalho cognitiva. Não está incluído a colocação do Sistema de Remoção de Calor Residual em operação.

Como ilustração das características temporais básicas do procedimento de RTGV, o POE foi demonstrado no simulador pleno da usina de Ringhals, na Suécia [20]. O procedimento foi executado passo a passo e a duração de cada passo registrada. Ao todo a demonstração durou cerca de 45 minutos, o que pode ser considerado um desempenho bem próximo do ótimo, devido à alta qualificação dos operadores e também por que o cenário se desenvolveu de acordo com o previsto, ou seja, sem nenhuma falha de equipamento adicional.O resultado é mostrado na Tabela 2.4.

Embora haja diferenças de projeto entre Ringhals e Angra 1, os passos básicos do procedimento são os mesmos, conforme recomendação do Westinghouse Owners Group.

Para se fazer um perfil cognitivo do procedimento é necessário detalhar mais os objetivos da Tabela 2.3, acrescentando-se os meios para se obter os objetivos. A lista de atividades cognitivas do procedimento é mostrada no Apêndice 1.

Embora o Apêndice 1 contenha mais detalhes, ele não é uma descrição completa do procedimento. Um procedimento é, usualmente, dividido em uma seqüência de passos contendo uma ou mais observações ou ações, podendo haver informações adicionais na forma de notas ou avisos.

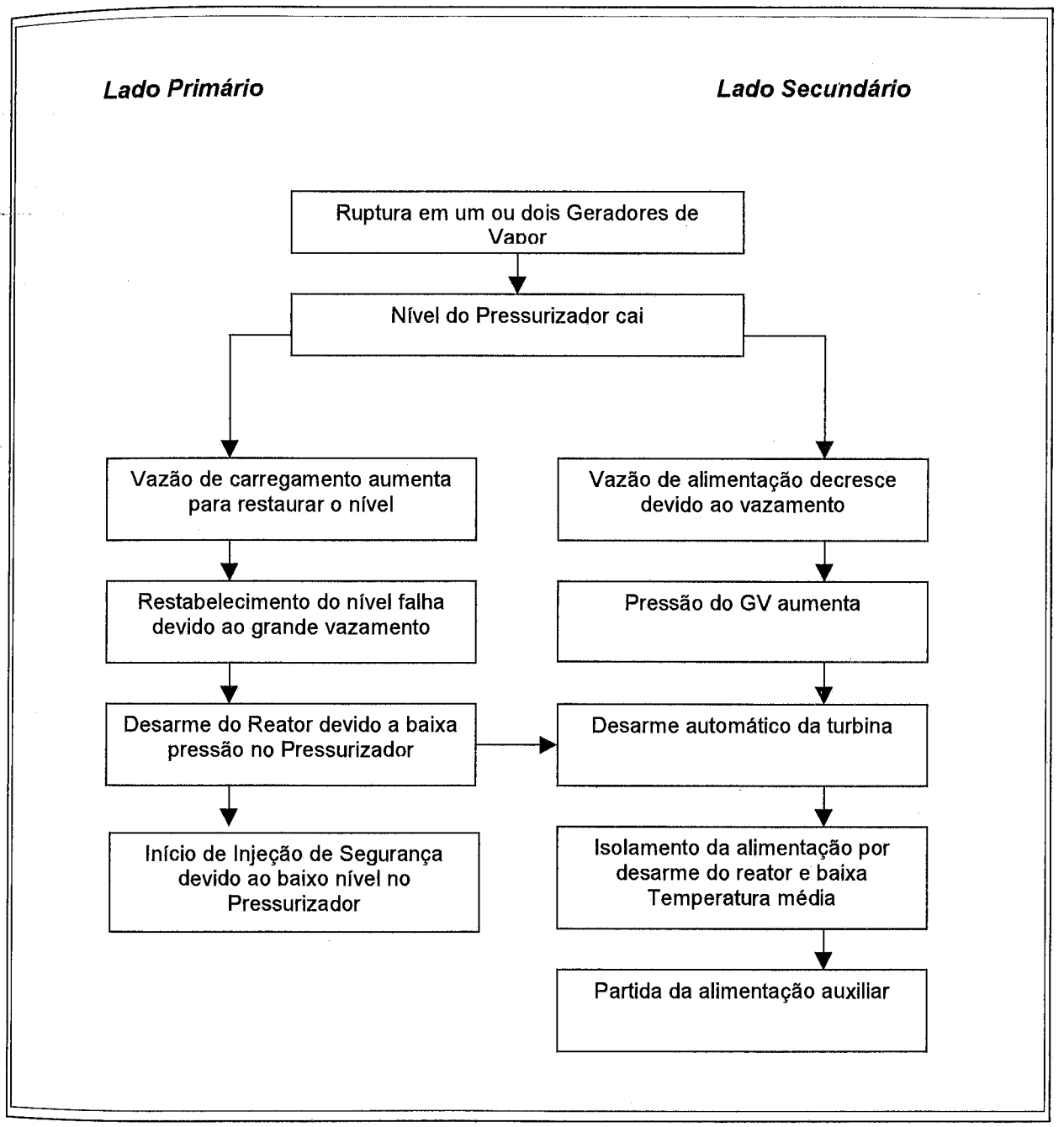


Figura 2.6: Estrutura Causal de uma RTGV (Fase Inicial)

Tabela 2.3: Seqüência de Objetivos no Evento RTGV

Passo	Segmento	Objetivo
1	Identificação	As condições de parada das BRRs foram verificadas
2		O GV rompido foi identificado
3	Isolamento	O GV rompido foi isolado
4	Resfriamento do Sistema de Refrigeração do Reator	Vazão de alimentação para o GV foi isolada
5		Equipe de Emergência foi notificada
6		Vvs. Alívio do PZR estão operáveis
7		Nenhum GV está rompido do lado secundário
8		Nível no GV intacto foi verificado
9		O sinal de IS foi "reseteado"
10		Isolamento Fases A e B foi "reseteado"
11		O Ar de Instrumentos está disponível na contenção
12		Há alimentação elétrica externa
13		Bombas de RCR foram desligadas
14		Pressão do GV rompido maior que 15 bar
15		O resfriamento do SRR foi atingido
16	Restabelecer nível no PZR	Pressão no GV rompido não decrescente
17		Sub-resfriamento do SRR dentro da margem
18		O vazamento pelo GV foi minimizado. Nível do PZR foi recuperado
19		O vazamento pelo GV foi minimizado. Nível do PZR foi recuperado
20		Pressão do SRR está aumentando
21	Desligamento da IS	IS foi parada
22		Uma Bomba de carregamento está operando
23	Equilíbrio da pressão	Fluxo de carregamento foi restabelecido
24		TIB foi isolado
25		Nível estável no PZR
26		Bombas de aspersão da contenção desligadas
27		"Make-up" em automático
28		Linha de saída em operação
29	segue	

Tabela 2.4: Duração do PO-E-03 (Demonstração em Simulador da KSU)

Passo	Objetivo	Tempo (Min)
1	Condições de desligamento das BRR verificadas	00:00
2	GV rompido foi identificado	01:10
3	GV rompido foi isolado	02:20
4	Vazão de alimentação para GV rompido foi isolada	03:30
5	Equipe de emergência notificada	03:50
6	VAs do PZR em condições de operação	04:00
7	Nenhum GV rompido no lado secundário	04:30
8	Nível na Faixa estreita do GV maior que 4%	04:50
9	Injeção de segurança "reseteada"	05:20
10	Isolamento fases A e B "reseteados"	05:30
11	Ar de instrumentos disponível na contenção	05:40
12	Barramentos com potência externa	05:50
13	Bombas de RCR desligadas	06:00
14	Pressão do GV rompido maior que 15 bar	06:30
15	Resfriamento do SRR atingido	06:50
16	Pressão no GV rompido não decrescendo	08:50
17	Sub-resfriamento do SRR dentro da margem	09:10
18	Vazamento para o GV rompido minimizado Nível no PZR restabelecido	09:20
18c	Pressão do SRR estabilizada	17:40
19	Passo 19 é uma alternativa para o passo 18	
20	Pressão do SRR aumentando	17:50
21	Injeção de Segurança interrompida *	18:00
22	Uma bomba de carregamento rodando	18:10
23	Vazão de carregamento restabelecida	18:30
24	TIB isolado	18:50
25	Nível do PZR estabilizado	19:10
26	Injeção de segurança não mais requerida	19:20
27	Bombas de aspersão desligadas	19:50
28	Sistema de reposição de refrigerante em automático	20:10
29	Linha de saída restabelecida	20:30
	* Passo executado a 10:40 no passo 18. O passo 20 incluiu apenas a re-verificação.	

3 DESCRIÇÃO DOS MODELOS

Neste capítulo descreveremos em detalhe o modelo adotado pela Combustion Engineering para análise cognitiva de tarefas de um operador de uma central nuclear, apresentado no Capítulo 18 – Programa de Engenharia de Fatores Humanos do projeto SYSTEM 80+, e o modelo EPIC que estamos estudando para a mesma aplicação.

3.1 O MODEL HUMAN PROCESSOR – MHP

O MHP de Card, Moran e Newell [10] segue uma longa linha de modelos de processamento humano da informação desenvolvidos na psicologia cognitiva, os quais têm como base a especificação de estágios discretos para o processamento da informação, no cérebro humano, para uma tomada de decisão. Card, et al., aperfeiçoaram esses modelos, pela quantificação da memória e dos parâmetros de processamento, os quais poderiam ser usados para fazer predições quantitativas sobre pessoas interagindo com máquinas. Basicamente, o usuário desse modelo deve aceitar a hipótese implícita de que o processamento ocorre em estágios discretos, que o processamento em um estágio é completado antes que a informação passe para o estágio seguinte e que a informação flui de uma maneira seqüencial de um estágio para o próximo. Se conhecermos os estágios pelos quais a informação deve passar, bem como as características temporais de cada estágio, então podemos somar os tempos individuais para se ter uma estimativa do tempo total da tarefa. Quando o tempo tem que ser determinado para tarefas complicadas, estas deverão ser separadas em componentes individuais dos quais possuímos as características temporais relevantes. O tempo total será determinado pela soma dos tempos dos componentes individuais.

O MHP pode ser dividido em três sub-sistemas que interagem entre si: (1) o *sistema perceptual*, (2) o *sistema motor*, e (3) o *sistema cognitivo*, cada um com suas próprias memórias e processadores, como mostrado na Figura 3.1.

O sistema perceptual consiste de sensores com suas memórias de armazenamento associadas, sendo as mais importantes a de Armazenamento da Imagem Visual e a de Armazenamento da Imagem Auditiva, para reter a saída do sistema sensorial enquanto esta está sendo codificada simbolicamente.

O sistema cognitivo recebe informação codificada simbolicamente dos armazenamentos de imagem sensorial na sua Memória de Trabalho e usa informação previamente armazenada na sua Memória de Longo Termo, para tomar decisões sobre como responder.

O sistema motor se encarrega de executar a resposta. Como uma aproximação, o processamento da informação do humano será descrito como se existisse um processador separado para cada sub-sistema: um Processador Perceptual, um Processador Cognitivo de um Processador Motor.

As memórias e processadores são descritos por alguns parâmetros. Os mais importantes são:

μ - capacidade de armazenamento de itens

δ - tempo de decaimento de um item

κ - tipo de codificação (físico, acústico, visual, semântico)

O parâmetro mais importante de um processador é:

τ - duração de ciclo

Não se considera um parâmetro separado para o tempo de acesso, sendo este incluído no tempo de ciclo do processador.

3.1.1 O SISTEMA PERCEPTUAL

O sistema perceptual transforma sensações do mundo físico externo, detectados pelo sistema sensorial do corpo, em representações internas da mente por meio de sistemas sensoriais intergrados. O sistema visual oferece um excelente exemplo de integração de um sistema sensorial: a retina é sensível à luz e registra sua intensidade, comprimento de onda e distribuição espacial. Embora o olho aceite a cena visual sobre um grande ângulo, detalhes são obtidos somente sobre uma estreita região (aproximadamente 2 graus de diâmetro), chamada *fóvea*. O restante da retina

provê visão periférica para orientação. O olho está em contínuo movimento em uma seqüência de sacadas, cada uma levando cerca de 30 ms para passar para o novo ponto de interesse [21], residindo lá de 60 a 700 ms para uma duração total de

$$\textbf{Movimento Ocular} \cong \textbf{230 [70} \approx \textbf{700] ms}$$

Nesta expressão, o número 230 ms representa um valor típico e os números entre colchetes indicam que os valores podem variar de 70 ms a 700 ms, dependendo das condições de medição, variáveis da tarefa e do objeto. Quando um alvo está a mais de 30 graus longe da fóvea, ocorre um movimento de cabeça para reduzir a distância angular. Estas quatro partes – visão central, visão periférica, movimento ocular e movimento da cabeça – operam como um sistema integrado, grandemente automatizado, para fornecer uma contínua representação da cena visual de interesse do observador.

3.1.2 MEMÓRIAS PERCEPTUAIS

Num tempo muito breve da chegada de um estímulo visual, a representação do estímulo aparece no Armazenamento de Imagem Visual (AIV) do MHP. Para um estímulo auditivo, há o correspondente Armazenamento de Imagem Auditiva (AIA). Essas memórias sensoriais retêm informação codificada fisicamente, um não identificado, não simbólico análogo ao estímulo externo. Este código é afetado pelas propriedades físicas do estímulo, tal como a intensidade.

$$\kappa_{AIV} = \textbf{física}$$

$$\kappa_{AIA} = \textbf{física}$$

Por exemplo, O Armazenamento da Imagem Visual do número 2 contém características como a curvatura e o comprimento, em oposição ao dígito reconhecido.

As memórias perceptuais estão intimamente ligadas à Memória de Trabalho, como mostrado esquematicamente na Figura 3.1.

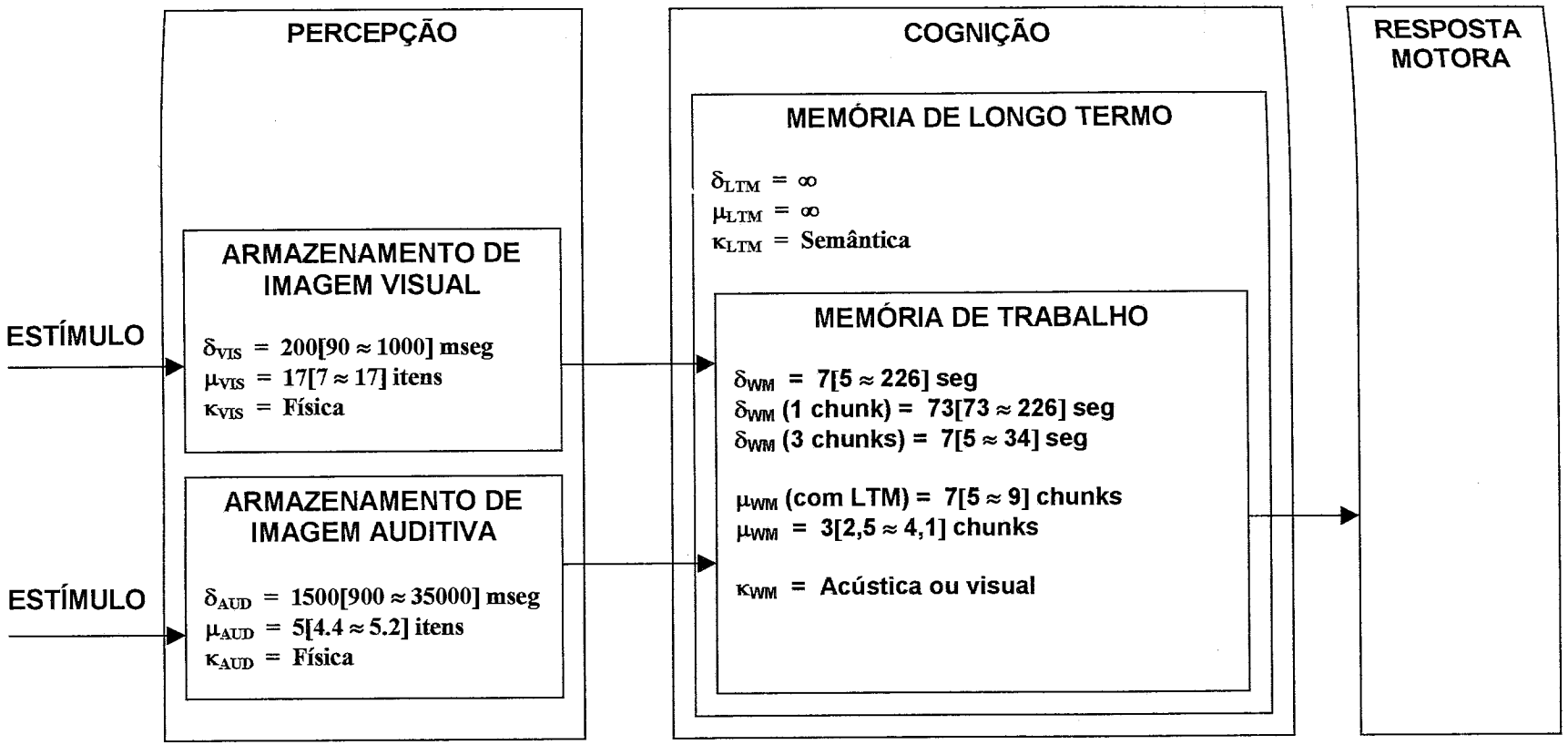


Figura 3.1: O MODELO DO PROCESSADOR HUMANO (MHP)

Num breve lapso de tempo após o estímulo físico aparecer em uma das memórias perceptivas, ocorre na Memória de Trabalho pelo menos parte do conteúdo da memória perceptual da representação codificada, reconhecida e simbólica. Se o conteúdo da memória perceptual é complexo ou numeroso (por exemplo uma fileira de letras) e se o estímulo é mostrado apenas como um pacote, os traços da memória perceptual se apagam e a Memória de Trabalho é completamente preenchida antes que todos os itens tenham sido transferidos como representações na Memória de Trabalho (para letras, a codificação leva cerca de 10 ms por letra). Entretanto, o Processador Cognitivo pode especificar que porção da memória perceptual deve ser codificado.

Como índice do tempo de decaimento usa-se a meia-vida, definida como o tempo após o qual a probabilidade de recuperação do dado é menor que 50%.

O Armazenamento de Imagem Visual tem uma meia-vida de:

$$\delta_{VIS} = \mathbf{200[90 \approx 1000]\ ms} \quad [22]$$

A meia-vida do Armazenamento de Imagem Auditiva é maior:

$$\delta_{AIS} = \mathbf{1500[900 \approx 3500]\ ms} \quad [23]$$

Isto é consistente com o fato de que informação auditiva deve ser interpretada no tempo.

3.1.3 O PROCESSADOR PERCEPTUAL

O tempo de ciclagem do Processador Perceptual τ_p é identificável com a chamada *resposta de impulso da unidade* (o tempo de resposta do sistema visual a um pulso muito breve de luz) e é da ordem de:

$$\tau_p = \mathbf{100[50 \approx 200]\ ms} \quad [24]$$

Se um estímulo impinge algo à retina no tempo $t = 0$, no fim de $t = \tau_p$, a imagem estará disponível no Armazenamento de Imagem Visual e o ser humano declara que o vê.

3.1.4 O SISTEMA MOTOR

O pensamento é finalmente traduzido em ações por padrões de ativação de músculos voluntários. Estes são arranjados em pares de "agonistas" e "antagonistas" opostos, disparados um após o outro. O movimento não é contínuo mas consiste de uma série de micro movimentos discretos, cada um requerendo:

$$\tau_M = 70[30 \approx 100] \text{ ms} \quad [25]$$

que identificamos como o tempo de ciclo do Processador Motor.

3.1.5 O SISTEMA COGNITIVO

Na tarefa mais simples, o sistema cognitivo meramente serve para conectar entradas do sistema perceptual às saídas adequadas do sistema motor. Entretanto, a maioria das tarefas realizadas pelo ser humano é complexa e envolve aprendizado, recuperação de fatos ou solução de problemas. Como seria de se esperar, as memórias e o processador do sistema cognitivo são mais complicadas que a dos outros sistemas.

Existem duas importantes memórias no sistema: Memória de Trabalho para reter informação sob consideração corrente, e uma Memória de Longo Termo, para armazenar conhecimento para uso no futuro.

3.1.6 A MEMÓRIA DE TRABALHO

A Memória de Trabalho retém os produtos intermediários do pensamento e representações produzidas no sistema perceptual. Funcionalmente, a Memória de Trabalho é onde todas as operações mentais obtêm seus operandos e liberam suas

saídas. Ela constitui os registradores gerais do Processador Cognitivo. Estruturalmente, a Memória de Trabalho consiste de um subconjunto de elementos da Memória de Longo Termo que se tornaram *ativados*. Esta associação íntima da Memória de Trabalho e da Memória de Longo Termo é representada na Figura 3.1 pela colocação da primeira dentro da segunda. Para o propósito do MHP, consideraremos a codificação na Memória de Trabalho como:

κ_{WM} = **Acústico ou visual**

Os elementos ativados da Memória de Longa Duração que definem a Memória de Trabalho consistem de símbolos, chamados *chunks*, que podem ser eles mesmos organizados em estruturas maiores. Um chunk é uma forma particular de organizar o conhecimento, "empacotando" em unidades menores de memória para lembrança posterior. Por exemplo lembrar um número 15.001.492 como datas de descobrimentos (2 chunks) ao invés de oito algarismos. É conveniente pensa-los como expressões abstratas: CHUNK 1 = (CHUNK 2 CHUNK 3 CHUNK 4). O que constitui um chunk é mais uma função do usuário do que da tarefa, por que depende da Memória de Longa Duração do usuário.

A meia-vida da Memória de Trabalho é:

δ_{WM} **(1 chunk) = 73[73 $\approx$ 226] ms** [26] [27] [28]

δ_{WM} **(3 chunks) = 7[5 $\approx$ 34] ms** [26] [27] [28]

A capacidade efetiva da Memória de Trabalho, aumentada pelo uso da Memória de Longa Duração, é de:

μ_{WM} = **7[5 $\approx$ 9] chunks** [29]

3.1.7 A MEMÓRIA DE LONGA DURAÇÃO

A Memória de Longo Termo retém a massa de conhecimento disponível do usuário. Ela consiste de uma rede de "chunks" relacionados, acessada associativamente de conteúdos da Memória de Trabalho. Ela contém não somente

fatos, como também procedimentos e história. Aparentemente não existe apagamento da Memória de Longo Termo.

$$\delta_{LTM} = \infty$$

Entretanto, a recuperação, com sucesso, de um "chunk" depende de associações poderem ser encontradas. A codificação predominante na Memória de Longo Termo é:

$$\kappa_{WM} = \textbf{Semântico}$$

3.1.8 O PROCESSADOR COGNITIVO

O *ciclo reconhece-age*, é o *quantum* básico do processamento cognitivo. Em cada ciclo, o conteúdo da Memória de Trabalho inicia ações associativamente ligadas na Memória de Longo Termo (reconhece), as quais por sua vez modificam o conteúdo da Memória de Trabalho (age), ajustando o estágio para o próximo ciclo. Planos, procedimentos e outras formas de comportamento organizado são construídos a partir de um conjunto organizado de ciclos *reconhece-age*.

O ciclo do Processador Cognitivo é estimado em:

$$\tau_C = \mathbf{70[25 \approx 170]\ ms}$$ [30] [31] [32]

O sistema cognitivo é fundamentalmente em paralelo em sua fase *reconhece* e fundamentalmente em série em sua fase *age*. Assim, o sistema cognitivo pode estar atento para várias coisas, mas não pode fazer mais do que uma coisa deliberada por vez. Esta serialidade ocorre sobre atividades paralelas dos sistemas perceptual e motor.

3.1.9 O DESEMPENHO HUMANO

Para poder dar apoio à engenharia cognitiva da interface homem-máquina, uma psicologia aplicada de processamento da informação deve ser baseada na

análise de tarefas, em cálculos e em aproximações. Essas qualidades são importantes no Model Human Processor para se fazer previsões do desempenho humano. Para se levar em conta as incertezas nos parâmetros, podemos definir três versões para o modelo: uma em que os parâmetros são ajustados para dar a pior desempenho (homem lento), uma para dar o melhor resultado (homem rápido) e uma para uma desempenho nominal (homem médio). As diferenças entre os resultados nominal e a faixa rápido-lento deve ser mantida claramente em mente. A previsão real do MHP deve situar-se dentro da faixa rápido-lento.

3.1.10 HABILIDADE MOTORA – LEI DE FITTS

Do mesmo modo que limites fundamentais na desempenho do usuário são dados pelo tempo de ciclo do Processador Perceptual, limites ao movimento são estabelecidos pelo ritmo dos Processadores Perceptuais e Motores. Dois movimentos básicos ocorrem na interação homem-máquina que estamos considerando: (1) movimento da mão em direção a um alvo e (2) pressionar um botão ou acionar uma chave.

O primeiro tipo de movimento, mover a mão em direção a um alvo, pode ser entendido, e uma expressão para o tempo do movimento deduzida, usando-se o MHP e algumas hipóteses. Suponhamos que uma pessoa deseja mover sua mão D cm para atingir um alvo de largura S. O movimento da mão, como dissemos anteriormente, não é contínuo, mas consiste de uma série de micro correções, cada uma com uma certa precisão.

Para fazer uma correção, leva um ciclo do Processador Perceptual para observar a mão, um ciclo do Processador Cognitivo para decidir sobre a correção e um ciclo do Processador Motor para executar a correção, ou

$$t = \tau_P + \tau_C + \tau_M$$

O tempo para fazer *n* dessas correções, será

$$nt = n(\tau_P + \tau_C + \tau_M)$$

Como

$$\tau_P + \tau_C + \tau_M \cong 240 \text{ ms}$$

Então n será o número de intervalos de 240 ms necessário para levar a mão ao alvo.

Seja χ_i a distância restante até o alvo, após a i-ésima correção e χ_0 (=D) o ponto de partida. Assumindo que a precisão relativa do movimento é constante, isto é, $\chi_i / \chi_{i-1} = \varepsilon$, onde $\varepsilon < 1$ é o erro constante, no primeiro ciclo, a mão move para:

$$\chi_1 = \varepsilon\chi_0 = \varepsilon D.$$

No segundo ciclo, a mão move para:

$$\chi_2 = \varepsilon\chi_1 = \varepsilon^2 D.$$

No n-ésimo ciclo, ela move para:

$$\chi_n = \varepsilon^n D.$$

A mão pára de se mover quando está dentro da área do alvo, ou seja, quando

$$\varepsilon^n D \leq \tfrac{1}{2} S$$

Resolvendo para n teremos

$$n = -\log_2 (2D/S) / \log_2 \varepsilon .$$

Então, o tempo total do movimento será dado por

$$T_{pos} = n(\tau_P + \tau_C + \tau_M)$$

$$T_{pos} = I_M \log_2 (2D/S) , \qquad (1)$$

Onde $I_M = -(\tau_P + \tau_C + \tau_M)/\log_2 \varepsilon$

A equação 1 é chamada de Lei de Fitts. Ela diz que o tempo requerido para mover a mão até um alvo depende somente da precisão relativa requerida, isto é, da razão entre a distância e o tamanho do alvo.

A constante ε foi determinada experimentalmente, tendo-se obtido um valor de aproximadamente 0,07 , deste modo I_M pode ser calculado:

$$I_M = -240 \text{ ms} / \log_2 (0{,}07) \text{ bits}$$ [33] [34]

$$I_M = 63 \text{ ms/bit.}$$

O cálculo homem rápido – homem lento dá uma faixa de:

$$I_M = 27 \text{ a } 122 \text{ ms}$$

Vários métodos utilizados para medir o tempo de correção obtiveram valores de ciclo ($\tau_P + \tau_C + \tau_M$) da ordem de 190 a 260 ms (O MHP adotou 240 ms).

Para a correção da curva obtida experimentalmente, adota-se uma variante da Lei de Fitts, desenvolvida por Welford [35] :

$$T = I_M \log_2 (D/S + 0{,}5)$$

3.1.11 DECISÕES SIMPLES

Consideraremos agora como os sistemas motor e perceptual, juntamente com o mecanismo cognitivo central, combinam-se para simples atos de comportamento.

3.1.11.1 TEMPO DE REAÇÃO SIMPLES

Problema: Um usuário senta-se defronte a um terminal CRT de computador. Quando qualquer símbolo aparece, ele deve pressionar a barra de espaço. Qual o tempo decorrido entre o sinal e a resposta?

Quando o estímulo físico aparece ele é processado no Processador Perceptual, dando origem a uma representação codificada fisicamente do símbolo no Armazenamento de Imagem Visual e num lapso muito pequeno a um símbolo codificado visualmente na Memória de Trabalho. Este processo requer um ciclo do Processador Perceptual. A existência de um sinal é conectada a uma resposta, requerendo um ciclo do Processador Cognitivo. O sistema motor se encarrega então do movimento físico, requerendo um ciclo do Processador Motor. O tempo total requerido será

$$T = (\tau_P + \tau_C + \tau_M) = 240 \text{ ms}$$

3.1.11.2 CASAMENTO FÍSICO (PHYSICAL MATCH)

Se o usuário tem que comparar um estímulo a algum código contido na memória, o processo tomará maior número de passos.

Problema: O usuário é apresentado a dois símbolos, um de cada vez. Se o segundo símbolo é igual ao primeiro, ele deve apertar a tecla SIM, caso contrário ele deve apertar a tecla NÃO. Qual o tempo requerido para o caso SIM ?

O primeiro símbolo é apresentado na tela e é processado pelo Processador Perceptual, dando origem à representação associada no Armazenamento de Imagem Visual e na Memória de Trabalho. O segundo símbolo é então apresentado na tela e do mesmo modo processado. Como estamos interessados em quanto tempo leva para responder ao segundo símbolo, partimos então nosso relógio em 0. O Processador Perceptual processa o segundo símbolo para ter uma representação icônica no Armazenamento de Imagem Visual e então uma representação na Memória de Trabalho, requerendo um ciclo. Se não se passou tempo demais desde que o primeiro símbolo foi apresentado, seu código visual ainda está armazenado na Memória de Trabalho e o Processador Cognitivo poderá comparar os dois símbolos e determinar se eles são os mesmos. Este casamento requer um ciclo do Processador Cognitivo. Se eles casam, o Processador Cognitivo decide apertar o botão SIM, requerendo mais um ciclo. Finalmente o Processador Motor processa a solicitação, requerendo um ciclo do Processador Motor. O tempo total requerido, de acordo com o MHP será então

$$T_{CF} = (\tau_P + 2\tau_C + \tau_M) = 310[130 - 640] \text{ ms}$$

3.1.11.3 CASAMENTO DE NOME (NAME MATCH)

Se o usuário tem que acessar um "chunk" da Memória de Longo Termo, a resposta levará mais tempo.

Problema: Suponha que, no problema anterior, o usuário deveria pressionar a tecla SIM se os símbolos tivessem o mesmo nome (por exemplo as letras *A* e *a*), sem importar-se como elas aparecem, e NÃO se elas não o tivessem. Qual o tempo entre sinal e resposta para o caso SIM ?

A análise é similar à do problema anterior, exceto que o usuário deve agora esperar até que um código visual tenha sido reconhecido e esteja disponível um código abstrato representando o nome da letra. A conseqüência de adicionar um novo passo é a adição de mais um ciclo do Processador Cognitivo.

$$T_{CN} = (\tau_P + 3\tau_C + \tau_M) = 380[155 - 810] \text{ ms}$$

3.1.11.4 CASAMENTO DE CLASSE (CLASS MATCH)

Pode acontecer que o usuário deva fazer múltiplas referências à Memória de Longo Termo.

Problema: Suponha que no problema anterior o usuário tivesse que pressionar SIM se os dois símbolos fossem letras, em oposição a números. Qual seria o tempo entre sinal e resposta ?

A analise é análoga à anterior, exceto que um novo passo *Classificar* requer a conversão de ambas as versões de símbolos a mesma representação.

$$T_{CC} = (\tau_P + 4\tau_C + \tau_M) = 450[180 - 980] \text{ ms}$$

3.1.11.5 REAÇÃO DE ESCOLHA (CHOICE REACTION)

Se o usuário tem que fazer uma escolha entre duas respostas, podemos analisar a tarefa como no problema do tempo de reação simples, onde a escolha é

entre SIM e NÃO. Se houvesse um número maior de escolhas, o problema seria mais complicado, mas mesmo assim, a tarefa pode ser analisada como um conjunto seqüencial de decisões feitas pelo Processador Cognitivo, cada uma adicionando um valor de 70 ms à resposta. Sem se levar em consideração uma análise mais detalhada, maior número de alternativas vai requerer um número maior de passos e, por conseqüência, demandará um tempo maior para sua execução. A relação entre o tempo requerido e o número de alternativas não é linear por que as pessoas aparentemente podem arranjar o processamento hierarquicamente (por exemplo, dividindo as respostas em grupos e então, no primeiro ciclo, decidindo que grupo deveria receber maiores considerações). O número mínimo de passos necessário para processar as alternativas pode ser deduzido da *teoria da informação* e, numa aproximação de primeira ordem, o tempo de resposta será proporcional à *entropia teórica da informação* (information-theoretic entropy) da decisão.

Princípio da Incerteza: O tempo de decisão aumenta com a incerteza sobre o julgamento ou decisão a ser feita, $T = I_C H$, onde H é a entropia teórica da informação da decisão e I_C é uma constante.

Para o caso em que a pessoa observa *n* estímulos alternativos, os quais são associados um a um com *n* respostas, este princípio pode receber um formulação matemática simples:

$$H = \log_2(n + 1)$$

Esta equação, uma variante da lei de Hick, pode ser tomada como uma relação empírica que simplesmente se ajusta a várias situações medidas, nas quais nenhum mecanismo particular é proposto. Entretanto, a equação é claramente relacionada com modos racionais de processamento que minimizam o tempo esperado. *H* é função de *n+1* em vez de *n*, por que existe uma incerteza sobre se deve-se responder ou não, bem como sobre qual resposta realizar.

Dos experimentos de Hyman [36], obtém-se para I_C o valor de 150 ms/bit.

3.2 A ARQUITETURA EPIC [12]

A arquitetura cognitiva EPIC – Executive Process – Interactive Control fornece um arcabouço geral para a simulação de um ser humano interagindo com seu ambiente para levar a cabo uma tarefa. Ela assemelha-se ao MHP por sua origem paramétrica, porém difere desta por ser um modelo computacional preciso, ter um processador cognitivo programável por regras de produção e incorporar restrições mais específicas sintetizadas da literatura recente sobre desempenho humano[37].

Ela consiste de um processador cognitivo central e processadores periféricos perceptuais e motores. Para se modelar aspectos de desempenho humano na executação de uma tarefa, uma estratégia cognitiva e parâmetros de processamento devem ser especificados. A estratégia cognitiva é representada por um conjunto de regras de produção. A simulação é conduzida por uma descrição do ambiente da tarefa a qual especifica aspectos desta que seriam diretamente observáveis pelo ser humano, tais como, que objetos e em que tempo são disponibilizados e como o ambiente é alterado em resposta aos movimentos do próprio EPIC.

Quando todas as informações necessárias para o modelo são supridas e o modelo é rodado, o EPIC interage com o ambiente da tarefa e gera (a) uma seqüência específica de atividades perceptuais, cognitivas e motoras para levar a cabo a tarefa, e (b) uma estimativa do tempo requerido para execução da tarefa.

O EPIC toma como entradas:

1. A estratégia cognitiva para execução da tarefa, armazenada no conjunto de regras de produção.
2. A disponibilidade das propriedades de cada objeto na zona visual, para representar as capacidades perceptuais humanas.
3. Detalhes do ambiente da tarefa.

O EPIC gera como saída:

1. O traço detalhado do fluxo de informação e controle entre os vários processadores e memórias.
2. O tempo requerido para a execução da tarefa, podendo ser passo a passo.

Como mostrado na Figura 3.2, a informação flui do ambiente da tarefa para os órgãos sensoriais, através dos processadores perceptuais, para um processador cognitivo (que consiste de um interpretador de regras de produção e uma memória de trabalho) e finalmente para os processadores motores, que controlam os órgãos que interagem com o ambiente da tarefa. Todos os processadores trabalham independentemente e em paralelo, podendo, se definido na estratégia cognitiva, que trabalhem em série. Os tempos de processamento da informação e movimentos motores são mantidos constantes ao longo do modelo e são baseados na literatura sobre performance humana.

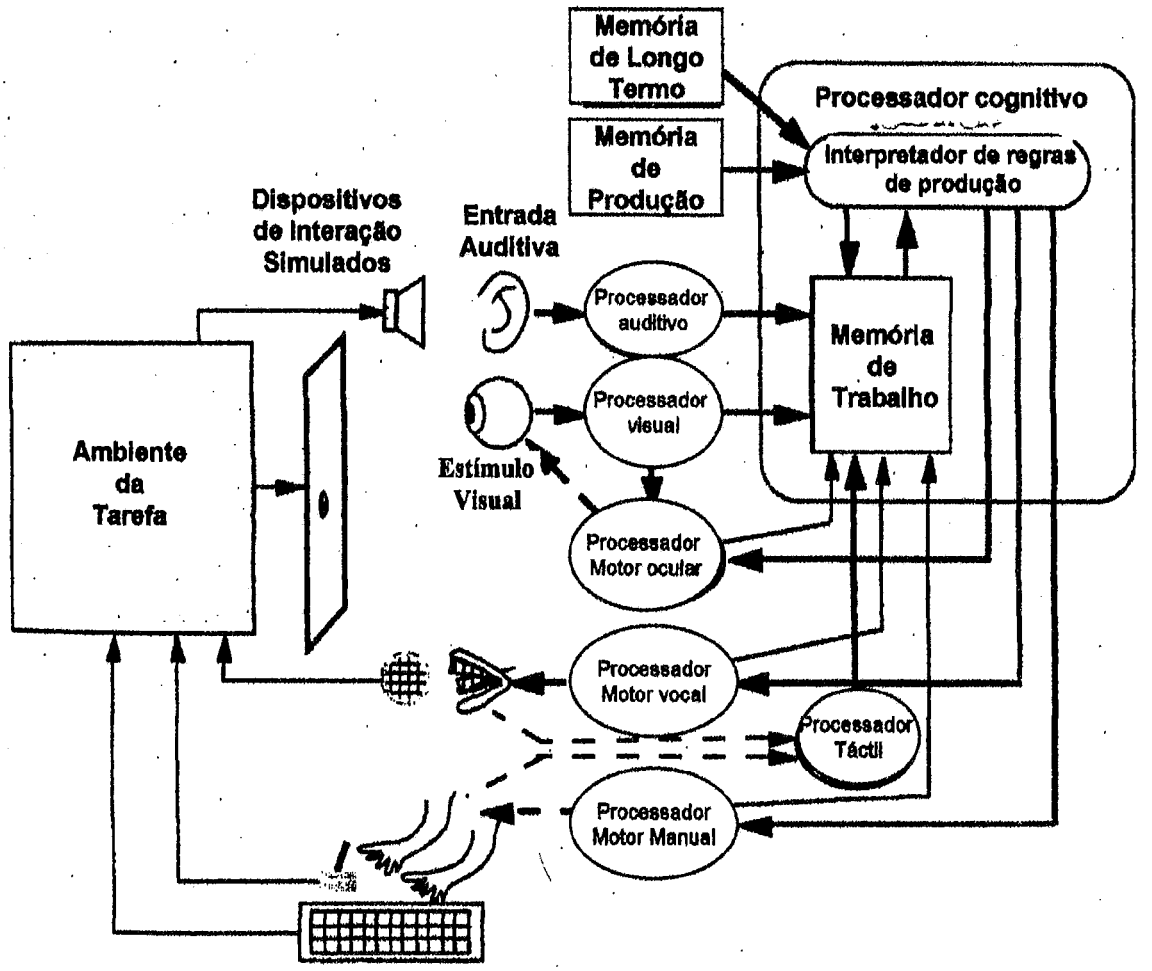


Figura 3.2: Diagrama Geral do Sistema EPIC, Mostrando o Ambiente da Tarefa e a Arquitetura EPIC

Um estímulo simples no ambiente da tarefa pode produzir múltiplas entradas para o processador perceptual, as quais podem ser depositadas na memória de trabalho em diferentes lapsos de tempo. O primeiro a chegar na memória de trabalho é a detecção do evento perceptual, seguido pelas propriedades que descrevem o evento. Os processadores perceptuais são *canalizados*. Se as propriedades de um objeto começam a se mover para a memória de trabalho sua chegada não será retardada por nenhum outro processamento. Esses itens depositados pelos processadores perceptuais e o objetivo da tarefa em andamento são mantidos na memória de trabalho. Ao fim de cada ciclo simulado de 50 ms, o código dispara todas as regras de produção que *casam* com as condições correntes na memória de trabalho. O EPIC permite a execução em paralelo das regras de produção no processador cognitivo e algum paralelismo em cada processador motor.

Também cabe ressaltar o excelente desenvolvimento da parte visual do EPIC. Como no olho humano, as zonas retinais são definidas como círculos concêntricos em torno do centro da área visual, com raios de cerca de 0,25° de ângulo visual para o *bouquet*, de 1° para a *fóvea*, de 7,5° para a *parafovea* e de 60° para a periferia. O processador motor ocular move um olhar simulado para um local no ambiente especificado pela estratégia de execução. O olhar pode, então, ser fixado em um ponto de cada vez, demandando tempo para preparar e executar o movimento. A disponibilidade e permanência para as propriedades de *local* e *texto*, por exemplo, estarão disponíveis enquanto o objeto estiver visível e tomarão 50 ms para viajar da retina ao processador visual. O texto propriamente somente estará disponível quando o objeto cair dentro da fóvea e tomará 100 ms para viajar da retina ao processador visual.

Os processadores motores do EPIC são muito mais elaborados que os do MHP, produzindo uma variedade de movimentos simulados de diferentes órgãos executores e levando quantidades de tempo variáveis para a execução. Existem processadores separados para as mãos, olhos e vocais, e todos podem estar ativos simultaneamente. O Processador Motor Manual tem várias formas de movimento, mas ambas as mãos são atuadas por um único processador e, deste modo, podem ser utilizadas uma de cada vez ou em movimentos sincronizados.

O tempo total para gerar um movimento completo é dividido em uma fase de preparação e uma de execução. A fase de preparação começa quando o processador recebe um comando do processador cognitivo. O processador motor recodifica o

movimento em um conjunto de características do movimento, cujos valores são específicos dessas características e então gera especificações gastando 50ms padrão para cada uma. Quando as especificações estão completadas, inicia-se a fase de execução, com lapso de tempo padrão de 50 ms, para iniciar o movimento, e, então, realiza o movimento físico. O tempo físico para executar o movimento depende de suas propriedades mecânicas, em termos de qual o órgão executor, e do tipo de movimento a ser feito.

Em resumo, o EPIC é aplicado a uma tarefa como segue: A estratégia das regras de produção dirige os olhos a objetos no ambiente. O olho tem um poder de resolução que determina o tempo de processamento necessário para diferentes características do objeto, tais como localização e texto. Quando a informação necessária para determinar o próximo movimento motor chega à memória de trabalho, a estratégia instrui os processadores ocular e manual a mover os olhos e as mãos.

Uma descrição mais detalhada do EPIC e seus processadores é apresentada a seguir

3.2.1 O PROCESSADOR COGNITIVO (COGP)

O processador cognitivo é composto da MEMÓRIA DE TRABALHO e do INTERPRETADOR DE REGRAS DE PRODUÇÃO que contém a Memória de Longa Duração e a Memória de Produções. A Memória de Trabalho, aqui chamada de *base de dados*, constitui-se da estrutura de dados requerida para *casar* com as condições das regras de produção. O conteúdo da Memória de Longa Duração é simplesmente itens do estado inicial da base de dados que não são adicionados ou removidos durante a execução da tarefa.

A Memória de Produção é o conjunto das regras de produção do PPS (*Parcimonious Production System*) no modelo. Os itens da base de dados da memória de produção são armazenados em uma lista onde o primeiro termo é chamado de TAG, o qual não tem outra função senão a de organizar os dados. Correntemente estes *tags* são: GOAL e STEP para o controle do fluxo de itens e ADDDB, DELDB, VISUAL, AUDITORY, TACTILE e MOTOR para as divisões da memória de trabalho. LTM é usado para memória de longa duração.

GOAL – Objetivo inicial

STEP – Une uma tarefa à outra nos passos

ADDDB – Escreve itens realizados a serem memorizados

DELDB – Remove itens memorizados realizados

MOTOR – Testa o estado dos processadores motores

O Processador Cognitivo é programado em termos de regras de produção, deste modo, um modelo EPIC para a tarefa deve incluir um conjunto de regras de produção que especificam que ações, em que situações, são efetuadas para executar a tarefa.

As regras de produção PPS têm o seguinte formato:

(<nome-da-regra> SE <condição> ENTÃO <ações>)

Por exemplo:

```
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-SKBC21/22-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC21/22 ACESA)
(COR SKBC21/22 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE RELEASE)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC21/22 ACESA))
(ADDDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC21))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
```

A condição da regra pode testar somente o conteúdo da memória de trabalho do sistema de produção. As ações da regra podem adicionar ou remover itens da memória de trabalho, ou enviar um comando para o processador motor.

Para se utilizar a estratégia de realização das ações em série ou paralelo usa-se o *tag* MOTOR da seguinte maneira:

Em paralelo: Verificamos apenas o estado do processador que for utilizado, deixando o outro processador realizando suas operações simultaneamente. Por exemplo:

```
(VERIFICAR-LAMPADA-VERDE-BKBA10-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA)
(COR BKBA10 VERDE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BKBA20)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA20 ACESA))
(ADDDB (COR BKBA20 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
```

Neste caso, estabelecemos na condição da regra que esteja livre apenas o Processador Motor Visual, deixando o Processador Motor Manual continuar o processamento da tarefa que esteja executando por demanda de uma regra anterior, paralelamente.

Se a estratégia adotada fosse processamento em série, a regra seria:

```
(VERIFICAR-LAMPADA-VERDE-BKBA10-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA)
(COR BKBA10 VERDE)
```

```
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BKBA20)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA20 ACESA))
(ADDDB (COR BKBA20 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
```

Neste caso, embora fossemos utilizar apenas o Processador Motor Visual, requereriamos que o Processador Motor Manual tivesse terminado seu processamento.

O Processador Cognitivo opera ciclicamente. No início de cada ciclo o conteúdo da memória de trabalho é atualizado com as instruções de saída dos processadores perceptuais e as modificações do ciclo prévio. No fim de cada ciclo, o conteúdo da memória de trabalho do sistema de produção é atualizado e comandos são enviados aos processadores motores. As ações são executadas para todas as regras que casem com a base de dados. A duração média do ciclo é padronizada em 50 ms.

Os ciclos do Processador Cognitivo não são sincronizados com estímulos externos ou eventos de resposta. Informações de entrada vindas dos processadores perceptuais são analisadas só de modo intermitente, quando a memória de trabalho do sistema de produção é atualizada no início de cada ciclo. Quaisquer informações de entrada que cheguem durante a execução do ciclo devem esperar até que o próximo ciclo se inicie.

O processamento do COGP se dá da seguinte maneira:

1. Retém todos os itens de entrada a serem adicionados à base de dados.

2. Retém todos os itens de entrada a serem removidos da base de dados.

COPPE NUCLEAR UFRJ

3. Se há uma instrução de entrada ou regra disparada no último ciclo, atualiza a base de dados e dispara as regras de produção.

4. Adiciona ao COGNITIVE-PROCESSOR-CYCLE-TIME menos 1 ms e envia todas as instruções de saída daquele tempo. A subtração de 1 ms é um modo de assegurar que os processadores motores tenham recebido todas as suas instruções e mudado de estado antes do início do próximo ciclo.

3.2.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS REGRAS DE PRODUÇÃO

O Processador Cognitivo usa o interpretador de regras de produção PPS, cuja base de dados consiste de um conjunto de *orações*, que são listas de termos constantes que podem ser tomados como verdade, ou assertivas.

O primeiro passo para *rodar* um modelo em EPIC é compilar as regras de produção com a rede de *casamento* envolvida no algoritmo *rete-match*, utilizando-se a função de compilação do PPS. Quando o EPIC começa, o interpretador PPS é convocado para executar um simples ciclo de produção, usando uma lista de itens para inicializar a base de dados. Subseqüentemente, em cada ciclo do processador cognitivo, o COGP chama o interpretador do PPS para executar um simples ciclo de regra de produção o qual gera instruções para os processadores motores. Nesse ciclo também podem ser adicionados ou removidos itens da memória de trabalho.

3.2.3 CONDIÇÕES DAS REGRAS DE PRODUÇÃO

As condições de uma regra de produção são expressas em uma lista de *orações*:

(<oração><oração>.....)

Cada oração é uma lista de termos, usualmente símbolos:

(termo termo .....)

Se houver mais do que uma oração em uma condição, então todas as orações devem casar para que a regra seja disparada.

Adicionalmente, uma oração pode ser negada:

(NOT<oração>)

Finalmente, uma negação pode incluir várias orações:

(NOT<oração><oração>.....)

Este formato pode casar somente se não há combinação presente na base de dados para a qual o conjunto é verdade.

Cada termo nas orações pode ser um símbolo constante no sentido do LISP, uma variável especial, indicada pelo símbolo "?" ou um termo convocado "???". O número e ordem dos termos é significativo. Para se dar o casamento de uma oração individual, devemos ter, pelo menos, uma oração na base de dados, de tal modo que:

1. A oração e a oração da base de dados tenham o mesmo número de termos.

2. Cada termo constante na oração seja o mesmo que o termo na mesma posição na oração da base de dados.

3. Cada termo convocado na oração corresponda a qualquer termo na mesma posição na oração da base de dados.

4. Cada termo variável na oração pode corresponder a qualquer termo na mesma posição na oração da base de dados e a variável receberá aquele termo como um valor possível .

Para a condição da regra de produção ser satisfeita, todos as orações constituintes devem casar e deve ser verdadeiro que há, pelo menos, um conjunto de valores para as variáveis, tal que todas as orações contendo variáveis sejam satisfeitas simultaneamente.

Se há mais de um conjunto de atribuição de valores de variáveis que satisfazem as condições, a regra é disparada com todos os conjuntos que combinem e cada um destes especificará um valor para cada variável. Quando as ações forem executadas, elas o serão uma vez, para cada conjunto combinante. A execução das múltiplas ações ocorre em um único ciclo.

3.2.4 AÇÕES DAS REGRAS DE PRODUÇÃO

As ações de uma regra de produção consistem de uma lista de invocações de funções estilo LISP. Elas são executadas em ordem quando a regra é disparada. Duas funções essenciais (macros LISP) são incorporadas ao PPS. Elas são:

(ADDDB <oração a ser adicionada à base de dados>)

(DELDB<oração a ser removida da base de dados>)

A oração a ser adicionada ou removida da base de dados é uma lista de termos, como descrito acima. Estas funções citam o argumento da oração de modo que não é necessário citar a própria expressão da oração. Entretanto, cada item no nível superior da oração é examinado. Se for uma variável de regra de produção (definida pelo prefixo "?"), ela é substituída pela constante que é o valor atual da variável.

Alem das variáveis que aparecem nas condições da produção, as ações podem referir-se a variáveis especiais locais, cujo objetivo é também a execução de uma única ação da produção. Essas variáveis são indicadas por um prefixo "^". Elas são úteis no caso de funções de ações de propósito especial que fazem retornar um valor a essa variável o qual é usado como instrução de entrada para outra função. Por exemplo, nas ações seguintes para uma regra que sente quando um evento acorre, a variável local ^TIME é ajustada para o número do ciclo corrente pela função TIME-STAMP e, então, a função ADDDB adiciona um item que nota quando o evento ocorreu. A variável local é usada para mover a informação entre as duas funções da ação.

```
(TIME-STAMP^TIME)
(ADDDB (EVENT AT ^TIME))
```

3.2.5 FUNÇÕES DE AÇÕES ESPECIAIS

O projeto do PPS permite-nos definir funções de ações adicionais com certa facilidade. Várias são incluídas no módulo COGP. Essas funções são definidas como macros LISP, de modo que os argumentos não precisam ser citados na ação da regra.

(SEND-TO-MOTOR <modality><command><style><specifications>)

Envia ao processador motor *modality* os argumentos restantes. O argumento *style* pode ser omitido para processadores que não requerem a especificação do estilo. O tempo em que o comando é transmitido é ajustado para 1 ms antes do fim do ciclo. Isto assegura que o processador motor mude de estado antes do início do novo ciclo.

(DELAY-COUNTDOWN <label><count>)

É definido para permitir que se escrevam regras para retardo do tempo, medido em termos de ciclos. A função gera atualizações à base de dados do PPS, de um modo padrão. A função é usada como segue:

Primeiramente uma regra deve adicionar à base de dados um item da forma (WM <label> DELAY WAITING <delay-count>), por exemplo, a ação seria (ADDDB (WM EYEMOVE DELAY WAITING 5)) para um retardo de 5 ciclos.

A seguir, uma regra de produção padrão casaria com o item de DELAY WAITING e usaria DELAY-COUNTDOWN em sua ação para atualizar a base de dados.

Essa regra seria parecida com:

```
(delay-countdown
IF ((WM ?LABEL DELAY ENDED)...))
THEN ((DELAY-COUNTDOWN ?LABEL ?COUNT)))
```

Em cada ciclo de retardo, o item de DELAY WAITING será substituído por outro mostrando o decremento da contagem.

Finalmente, quando o retardo é terminado, o item de DELAY WAITING será removido e um item padrão será adicionado, mostrando que o retardo terminou. A regra que dispara no fim do retardo seria como:

```
(Delay-over
IF ((WM ?LABEL DELAY ENDED)...)
THEN ((DELDB (WM ?LABEL DELAY ENDED)...)))
```

Note que a regra casa em um item DELAY ENDED gerado pela função DELAY-COUNTDOWN e deve assegurar que esse item é removido.

(TIME-STAMP <production-local variable>)

Ajusta a variável local especificada ao número do ciclo corrente.

(GUESS<production-local variable><list of items>)

Ajusta a variável especificada a um dos itens da lista, escolhido aleatoriamente.

(INCREMENT<variable name>)

Adiciona uma variável especificada, que pode ser uma variável global LISP. O propósito dessa função é permitir o acompanhamento de um conjunto de regras de produção, por exemplo, obter estatística da freqüência de disparo de uma determinada regra.

3.2.6 PROCESSADORES PERCEPTUAIS

Um único estímulo de entrada em um processador perceptual pode produzir múltiplas saídas a serem depositadas na Memória de Trabalho em diferentes tempos. Os processadores perceptuais do EPIC são simples "tubulações", no sentido de que um estímulo de entrada produz uma saída em um tempo posterior.

3.2.6.1 O PROCESSADOR VISUAL

O modelo ocular do EPIC inclui a retina que determina que tipo de informação sensorial está disponível sobre objetos visuais no ambiente, baseado na distância (ângulo visual) entre o objeto e o centro da fóvea. O modelo altamente simplificado da retina correntemente incorporado ao EPIC contém três zonas, cada uma com um raio padrão: a fóvea (1°), a para-fóvea (10°), e a periferia (60°). Certas informações, tais como o conteúdo de uma fila de caracteres, são disponibilizadas somente na fóvea, enquanto que informações mais gerais, tais como se uma área da tela contém caracteres, serão disponibilizadas na para-fóvea. Somente informações severamente limitadas serão disponibilizadas na visão periférica.

Na Memória de Trabalho Visual do EPIC, o Processador Perceptual Visual mantém uma representação de quais objetos visuais estão visíveis e quais são suas propriedades. A Memória de Trabalho Visual é vinculada à situação visual. Ela é mantida atualizada quando objetos aparecem, desaparecem, mudam de cor, e assim por diante, ou quando movimentos oculares, ou de objetos, mudam quais propriedades visuais estão disponibilizados pela retina. Em resposta a eventos visuais, o processador visual pode produzir múltiplas saídas em diferentes tempos. Quando um objeto aparece, a primeira saída é a representação de que um evento perceptual foi detectado (lapso de tempo padrão 50 ms), seguido por uma representação das propriedades sensoriais (lapso de tempo padrão 100 ms), e, posteriormente, pelo reconhecimento de padrão, o que pode ser específico da tarefa (por exemplo, uma forma particular representa uma seta apontando para a esquerda, lapso de tempo padrão 250 ms). O lapso de tempo verdadeiro e o raio de disponibilização depende de uma variedade de propriedades sensoriais e de suas relações.

3.2.6.2 O PROCESSADOR AUDITIVO

O Processador Perceptual Auditivo recebe sinais auditivos e transmite representações de eventos auditivos (como a fala) para a Memória de Trabalho. Estas representações desaparecem com o tempo. Por exemplo, um breve sinal de tom primeiramente produz um item correspondente ao aparecimento do sinal (lapso de tempo padrão 50 ms), então, após um tempo, um item correspondente à freqüência do tom (lapso de tempo padrão 250 ms), e então um item correspondente ao desaparecimento do sinal (lapso de tempo padrão 50 ms). Por simplicidade, esses

itens desaparecem da memória após algum tempo (lapso de tempo padrão 4 segundos).

A entrada referente à fala é representada como itens para cada palavra na Memória de Trabalho Auditiva. O Processador Perceptual Auditivo requer um certo tempo para reconhecer entradas em palavras (lapso de tempo típico 150 ms após o recebimento do estímulo acústico), gerando saídas para a Memória de Trabalho Auditiva. Esses itens desaparecem após um certo tempo, tal qual as outras entradas auditivas. Para representar a ordem seqüencial das entradas de fala, esses itens contêm rótulos arbitrários simbólicos para o item anterior e o seguinte, que os unem em seqüência. Usando esses rótulos, um conjunto de regras de produção pode avançar através de itens da memória de trabalho para uma série de palavras proferidas, processando-as uma de cada vez.

3.2.7 OS PROCESSADORES MOTORES

Os processadores motores do EPIC são muito mais elaborados que os do MHP, produzindo uma variedade de movimentos simulados de diferentes órgãos executores e levando quantidades de tempo variáveis para a execução. Como mostrado na Figura 3.2, existem processadores separados para as mãos, olhos e vocais, e todos podem estar ativos simultaneamente. O processador cognitivo manda um comando para o processador motor, que consiste de um nome simbólico para o tipo de movimento desejado e os parâmetros relevantes, e o processador motor então produz um movimento simulado com as características temporais apropriadas. Os vários processadores têm estrutura similar, mas diferentes propriedades e capacidades temporais, baseadas na literatura corrente sobre o desempenho humano no controle motor[37].

O Processador Motor Manual tem várias formas de movimento, mas ambas as mãos são atuadas por um único processador e, deste modo, podem ser utilizadas uma de cada vez, ou em movimentos sincronizados. O processador motor ocular gera movimentos do olho por comando cognitivo ou em resposta a certos evento visuais. O processador motor vocal produz uma seqüência de sons de fala simulados, quando recebe um símbolo para a frase desejada.

As especificações do movimento permanecem na memória do processador motor de modo a permitir que futuros movimentos similares possam ser executados mais rapidamente. Finalmente, um processador motor pode preparar apenas um movimento de cada vez e rejeitará qualquer comando subseqüente recebido durante a fase de preparação. Entretanto, a preparação de um movimento pode ser feita em qualquer momento durante a execução de um movimento previamente comandado.

O Processador Motor Manual representa vários estilos de movimentos incluindo pressionar teclas ou botões individuais, que estejam sob os dedos ou que requeiram algum movimento horizontal, apontar para objetos, e mover um controle, como um *mouse* ou *joystick*, para colocar um cursor sobre um objeto.

O Processador Motor Vocal ainda não é suficientemente elaborado.

O Processador Motor Ocular produz movimentos dos olhos de dois modos, voluntário e involuntário (reflexivo). O processador cognitivo comanda movimentos voluntários que são sacadas para um objeto designado. Uma sacada exige geração de até duas especificações, uma direção e uma extensão do movimento da corrente posição do olho ao objeto alvo. As características do movimento ocular são computadas, na sub-rotina OMOT, como as coordenadas polares (R e THETA) do local de destino, usando como origem a localização corrente do olho. O ambiente de simulação é fornecido em coordenadas cartesianas e convertido internamente em polares. O valor de R é dado em graus de ângulo visual no espaço visual de coordenadas cartesianas. THETA é dado em radianos. Se o R do ponto de destino estiver contido em 2 graus de ângulo visual do ponto de origem, a sub-rotina usa o mesmo valor anterior. Para o EPIC, se o valor de THETA estiver contido em 45 graus da origem o programa usa o mesmo valor anterior. Um valor de R acima de 30 graus de ângulo visual implicará, para o MHP, em uma movimentação da cabeça.

A execução de uma sacada, no EPIC, é estimada correntemente em 4 ms/grau de ângulo visual, baseado nos trabalhos de Wickens, valor foi atualizado em 1995, conforme especificado em um comentário da sub-rotina OMOT.

O processador também executa movimentos oculares involuntários, tanto sacadas como pequenos ajustes em resposta à situação visual (o motivo da seta entre o processador perceptual visual e o processador motor ocular, na Figura 3.2). Um súbito aparecimento de um objeto pode disparar uma sacada involuntária. A fóvea

estando ligeiramente fora de centro em um objeto, pode gerar um movimento involuntário de centralização. Também o olho pode seguir automaticamente o movimento de um objeto usando movimento suave e ocasionais sacadas [38]. O EPIC pode seguir objetos em movimento utilizando uma mistura de movimentos voluntários e involuntários do olho.

3.2.8 RESTRIÇÕES NA CONTRUÇÃO DE MODELOS

A apresentação de qualquer modelagem deve documentar quais aspectos ou parâmetros do arcabouço do modelo são fixos, e que serão generalizados na aplicação, bem como quais parâmetros serão calculados a partir dos dados específicos da tarefa a ser modelada. No EPIC, os aspectos e parâmetros fixos são: (1) as conexões e mecanismos dos processadores; (2) a maioria dos parâmetros temporais nos processadores; e (3) a estrutura de especificações dos processadores motores. Deste modo, adotar o arcabouço do EPIC implica em aceitar todos esses detalhes do arcabouço de modelagem. As propriedades do modelo e os parâmetros que são livres para variar de um modelo para o outro, ou de uma tarefa para a outra, são: (1) a programação das regras de produção específicas da tarefa; (2) as disponibilidades sensoriais específicas da tarefa e os tipos de codificação perceptual e os tempos específicos da tarefa, os quais deverão ser definidos em termos de regras de produção; e (3) os estilos de movimentos usados nos dispositivos de controle se não forem restritos pela tarefa.

Para se construir um modelo EPIC, o construtor deve fornecer, alem das informações mencionadas acima, correspondentes aos parâmetros livres, o seguinte: (1) o ambiente da tarefa simulada, o que inclui a localização e características de objetos relevantes externos ao ser humano, como por exemplo:

```
(DEFINE-VISUAL-LOCATION MKY 16.8 -2.4)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION TH2 12 4.8)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT BMKY 14.8 -2.4 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT RELEASE -31.2 -33.6 (LEFT INDEX) 2.0)
```

e (2) um conjunto de tarefas cujo tempo de execução seja de interesse.

Em retorno a essas entradas, o modelo EPIC interagirá com o ambiente da tarefa simulada, gerando as seqüências previstas de ações humanas requeridas por cada tarefa, e o tempo previsto de ocorrência de cada ação. Se as regras de produção foram escritas para descrever conhecimentos de procedimentos gerais de como executar a tarefa, essas predições podem ser geradas para qualquer tarefa coberta por estes procedimentos.

4 RESULTADOS

As arquiteturas MHP e EPIC foram utilizadas para Análise de Tarefas do operador da Usina Angra 1 durante o acidente de Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor, considerando-se as ações previstas no procedimento de emergência PO-E-03.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO MHP AO PO-E-3

Para a aplicação do modelo MHP na análise de tarefas a Combustion Engineering assumiu as seguintes hipóteses:

1. Distância para movimentação da mão para acionamento de um componente no painel igual a 1,20 m e largura do alvo de 2,5 cm, retorno da mão à origem após cada movimentação, obtendo-se pela Lei de Fitts o valor de 1.200 ms para cada movimentação.

2. Da Lei de Hick, apresentada no item 3.1.11.5, considerando-se n = 2 e I_c = 170, o valor da reação de escolha igual a 248 ms.

3. Um fator de correção de 1.000 ms foi adicionado ao tempo de processamento estimado, porque o MHP baseia todos os tempos de decisão em leituras de 1 ou 2 letras. Este fator de correção é baseado em um tempo médio de reação de 230 ms por sacada do olho e 4 sacadas por indicador, grosseiramente associadas respectivamente com (a) leitura do valor numérico do parâmetro, (b) leitura da unidade de medida, (c) leitura da legenda do indicador e (d) leitura do eixo gráfico. Assume-se que para leituras repetidas do mesmo parâmetro, em indicadores proximamente localizados, não sejam requeridas repetidas varreduras da unidade de medida e da legenda do indicador. Neste caso, usa-se um fator de correção de 500 ms.

Os tempos de processamento das atividades cognitivas adotados foram os valores médios, apresentados no item 3.1.11, a saber:

1.	Tempo de Reação Simples:	240 ms
2.	Casamento Físico:	310 ms
3.	Casamento de Nome:	380 ms
4.	Casamento de Classe:	450 ms

Os cálculos dos tempos de processamento cognitivo corrigido e dos tempos de reação de controle, durante o acidente de RTGV, são apresentado no Apêndice 2.

A partir destes dados a Combustion Engineering dividiu o tempo total de execução do procedimento em intervalos de 1 minuto, para determinação do tempo de acesso médio por parâmetro, nestes intervalos. O tempo de processamento cognitivo corrigido e o tempo de reação de controle, para cada ação do procedimento, foram somados em cada um desses intervalos. Esse valor representa o tempo que o operador necessitará para coletar, avaliar, planejar e executar ações de controle, bem como coletar as informações de retorno da execução da ação. O tempo total utilizado é subtraído do tempo do intervalo, para se determinar o restante não utilizado. A quantidade de tempo disponível ao operador para acessar um parâmetro é, então, determinada dividindo-se o tempo total não utilizado pelo total de parâmetros acessado no intervalo. Os resultados deste cálculo são apresentados no Apêndice 3. O comportamento do tempo de acesso médio por parâmetro ao longo do evento é mostrado na Figura 4.1. Os valores entre o 12° e o 17° minutos não estão mostrados por serem muito maiores que 30 segundos.

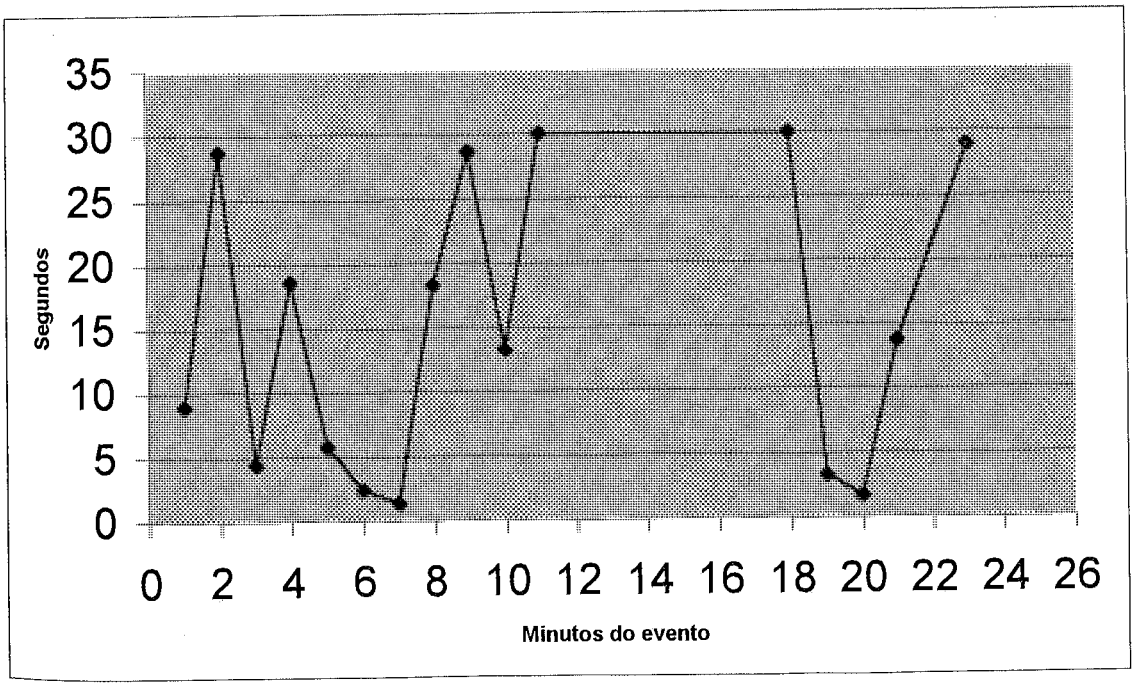


Figura 4.1: Tempo de Acesso Médio por Parâmetro ao Longo do Evento

Verifica-se que no intervalo entre o sexto e o sétimo minutos dentro do evento o tempo de acesso médio por parâmetro é drasticamente reduzido para 1,30

segundos, chegando próximo ao valor de 1 segundo, limite estabelecido pela CE para o tempo de localização e orientação visual dos indicadores e controladores.

Com a composição normal do Turno de Operação na Sala de Controle, as ações desse intervalo são divididas entre os operadores do painel do Reator e do painel do Secundário. Mesmo assim o tempo de acesso médio ficaria próximo de 2 segundos. Devemos também considerar uma condição anormal, quando o turno estaria funcionando com composição reduzida.

Pelo método aplicado determina-se que, nesse intervalo, há necessidade de automação de parte das ações do operador, ou de apresentação dos parâmetros solicitados em um sistema de suporte ao operador, como uma tela do Sistema de Indicação de Parâmetros de Segurança, ou mesmo pelo re-agrupamento dos indicadores no painel.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO EPIC AO PO-E-3

A simulação com a utilização do EPIC foi feita apenas para o intervalo entre 6 e 7 minutos do evento, onde há uma concentração de atividades cognitivas por parte do operador em tempo reduzido. Existe outro intervalo similar entre 19 e 20 minutos, porém a fase inicial do acidente é mais crítica devido às manobras importantes realizadas para evitar ou minimizar a liberação de radioatividade para o meio ambiente. As manobras do segundo intervalo destinam-se ao controle do ambiente da contenção.

4.2.1 DADOS DE ENTRADA PARA A ARQUITETURA

Para se poder comparar com os resultados do MHP foi necessário assumir as mesmas hipóteses estabelecidas pela Combustion Engineering, com relação à distância de acionamento dos controles, às dimensões do controle e o movimento de retorno da mão à origem após a ação de controle. Na sub-rotina MMOT o parâmetro PECK-SLOPE teve alterado o coeficiente I_M da Lei de Welford-Fitts de 75 para 100 ms/bit conforme utilizado pelo MHP.

Na estratégia definida nas regras de produção foi determinado que a atuação dos processadores fosse sempre em série, ou seja, um processamento perceptual, cognitivo ou motor somente seria iniciado após o término do anterior. Para maior

conservadorismo foi considerado como movimento concluído quando a Modalidade do processador estivesse livre, o que significa que a fase de Preparação de um movimento somente seria iniciada quando a fase de Execução do último movimento fosse concluída.

O ambiente da tarefa e a estratégia de execução foram programados em LISP.

O painel da Sala de Controle de Angra 1, mostrado nas Figuras 4.2 a 4.6, foi dividido em partes, conforme a Figura 4.7. Cada parte compreende um setor horizontal, onde se encontram as chaves e botões para ações de controle e um setor vertical, onde se encontram os indicadores dos parâmetros solicitados no procedimento. Esta divisão foi feita de modo a que cada passo do procedimento seja executado em uma única parte do painel, sem ser necessária a movimentação do operador.

A cada setor solicitado nos passos simulados foi atribuído um sistema de coordenadas cartesianas com origem no centro do setor, com unidades em centímetro. A localização dos indicadores e controles nesse sistema foi fornecida ao EPIC no módulo de ambiente de simulação. As coordenadas fornecidas são apresentadas no Apêndice 4, juntamente com as regras de produção.

4.2.2 RESULTADOS DA MODELAGEM EPIC DO PO-E-3

Os tempos calculados pelo EPIC para os passos do intervalo sétimo são mostrados na Tabela 4.2.2 para cada item do procedimento, utilizando os comandos (PRINT *MASTER-CLOCK) e (STOP-EPIC) em cada regra final correspondente ao passo específico.

Tabela 4.1: Valores Obtidos pela Modelagem EPIC no Intervalo Sétimo

Passo	13.a	13.b	14	15.a	15.b	15.c	16.a/b	16.c
Tempo (ms)	100	5.150	1.450	1.250	9.150	3.100	5.150	6.900

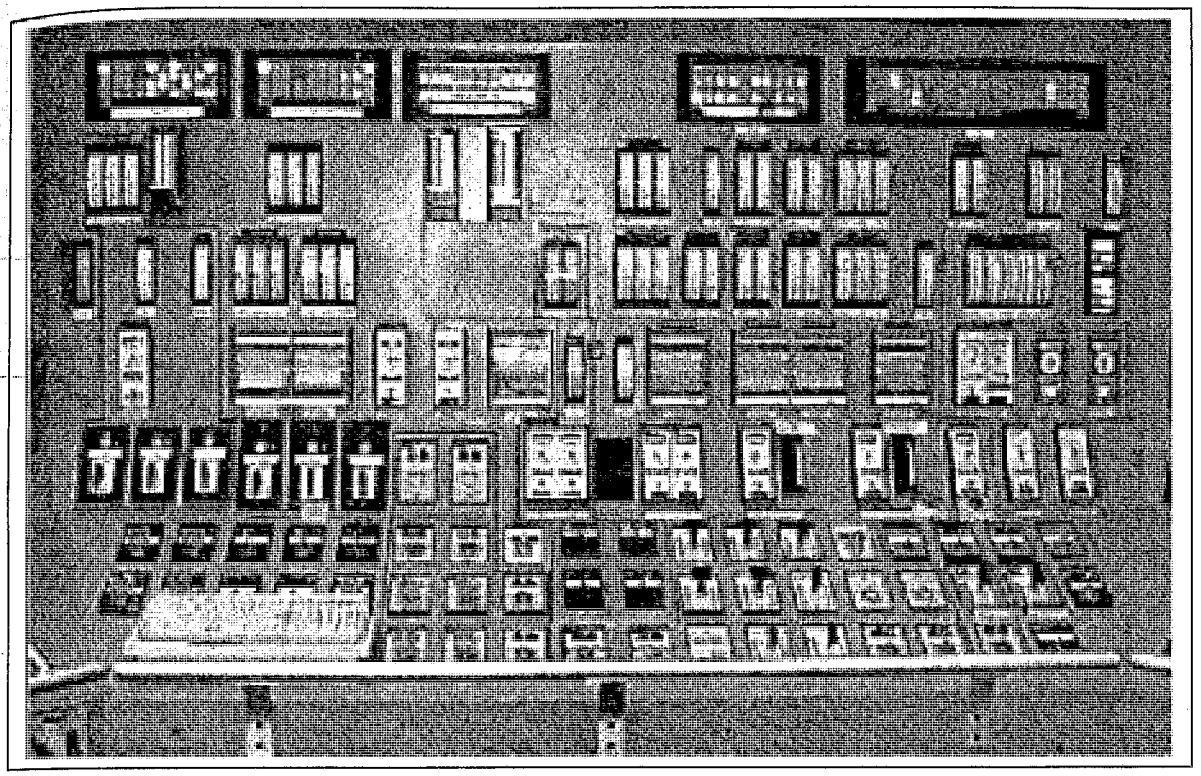


Figura 4.2: ANGRA I - Painel Principal - Seção B

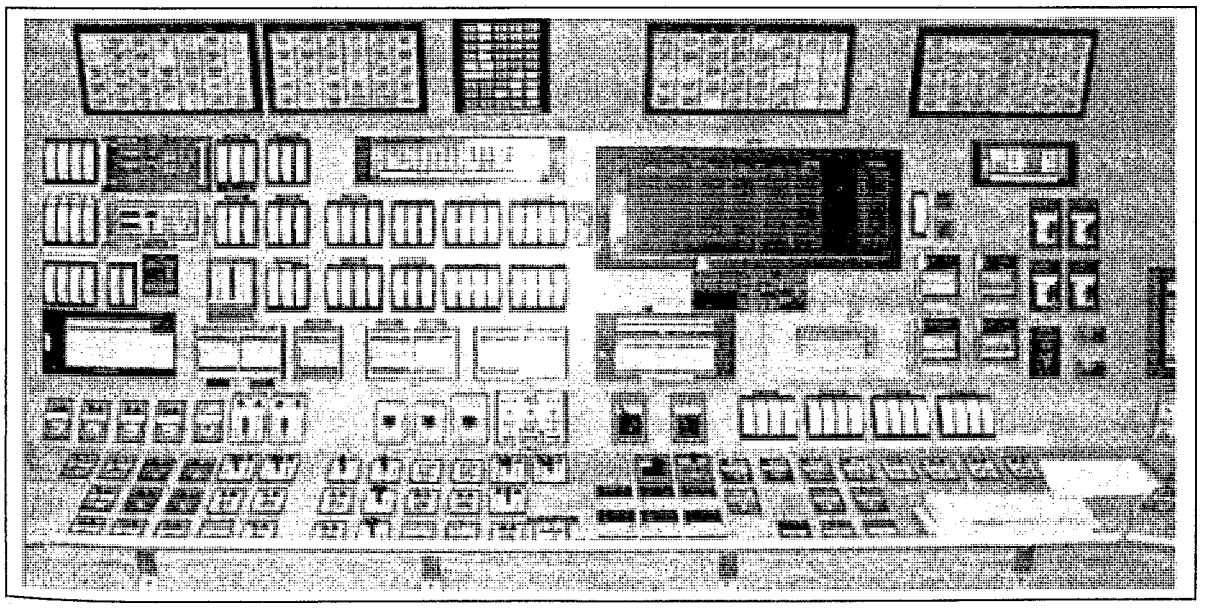


Figura 4.3: ANGRA I - Painel Principal - Seção C

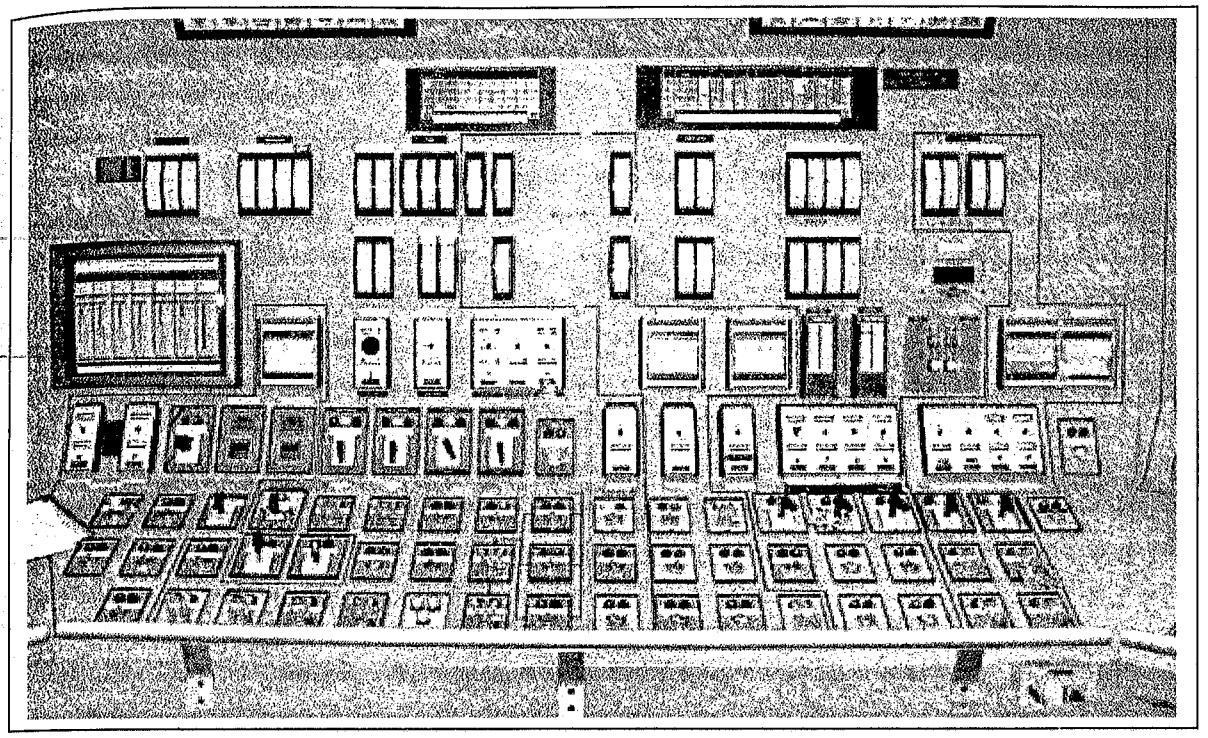


Figura 4.4: ANGRA I - Painel Principal - Seção D

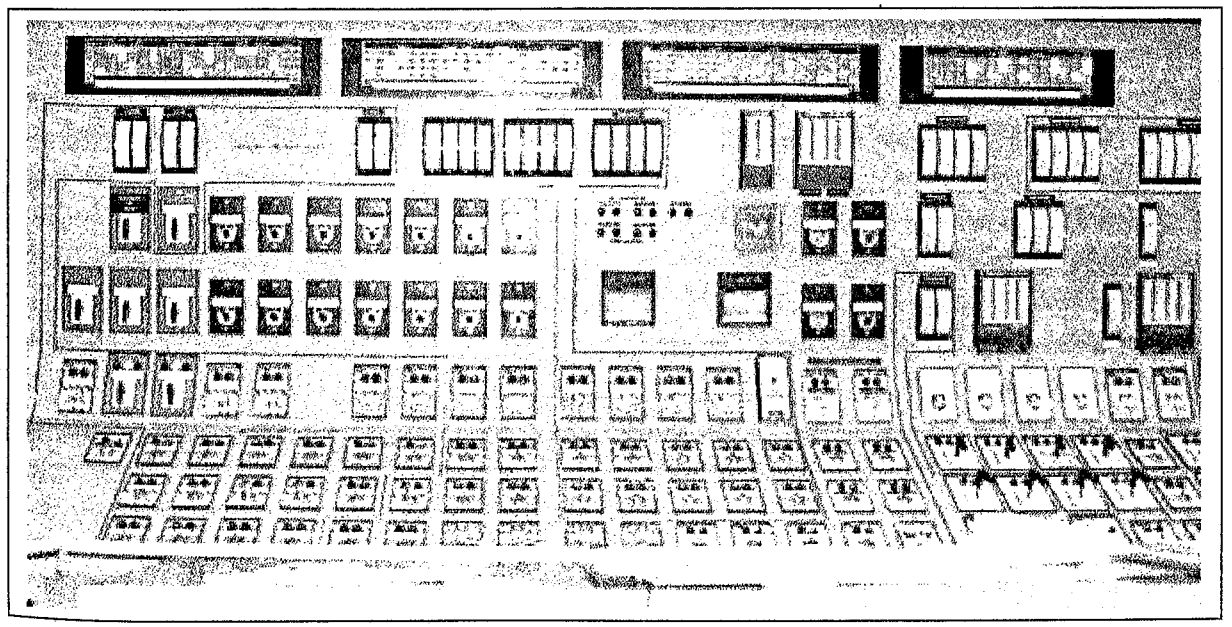


Figura 4.5: ANGRA I - Painel Principal - Seção E

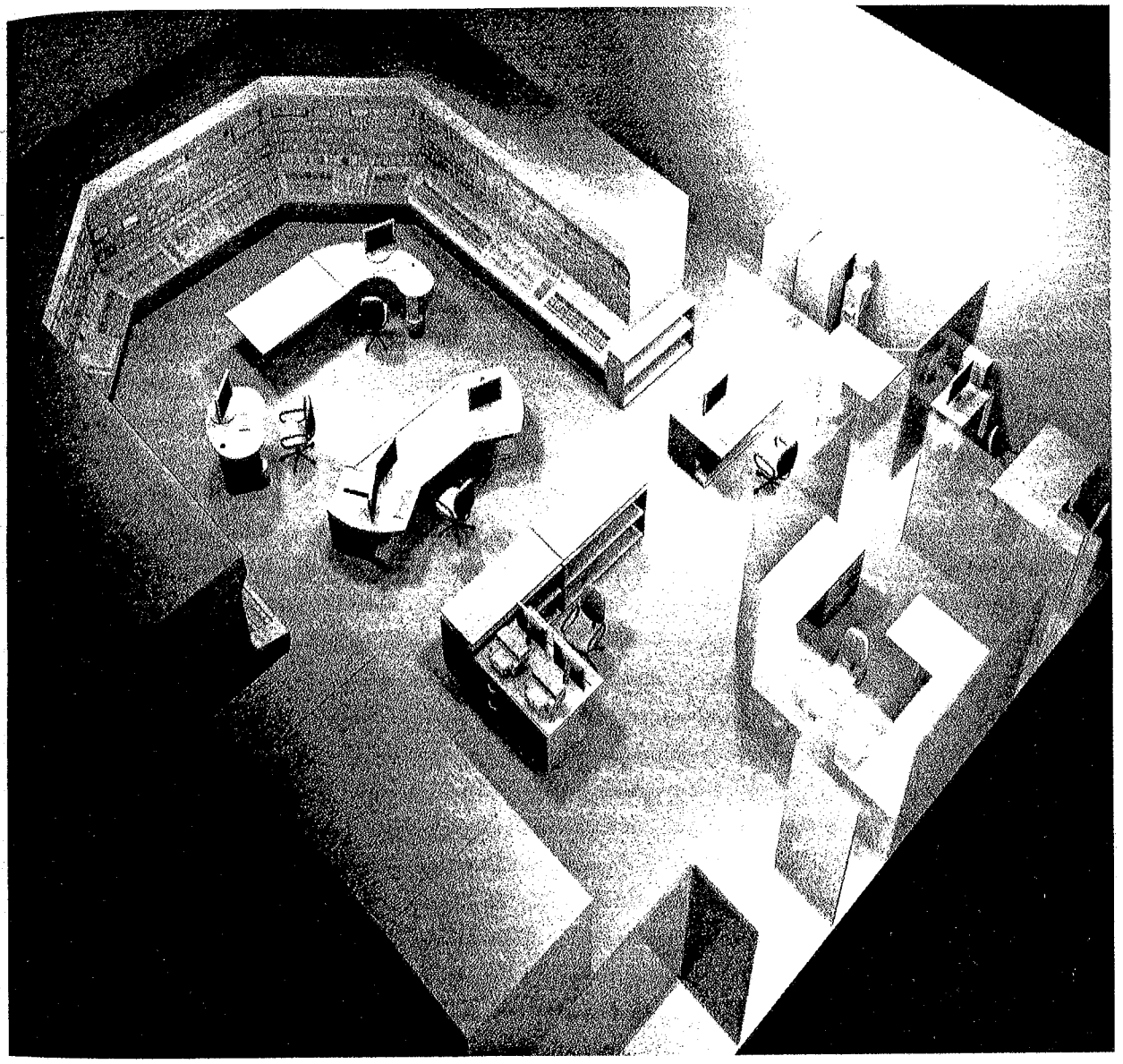


Figura 4.6: Sala de Controle de Angra 1 – Visão Geral

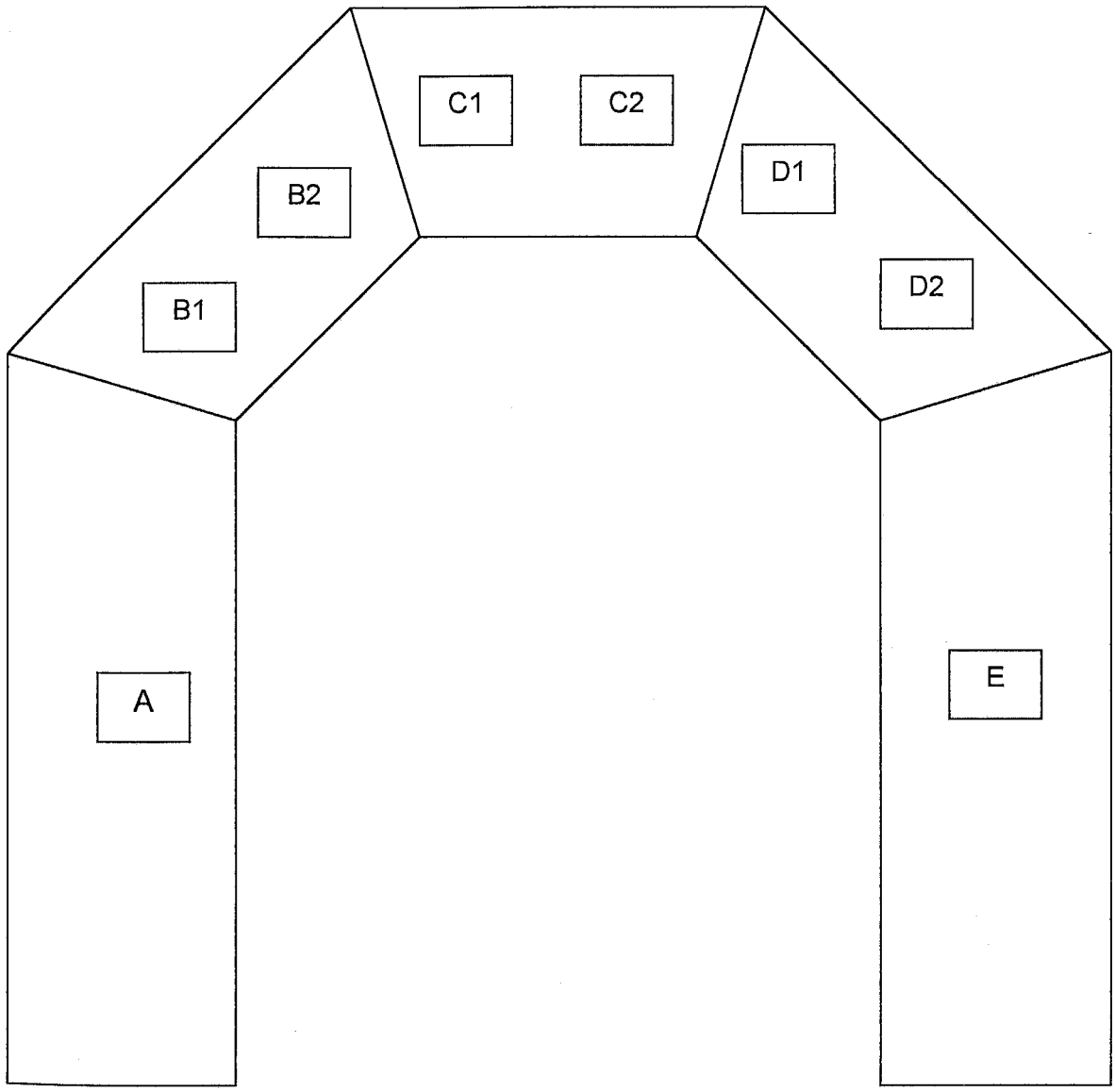


Figura 4.7: Setores do painel principal

4.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS SIMULAÇÕES PELO MHP, GOMS E EPIC DAS AÇÕES DO INTERVALO SÉTIMO DO PO-E-3

A Tabela 4.2 mostra os tempos obtidos com as simulações dos passos do PO-E-3 de Angra 1, com a utilização das arquiteturas MHP, GOMS e EPIC. A coluna da arquitetura MHP apresenta o valor do tempo de atividade cognitiva mais o fator de correção. Os tempos da arquitetura GOMS – GOALS, OPERATORS, METHODS AND SELECTION RULES foram obtidos por Silva [39], no seu estudo sobre a carga de trabalho do operador. A arquitetura GOMS foi proposta inicialmente pelos mesmos autores do MHP, tendo sofrido várias modificações posteriormente. Ela é programável por regras de produção e seus movimentos motores são mais simplificados que os do EPIC. Por exemplo, o tempo para qualquer ação motora visual é fixado em 1,2 segundos. Também seu processador visual é menos elaborado que o do EPIC.

Tabela 4.2: Comparação dos Resultados Obtidos pelo GOMS, MHP e EPIC

Passo do PO-E-3	Arquitetura GOMS (ms)	Arquitetura MHP-CE (ms)	Arquitetura EPIC (ms)
13.a	1.450	1.380	100
13.b	5.900	4.120	5.150
14	1.450	1.380	1.450
15.a	5.050	2.760	1.250
15.b	12.650	6.490	9.150
15.c	4.150	2.830	3.100
16.a/b	11.600	7.800	5.150
16.c	5.550	5.380	6.900
Total	47.800	32.140	32.250

Observa-se que a modelagem MHP-CE e a EPIC, com as hipóteses do item 4.1, apresentam resultados bastante próximos para os tempos totais de execução, embora haja alguma variação entre os resultados para cada um dos passos. A modelagem GOMS apresenta um valor totalmente diferente. Os comandos do GOMS são conservadores no mesmo nível do MHP (tempo da tarefa + fator de correção). Entretanto, seu tempo é maior pois se adicionam os tempos de processamento das regras de produção. Os comandos no GOMS são independentes da geometria do painel e possuem tempos fixos inalteráveis. No MHP não existe um controle da regras de produção, não sendo computado este tempo adicional. No EPIC este controle é feito pelo PPS na sub-rotina correspondente. Por outro lado, a geometria real do painel torna a simulação menos conservadora. Assim o PPS adiciona tempo mas a realidade geométrica retira tempo. Esta compensação resultou por coincidência, neste caso particular, em tempos iguais para o EPIC e o MHP. Nada se pode afirmar ao se simular outros procedimentos. Por esse motivo, foram realizados três experimentos no Simulador Pleno de Angra 2, para se verificar esta questão com mais rigor, em termos de tempo de execução de tarefas individuais.

4.4 EXPERIMENTO NO SIMULADOR

Para se estabelecer um termo de comparação, foi feito um experimento no Simulador Pleno do Centro de Treinamento Avançado com Simulador da ELETRONUCLEAR, sendo executados três passos de Procedimentos de Operação Anormal, que foram cronometrados e modelados no MHP e no EPIC.

O experimento foi realizado no dia 16 de agosto de 2.002, tendo atuado como operador do painel o instrutor Eng. Nilo Garcia da Silva, da CNEN, e como monitor o Eng. Jorge Francisco Marques, da ELETRONUCLEAR.

Foram feitas duas medições de tempo para cada passo, iniciando-se com a atuação de um alarme até a execução completa da última ação. Os movimentos manuais tiveram como origem as posições:

Mão direita:	x = 20cm
	Y = -30cm
Mão esquerda	x = -20cm
	Y = -30cm

Os passos simulados e os tempos medidos são apresentados no Apêndice 5.

Os cálculos dos tempos totais de execução das tarefas, pelo modelagem MHP, são apresentados no Apêndice 6. Nestes cálculos foram utilizados os valores reais do painel das distâncias e das dimensões dos botões. A modelagem EPIC dos experimentos, programada em LISP, é apresentada no Apêndice 7.

Os resultados obtidos pela cronometragem, modelagem pelo MHP e pelo EPIC, são apresentados na Tabela 4.3. A coluna Tempo Medido contém os valores obtidos nas duas medições. A coluna Modelagem MHP apresenta em primeiro lugar o tempo calculado para o *homem médio* e a seguir o intervalo *homem rápido – homem lento*, conforme definido no item 3.1. As colunas Série e Paralelo da coluna Modelagem EPIC apresentam os resultados considerando-se os processadores motores ocular e manual operando em série e em paralelo, conforme explicado no item 3.2.1, quando demandadas nas regras.

Tabela 4.3: Tempos medidos e tempos calculados dos experimentos no Simulador de Angra 2

Experimento	Tempo Medido (s)	Modelagem MHP-CE (s)	Modelagem EPIC	
			Série (s)	Paralelo (s)
Experimento 1	2,24 3,00	3,950 (2,970 – 4,630)	3,000	1,700
Experimento 2	6,05 5,27	6,920 (4,870 – 7,925)	7,300	5,300
Experimento 3	5,96 6,10	5,970 (4,690 – 7,125)	4,250	3,750

Os valores medidos, de um modo geral, estão dentro das faixas calculadas, exceto para o experimento 3, no qual os valores obtidos na modelagem EPIC ficaram bem menores. A explicação para a diferença entre o valor do MHP e do EPIC para este experimento está nos fatores de correção de 1.000 ms e 500 ms aplicados pelo

MHP-CE às atividades cognitivas de verificação de funcionamento das três Bombas de Carregamento, que estão separadas entre si cerca de 10 cm. Para o EPIC a movimentação do olho de uma para a seguinte consome um tempo muito menor, numa taxa de 4ms/grau, sendo 1 grau de ângulo visual considerado cerca de 1 cm do painel.

Devemos considerar também que o EPIC assume extrema especialização do operador, o qual deve conhecer previamente a localização precisa de cada indicador ou controlador chamado no procedimento. O operador, no caso real, devido à gravidade das conseqüências de uma ação errônea, age mais lentamente para ter certeza de praticar a ação correta. O resultado da modelagem EPIC em série deve ser considerado como o tempo mínimo física e mentalmente de execução da tarefa. A modelagem em paralelo simularia um operador não cauteloso. Em ambiente de usinas nucleares este comportamento não seria adequado, entretanto, em outros ambientes de tarefas, onde o item segurança não seja tão importante, poderia ser utilizado.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um dos desafios para os projetistas de sistemas de interface homem-máquina é desenvolver um produto que apresente a informação e os controles de uma maneira útil, efetiva e de fácil interação. Para atingir este objetivo, os projetistas devem saber quais as decisões sobre as quais os operadores têm responsabilidade e de que maneira eles se comportam ao tomarem decisões de controle em tempo real. Uma premissa do projeto de uma interface homem-máquina é que erros de intenção (tomada de decisão incorreta ou imprópria) podem ser reduzidos se o conjunto de tarefas que a interface é projetada para dar suporte, inclui as atividades cognitivas que apóiam a tomada de decisão do operador[40].

Este trabalho apresenta um método de análise cognitiva de tarefas do operador de uma usina nuclear, destinado a permitir a avaliação do projeto da interface proposto, utilizando uma arquitetura integrativa computacional, denominada EPIC, comparando-a com uma arquitetura paramétrica, denominada MHP, operacionalizada com cálculos manuais. A arquitetura MHP foi utilizada pela Combustion Engineering (CE), na análise de tarefas que suportou o projeto da Sala de Controle do modelo SYSTEM 80+.

Como exemplo, esta análise foi feita utilizado-se o Procedimento PO-E-3 Ruptura de Tubo do Gerador de Vapor, da usina Angra 1, escolhido por apresentar, em certos momentos, grande concentração de atividades cognitivas e de controle, sendo este procedimento destinado a combater um acidente de probabilidade considerável, tendo já ocorrido em várias usinas PWR pelo mundo. Este evento requer da equipe de operação um desempenho rápido e eficaz para reduzir a pressão do Sistema de Refrigeração do Reator, para um valor abaixo do ponto de ajuste de abertura das válvulas de segurança dos Geradores de Vapor, evitando a liberação de radioisótopos para o meio ambiente, sem causar a saturação do refrigerante.

A primeira parte do trabalho consistiu na aplicação do modelo MHP, com as hipóteses adotadas pela CE, integralmente ao PO-E-3, para localizar os pontos de concentração de atividades cognitivas e de controle. Foi determinado que o sétimo intervalo de 1 minuto do evento apresenta a maior concentração dessas atividades. Às tarefas deste intervalo foi aplicada a metodologia EPIC, com as mesmas hipóteses, para permitir uma comparação dos resultados. Para os demais intervalos de tempo do

evento, o método seria uma repetição do aplicado ao sétimo intervalo, porém de pouca utilidade devido à concentração de atividades ser bem menor.

Pelo método aplicado verifica-se que, nesse intervalo, há necessidade de automação de parte das ações do operador, ou de apresentação dos parâmetros solicitados em um sistema de suporte ao operador, como uma tela do Sistema de Indicação de Parâmetros de Segurança, ou mesmo pelo re-agrupamento dos indicadores no painel.

É interessante notar que a conclusão do item 4.1 sobre a necessidade de automação ou melhoria do suporte ao operador nos passos do intervalo sétimo do procedimento PO-E-3, a qual chegamos analiticamente, também foi concluída através da experiência operacional, tanto que em Angra 2 a redução de pressão do primário, no evento de RTGV, foi automatizada no projeto. Isto mostra que as previsões feitas pela modelagem podem antecipar pontos problemáticos ainda na fase de projeto, facilitando a alocação de funções e a disposição dos indicadores e controladores na interface homem-máquina.

Os dois modelos de análise cognitiva de tarefas discutidos aqui requerem do usuário a definição da estratégia de combate ao acidente e o detalhamento de cada passo das tarefas e subtarefas. Verifica-se que a aplicação do modelo computacional EPIC facilita grandemente o trabalho do analista, alocando à máquina e ao programa todo o cálculo de desempenho do operador em termos de tempo de execução da tarefa. Entretanto, uma quantidade substancial de estudo detalhado por parte do usuário será necessária, para que este possa utilizar o modelo com confiança.

O resultado de 32,25 segundos na simulação pelo EPIC do intervalo sétimo, necessitou a retirada de todo o paralelismo dos processadores, assumindo também 1,20 m de distância das chaves do painel, 2,5 cm de largura do alvo, bem como o retorno da mão após cada ação motora do Processador Manual, ou seja, condições que condizem com as hipóteses assumidas pela CE para a análise pelo método MHP. As ações reais plenas, para intervalo sétimo do PO-E-3, somente poderiam ser simuladas retirando-se estas restrições.

Dos resultados obtidos no Capítulo 4, verificamos que as estimativas de tempo total obtidas com a utilização do EPIC e do MHP, com as hipóteses assumidas pela Combustion Engineering, são bastante próximas, embora haja alguma variação entre

os resultados para cada um dos passos individualmente. A modelagem GOMS apresenta um valor totalmente diferente. Os comandos do GOMS são conservadores no mesmo nível do MHP (tempo da tarefa + fator de correção). Entretanto, seu tempo total é maior pois se adicionam os tempos de processamento das regras de produção. Os comandos no GOMS são independentes da geometria do painel e possuem tempos fixos inalteráveis. No MHP não existe um controle da regras de produção, não sendo computado este tempo adicional. No EPIC este controle é feito pelo PPS na sub-rotina correspondente. Por outro lado, a geometria real do painel torna a simulação menos conservadora. Assim o PPS adiciona tempo mas a realidade geométrica retira tempo. Esta compensação resultou por coincidência, neste caso particular, em tempos iguais para o EPIC e o MHP. Nada se pode afirmar ao se simular outros procedimentos, como se pode verificar pelos resultados dos experimentos no simulador, mais claramente no experimento 3, conforme descrito no item 4.4.

Devemos considerar também que o EPIC assume extrema especialização do operador, o qual deve conhecer previamente a localização precisa de cada indicador ou controlador chamado no procedimento. O operador, no caso real, devido à gravidade das conseqüências de uma ação errônea, age mais lentamente para ter certeza de praticar a ação correta. O resultado da modelagem EPIC em série deve ser considerado como o tempo mínimo física e mentalmente de execução da tarefa. A modelagem em paralelo simularia um operador não cauteloso. Em ambiente de usinas nucleares este comportamento não seria adequado, entretanto, em outros ambientes de tarefas, onde o item segurança não seja tão importante, poderia ser utilizado.

Para subsidiar a comparação entre os resultados das arquiteturas foram realizados três experimentos no Simulador Pleno da Usina Angra 2, cujos tempos de execução foram medidos e os valores comparados com os obtidos com as modelagens MHP e EPIC, desta vez utilizando-se os valores reais do painel do Simulador.

A pequena base de dados obtida pelo experimento no simulador neste trabalho, limitada pelo exíguo tempo disponibilizado para sua realização, permite que esses dados sejam utilizados apenas como uma referência e nem de longe como validação dos modelos.

Entretanto, os resultados do experimento no simulador mostram que para se utilizar o EPIC para simular tarefas do operador de uma usina nuclear é necessário fazer-se ajustes nos parâmetros internos dos processadores. Uma recomendação para trabalhos futuros nesta área seria expandir o item 4.4 Experimento no Simulador e através dos resultados de medição e simulação de tarefas fazer o ajuste dos parâmetros internos dos processadores. Um dos parâmetros mais importantes é o MECHANICAL-SLOPE para o movimento ocular, que deveria ser testado exaustivamente no simulador com diversos tipos de tarefas visuais, acopladas ou não a tarefas manuais de controle. A execução de uma sacada, no EPIC, é estimada correntemente em 4 ms/grau de ângulo visual, baseado nos trabalhos de Wickens, valor atualizado em 1995, conforme especificado em um comentário da sub-rotina OMOT. Entretanto, Anderson e Lebiere em 1998[41], analisando a tarefa de busca em menu, na interação homem-computador, concluíram que a velocidade do olho adotada no EPIC é altamente improvável, sendo esta cerca de metade do valor convencionalmente aceito, determinado experimentalmente. Convém destacar que o Simulador é uma unidade comercial, portanto a extensão do experimento deverá levar em consideração fatores econômicos importantes.

Entre as arquiteturas analisadas neste trabalho, a EPIC mostrou ser a mais adequada para verificar-se a eficiência da alternativa de *Layout* da interface adotada, em termos de tempo despendido na execução das ações previstas nos procedimentos. Verifica-se que se considerarmos os valores relativos dos tempos calculados com o uso do EPIC, poderemos fazer comparações entre possíveis disposições dos indicadores e controladores no painel (ambiente da tarefa), para determinar a mais eficiente em termos de tempo. Simplesmente alterando os dados de entrada no módulo do ambiente da tarefa, poderemos verificar qual arranjo dos instrumentos no painel produz um resultado mais eficiente em termos de tempo, tornando desnecessária a construção de modelos em tamanho real e extensiva experimentação, o que seria a alternativa convencional.

O ambiente externo é representado no EPIC pelo Task Environment Module, ou *dispositivo*, cujo processador tem o nome de DEVP. Embora, conceitualmente, o dispositivo externo não seja da mesma natureza que os processadores psicológicos, ele é representado simplesmente como um processador adicional que corre em paralelo com os processadores do EPIC. O Módulo do Dispositivo é programado em LISP e sua programação representa o ambiente externo e como ele interage com o ser humano simulado. O ambiente de simulação é fornecido em coordenadas

cartesianas e convertido internamente em polares. O valor de R é dado em graus de ângulo visual no espaço visual de coordenadas cartesianas. THETA é dado em radianos.

Como exemplo temos a apresentação do ambiente utilizado nos experimentos no simulador:

```
(DEFINE-VISUAL-LOCATION MKY 16.8 -2.4)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION TH2 12 4.8)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BMKY 14.8 -2.4)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT BMKY 14.8 -2.4 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT RELEASE -31.2 -33.6 (LEFT INDEX) 2.0)
```

Cada indicador de parâmetro aplicado na execução da tarefa, ou instrumento de controle, é seguido de sua localização em coordenadas X e Y, medidas em centímetros, tomando por origem o centro do setor do painel. É também definido no ambiente o tipo de movimento manual de controle, bem como o dedo e a mão envolvidos na ação motora. A simples alteração dessas coordenadas permite fazer uma comparação do tempo despendido na execução da tarefa em diferentes disposições dos instrumentos no painel, a fim de selecionar a mais eficiente, em termos de tempo de execução, para esta tarefa específica. Para uma análise completa do painel seria necessário examinar também os outros procedimentos.

Pare se verificar a seqüência mais adequada dos passos de um dado procedimento de emergência de uma usina nuclear, de modo a proporcionar que a Função de Segurança seja completada antes que seja alcançado do Tempo Limite do Projeto, conforme definido na Norma ANS/ANSI 58.8 explicada no item 2.3, é necessária a determinação do valor absoluto do tempo de execução de cada tarefa. Por este motivo, a utilização do EPIC para este fim requer o ajuste dos parâmetros com o auxílio do Simulador, proposto acima.

Em resumo, o EPIC mostrou-se uma ótima ferramenta para avaliação do *Layout* do painel de controle, entretanto sua aplicação para determinação do valor absoluto do desempenho do operador de uma usina nuclear ao executar uma tarefa,

vai requerer mais estudos e, provavelmente, algumas modificações de parâmetros internos.

Para trabalhos futuros nesta área, além do que foi mencionado acima, seria de especial interesse o estudo da fusão do EPIC com outra arquitetura cognitiva, tipo SOAR [42], para permitir a simulação do erro humano e do aprendizado. Este último especialmente indicado para a avaliação do desempenho do operador durante acidentes severos, não previstos, quando se torna necessário, da experiência, propor novas regras para combate ao evento. Uma arquitetura EPIC-SOAR já vem sendo tentada, existindo já alguns trabalhos publicados sobre o assunto [43]. Outro exemplo desse tipo de arquitetura híbrida é o ACT/R-PM que incorpora a arquitetura EPIC à sua arquitetura cognitiva básica para simular a parte perceptual e motora.

Também seria de interesse um trabalho no desenvolvimento de outros movimentos motores manuais, como o giratório e o deslizante, os quais ainda não estão plenamente operacionais nesta versão do EPIC. A modelagem da fala seria importante para a análise cognitiva de tarefas do operador, modelando a interação do operador com os demais membros da equipe.

6 REFERÊNCIAS

1. USNRC, (1979). NUREG-0585 "Lessons Learned Task Force Final Report". Washington, DC, USA.

2. USNRC, (1994). NUREG-0711 "Human Factors Engineering Program Review Model". Washington, DC, USA.

3. IAEA, International Nuclear Safety Advisory Group, (1988). Safety Series No. 75-INSAG-3 "Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, "Vienna, Austria.

4. BASTL, W. et al., (1991). "Balance Between Automation and Human Actions in NPP Operation: Results of International Cooperation," *Balancing Automation and Human Actions in NPP* , International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

5. KIBBLE, M., (1988). "Information Transfer From Intelligent EW Displays" *Proceedings of the Human Factors Society – 32nd Annual Meeting, 1988*, Santa Monica, California.

6. WICKENS, C., KESSEM, C. (1981). "The detection of Dynamic System Failures", *Human Detection and Diagnosis of System Failures*, Plenum Press, New York.

7. WARM, J., PARASURAMAN, R., (1987). "Vigilance: Basic and Applied Research", *Human Factors Society*, Special Issue, 29:623-740.

8. DRURY, C., et al., (1987). "Task Analysis", Handbook of Human Factors, G. Salvendy, (ed.), Wiley-Interscience, New York.

9. COMBUSTION ENGINEERING CESSAR DESIGN CERTIFICATION, SYSTEM 80+ (1990), Volume 16, Capítulo 18. Windsor, Connecticut.

10. CARD, S. K., MORAN, T.P., NEWELL, A., (1983). "The Psychology of Human-Computer Interaction", Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale, New Jersey

11. BARON, S., (1990), "Approaches to Human Performance Modeling" in Sheldon Baron, Dana S. Kruser and Beverly M. Huey (Eds.) *Quantitative Modeling of Human Performance in Complex, Dynamic Systems* , 14, 19, 162, 457. Washington D.C. National Academy Press.

12. CARD, S. K., (1990). "Cognitive Architectures" in *Human Performance Models for Computer-Aided Engineering*, 203-214. J.L.Elkind, S.K.Card, J.Hochberg, B.M.Huey (Eds.) San Diego, CA Academic Press Inc.

13. KIERAS, D. E., MEYER, D. E., 1998, *The EPIC Architecture: Principles of Operation.* Report from the Artificial Intelligence Laboratory, Electrical Engineering and Computer Science Department, University of Michigan. Ann Arbor, Michigan.

14. ELETRONUCLEAR, (2001). Manual de Operação de Angra 1, Volume 2 – Procedimentos de Emergência. Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

15. CARD, S. K., NEWELL, A., (1990). "Cognitive Architectures" in *Human Performance Models for Computer-Aided Engineering*, 176. J.L.Elkind, S.K.Card, J.Hochberg, B.M.Huey (Eds.) San Diego, CA Academic Press Inc.

16. WELFORD, A. T., (1973). "Attention, strategy and reaction time: A tentative metric". In S. Kornblum (Ed.) *Attention and Performance IV*, 37-54. New York: Academic Press.

17. PEW, R. P., MAVOR, A. S., (1998). *Modeling Human and Organizational Behavior – Application to Military Simulations*, 99-107. Richard W. Pew, Anne S. Mavor (Eds.) Washington, D.C. National Academy Press.

18. ELETRONUCLEAR, (2001). Procedimento de operação da usina de Angra 2, Parte 3, Capítulo 1.1, Seção 3. Conceito de Tarefas do Operador. Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

19. AMERICAN NUCLEAR SOCIETY, (1994). NORMA ANSI/ANS-58.8-1994 *Time Response Design Criteria for Safety-Related Operator Actions*. La Grange Park, Illinois.

20. HOLLNAGEL, E., EDLAND, A., SVENSON, O., (1996). *A Cognitive Task Analysis of the SGTR Scenario*. Halden Reactor Project Report NKS/RAK-1(96)R3, Halden, Norway.

21. RUSSO, J. E. (1978). "Adaptation of cognitive processes to the eye-movement system". In J. W. Senders, D. F. Fisher, and R. A. Monty (Eds.) *Eye Movement and the Higher Psychological Functions*, 89-109, Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

22. AVERBACH, E., CORIELL. S. (1961). "Short-term memory in vision", *Bell System Technical Journal 40*, 362-365.

23. DARWIN, C. J., TURVEY, M. T., CROWDER, R. G., (1972). "An auditory analogue of the Sperling partial report procedure: Evidence for brief auditory storage". *Cognitive Psychology 3*, 255-267.

24. HARTER, M. R., (1967). "Excitability and cortical scanning: A review of two hypotheses of central intermittency in perception". *Psychological Bulletin 68*, 47-58.

25. FITT, P. M., POSNER, M. I., (1967). *Human Performance*. Belmont, California: Books/Cole.

26. MURDOCK, B. B. , Jr, (1961). "Short-term retention of single paired-associates". *Psychological Reports 8*, 280.

27. PETERSON, L. R., PETERSON, M. J., (1959). "Short-term retention of individual verbal items". *Journal of Experimental Psychology 58*, 193-198.

28. MELTON, A. (1963). "Implications of short-term memory for a general theory of memory". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior2*, 1-21.

29. MILLER, G. A. (1956). "The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information". *Psychological Review 63*, 81-97.

30. STERNBERG, S., (1975). "Memory scanning: New findings and current controversies". *Quarterly Journal of Experimental Psychology 27*, 1-32.

31. MICHON, J. A., (1978). "The making of the present: A tutorial review". In J. Requin, ed., *Attention and Performance VII*, 89-111, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaun Associates.

32. LANDAUER, T. K., (1972). "Rate of implicit speech". *Perception and Psychophysics 15*, 646.

33. KEELE, S. W., (1968). "Movement control in skilled motor performance". *Psychological Bulletin 70*, 387-403.

34. VINCE, M. A., (1948). "Corrective movements in a pursuit task". *Quarterly Journal of Experimental Psychology I*, 85-103.

35. WELFORD, A. T., (1968). *Fundamentals of Skill*. London: Methuen.

36. HYMAN, R., (1953). "Stimulus information as a determinant for reaction time". *Journal of Experimental Psychology 45*, 188-196.

37. ROSENBAUM, D. A., (1991). *Human Motor Control*. New York: Academic Press.

38. HALLETT, P. E., (1986). "Eye movements". In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.) *Handbook of Perception and Human Performance*. Volume 1, 10-1 – 10-112. New York: Wiley.

39. SILVA, N. G., (2002), *Avaliação da Carga de Trabalho de um Operador de uma Usina Nuclear Durante uma Emergência*, Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro.

40. ROTH, E., (1996). Westinghouse WCAP-14695 *Description of the Operator Decision-Making Model and Function-Based Task Analysis Methodology.* Pittsburg, Pennsilvania.

41. ANDERSON, J. R., LEBIERRE, C., (1998). *The Atomic Components of Thought.* New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

42. NEWELL, A. (1990). *Unified Theory of Cognition*, Cambridge, MA: University Press.

43. CHONG, R. S., (1998). *Modeling Dual Task Performance Improvement Casting Executive Process Knowledge Acquisition as Strategy Refinement* , University of Michigan Report CSE-TR-378-98.

44. ELETRONUCLEAR, (1976). Desenho Westinghouse 1137E95 Sheet 1/7 – Angra 1. Angra dos Reis, Rio de Janeiro.

APENDICE 1

Lista de Atividades Cognitivas para uma RTGV

Passo	Descrição da Seqüência de Eventos		Atividade Cognitiva
	Objetivo	Meio	
1	Condições de desligamento das BRR verificadas	Verificar que IS funciona	Avaliar
		Verificar que o sub-resfriamento está dentro da margem	Avaliar
		Desligue as BRRs	Executar
2	GV rompido foi identificado		
2.a	Verificada alteração de nível no GV	Consultar os indicadores de nível	Comparar
2.b	Verificada atividade alta nas linhas de amostragem	Verificar nível de radiação nas linhas de amostragem dos GVs	Diagnosticar
2.c	Verificada atividade alta nas linhas de vapor principal	Consultar os indicadores de atividade das LVPs	Comparar
2.d	Verificada atividade dos ejetores de ar	Consultar os indicadores de atividade dos ejetores de ar	Comparar
3	GV rompido foi isolado		
3.a	Válvula de Alívio do GV ajustada para 79 bar	Ajuste o ponto de atuação da estação controladora da válvula para 79bar	Executar
3.b	VA fechada	Verifique que a válvula está fechada	Verificar
3.c	Válvula de vapor para a turbo-bomba da Água de Alimentação Auxiliar fechada	Feche a válvula de suprimento de vapor da linha do GV rompido para a turbo-bomba.	Executar
3.d	Válvula de purga fechada	Verifique a válvula fechada	Verificar
3.e	Válvula de isolamento da linha de vapor principal e "by-pass" fechadas	Feche as Válvulas Principal e "by-pass"	Executar
3.f	Sinal e isolamento da LVP "resetado" e válvulas de suporte fechadas	"Reseteie"o sinal e feche as válvulas	Executar
3.g	Sistema de Desvio de Vapor isolado	Verifique que as válvulas do SDV estão fechadas	Verificar
3.h	Alimentação para o GV rompido isolada	Verifique as válvulas estão fechadas	Verificar

Lista de Atividades Cognitivas para uma RTGV(Cont.)

Passo	Descrição da Seqüência de Eventos		Atividade Cognitiva
	Objetivo	Meio	
4	Alimentação para o GV rompido isolada		
4.a	Nível na Faixa Estreita > 4%	Verifique o nível	Comparar
4.b	Nível constante ou aumentando	Pare a água de alimentação	Executar
5	Equipe de emergência notificada	Faça as comunicações requeridas	Comunicar
6	Válvulas de alívio do PZR estão operáveis	Verifique que estão fechadas	Verificar
		Verifique que pelo menos uma válvula de isolamento está aberta	Verificar
7	Nenhum GV rompido no lado secundário		
7.a	Pressão nos GVs estável	Verifique a pressão em cada GV	Verificar
8	Nível na faixa estreita > 4%	Ajuste a vazão de alimentação	Ajustar
	50% > Nível FE > 4%	Ajuste a vazão de alimentação	Ajustar
9	Sinal de IS "resetado"	reset" o sinal de IS	Executar
10	Isolamento Fases A e B "resetado"	"reset" o sinal de Isolamento Fases A e B	Executar
11	Ar de instrumentos disponível na contenção	Verifique que o ar de instrumentos está disponível	Verificar
12	Barramentos alimentados por potência externa	Verifique que os barramentos são alimentados por potência externa	Verificar
13	Bombas de RCR paradas		
	Pressão do SRR maior que 16 bar	Consulte o indicador de pressão	Comparar
		Pare as bombas de RCR	Executar
14	Pressão do GV rompido > 15 bar	Consulte o indicador de pressão	Comparar
15	Resfriamento do SRR atingido		
15.a	Valor Requerido foi determinado	Consulte os indicadores e use as tabelas	Avaliar

Lista de Atividades Cognitivas para uma RTGV(Cont.)

Passo	Descrição da Seqüência de Eventos		Atividade Cognitiva
	Objetivo	Meio	
15.b	P-12 = 289,4 C	Desvie vapor para o condensador usando o GV intacto	Ajustar
15.c	"By-pass" para o Desvio de Vapor estabelecido	Estabeleça o "by-pass" para o Desvio de Vapor	Executar
15.d/e	Temperatura do SRR < V.R.	Desvie vapor para o condensador	Ajuste
15.f	Resfriamento do SRR Interrompido	Interrompa o resfriamento	Execute
15.g	Temperatura mantida no Valor Requerido	Mantenha a temperatura requerida	Ajustar
16	Pressão do GV rompido não decrescendo	Siga o valor de pressão indicado	Monitorar
17	Sub-resfriamento do SRR dentro da margem especificada	Use as tabelas para verificar	Verifique
18	Vazamento pela ruptura minimizado. Nível do PZR restabelecido		
18.a	Aspersão está operacional	Verifique a aspersão está operacional. Se não vá para 20	Verificar
18.b	Pressão do SRR dentro do limite	Use a aspersão para reduzir pressão	Ajustar
18.c	Pressão do SRR estável	Feche as válvulas de aspersão e acompanhe a pressão do SRR. Continue no passo 21	Monitorar
19	Vazamento pela ruptura minimizado. Nível do PZR restabelecido		
19.a	Pelo menos uma válvula de isolamento da de alívio está operacional	Verifique que pelo menos uma válvula está operacional	Verificar
19.b	Pressão do SRR dentro do limite	Use a V.A. para reduzir pressão	Ajustar
19.c	Válvula de Alívio fechada	Feche a Válvula de Alívio	Executar
20	Pressão do SRR está aumentando	Acompanhe a pressão do SRR	Monitorar

Lista de Atividades Cognitivas para uma RTGV(Cont.)

Passo	Descrição da Seqüência de Eventos		Atividade Cognitiva
	Objetivo	Meio	
21			
21.a	Sub-resfriamento do SRR dentro da margem especificada	Use as tabelas para verificar	Verifique
21.b	Fonte fria no secundário disponível	Verifique que a fonte fria no secundário está disponível	Verificar
21.c	Pressão do SRR estável ou aumentando	Verifique que a pressão do SRR estável ou aumentando	Verificar
21.d	Nível do PZR > 5%	Consulte o indicador de nível	Comparar
22	Uma bomba de carregamento rodando	Pare as bombas de carregamento exceto uma	Execute
23	Vazão de carregamento estabelecida	Execute passos a até d	Executar
24	TIB isolado	Execute passos a e b	Executar
25	Nível do PZR estável	Controle a vazão de carregamento	Ajustar
26			
26.a	Bombas do Sistema de aspersão operando	Verifique que as bombas do Sistema de aspersão estão operando	Verificar
26.b	Pressão na contenção < 2 bar	Consulte o indicador de pressão	Comparar
27.c	Sinal de aspersão "resetado"	Reset" sinal de aspersão	Executar
27.d	Bombas de aspersão desligadas	Desligue as bombas de aspersão	Executar
28	Sistema de reposição do SRR em automático	Verifique que o sistema de reposição do SRR está em automático	Verificar
29	Linha de Saída em serviço		
29.a	Nível do PZR > 20%	Consulte o indicador de nível	Comparar
29.b	Linha de Saída em serviço	Coloque a Linha de Saída em serviço	Executar

APÊNDICE 2

AÇÕES DOS OPERADORES, E TEMPO τ GASTO NESTAS AÇÕES, DURANTE UM ACIDENTE DE RTGV NA USINA ANGRA 1, SEGUINDO-SE O PO-E3 E A METODOLOGIA MHP-CE

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
1	**00.00**	**Verificar se as BRRs devem ser paradas**						
1.a	00.00	Verifique pelo menos uma bomba de IS operando	Verificar disjuntor fechado (lâmpada vermelha acesa)	4	BIS 1	1 1	248	0,25
			Verificar a pressão de descarga	4	PI-922	1 1	248	0,25
1.b/c	00.00	Grau de sub - resfriamento do núcleo menor que 20 C – Tela SICA GMSSRR	Teclar GMSSRR+ENTER (*) Verificar na sala de controle	22	SICA	0 1	7000	0,00
1.d	00.00	Parar ambas as BRR's	Posicionar a manopla do disjuntor em Desligado – BRR1 (*)	9	BRR 1	2 1	310	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	9	BRR1	1 0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
1.d contin.			Posicionar a manopla do disjuntor em Desligado BRR2 (*)	9	BRR2	2 0,5	310	0,25
			Verificar se a lâmpada verde esta acesa	9	BRR2	1 0,5	248	0,25
2	**01.10**	**Identifique o(s) GV(s) Rompido (s)**						
2.a	01.10	Aumento inesperado de nível Na faixa estreita de qualquer GV	Verifique variação de nível nos indicadores e registradores de nível	10	Inst/regis	2 1	310	0,50
2.b	01.10	Alta radiação nas linhas de vapor Principal	Compare o nível de atividade nas linhas de vapor principal	25	Registr	3 1	380	0,50
2.c	01.10	Pela resposta do R-19 ao alinharmos localmente as linhas de amostragem dos GVs, uma de cada vez	Avaliar a atividade	*	detetor			
2.d	01.10	Pela Análise radioquímica das amostras dos GVs	Avaliar as amostras	*		Comparar		

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
3	**02.20**	**Isolar o GV rompido**						
3.a	02.20	Ajustar o Set Point da válvula de alívio do GV rompido para 80kg/cm2	Girar o dial da estação de controle para 80	11	PK4517 OU PK 4518	2 1	310	0,25
3.b	02.20	Verificar fechada a válvula de alívio	Verificar statuslight FECHADA acesa	10	SDLD	1 1	248	0,25
3.c	02.20	Feche a válvula manual de suprimento de vapor do GV rompido para a AF-2	Girar a chave para a posição RESET (*)	10	HS1521A OU HS1522A	2 1	310	0,25
			Posicionar o dial da estação controladora da válvula 1521/2 na posição 100% (*)	10	HK1521A OU HK1522A	2 1	310	0,25
			Verificar Lâmpada de indicação FECHADA acesa	3	MLB3	1 1	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
3.d	02,20	Confirme fechadas as válvulas de isolamento da purga do GV rompido	Verificar as Válvulas 7661 A ou 7661B lâmpada vermelha acesa	10	HS7661A OU HS7661B	1 1	248	0,25
			Verificar as Válvulas 7603 A ou 7603 B lâmpada vermelha acesa	10	HS7603A OU HS7603B	1 0,5	248	0,25
3.e	02,20	Feche a válvula de isolamento e sua vv de Desvio da linha de vapor principal do GV rompido	Posicionar a chave da estação controladora da válvula principal na posição FECHADA	11	HS4519 OU HS4521	2 1	310	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	11	HS4519 OU HS4521	1 0,5	248	0,25
			posicionar a chave da estação controladora da válvula de Desvio na posição FECHADA	11	HS4519 OU HS4521	2 1	310	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	11	HS4519 OU HS4521	1 0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
3.f	02,20	Feche ou confirme fechada a válvula FW-178 e sua vv de Desvio	Chamar o Operador dos Auxiliares no PAGER			C		
			Solicitar o FECHAMENTO das Válvulas			C		
3.g	02,20	Coloque em serviço o filtro de carvão ativado na descarga da bomba de vácuo do condensador, conforme PO-S-31	Chamar o Operador da Turbina no PAGER			C		
			Solicitar a colocação do filtro em Serviço			C		
4	**03,30**	**Verifique o Nível do GV rompido**						
4.a	03,30	Nível na faixa estreita maior que 4% (21%)	Verificar o indicador de Nível	10	LI461,2,3 LI471,2,3	**3 1**	380	0,50

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
4 b	03,30	Pare o fluxo de alimentação para o GV rompido,	Passar a estação controladora para manual colocar a chave na posição fechar e aguardar o fechamento FCV 466/476 (*)	10		2 1	310	0,25
			Verificar o ponteiro do indicador de posição em Fechar			1 0,5	248	0,25
5	**04,00**	**Verifique as válvulas de alívio/válvulas de bloqueio do PZR**						
5.a	04,00	Suprimento elétrico para as válvulas de bloqueio – DISPONÍVEL	Verificar Lâmpada verde ou vermelha acesa	8	HS8000A E HS8000B	1 1	248	0,25
5.b	04,00	Válvulas de alívio – FECHADAS	Verificar Válvula PCV-430 lâmpada verde acesa	8	PCV431C	1 1	248	0,25
			Verificar Válvula PCV-431C lâmpada verde acesa	8	PCV431C	1 1	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
5.c	04,00	Válvulas de bloqueio – PELO MENOS UMA ABERTA	Verificar Lâmpada vermelha acesa	8	HS8000A OU HS8000B	1 1	248	0,25
6	**04,30**	**Verifique Se os GVs não estão Falhos**						
6.a	04,30	Pressão em nenhum dos GV's diminuindo de modo descontrolado	Ler os dois conjuntos e compare	10	PI468A/69 A/82 PI478A/79 A/83	4 1,5	450 (2)	0,50
6.b	04,30	Nenhum dos GV's completamente despressurizado	Ler os dois conjuntos e compare	10	PI468A/69 A/82 PI478A/79 A/83	1 1,5	248 (2)	0,50
6.c	04,30	Nenhum GV com fluxo de vapor inesperado	Comparar os dois conjuntos	10	FI464/5 FI474/5	3 1,5	380 (2)	0,50
7	**04,50**	**Verifique o nível do GV intacto**						

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
7.a	04,50	Nível na faixa estreita – MAIOR QUE 4% (21%)	Verificar indicação maior que 4%	10	LI461/2/3 OU LI471/2/3	3 1	380	0,50
7.b	04,50	Controle o fluxo de alimentação para o GV intacto de maneira a manter o nível entre 12% e 50%	Passar a estação controladora para manual	10	HS1527 OU HS1528	4 1	450	0,50
			Verificar se o nível indicado está entre 12% e 50%	10	LI461/2/3 OU LI471/2/3	3 1	380	0,50
			Regular a vazão conforme necessário (*)	10	1529 A OU 1529 B	4 1	450	0,50
8	**05,20**	**Rearme o Sinal de Injeção de Segurança**	Comprimir o botão de Rearme do trem A (*)	4	**IS Rearme** TREM A	2 1	310	0,25
			Comprimir o botão de Rearme do trem B (*)	**4**	**IS Rearme Trem B**	2 1	310	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)		τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
9	05,20	**Rearme os sequenciadores de injeção de segurança**	Comprimir o botão de Rearme do trem A (*)	17	IS Rearme Seqüên-ciador Trem A	2	1	310	0,25
			Comprimir o botão de Rearme do trem B (*)	18	IS Rearme Seqüên-ciador Trem B	2	1	310	0,25
10	05,30	**Rearme os Sinais de Isolamento da contenção Fase A e Fase B**	Acionar o botão de Rearme do trem A (*)	4	Isol. Cont. Rearme	2	1	310	0,25
			Acionar o botão de Rearme do trem B (*)		4	2	1	310	0,25
11	05,40	**Estabeleça Ar de Instrumentos para a Contenção**	Colocar a Chave da estação controladora na posição ABERTA(*)	1	HS1753	2	1	310	0,25
			Verificar a lâmpada vermelha acesa	1	HS1753	1	0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
12	**05,45**	**Confirme as Barras de 4160 V AC Energizadas pelo T1A1 OU T1A2**						
12.a	05,45	Barras 1 A 1 E 1 A 2 ENERGIZADAS via T1A1 OU T1A2	Verifique a Tensão na barra 1 A 1	15	EI6721	3 1	380	0,25
			Verifique a Tensão na barra 1 A 2	15	EI6722	3 0,5	380	0,25
12.b	05,45	Barras 1A3 E 1A4 ENERGIZADAS via T1A1 OU T1A2	Verifique a Tensão na barra 1 A 3	15	EI6723	3 1	380	0,25
			Verifique a Tensão na barra 1 A 4	15	EI6724	3 0,5	380	0,25
13	06,00	Verifique se as bombas de RCR devem ser paradas						

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
13.a	06,00	Pressão do SRR maior que 15kg/cm2	Verificar no indicador se a pressão do SRR é maior que 15kg/cm2	8	PI 419 OU PI 420	3 1	380	0,50
13.b	06,00	Pare as bombas do RCR, deixando-as em AUTO	Colocar a manopla do disjuntor da Bomba A na posição TRIP (*)	5	BRCR 1	2 1	310	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	5	BRCR1	1 0,5	248	0,25
			Colocar a manopla do disjuntor da Bomba B na posição TRIP (*)	5	BRCR2	2 1	310	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	5	BRCR2	1 0,5	248	0,25
14	**06,30**	**Verifique a pressão do GV Rompido – Maior que 24 Kg/cm2**	Verifique a pressão no GV rompido	10	PI- 468A	3 1	380	0,50
15	06,45	Inicie o resfriamento do SRR						

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
15.a	06,45	Determine a temperatura requerida na saída do núcleo	Verificar a pressão do GV rompido	10	PI468A OU PI478A	3 1	380	0,50
			Determinar, na tabela do procedimento, a temperatura requerida			3 1	380	0,50
15.b	06,45	Usando o Sistema de Desvio de Vapor e o GV intacto, resfrie o SRR na máxima taxa possível	Passar a manopla para Modo de Pressão (*)	10	43/SD	2 1	310	0,25
			Girar o dial da estação controladora para ABRIR (*)	10	HC484	2 1	310	0,25
			Verificar as lâmpadas de indicação das válvulas indicando ABERTA	10	SDLB	1 1	248	0,25
			Após a ativação do Permissivo P-12 Passar a manopla do Trem A para Desvio (*)	10	43/DAS	2 1	310	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
15.b contin.			Após a ativação do Permissivo P-12 Passar a manopla do Trem B para Desvio (*)	10	43/SDB	2 1	310	0,25
15.c	06,45	Temperatura do núcleo menor que a requerida	Acompanhe a queda da temperatura do núcleo até atingir o valor requerido	22	SICA	3 1	380	2,00
			Reduza a vazão de vapor até estabilizar a temperatura (*)	10	HC484	4 1	450	2,00
16	**06,45**	**Estabeleça Fluxo de Carregamento**						
16.a	06,45	Bombas de carregamento - pelo menos uma operando	Verificar disjuntor fechado Lâmpada vermelha acesa	6	BCC1 BCC2	1 1	248	0,25
			Verificar a pressão de descarga	6	PI150A	1 1	248	0,25
			Verificar vazão de descarga	6	FI201/202	1 1	248	0,25

COPIA NUCLEAM CFRJ

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)		τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
16.b	06,45	Alinhe a sucção das bombas de carregamento ao TAR	Coloque a chave da válvula LCV-112C na posição aberta (*)	6	LCV112C	2	1	310	0,25
			Verificar a lâmpada vermelha acesa	6	LCV112C	1	0,5	248	0,25
			Confirme o fechamento da válvula LCV-112B	6	LCV112B	1	1	248	0,25
			Verificar a lâmpada verde acesa	6	LCV112B	1	0,5	248	0,25
16.c	06,45	Estabeleça fluxo máximo de carregamento	Coloque a chave da válvula 8135 na posição aberta (*)	6	8135	3	1	380	0,50
			Verificar a lâmpada vermelha acesa	6	8135	2	1	310	0,25
			Colocar a estação de controle em normal e a chave na posição aberta (*)	6	8135	3	1	380	0,50
			Verificar o ponteiro do indicador na posição fechada	6	8135	2	1	310	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
17	08,45	Verifique a pressão do GV rompido – ESTÁVEL OU AUMENTANDO	Verifique o indicador de pressão do GV rompido	10	PI468 A OU PI478 B	3 1	380	0,25
18	**09,10**	**Verifique o Sub - resfriamento do SRR Baseado nos termopares de Saída do Núcleo – Maior que 31 C (68 F), Tela GMSSRR (SICA)**	Verifique a temperatura nos termopares de saída do Núcleo			0 1	7000	2,00
19	**09,20**	**Despressurize o SRR para minimizar o vazamento para o secundário pelo GV rompido e restabelecer indicação de nível no PZR**						
19.a	09,20	Spray normal do PZR – OPERÁVEL	Verifique a lâmpada verde acesa	8	PCV PCV	1 1	248	0,25
19.b	09,20	Atue no Spray do Pressurizador disponível na taxa máx até que: Pressão do SRR menor que a do GV rompido e nível do PZR MAIOR QUE 4% OU Nível do PZR maior que 76% Sub - resfriamento do SRR menor que 20C	Posicione o dial da estação controladora em 100% (*)	8	PCV PCV	2 1	310	0,25
			Monitore a pressão do SRR	8	PI419/ PI420	4 1	450	2,00
			Monitore a pressão do GV rompido	10	PI468 A/ PI478B	4 1	450	2,00
			Monitore o nível do PZR	9	LI426A	4 1	450	2,00

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
19.b contin.			Monitore o grau de sub - resfriamento do núcleo Tela GMSSRR – SICA	22	SICA	0 1	7000	2,00
19.c	09,20	Quando o valor requerido de um dos parâmetros acima for atingido, feche a válvula de Spray	Posicione o dial da Estação Controladora em 0% (*)	8	PCV	2 1	310	0,25
20		**Despressurize o SRR Usando Uma das Válvulas de Alívio do PZR para minimizar o vazamento para o Secundário do GV rompido e restabelecer indicação de Nível no PZR**						
20a		Pelo menos uma válvula de alívio do PZR - Operável	Verifique se a válvula de alívio esta operável					
			Verifique a válvula de alívio esta operável					
20b		Abra uma das válvulas de alívio do PZR até que qualquer uma das condições seguintes seja satisfeita:	Pressão do SRR menor que a pressão do GV rompido E nível do PZR maior que 4% (24%)					

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
20.b contin.			Nível do PZR – maior que 76% (56%)					
			Sub - resfriamento do SRR baseado nos termopares de saída do núcleo - menor que 20 C (57 F), Tela GMSSRR (SICA)					
]20.c		Fechar a válvula de alívio do PZR	Acionar a manopla da válvula					
			Verificar a lâmpada verde acesa					
21	**17,45**	**Verifique se a Pressão do SRR esta aumentando**				3 1	380	0,25
22	**18,00**	**Verifique Se as Bombas de Injeção de Segurança devem ser Paradas:**						
22.a	18,00	Sub - resfriamento do SRR baseado nos termopares de saída do núcleo - MAIOR QUE 20 C, Tela GMSSRR (SICA)	Monitoração da tela do SICA			0 1	7000	2,00

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
22.b	18,00	Fonte fria do Primário: Nível da faixa estreita do GV intacto - Maior que 4% (21%)	Verificar nível no indicador / registrador	10		3 1	380	0,25
			Fluxo total disponível para os GV's - Maior que 1040 lpm	10		3 1	380	0,50
22.c	18,00	Pressão do SRR – Estável OU aumentando	Verificar no indicador / registrador			3 1	380	0,50
22.d	18,00	Nível do PZR MAIOR QUE 4% (24%)	Verificar nível no indicador			3 1	380	0,50
23	18,00	Pare ambas as bombas de Injeção de Segurança, deixando-as em AUTO	Coloque a manopla do disjuntor da Bomba A na posição TRIP (*)	4	BIS 1	2 1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa	4	BIS 1	1 0,5	248	0,25
			Coloque a manopla do disjuntor da Bomba B na posição Desligada (*)	4	BIS 2	2 1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa	4	BIS 2	1 0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
24	**18,10**	**Estabeleça Fluxo de Carregamento**						
24.a	**18,10**	Bombas de carregamento - Pelo menos uma operando	Verificar o disjuntor fechado (lâmpada vermelha acesa)			1 2	248 (3)	0,25
			Verificar a pressão de descarga			1 2	248 (3)	0,25
			Verificar vazão de descarga			1 2	248 (3)	0,25
24.b	18,30	Controle o fluxo de carregamento de maneira a manter o nível do PZR	Passar a estação controladora para manual (*)			2 1	310	0,25
			Verificar se o indicador está constante			2 1	310	0,25
			Regular a vazão conforme necessário (*)			4 1	450	0,25
25	**18,45**	**Confirme que o fluxo de IS não é requerido**						

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
25.a	18,45	Sub - resfriamento do SRR baseado nos termopares de saída do núcleo – MAIOR QUE 20 C – tela GMSSRR	Monitoração da tela do SICA	22	SICA	0 1	7000	2,00
25.b	18,45	Nivel do PZR maior que 4%	Verificar nível no indicador	9	LI426A	3 1	380	0,25
26	19,20	Verifique Se o Spray da Contenção de ser interrompido						
26.a	19,20	Bombas de Spray operando	Verificar o disjuntor fechado (lâmpada vermelha acesa)	1	HS5512 / 13	1 1	248	0,25
			Verificar a pressão de descarga	1	HS5530 / 31	1 1	248	0,25
26.b	19,20	Pressão na Contenção Menor que 1,44Kg/cm2	Verificar pressão no indicador	4	PI-947/8/9/50	3 1	380	0,25
26.c	19,20	Nível no tanque de NAOH – DECRÉSCIMO MAIOR QUE 31%	Verificar nível no indicador	1	LI5502	3 1	380	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)		τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
26.d	19,20	Rearme o sinal de Spray da Contenção	Acionar a manopla do trem A (*)	4		2	1	310	0,25
			Acionar a manopla do trem B (*)	4		2	0,5	310	0,25
26.e	19,20	Feche as válvulas do tanque de NAOH, HV-5510B e HV-5511B	Coloque a manopla da válvula HV-5510B na posição FECHAR (*)	4		2	1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa	1		1	0,5	248	0,25
			Coloque a manopla da válvula HV-5511B na posição FECHAR (*)			2	1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa			1	0,5	248	0,25
26.f	19,20	Pare ambas as Bombas de Spray da Contenção, deixando-as em AUTO	Coloque a manopla da bomba A na posição Desligada (*)			2	1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa			1	0,5	248	0,25
			Coloque a manopla da bomba B na posição Desligada (*)			2	1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa			1	0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
26.g	19,20	Feche manualmente as válvulas de descarga das bombas de Spray (HV-5510 A e HV-5511 A)	Coloque a manopla da válvula HV-5510 A na posição FECHAR (*)			2 1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa			1 0,5	248	0,25
			Coloque a manopla da válvula HV-5511 A na posição FECHAR (*)			2 1	310	0,25
			Verifique a lâmpada verde acesa			1 0,5	248	0,25
27	**20,10**	**Verifique o Sistema de Reposição do Reator**						
27.a	20,10	Ajuste a concentração de boro para Desligado Frio	Calcule a concentração requerida					
			Ajuste o dial da estação controladora para esse valor (*)	6	HC11O	3 1	380	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)		τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
27.b	20,10	Verifique o sistema em AUTO	Verificar a chave seletora na posição AUTO	6	43/UM	1	0,5	248	0,25
27.c	20,10	Nível do TCV entre 36% e 53%	Verifique o indicador de nível entre 36% e 53%	6	LI141	3	1	380	0,25
28	**20,30**	**Verifique se a Linha de Saída Pode Ser Colocada em Serviço**							
28.a	20,30	Nível do PZR – Maior que 29% (39%)	Verifique a indicação de nível			3	1	380	0,50
28.b	20,30	Coloque a linha de saída em serviço conforme PO-S 14	Siga o PO-S 14						
29	**22,20**	**Verifique a sucção das bombas de Carregamento – ALINHADA PARA O TCV**	Verifique a válvula HCV-112B com a lâmpada vermelha acesa	6	LCV112B	1	1	248	0,25
			Verifique a válvula HCV-112C com a lâmpada verde acesa	6	LVC112C	1	1	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle		Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
30	**23,00**	**Controle a Pressão do SRR E o fluxo de Carregamento, para minimizar o Vazamento do SRR para o GV rompido**							
30.a	23,00	Execute as ações apropriadas de acordo com a tabela abaixo							
		Nível do PZR MENOR QUE 29% (39%)	Aumentando	Aumente o fluxo de carregamento			4 1	450	2,00
				Despressurize o SRR usando o item 30b			2 1	310	0,25
			Diminuindo	Aumente o fluxo de carregamento			4 1	450	2,00
			Alto (fora de escala)	Aumente o fluxo de carregamento					
				Mantenha a igualdade de pressões entre o SRR e o GV rompido					

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle		Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
		Nível do PZR entre 29% (39%) E 50%	Aumentando	Despressurize o SRR usando o item 30b					
			Diminuindo	Ligue os aquecedores do PZR					
			Alto (fora de escala)	Mantenha a igualdade das pressões entre o SRR e GV rompido					
		Nível do PZR entre 50% E 76% (56%)	Aumentando	Despressurize o SRR usando o item 30b					
				Diminua o fluxo de Carregamento					
			Diminuindo	Ligue os aquecedores do PZR					
			Alto (fora de escala)	Mantenha a igualdade de pressões entre o SRR e o GV rompido					

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle		Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
		Nível do PZR maior que 76% (56%)	Aumentando	Diminua o fluxo de carregamento					
			Diminuindo	Ligue os aquecedores do PZR					
			Alto(fora de escala)	Mantenha a igualdade de pressões entre o SRR e o GV rompido					
31	**26,40**	**Verifique se os Geradores Diesel podem ser parados**							
31.a	26,40	Confirme as barras 1A3 e 1A4 – ENERGIZADAS POR POTÊNCIA EXTERNA	Verifique o disjuntor 1A2-3 fechado (lâmpada vermelha acesa)		15	HS6827	1 1	248	0,25
			Verifique o disjuntor 1A2-4 fechado (lâmpada vermelha acesa)		15	HS6828	1 1	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
31.b	26,40	Pare os GD's, em vazio, um de cada vez, colocando-os em AUTO	Pressionar, simultaneamente, os botões LIBERA e PROGRAMA DE PARADA para o GD 3 (*)	20	Bot LIB + Bot Prog Par	1 1 1 1	248 248	0,25 0,25
			Pressionar, simultaneamente, os botões LIBERA e PROGRAMA DE PARADA para o GD 4 (*)	21	Bot LIB + Bot Prog Par	2 1 1 1	248 248	0,25 0,25
32	**27,00**	**Minimize a contaminação do Secundário**						
32.a	27,00	Confirme a válvula FW-178 e sua vv de Desvio – FECHADAS	Verifique a manopla da VV FW-178 na posição fechar			1 1	248	0,25
			Verifique a lâmpada vermelha acesa			1 0,5	248	0,25
			Verifique a mánopla da VV de Desvio na posição fechar			1 1	248	0,25
			Verifique a lâmpada vermelha acesa			1 0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
32.b	27,00	Confirme isolada OU isole a válvula LV-1428	Verifique a manopla da VV LV-1428 na posição fechada			1 1	248	0,25
			Verifique a lâmpada vermelha acesa			1 0,5	248	0,25
32.c	27,00	Estabeleça a selagem da turbina pela caldeira auxiliar	Coloque em serviço a selagem pela caldeira auxiliar (*)					
32.d	27,00	Isole os pontos de amostragem do secundário, fechando as válvulas SSMR-150 e SSMR-151	Coloque a manopla da válvula SSMR-150 na posição FECHAR (*)			2 1	310	0,25
			Verifique A Lâmpada Verde da válvula SSMR-150 aces			1 0,5	248	0,25
			Coloque a manopla da válvula SSMR-151 na posição FECHAR(*)			2 1	310	0,25
			Verifique a Lâmpada Verde da Válvula SSMR-151 ACESA			1 0,5	248	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
33	27,20	Ligue os aquecedores do PZR de maneira a estabelecer condições de saturação à pressão do GV rompido	Coloque a manopla do disjuntor do grupo A de aquecedores em LIGAR (*)	8	Aq. PZR Grupo A	3 1	248	0,25
			Coloque a manopla do disjuntor do grupo B de aquecedores em LIGAR (*)	8	Aq. PZR Grupo B	3 1	248	0,25
			Coloque a manopla do disjuntor do grupo C na posição LIGAR (*)	8	Aq PZR Grupo C	3 1	248	0,25
34	**28,00**	**Verifique o Resfriamento das BRR's**						
34.a	28,00	Verifique fluxo do SRC para os motores das BRRs				3 1,5	380 (2)	0,5
34.b	28,00	Verifique o fluxo do SRC para as barreiras térmicas das BRR's – NORMAL				3 1,5	380 (2)	0,5

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
35	28,30	Verifique se o fluxo de retorno de selagem das BRR's deve ser restabelecido						
35.a	28,30	Verifique o alarme de fluxo baixo no trocador de calor e retorno de selagem		12	ALB 5 1E	3 1,5	380 (2)	0,5
35.b	28,30	Abra as válvulas 8100 e 8112	Coloque a manopla do disjuntor na posição ABRIR (*)	5	HS8100	2 2	310 (2)	025
			Verifique a luz vermelha acesa	5	HS8100	1 1	248 (2)	0,25
			Coloque a manopla do disjuntor na posição ABRIR (*)	5	HS8112	2 1	310	0,25
			Verifique a luz vermelha acesa	5	HS8112	1 0,5	248	0,25
36	**29,00**	**Verifique as condições das BRR's**						

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
36.a	29,00	Pelo menos uma BRR Operando	Verifique a manopla da BRR1/2 na posição vermelha			1 1	248	0,25
			Verifique a Lâmpada do disjuntor da BRR1/2 na posição Vermelha			1 0,5	248	0,25
36.b	29,00	Com ambas BRR's operando, PARE uma BRR	Coloque a manopla daBRR1/2 na posição FECHAR (*)			2 1	310	0,25
			Verifique a indicação da lâmpada verde da BRR1/2 ACESA			1 0,5	248	0,25
37	29,30	**Verifique se os detetores da Faixa da Fonte devem ser energizados**						
37.a	29,30	Reinsira os fusíveis de Instrument Power dos canais da FF	Coloque o fusível na gaveta do canal N31	23	Gaveta N31			
			Coloque o fusível na gaveta do canal N32	23	Gaveta N32			

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
37.b	29,30	Verifique a indicação dos canais da Faixa Intermediária – MENOR QUE 5 x 10E-11	Verifique a indicação do canal N35	7	NI35B	3 1	380	0,25
			Verifique a indicação do canal N36	7	NI36B	3 1	380	0,25
37.c	29,30	Confirme os detetores da Faixa da Fonte – ENERGIZADOS	Verifique a indicação do canal N31	7	NI31B			
			Verifique a indicação do canal N32	7	NI32B			
37.d	29,30	Selecione o NR45 para os canais da Faixa da Fonte	Coloque a chave seletora 1 em N31 (*)	8	1/N45	3 1	380	0,25
			Coloque a chave seletora 2 em N32 (*)	8	2/N45	3 1	380	0,25

Item	Tempo (min)	Descrição da ação	Ação (*) ação de controle	Setor do painel	Indicador	Tipo de decisão e fator de correção (s)	τ (ms)	Janela de tempo permitida (min)
37.e	29,30	Verifique o canal de áudio em serviço, selecionando para o canal de maior indicação		7	NI31B			
			Verificar a indicação do canal N32	7	NI32B			
			Selecionar o de maior indicação no canal de áudio	23	Audio Count Rate Channel	3 1	380	0,25
38	**30,00**	**Posicione os Equipamentos para a condição Atual da Usina**						
38.a	30,00	Desligue os equipamentos desnecessários conforme POG-04						
39	**30,00**	**Definir a estratégia a seguir**						

APÊNDICE 3

CÁLCULO DO TEMPO DE ACESSO POR PARÂMETRO AO LONGO DO EVENTO DE RTGV

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
0,00 - 1,00 minuto									
0,00 - 0,25	6	992	3,0	3,99	100	3,99	6	2,40	2
TR = 0,89 min TA/P = 8,9 s	T = 3,99+2,40 = 6,39 seg TA/P = [6,39-60] / 6 = 8,9 seg						TR = 6,39 seg ~0,11' TR = 1' – 0,11' = 0,89 min		
1,00 - 2,00 minutos									
1,17 - 1,67	2	690	2,0	2,69	100	2,69	2	0	0
TR = 0,96 TA/TP= 28,66	T = 2,69+0 = 2,69 seg TA/P = [2,69-60] / 2 =28,66 seg						TR = 2,69 seg ~0,044' TR = 1' – 0,044' = 0,96 min		
2,00 - 3,00 minutos									
2,33 - 2,88	11	1488	4,5	5,99	100	5,99	11	6	5
TR= 0,80min TA/P=4,36 seg	TR = 5,99+6,0 = 11,99 seg TA/P = [11,,99-60] / 11 = 4,36 seg						TR = 11,99 seg ~0,20' TR = 1' – 0,20' = 0,80 min		
3,00 - 4,00 minutos									
3,50 - 3,75	2	248	1,5	1,75	100	1,75	2	1,2	1
3,50 - 4,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
TR = 0,93 TA/P = 18,6	T = 3,13+1,20 = 4,33seg TA/P = [4,33-60] / 3 = 18,6 seg					T = -4,33/60= ~0,07' TR = 1' – 0,07' = 0,93min			
4,00 - 5,00 minutos									
4,00 - 4,25	4	992	4	4,99	100	4,99	4	0	0
4,50 - 5,00	3	2156	4,5	6,66	100	6,66	3	0	0
4,83 - 5,33	4	760	4	4,76	34	1,62	1	0,82	2
TR = 0,77 TA/P = 5,74	TR =13,27+0,82 = 14,09 seg TA/P = [14,09-60] / 8 = 5,74 seg					TR = 14,09 seg ~0,23' TR = 1' – 0,23' = 0,77 min			
5,00 - 6,00 minutos									
4,83 5,33	4	760	4	4,76	66	3,14	3	1,58	2
5,33 - 5,58	4	0	4	4	100	4	4	4,80	4
5,50 - 5,75	2	0	2	2	100	2	2	2,40	2
5,67 - 5,92	2	248	0,5	0,75	100	0,75	2	1,20	1
5,75 - 6,00	4	1520	3	4,52	100	4,52	4	0	0
TR=0,59min TA/P = ,37seg	T = 14,41+9,98 = 24,39 seg~0,41' TA/P = [24,39-60] / 15 = 2,37 seg					% tempo = (.33x100)/0.5=66% TR = 1' – 0,41' = 0,59m			
6,00 - 7,00 minutos									
6,00 - 6,25	4	496	3	3,50	100	3,50	4	2,40	2

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
6,00 - 6,50	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
6,50 - 7,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
6,75 - 7,00	14	2000	11	13,00	100	13,00	14	7,2	6
6,75 - 7,25	4	760	4	4,76	50	2,38	2	0,60	1
6,75 - 8,75	2	380	2	2,38	12,50	0,30	0	0,15	1
TR=0,48min TA/P =1,30seg	T = 22,30+9,15 = 31,45 seg TA/P = [30,95-60] / 22 = 1,30seg					T = 31,45seg ~0,52' TR = 1min–0,52min = 0,48 min			
7,00 - 8,00 minutos									
6,75 - 7,25	3	760	3	3,76	50	1,88	1	0,60	1
6,75 - 8,75	2	380	2	2,38	50	1,19	1	0,60	1
TR=0,93min TA/P=27,86seg	T = 3,07+1,20 = 4,27 seg TA/P = [4,27-60] / 2 = 27,86seg					T = 4,27seg~0,071' TR = 1' – 0,071'= 0,93min			
8,00 - 9,00 minutos									
8,75 - 9,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
6,75 - 8,75	2	380	2	2,38	37,5	0,89	1	0,45	1
TR=0,95min TA/P=28,64seg	T =2,27+0,45=2,72seg TA/P = [2,72-60] / 2 = 28,64 seg					TR = 2,72seg~0,045' TR = 1' – 0,045 = 0,95 min			

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
9,00 - 10,00 minutos									
9,33 - 9,58	3	248	3	3,25	100	3,25	3	2,40	2
9,33 - 11,33	3	1350	3	4,35	33	1,45	1	0	0
TR = 0,88 TA/P = 13,23	Cálculo conforme os anteriores.								
10,00 – 17,00 minutos	Nestes intervalos as atividades cognitivas são mínimas, não havendo necessidade de análise.								
17,00 18,00 minutos									
17,75 - 18,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
18,00 - 18,25	5	876	2	2,88	100	2,88	1	2,40	2
18,00 - 18,50	3	1140	3	4,14	100	4,14	3	0	0
18,17 - 18,42	3	744	6	6,74	100	7,44	3	0	0
18,50 - 18,75	3	310	3	3,31	100	3,31	3	2,40	2
18,75 - 19,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
TR = 0,60 TA/P = 3,28	Cálculo conforme os anteriores.								
19,00 20,00 minutos									
19,33 19,58	18	5240	15,5	20,74	100	20,74	18	9,6	8

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
TR = 0,49min TA/P = 1,65	Cálculo conforme os anteriores.								
20,00 - 21,00 minutos									
20,17 - 20,42	3	628	2,5	3,13	100	2,5	3	1,20	1
20,50 - 21,00	1	380	1	1,38	100	1,38	1	0	0
TR = 0,92 TA/P = 13,73	Cálculo conforme os anteriores.								
22,00 - 23,00 minutos									
22,33 - 22,58	2	496	2	2,50	100	2,50	2	0	0
TR=0,96min TA/P=29seg	Cálculo conforme os anteriores.								
23,00 - 24,00 minutos	Atividades cognitivas mínimas não há necessidade de cálculo								
26,00 - 27,00 26,65 - 26,90	4	496	6	6,50	100	6,50	4	3,60	2
TR = 0,83 TA/P = 12,48	Cálculo conforme os anteriores.								
27,00 - 28,00 minutos									
27,00 - 27,25	10	1984	7,5	9,49	100	9,49	10	2,40	2
27,33 - 27,58	3	0	3	3	100	3	3	3,60	3
TR = 0,69 TA/P = 3,19	Cálculo conforme os anteriores.								

Avaliação do Intervalo (min)	Número de Parâmetros	Tempos de processa-mento (mseg)	Tempo correção (seg)	Tempo total (seg)	Uso percentual do tempo %	Fração do tempo (seg)	Número de Parâmetros No intervalo	Fração do tempo Para controle (seg)	Número de parâmetros de controle
28,00 - 29,00 minutos									
28,00 - 28,30	2	1520	3	4,52	100	4,52	2	0	0
28,50 - 28,75	5	1240	6	7,24	100	7,24	5	2,40	2
TR = 0,46 TA/P = 6,55	Cálculo conforme os anteriores.								
29,00 - 30,00 minutos									
29,00 - 29,25	4	744	3	3,74	100	3,74	4	1,20	1
29,50 29,75	9	2256	9	11,26	100	11,26	9	2,40	2
TR = 0,69 TA/P = 3,18	Cálculo conforme os anteriores.								

APÊNDICE 4

4.1 Posição dos Instrumentos no Painel [44]

INSTRUMENTO	SETOR DO PAINEL	COMPONENTE	X (cm)	Y (cm)
Bomba de carregamento 1	D1 Horizontal	Manopla	22	32
		Lâmpada verde	20	40
		Lâmpada vermelha	24	40
		Identificação	22	37
Bomba de carregamento 2	D1 Horizontal	Manopla	10	32
		Lâmpada verde	8	40
		Lâmpada vermelha	12	40
		Identificação	10	37
Válvula 112B	D1 Horizontal	Botoeira	10	2
		Lâmpada verde	8	8
		Lâmpada vermelha	12	8
		Identificação	10	6

4.1 Posição dos Instrumentos no Painel (Cont.)

INSTRUMENTO	SETOR DO PAINEL	COMPONENTE	X (cm)	Y (cm)
Válvula 112C	D1 Horizontal	Botoeira	10	–38
		Lâmpada verde	8	–32
		Lâmpada vermelha	12	–32
		Identificação	10	–34
Válvula 8135	D1 Horizontal	Botoeira	60	30
		Lâmpada verde	58	36
		Lâmpada vermelha	62	36
		Identificação	60	34
Válvula FCV128	D1 Horizontal	Dial de ajuste	18	38
Bomba RHR 1	D2 Horizontal	Manopla	16	6
		Lâmpada verde	14	14
		Lâmpada vermelha	18	14
		Identificação	16	10

4.1 Posição dos Instrumentos no Painel (Cont.)

INSTRUMENTO	SETOR DO PAINEL	COMPONENTE	X (cm)	Y (cm)
Bomba RHR 2	D2 Horizontal	Manopla	26	6
		Lâmpada verde	24	14
		Lâmpada Vermelha	28	14
		Identificação	26	10
Válvula HC 484	B1 Horizontal	Botoeira	–8	10
		Lâmpada verde	–10	16
		Lâmpada vermelha	–10	16
		Identificação	–8	14
Indicador de pressão PI150A	D1 Vertical	Escala	–18	13
		Identificação	–18	7
Indicador de vazão FI201	D1 Vertical	Escala	12	–7
		Identificação	12	–13

4.1 Posição dos Instrumentos no Painel (Cont.)

INSTRUMENTO	SETOR DO PAINEL	COMPONENTE	X (cm)	Y (cm)
Indicador de pressão PI 419	C1 Vertical	Escala	–12	31
		Identificação	–12	25
Indicador de pressão PI468	B2 Vertical	Escala	–68	13
		Identificação	–68	7
Chave do Desvio de Vapor 43DAS	B2 Horizontal	Manopla	–24	–14
		Identificação	–24	–8
Chave do Desvio de Vapor 43DAS	B2 Horizontal	Manopla	–24	–34
		Identificação	–24	–28

4.2 PROGRAMAÇÃO DO SÉTIMO INTERVALO DO PO-E-3 EM EPIC

```
(DEFINE-KEY-MOVEMENT ORIGEM -200 -200 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION PI419 -12 31)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION BRCR1 16 10)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT BRCR1M 16 6 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BRCR1L 14 14)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION BRCR2 26 10)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT BRCR2M 26 6 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BRCR2L 24 14)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION PGV -68 13)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION COLUNA1 0 0)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION COLUNA2 250 0)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION 43-SD -24 -28)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT 43-SD-B -24 -34 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION HC484 -8 14)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION SDLB -10 16)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION 43-DAS -24 -8)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION 43-SDB -24 -28)

(DEFINE-KEY-MOVEMENT 43-DASM -24 -14 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT 43-SDBM -24 -34 (LEFT INDEX) 2.5)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION SICA 250 0)

(DEFINE-KEY-MOVEMENT HC484M -8 10 (LEFT INDEX) 2.5)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION CHPL 8 40)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION P-CHP -18 13)
```

```
(DEFINE-VISUAL-LOCATION V-CHP 12 -7)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION LCV112C 10 -34)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION LCV112C-L 8 -32)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION LCV112B-L 8 8)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT LCV112C-B 10 2 (LEFT INDEX) 2.5)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION VV8135 60 34)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT VV8135M 60 30 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT FCV128M 18 38 (LEFT INDEX) 2.5)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION FCV-128 18 38)

(RTGV-INTERVALO-SÉTIMO
IF
(
(GOAL DO CHOICE TASK)
(NOT (GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO))
(NOT (WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO))
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(ADDDB(GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO))
(ADDDB(WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO))
(ADDDB(STEP LEITURA DE PRESSÃO))
)
)

(BOMBAS-RCR-PARADAS
IF
(
(STEP LEITURA DE PRESSÃO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE PI419)
```

```
(DELDB(STEP LEITURA DE PRESSÃO))
(ADDDB(WM PRESSÃO DO SRR É MAIOR QUE 15KG-CM2))
(ADDDB(STEP PRESSÃO DO SRR MAIOR QUE 15))
(let ((?PRESSAO 16)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(PRESSÃO-DO-SRR-MAIOR-15
IF
(
(STEP PRESSÃO DO SRR MAIOR QUE 15)
(WM PRESSÃO DO SRR É MAIOR QUE 15KG-CM2)
(GREATER ?PRESSAO 15)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(DELDB(STEP PRESSÃO DO SRR MAIOR QUE 15))
(DELDB(WM PRESSÃO DO SRR É MAIOR QUE 15KG-CM2))
(ADDDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA
POSIÇÃO DE TRIP A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLA-DO-DISJUNTOR-DA-BOMBA-RCRA-A
IF
(
(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA POSIÇÃO DE
TRIP A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BRCR1)
```

```
(DELDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA
POSIÇÃO DE TRIP A))
(ADDDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA
POSIÇÃO DE TRIP B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(MANOPLA-DO-DISJUNTOR-DA-BOMBA-RCRA-B
IF
(
(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA POSIÇÃO DE
TRIP B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK BRCR1M)
(DELDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA A NA
POSIÇÃO DE TRIP B))
(ADDDB(WM LÂMPADA BRCR1 VERDE ESTÁ ACESA))
(ADDDB(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR1 VERDE ACESA))
(ADDDB(COR BRCR1 VERDE))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(LÂMPADA-BRCR1-VERDE-ACESA
IF
(
(WM LÂMPADA BRCR1 VERDE ESTÁ ACESA)
(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR1 VERDE ACESA)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(COR BRCR1 VERDE)
)
```

```
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BRCR1L)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(DELDB(WM LÂMPADA BRCR1 VERDE ESTÁ ACESA))
(DELDB(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR1 VERDE ACESA))
(ADDDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA
POSIÇÃO DE TRIP A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLA-DO-DISJUNTOR-DA-BOMBA-RCRB-A
IF
(
(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA POSIÇÃO DE
TRIP A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BRCR2)
(DELDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA
POSIÇÃO DE TRIP A))
(ADDDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA
POSIÇÃO DE TRIP B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(MANOPLA-DO-DISJUNTOR-DA-BOMBA-RCRB-B
IF
(
(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA POSIÇÃO DE
TRIP B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
```

```
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK BRCR2M)
(DELDB(STEP COLOCAR A MANOPLA DO DISJUNTOR DA BOMBA B NA
POSIÇÃO DE TRIP B))
(ADDDB(WM LÂMPADA BRCR2 VERDE ESTÁ ACESA))
(ADDDB(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR2 VERDE ACESA))
(ADDDB(COR BRCR2 VERDE))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(LÂMPADA-BRCR2-VERDE-ACESA
IF
(
(WM LÂMPADA BRCR2 VERDE ESTÁ ACESA)
(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR2 VERDE ACESA)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(COR BRCR2 VERDE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BRCR2L)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(DELDB(WM LÂMPADA BRCR2 VERDE ESTÁ ACESA))
(DELDB(STEP VERIFICAR LÂMPADA BRCR2 VERDE ACESA))
(ADDDB(STEP VERIFIQUE SE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR QUE 24))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(PRESSÃO-DO-GV-MAIOR-QUE-24
IF
(
```

```
(STEP VERIFIQUE SE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR QUE 24)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE PI419)
(DELDB(STEP VERIFIQUE SE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR QUE 24))
(ADDDB(WM A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR DO QUE 24KG-CM2))
(ADDDB(STEP PRESSÃO DO GV MAIOR QUE 24))
(let ((?PRESSAOGV 25)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(VERIFIQUE-PRESSÃO-DO-GV-MAIOR-QUE-24
IF
(
(WM A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR DO QUE 24KG-CM2)
(STEP PRESSÃO DO GV MAIOR QUE 24)
(GREATER ?PRESSAOGV 24)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(DELDB(STEP PRESSÃO DO GV MAIOR QUE 24))
(DELDB(WM A PRESSÃO DO GV ROMPIDO É MAIOR DO QUE 24KG-CM2))
(ADDDB(STEP DETERMINE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(PRESSÃO-DO-GV-ROMPIDO
IF
(
(STEP DETERMINE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
```

```
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE PGV)
(DELDB(STEP DETERMINE A PRESSÃO DO GV ROMPIDO))
(ADDDB(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO
NÚCLEO A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(TEMPERATURA-REQUERIDA-A
IF
(
(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO NÚCLEO A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE COLUNA1)
(DELDB(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO
NÚCLEO A))
(ADDDB(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO
NÚCLEO B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(TEMPERATURA-REQUERIDA-B
IF
(
(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO NÚCLEO B)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(

(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE COLUNA2)
```

```
(DELDB(STEP DETERMINE A TEMPERATURA REQUERIDA NA SAÍDA DO
NÚCLEO B))
(ADDDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLA-NO-MODO-DE-PRESSÃO-A-A
IF
(
(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE 43-SD)
(DELDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A A))
(ADDDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(MANOPLA-NO-MODO-DE-PRESSÃO-A-B
IF
(
(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A B)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK 43-SD-B)
(DELDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO A B))
(ADDDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
```

```
(MANOPLA-NO-MODO-DE-PRESSÃO-B-A
IF
(
(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE HC484)
(DELDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B A))
(ADDDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLA-NO-MODO-DE-PRESSÃO-B-B
IF
(
(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK HC484M)
(DELDB(STEP PASSAR A MANOPLA PARA O MODO DE PRESSÃO B B))
(ADDDB(WM AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS ESTÃO INDICANDO ABERTAS))
(ADDDB(STEP VERIFICAR AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS))
(ADDDB(STATUS SDLB ABERTA))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(STATUSLIGHT
```

```
IF
(
(WM AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS ESTÃO INDICANDO ABERTAS)
(STEP VERIFICAR AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(STATUS SDLB ABERTA)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE SDLB)
(DELDB(WM AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS ESTÃO INDICANDO ABERTAS))
(DELDB(STEP VERIFICAR AS STATUSLIGHT DAS VÁLVULAS))
(ADDDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLAS-EM-BYPASS-A-A
IF
(
(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE 43-DAS)
(DELDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A A))
(ADDDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLAS-EM-BYPASS-A-B
IF
```

```
(
(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK 43-DASM)
(DELDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS A B))
(ADDDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLAS-EM-BYPASS-B-A
IF
(
(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE 43-SDB)
(DELDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B A))
(ADDDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(MANOPLAS-EM-BYPASS-B-B
IF
(
(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
```

```
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK 43-SDBM)
(DELDB(STEP PASSAR AS MANOPLAS PARA BYPASS B B))
(ADDDB(STEP ACOMPANHAR A QUEDA DE TEMPERATURA DO NÚCLEO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(TEMPERATURA-REQUERIDA-DO-NÚCLEO-A
IF
(
(STEP ACOMPANHAR A QUEDA DE TEMPERATURA DO NÚCLEO)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE SICA)
(DELDB(STEP ACOMPANHAR A QUEDA DE TEMPERATURA DO NÚCLEO))
(ADDDB(STEP A TEMPERATURA DO NÚCLEO É MENOR DO QUE REQUERIDA))
(let ((?TEMP 300)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(TEMPERATURA-REQUERIDA-DO-NÚCLEO-B
IF
(
(STEP A TEMPERATURA DO NÚCLEO É MENOR DO QUE REQUERIDA)
(GREATER 305 TEMP)
)
THEN
(
```

```
(DELDB(STEP A TEMPERATURA DO NÚCLEO É MENOR DO QUE REQUERIDA))
(ADDDB(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA
A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)


(REDUÇÃO-DE-VAZÃO-DE-VAPOR-A
IF
(
(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA A)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK HC484M)
(DELDB(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA
A))
(ADDDB(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA
B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(REDUÇÃO-DE-VAZÃO-DE-VAPOR-B
IF
(
(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA B)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE HC484)
```

```
(DELDB(STEP REDUZA A VAZÃO DE VAPOR ATÉ ESTABILIZAR TEMPERATURA
B))
(ADDDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO A))
(ADDDB(WM A LÂMPADA VERMELHA ESTÁ ACESA))
(ADDDB(WM A PRESSÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO))
(ADDDB(WM A VAZÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO))
(ADDDB(COR CHP VERMELHA))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FLUXO-DE-CARREGAMENTO-A
IF
(
(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO A)
(WM A LÂMPADA VERMELHA ESTÁ ACESA)
(WM A PRESSÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO)
(WM A VAZÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(COR CHP VERMELHA)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE CHPL)
(DELDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO A))
(DELDB(WM A LÂMPADA VERMELHA ESTÁ ACESA))
(ADDDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO B))
(let ((?VAZAO 30)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(FLUXO-DE-CARREGAMENTO-B
IF
(
(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO B)
(WM A PRESSÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO)
(GREATER VAZAO 0)
```

```
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE P-CHP)
(DELDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO B))
(DELDB(WM A PRESSÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO))
(ADDDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO C))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(FLUXO-DE-CARREGAMENTO-C
IF
(
(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO C)
(WM A VAZÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE V-CHP)
(DELDB(STEP VERIFICAÇÃO DE CHP OPERANDO EM ANDAMENTO C))
(DELDB(WM A VAZÃO DA CHP É DIFERENTE DE ZERO))
(ADDDB(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(ABRIR-VÁLVULA-LCV112C-A
IF
(
(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
```

```
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE LCV112C)
(DELDB(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C A))
(ADDDB(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(ABRIR-VÁLVULA-LCV112C-B
IF
(
(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK LCV112C-B)
(DELDB(STEP ABRA A VÁLVULA LCV112C B))
(ADDDB(WM LÂMPADA VERDE DA LCV112V ESTÁ ACESA))
(ADDDB(WM LÂMPADA VERMELHA DA LCV112B ESTÁ ACESA))
(ADDDB(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS A))
(ADDDB(STATUS LCV112V ABERTA))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(POSICIONAMENTO-DAS-LCVS-A
IF
(
(WM LÂMPADA VERDE DA LCV112V ESTÁ ACESA)
(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(STATUS LCV112V ABERTA)
)
THEN
```

```
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE LCV112C-L)
(DELDB(WM LÂMPADA VERDE DA LCV112V ESTÁ ACESA))
(DELDB(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS A))
(ADDDB(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS B))
(ADDDB(STATUS LCV112B FECHADA))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(POSICIONAMENTO-DAS-LCVS-B
IF
(
(WM LÂMPADA VERMELHA DA LCV112B ESTÁ ACESA)
(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS B)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STATUS LCV112B FECHADA)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE LCV112B-L)
(DELDB(WM LÂMPADA VERMELHA DA LCV112B ESTÁ ACESA))
(DELDB(STEP CONFIRME POSICIONAMENTO DAS LCVS B))
(ADDDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FLUXO-MÁXIMO-DE-CARREGAMENTO-A-A
IF
(
(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
```

```
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE VV8135)
(DELDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A A))
(ADDDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A B))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FLUXO-MÁXIMO-DE-CARREGAMENTO-A-B
IF
(
(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK VV8135M)
(DELDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO A B))
(ADDDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B A))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FLUXO-MÁXIMO-DE-CARREGAMENTO-B-A
IF
(
(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B A)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE FCV-128)
(DELDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B A))
(ADDDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B B))
```

```
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FLUXO-MÁXIMO-DE-CARREGAMENTO-B-B
IF
(
(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B B)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK FCV128M)
(DELDB(STEP FLUXO MÁXIMO DE CARREGAMENTO EM ANDAMENTO B B))
(ADDDB(STEP FCV-128))
(let ((?FCV128 676)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(FCV-128
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(STEP FCV-128)
(EQUAL ?FCV128 676)
)
THEN
(
(DELDB (STEP FCV-128))
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK ORIGEM)
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE FCV-128)
(ADDDB(STEP PARADA))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
```

```
)
)

(PARADA
IF
(
(STEP PARADA)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(DELDB (STEP PARADA))
(ADDDB (STEP PARE))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)

(PARE
IF
(
(STEP PARE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(DELDB(GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO))
(DELDB(WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO))
(DELDB (STEP PARE))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
(STOP-EPIC)
)
)
```

4.3 SAÍDA DO EPIC COM OS ÚLTIMOS CICLOS E O TEMPO TOTAL OBTIDO

```
Cycle 644
GOAL
  (GOAL DO CHOICE TASK)
  (GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO)
STEP
  (STEP PARADA)
WM
  (WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO)
MOTOR
  (MOTOR VOCAL MODALITY FREE)
  (MOTOR VOCAL PROCESSOR FREE)
  (MOTOR VOCAL EXECUTION FREE)
  (MOTOR OCULAR PREPARATION FREE)
  (MOTOR OCULAR PROCESSOR FREE)
  (MOTOR MANUAL PREPARATION FREE)
  (MOTOR MANUAL PROCESSOR FREE)
  (MOTOR MANUAL EXECUTION FREE)
  (MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
  (MOTOR OCULAR EXECUTION FREE)
  (MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
Fired:
  *--PARADA
Rule Fired: *--PARADA
Rule Actions:
DELETE (STEP PARADA)
ADD (STEP PARE)
32200

Cycle 645
GOAL
  (GOAL DO CHOICE TASK)
  (GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO)
STEP
  (STEP PARE)
WM
  (WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO)
MOTOR
  (MOTOR VOCAL MODALITY FREE)
  (MOTOR VOCAL PROCESSOR FREE)
  (MOTOR VOCAL EXECUTION FREE)
  (MOTOR OCULAR PREPARATION FREE)
  (MOTOR OCULAR PROCESSOR FREE)
  (MOTOR MANUAL PREPARATION FREE)
  (MOTOR MANUAL PROCESSOR FREE)
  (MOTOR MANUAL EXECUTION FREE)
  (MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
  (MOTOR OCULAR EXECUTION FREE)
  (MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
```

```
Fired:
  *--PARE
Rule Fired:  *--PARE
Rule Actions:
DELETE (GOAL RTGV INTERVALO SÉTIMO)
DELETE (WM RTGV INTERVALO SÉTIMO EM EXECUÇÃO)
DELETE (STEP PARE)
32250
;; Load Successful
;; 10 forms read from #P"c:\\allegro\\mini.script"
;; Result of last form read was NIL
T
>
```

APÊNDICE 5

TAREFAS DO EXPERIMENTO NO SIMULADOR

1 Falha do controle de temperatura do Hidrogênio do Gerador Elétrico

Condições iniciais: Usina 100% de potência
Temperatura do H2 normal, igual a 30 C, estável

Ações do Operador:

1. Alarme: Alta temperatura no H2 do Gerador
2. Verificar que a temperatura está maior que 30 C
3. Verificar se o valor do desvio da estação controladora MKY está negativo
4. Pressionar o botão RELEASE e mantê-lo pressionado
5. Pressionar o botão MANUAL na estação controladora MKY

Tempo gasto na execução da tarefa: 2,24 e 3,00 segundos

Instrumento	X (cm)	Y (cm)
Alarme	24	84
Botão RELEASE	-31,2	-33,6
Estação Controladora	16,8	-2,4
Indicador de temperatura do H2	12	4,8

Tabela A.4.1: Localização dos instrumentos no painel

2 Mau funcionamento do sistema de compensação de fugas do primário

Condições iniciais: Usina 100% de potência
Nível do TCV normal

Ações do operador:

1. Alarme: Luz de estado de atuação do sistema de compensação de fugas acesa (os equipamentos atuados automaticamente por este sistema estão em MANUAL)
2. Verificar qual das redundâncias 21 ou 22 das bombas de ácido bórico está selecionada para controle (a redundância 21 estará selecionada)
3. Pressionar o botão RELEASE e mantê-lo pressionado durante as ações seguintes
4. Pressionar o botão AUTO na estação controladora KBC 21
5. Pressionar o botão AUTO na estação controladora da válvula KBC 21
6. Verificar qual das redundâncias 31 ou 32 das bombas de água desmineralizada está selecionada para controle (a redundância 31 estará selecionada)
7. Pressionar o botão AUTO na estação controladora KBA 31
8. Pressionar o botão AUTO na estação controladora da válvula KBA 31

Tempo gasto na execução da tarefa: 6,05 e 5,27 segundos

Instrumento	X (cm)	Y (cm)	Instrumento	X (cm)	Y (cm)
Alarme	12	12	Estação KBC31	16,8	24
Botão RELEASE	-31,2	-33,6	Válvula KBC31	16,8	14,4
Estação KBC21	-7,2	24	Seletora KBC 21/22	-2,4	19,2
Válvula KBC21	-7,2	14,4	Seletora KBC 31/32	21,6	19,2

Tabela A.4.2: Localização dos instrumentos no painel

3 Mau funcionamento do controle de nível do Pressurizador

Condições iniciais: Usina a 100% estável
Estação controladora KBA 11 em operação
Bomba KBA 10 em operação

Ações do operador:

1. Alarme: Distúrbio no controle de nível no KBA 11/12
2. Verificar se a bomba KBA 10 está em operação
3. Verificar que a bomba KBA 20 não partiu
4. Verificar que a Bomba KBA 30 não partiu
5. Verificar se há alarme de distúrbio no circuito de controle (luz piscando) na estação KBA 11
6. Caso positivo, pressionar o botão RELEASE e mantê-lo pressionado durante as ações seguintes
7. Pressionar o botão RECONHECE, na estação KBA 11
8. Pressionar o botão AUTO da estação KBA 12.

Tempo gasto da execução da tarefa: 5,96 e 6,10 segundos

Instrumento	X (cm)	Y (cm)	Instrumento	X (cm)	Y (cm)
Alarme	24	84	Estação KBA 12	-12	-21,6
Botão RELEASE	-31,2	-33,6	Bomba KBA 20	16,4	-21,6
Estação KBA11	-26,4	-28,8	Bomba KBA 30	26,4	-21,6
Bomba KBA10	7	-21,6			

Tabela A.4.3: Localização dos instrumentos no painel

APÊNDICE 6

CÁLCULO DO TEMPO DO EXPERIMENTO UTILIZANDO-SE O MHP

Experimento 1

Utilizamos a distância de 20 cm para o botão RELEASE (mão esquerda), diâmetro igual a 2 cm; e a distância de 40 cm para a estação controladora MKY (mão direita) diâmetro igual a 0,5 cm.

A coluna Tempo apresenta o valor para o "homem médio" e o intervalo para "homem rápido" e "homem lento".

Passo	Ação de Controle	Tipo de Decisão	Fator de Correção (s)	Tempo Total (s)
Confirmar o alarme de alta temperatura do H2	Verificar se a temperatura está maior que 30C	1	1	1,240 (1,105~1,470)
Verificar válvula operando corretamente	Verificar desvio da estação controladora	1	0,5	0,740 (0,605~0,970)
Passar a estação controladora para manual	Pressionar o botão RELEASE		0,5	0,840 (0,590~0,915)
	Pressionar o botão MANUAL na estação		0,5	1,130 (0,670~1,270)
TEMPO TOTAL				**3,950 (2,970~4,630)**

Experimento 2

Utilizamos as seguintes distâncias:

1. 20 cm para o botão RELEASE (mão esquerda)
2. 60 cm para o botão AUTO da estação KBC 21
3. 10 cm do botão AUTO da estação KBC 21 para o da válvula KBC 21
4. 25 cm do botão AUTO da válvula KBC 21 para o da estação KBC 31
5. 10 cm do botão AUTO da estação KBC 31 para o da válvula KBC 31

Diâmetro dos botões das estações e válvulas: 0,5 cm
Diâmetro do botão RELEASE: 2,0 cm

Passo	Ação de Controle	Tipo de Decisão	Fator de Correção (s)	Tempo Total (s)
Verificara redundância selecionada de ácido	Verificar qual das duas lâmpadas está acesa	1	1	1,240 (1,105~1,470)
Passar a estação controladora de ácido bórico para automático	Pressionar o botão RELEASE		0,5	0,840 (0,590~0,915)
	Pressionar o botão AUTO na estação		0,5	1,180 (0,180~0,830)
	Pressionar o botão AUTO na estação		0,5	0,930 (0,620~1,030)
Verificara redundância selecionada de água	Verificar qual das duas lâmpadas está acesa	1	0,5	0,740 (0,605~0,970)
Passar a estação controladora de água desmineralizada para manual	Pressionar o botão AUTO na estação		0,5	1,060 (0,650~1,180)
	Pressionar o botão AUTO na estação		0,5	0,930 (0,620~1,130)
TEMPO TOTAL				**6,920 (4,870~7,925)**

Experimento 3

Utilizamos as seguintes distâncias:

1. 20 cm para o botão RELEASE (mão esquerda)
2. 20 cm para o botão RECONHECE da estação KBA 11
3. 20 cm do botão RECONHECE da estação KBA 11 para o botão AUTO da estação KBA 11

Diâmetro dos botões das estações e válvulas: 0,5 cm
Diâmetro do botão RELEASE: 2,0 cm

Passo	Ação de Controle	Tipo de Decisão	Fator de Correção (s)	Tempo Total (s)
Verificar que o alinhamento das Bombas de Carregamento está normal	Verificar que a lâmpada verde da KBA10 está acesa	1	1	1,240 (1,105~1,470)
	Verificar que a lâmpada âmbar da KBA20 está acesa	1	0,5	0,740 (0,605~0,970)
	Verificar que a lâmpada âmbar da KBA30 está acesa	1	0,5	0,740 (0,605~0,970)
Verificar se há alarme de distúrbio na KBA11	Verificar que a lâmpada está piscando	1	0,5	0,740 (0,605~0,970)
Trocar a estação controladora de nível do PZR para a KBA12	Pressionar o botão RELEASE		0,5	0,840 (0,590~0,915)
	Pressionar o botão RECONHECE na KBA11		0,5	0,840 (0,590~0,915)
	Pressionar o botão AUTO na estação KBA12		0,5	0,840 (0,590~0,915)
TEMPO TOTAL				**5,970 (4,690~7,125)**

APÊNDICE 7

PROGRAMAÇÃO DOS EXPERIMENTOS NO SIMULADOR

```
(DEFINE-VISUAL-LOCATION MKY 16.8  -2.4)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION TH2 12 4.8)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BMKY 14.8  -2.4)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT BMKY 14.8 -2.4 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT RELEASE -31.2 -33.6 (LEFT INDEX) 2.0)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION ALARMEKBC 12 12)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION KBC21 -7.2 24)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION VKBC21 -7.2 14.4)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION KBC31 16.8 24)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION VKBC31 16.8 14.4)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION SKBC21/22 -2.4 19.2)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION SKBC31/32 21.6 19.2)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT KBC21 -7.2 24 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT VKBC21 -7.2 14.4 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT KBC31 16.8 24 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT VKBC31 16.8 14.4 (RIGHT INDEX) 0.5)

(DEFINE-VISUAL-LOCATION KBA11 -26.4 -28.8)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION KBA12 -12 -21.6)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BKBA10 7 -21.6)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BKBA20 16.4 -21.6)
(DEFINE-VISUAL-LOCATION BKBA30 26.4 -21.6)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT RECONHECEKBA11 -26.4 -28.8 (RIGHT INDEX) 0.5)
(DEFINE-KEY-MOVEMENT AUTOKBA12 -12 -21.6 (RIGHT INDEX) 0.5)


(SIMULADOR-EXPERIMENTO-UM
IF
(
(GOAL DO CHOICE TASK)
(NOT (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO UM))
(NOT (WM SIMULADOR EXPERIMENTO UM EM EXECUÇÃO))
)
THEN
(
(ADDDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO UM))
(ADDDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO UM EM EXECUÇÃO))
(ADDDB (STEP VERIFICAR TEMPERATURA H2))
)
)
(VERIFICAR-TEMPERATURA-H2
IF
(
(STEP VERIFICAR TEMPERATURA H2)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
```

```
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE TH2)
(DELDB (STEP VERIFICAR TEMPERATURA H2))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA MKY))
(let ((?TEMPERATURA 31)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-MKY
IF
(
(STEP OLHAR PARA MKY)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(GREATER ?TEMPERATURA 30)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE MKY)
(DELDB (STEP OLHAR PARA MKY))
(ADDDB (STEP VERIFICAR DESVIO DO CONTROLADOR))
(let ((?DESVIO 1)))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-DESVIO-DO-CONTROLADOR
IF
(
(STEP VERIFICAR DESVIO DO CONTROLADOR)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(GREATER ?DESVIO 0)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE RELEASE)
(DELDB (STEP VERIFICAR DESVIO DO CONTROLADOR))
(ADDDB (STEP LIBERAR PAINEL))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(LIBERAR-PAINEL
IF
(
(STEP LIBERAR PAINEL)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK RELEASE)
(DELDB (STEP LIBERAR PAINEL))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA CONTROLADOR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
```

```
(OLHAR-PARA-CONTROLADOR
IF
(
(STEP OLHAR PARA CONTROLADOR)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE MKY)
(DELDB (STEP OLHAR PARA CONTROLADOR))
(ADDDB (STEP PASSAR CONTROLADOR PARA MANUAL))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(PASSAR-CONTROLADOR-PARA-MANUAL
IF
(
(STEP PASSAR CONTROLADOR PARA MANUAL)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK BMKY)
(DELDB (STEP PASSAR CONTROLADOR PARA MANUAL))
(ADDDB (STEP ENCERRAR))
)
)
(ENCERRAR
IF
(
(STEP ENCERRAR)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(DELDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO UM))
(DELDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO UM EM EXECUÇÃO))
(DELDB (STEP ENCERRAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
(STOP-EPIC)
)
)


(SIMULADOR-EXPERIMENTO-DOIS
IF
(
(GOAL DO CHOICE TASK)
(NOT (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS))
(NOT (WM SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS EM EXECUÇÃO))
)
```

```
THEN
(
(ADDDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS))
(ADDDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS EM EXECUÇÃO))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA SKBC21/22))
)
)
(OLHAR-PARA-SKBC21/22
IF
(
(STEP OLHAR PARA SKBC21/22)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE SKBC21/22)
(DELDB (STEP OLHAR PARA SKBC21/22))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC21/22 ACESA))
(ADDDB (COR SKBC21/22 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-SKBC21/22-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC21/22 ACESA)
(COR SKBC21/22 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE RELEASE)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC21/22 ACESA))
(ADDDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC21))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(LIBERAR-BOTOEIRA-KBC21
IF
(
(STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC21)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK RELEASE)
(DELDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC21))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA KBC21))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-KBC21
IF
(
```

```
(STEP OLHAR PARA KBC21)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE KBC21)
(DELDB (STEP OLHAR PARA KBC21))
(ADDDB (STEP PASSAR KBC21 PARA AUTO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(PASSAR-KBC21-PARA-AUTO
IF
(
(STEP PASSAR KBC21 PARA AUTO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK KBC21)
(DELDB (STEP PASSAR KBC21 PARA AUTO))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA VKBC21))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-VKBC21
IF
(
(STEP OLHAR PARA VKBC21)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE VKBC21)
(DELDB (STEP OLHAR PARA VKBC21))
(ADDDB (STEP PASSAR VKBC21 PARA AUTO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(PASSAR-VKBC21-PARA-AUTO
IF
(
(STEP PASSAR VKBC21 PARA AUTO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK VKBC21)
(DELDB (STEP PASSAR VKBC21 PARA AUTO))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA SKBC31/32))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
```

```
)
)
(OLHAR-PARA-SKBC31/32
IF
(
(STEP OLHAR PARA SKBC31/32)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE SKBC31/32)
(DELDB (STEP OLHAR PARA SKBC31/32))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC31/32 ACESA))
(ADDDB (COR SKBC31/32 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-SKBC31/32-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC31/32 ACESA)
(COR SKBC31/32 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE RELEASE)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR SKBC31/32 ACESA))
(ADDDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC31))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(LIBERAR-BOTOEIRA-KBC31
IF
(
(STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC31)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK RELEASE)
(DELDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBC31))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA KBC31))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-KBC31
IF
(
(STEP OLHAR PARA KBC31)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
```

```
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE KBC31)
(DELDB (STEP OLHAR PARA KBC31))
(ADDDB (STEP PASSAR KBC31 PARA AUTO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(PASSAR-KBC31-PARA-AUTO
IF
(
(STEP PASSAR KBC31 PARA AUTO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK KBC31)
(DELDB (STEP PASSAR KBC31 PARA AUTO))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA VKBC31))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-VKBC31
IF
(
(STEP OLHAR PARA VKBC31)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE VKBC31)
(DELDB (STEP OLHAR PARA VKBC31))
(ADDDB (STEP PASSAR VKBC31 PARA AUTO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(PASSAR-VKBC31-PARA-AUTO
IF
(
(STEP PASSAR VKBC31 PARA AUTO)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK VKBC31)
(DELDB (STEP PASSAR VKBC31 PARA AUTO))
(ADDDB (STEP ENCERRAR))
)
)
(ENCERRAR
IF
(
```

```
(STEP ENCERRAR)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(DELDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS))
(DELDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO DOIS EM EXECUÇÃO))
(DELDB (STEP ENCERRAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
(STOP-EPIC)
)
)

(SIMULADOR-EXPERIMENTO-TRES
IF
(
(GOAL DO CHOICE TASK)
(NOT (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO TRES))
(NOT (WM SIMULADOR EXPERIMENTO TRES EM EXECUÇÃO))
)
THEN
(
(ADDDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO TRES))
(ADDDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO TRES EM EXECUÇÃO))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA BKBA10))
)
)
(OLHAR-PARA-BKBA10
IF
(
(STEP OLHAR PARA BKBA10)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BKBA10)
(DELDB (STEP OLHAR PARA BKBA10))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA))
(ADDDB (COR BKBA10 VERDE))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-VERDE-BKBA10-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA)
(COR BKBA10 VERDE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BKBA20)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA VERDE BKBA10 ACESA))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA20 ACESA))
```

```
(ADDDB (COR BKBA20 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-BKBA20-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA20 ACESA)
(COR BKBA20 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE BKBA30)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA20 ACESA))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA30 ACESA))
(ADDDB (COR BKBA30 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-BKBA30-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA30 ACESA)
(COR BKBA30 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE KBA11)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR BKBA30 ACESA))
(ADDDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR KBA11 ACESA))
(ADDDB (COR KBA11 AMBAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(VERIFICAR-LAMPADA-AMBAR-KBA11-ACESA
IF
(
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR KBA11 ACESA)
(COR KBA11 AMBAR)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE RELEASE)
(DELDB (STEP VERIFICAR LAMPADA AMBAR KBA11 ACESA))
(ADDDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBA11))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(LIBERAR-BOTOEIRA-KBA11
IF
(
(STEP LIBERAR BOTOEIRA KBA11)
```

```
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK RELEASE)
(DELDB (STEP LIBERAR BOTOEIRA KBA11))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA KBA11))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-KBA11
IF
(
(STEP OLHAR PARA KBA11)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE KBA11)
(DELDB (STEP OLHAR PARA KBA11))
(ADDDB (STEP RECONHECER DISTURBIO KBA11))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(RECONHECER-DISTURBIO-KBA11
IF
(
(STEP RECONHECER DISTURBIO KBA11)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK RECONHECEKBA11)
(DELDB (STEP RECONHECER DISTURBIO KBA11))
(ADDDB (STEP OLHAR PARA KBA12))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
)
(OLHAR-PARA-KBA12
IF
(
(STEP OLHAR PARA KBA12)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR OCULAR MOVE KBA12)
(DELDB (STEP OLHAR PARA KBA12))
(ADDDB (STEP PASSAR KBA12 PARA AUTO))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
)
```

```
)
(PASSAR-KBA12-PARA-AUTO
IF
(
(STEP PASSAR KBA12 PARA AUTO)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(SEND-TO-MOTOR MANUAL PERFORM PECK AUTOKBA12)
(DELDB (STEP PASSAR KBA12 PARA AUTO))
(ADDDB (STEP ENCERRAR))
)
)
(ENCERRAR
IF
(
(STEP ENCERRAR)
(MOTOR OCULAR MODALITY FREE)
(MOTOR MANUAL MODALITY FREE)
)
THEN
(
(DELDB (GOAL SIMULADOR EXPERIMENTO TRES))
(DELDB (WM SIMULADOR EXPERIMENTO TRES EM EXECUÇÃO))
(DELDB (STEP ENCERRAR))
(PRINT *MASTER-CLOCK)
(STOP-EPIC)
)
)
```