

A ERGONOMIA E A GESTÃO DE RISCO EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM
COM TECNOLOGIAS PERIGOSAS: TOMADA DE DECISÃO DE OPERADORES
DE USINAS NUCLEARES

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

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 DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada por:

Prof. Mário Cesar Rodriguez Vidal, Dr. Ing.

Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D. Sc.

Dr. Celso Marcelo Franklin Lapa, D.Sc.

Prof^o. Francisco de Paula Nunes Sobrinho, Ph.D.

Prof^a. Eliza Helena de Oliveira Echternacht, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

AGOSTO DE 2003

CARVALHO, PAULO VICTOR
RODRIGUES DE

A Ergonomia e a Gestão de Risco em
Organizações que Lidam com Tecnologias
Perigosas: Tomada de Decisão de Operadores
de Usinas Nucleares [Rio de Janeiro] 2003

IX, 249p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia Produção, 2003)

Tese – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Ergonomia
2. Gestão de Risco
3. Tomada de Decisão Naturalista

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À Lucinha, Luciana e Eduardo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que participaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

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

A ERGONOMIA E A GESTÃO DE RISCO EM ORGANIZAÇÕES QUE LIDAM
COM TECNOLOGIAS PERIGOSAS: TOMADA DE DECISÃO OPERADORES DE
USINAS NUCLEARES

Agosto / 2003

Orientador: Mario Cesar Rodriguez Vidal

Programa: Engenharia de Produção

Usinas nucleares são instalações onde situações de emergência podem gerar consequências devastadoras. A equipe de operação tem a responsabilidade de controlar o processo de produção de energia com segurança. A ampliação das consequências de um incidente qualquer é, portanto, dependente do julgamento, tomada de decisão e consciência de situação destes operadores. É necessário que se conheça a forma como estas decisões são tomadas de modo a conceber estratégias para a melhoria da segurança da organização. O objetivo desta tese é examinar os processos cognitivos que balizam a tomada de decisão dos operadores ao lidar com micro incidentes, e determinar se eles usam estratégias de tomada de decisão naturalistas ou normativas. Isto é, eles tentam reconhecer situações de micro incidentes como familiares e tomam decisões baseadas em regras de condição-ação ou reconhecimento de padrões (naturalista), ou se eles comparam diversas opções concorrentes antes de selecionar a melhor possível (normativa). A metodologia para obtenção de dados se baseou em aportes da Análise do Trabalho Cognitivo e da Ergonomia. As principais conclusões são de que os operadores de usinas nucleares usam, predominantemente, estratégias naturalistas de tomada de decisão, principalmente baseadas em regras condição-ação. Em situações não familiares, relacionadas a micro incidentes, novas regras são construídas *ad hoc* a partir da experiência do operador. Estas conclusões contrastam com o modelo de competência normativo no qual se baseia o setor nuclear para conceber o projeto do trabalho dos operadores.

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

ERGONOMICS AND RISK MANAGEMENT IN HIGH RISK ORGANIZATIONS:
NUCLEAR POWER PLANT OPERATOR DECISION MAKING

Paulo Victor Rodrigues de Carvalho

August / 2003

Advisor: Mario Cesar Rodriguez Vidal

Department: Production Engineering

Nuclear Power Plants are high hazard environments where emergency situations can have devastating effects. The operator crew has the ultimate responsibility to control the energy production process with safety. The outcome of a crisis is consequently dependent on the crew's judgement, decision making and situation awareness. In such way we should know how operators make their decisions in order to develop safety strategies. The aim of this thesis is to examine the cognitive processes through which operators make decisions when dealing with micro incidents during their actual work, and to determine whether they use a naturalistic or normative decision making strategy. That is, do they try to recognize the micro incident as familiar and base decisions on condition-action rules (naturalistic), or do they need to concurrently compare and contrast options before selecting the best possible (normative). The method employed for data collection was the Cognitive Task Analysis (ATC) and Ergonomic Work Analysis (EWA). The main findings of this thesis was that decision making is primarily based on naturalistic strategies, such as condition-action rules and recognition. In new situations rules are created *ad hoc*. These rules appear derived from experience and training rather than from Standard Operating Procedures and contrast normative competence standards used by nuclear industry.

ÍNDICE

Apresentação.....	01
Capítulo 1 – Gestão de Risco e Ergonomia.....	07
1.1 Sistema de gestão de risco e segurança organizacional.....	07
1.2 Evolução dos sistemas de gestão de risco na área nuclear.....	08
1.3 A ergonomia e as organizações que lidam com tecnologias perigosas.....	17
1.4 Resumo do capítulo.....	27
Capítulo 2 – A Operação de Usinas Nucleares.....	28
2.1 A constituição das equipes de operação.....	28
2.2 As tarefas de operação.....	30
2.3 Os modos de operação do reator.....	32
2.4 As organizações e o trabalho dos operadores.....	36
2.5 Resumo do capítulo.....	38
Capítulo 3 – Tomadas de Decisão Naturalistas	39
3.1 TDN – Uma abordagem alternativa	39
3.2 Características das pesquisas em TDN.....	43
3.3 Resultados de pesquisas em TDN.....	46
3.4 Modelos em TDN.....	48
3.4.1 A teoria dos Esquemas.....	48
3.4.2 Taxonomia do Controle Cognitivo.....	50
3.4.3 Tomadas de Decisão Situadas.....	53
3.4.4 Tomadas de decisão preparadas por reconhecimento.....	57
3.4.5 Tomada decisão por controle de risco cognitivo.....	62
3.4.6 Considerações sobre os modelos de TDN.....	65
3.5 As pesquisas em Tomadas de Decisão Naturalistas.....	67
3.6 Resumo do capítulo.....	70
Capítulo 4 – Análise do Trabalho em Sistemas Sócio-Técnicos Complexos.....	72

4.1	A análise de tarefas.....	72
4.2	A análise de tarefas cognitivas.....	74
4.3	A análise do trabalho: as abordagens situadas.....	77
4.4	Descrição da metodologia.....	84
4.4.1	A coleta de dados em usinas nucleares.....	81
4.4.2	A organização do trabalho dos analistas.....	85
4.5	Resumo do capítulo.....	87

Capítulo 5 – A Análise do Trabalho dos Operadores de Salas de Controle.....88

5.1	A usina e o contexto do setor núcleo-elétrico nacional.....	88
5.2	O ambiente físico de trabalho.....	90
5.2.1	Arranjo geral da usina.....	90
5.2.2	O sistema de instrumentação e controle – I/C.....	91
5.2.3	A Sala de Controle.....	94
5.2.4	O sistema de comunicação.....	102
5.2.5	Restrições ao trabalho dos operadores de área.....	104
5.3	Análise da atividade dos operadores de salas de controle.....	105
5.3.1	O turno de trabalho na Sala de Controle da usina.....	106
5.3.2	As passagens de turno.....	117
5.3.3	Micro incidentes na parada do reator.....	130
5.3.4	Micro incidentes na partida da usina.....	143
5.3.5	Micro incidentes durante treinamento em simulador.....	151
5.4	Resumo do capítulo.....	156

Capítulo 6 – Resultados e Discussão.....158

6.1	Decisões preparadas por reconhecimento (RPD).....	158
6.1.1	Resultados e Discussão.....	160
6.1.2	Conclusões sobre a modelagem RPD.....	165
6.2	Tomadas de decisão e a taxonomia SRK.....	166
6.2.2	Resultados e discussão.....	167
6.2.3	Árvores de decisão.....	177

6.3	Tipos de decisão na operação de usinas nucleares.....	182
6.3.1	Resultados e discussão.....	185
6.4	As hipóteses sobre as tomadas de decisão.....	197
6.5	Decisões e categorias de problemas.....	201
6.6	Consciência da situação.....	205
6.7	Resumo do capítulo.....	207
Capítulo 7 – Conclusões.....		208
7.1	As tomadas de decisão dos operadores de usinas nucleares.....	208
7.2	Ergonomia, gestão de risco e organização.....	210
7.2.1	O uso de procedimentos.....	211
7.2.2	A consciência da situação.....	214
7.2.3	<i>Hardware</i> ou ambiente físico.....	215
7.3	Considerações sobre os problemas da metodologia.....	215
7.4	Implicações para novas pesquisas.....	217
7.5	Finalmente.....	221
Referências Bibliográficas.....		223
ANEXO 1.....		236

APRESENTAÇÃO

Nesta apresentação coloco uma reflexão sobre os fatores que me levaram a mudar de área de atuação profissional e a desenvolver as pesquisas que culminaram nesta tese. Segue-se uma apresentação deste trabalho, com uma pequena contextualização do problema onde o mesmo se insere, seus objetivos, contribuições e estruturação.

*Man is not like a machine,
at least not like machines man make.*

Jordan, 1960.

Motivação: Esta tese que, em última análise, discute a relação existente entre o trabalho das pessoas e a segurança de organizações que lidam com tecnologias perigosas, advém da conjunção de minha longa experiência na área de instrumentação para reatores nucleares, cerca de 20 anos, com uma relativamente curta, mas avassaladora, experiência em ergonomia que se iniciou formalmente em 1998, com um estágio de cerca de 18 meses no *Halden Reactor Project*¹, quando tive oportunidade de trabalhar com *Erik Holnagel*, um dos pais da moderna engenharia cognitiva. Retornando ao Brasil, iniciei o doutorado em Engenharia de Produção, na linha de pesquisa de Ergonomia e Complexidade, junto ao Grupo de Ergonomia e Novas Tecnologias da COPPE, coordenado pelo orientador deste trabalho de tese.

Estes dois tipos de experiência profissional me proporcionaram visões do trabalho no setor nuclear sob diferentes pontos de vista: tanto do lado do projetista de equipamentos, quanto do lado dos operadores. A motivação para a realização deste trabalho de tese emergiu a partir de reflexões que estes diferentes pontos de vista suscitaram, a respeito de algumas situações vividas durante minha atuação como profissional de instrumentação, onde afloraram aspectos da relação entre projeto e operação, da forma como a organização vê seus trabalhadores, enfim da relação entre as prescrições e a realidade do trabalho no setor nuclear.

¹ O *Halden Reactor Project* – HRP constitui-se de um acordo multilateral, com a participação de mais de 20 países, que visa a realização de pesquisas conjuntas na área nuclear relativas a Interfaces Homem/Sistema e Elementos Combustíveis de reatores. Ele é sediado no *Institutt for Energi Teknikk* localizado em *Halden* na Noruega.

Uma destas situações ocorreu há cerca de 12 anos quando desenvolvemos o Circuito para Atuação do Sistema de Atenuação de eventos do tipo ATWS² - CASAA para uma usina nuclear. O Circuito tem por objetivo provocar o desligamento da turbina e a partida das bombas de refrigeração de emergência do reator, no caso de certas condições de vazão e pressão serem atingidas. Circuitos deste tipo fizeram parte de recomendações de órgãos reguladores de todo o mundo após a ocorrência de eventos nos quais os bancos de barras de controle, os principais sistemas de desligamento do reator, não atuaram devidamente.

Durante o desenvolvimento do projeto, recebíamos as informações do setor de engenharia da usina, de modo que não tínhamos contato direto com os operadores. Na instalação fomos chamados para acompanhar os testes de comissionamento do sistema e pela primeira tive um contato mais direto com os operadores de reatores de potência. De um destes operadores ouvi afirmações que me deixaram desconcertado: *“Enquanto puder, seu circuito vai ficar bloqueado, eu não confio que este equipamento não vá nos causar problemas em relação a desligamentos espúrios. Aquele painel (referindo-se ao painel alfanumérico que dava informações sobre eventuais falhas do circuito) não me serve de nada.”*

Na época, estas afirmações reforçaram minha antiga convicção (não só minha mas de quase todos os projetistas do setor), impregnados que somos com o paradigma mecanicista da engenharia clássica, de quão estranho seria este ser chamado operador. Qual sua autoridade, num sistema regido por prescrições, para bloquear um sistema de segurança recomendado pela autoridade reguladora? Porque tanta desconfiança num sistema que tinha sido projetado com todos os requisitos para atingir a mais alta disponibilidade? Porque não se utilizar do *display* alfanumérico que recebia informações diretamente de microprocessador de diagnóstico (uma novidade naquela época)? Enfim, de que serviriam todas as normas e prescrições que seguíamos durante o projeto, se estas mesmas normas e prescrições não eram estritamente seguidas por aqueles que, segundo nossa ótica, deveriam ser os primeiros a segui-las? Como poderíamos projetar sistemas “a prova de erros humanos”, se as prescrições não eram seguidas a risca?

Hoje em dia, mediante os aportes da ergonomia e dos estudos de caso que realizamos em usinas nucleares, tenho uma visão bastante diversa da dimensão e

² A sigla ATWS – *Anticipated Trip Without Scram* está relacionada a ocorrência de eventos nos quais o sistema principal de desligamento do reator falha, devendo ser tomadas outras medidas de segurança.

complexidade do trabalho, não só de operadores de usinas nucleares, mas de todos os seres humanos que se dedicam a fazer com que sistemas complexos e de risco operem de forma segura e produtiva. Infelizmente, a compreensão da dimensão do trabalho humano que a ergonomia proporciona não é compartilhada pelas diversas esferas hierárquicas das organizações, acarretando em conseqüências diretas sobre aspectos do dia-a-dia das instalações como discutiremos ao longo deste trabalho.

Contextualização do problema: Acidentes industriais surgiram a partir do processo de industrialização e desenvolvimento tecnológico ocorrido a partir da revolução industrial. Em função do extraordinário desenvolvimento tecnológico que se seguiu a 2ª Guerra Mundial, do aumento da demanda por novos materiais e produtos químicos e da introdução de novas matrizes energéticas, como o petróleo e, posteriormente, a energia nuclear, houve um aumento das dimensões das plantas produtivas e, conseqüentemente, da quantidade da energia utilizada pelas plantas e fornecida pelas usinas.

Usinas nucleares, por exemplo, são instalações capazes de gerar cerca de 1400 MW de energia elétrica por usina, energia esta que se encontra armazenada num volume de poucos metros cúbicos de urânio. O perigo potencial desta grande concentração de energia num pequeno espaço, levou CHARLES PERROW (1984a) a cunhar o termo *High Risk Organizations* para denotar as organizações que lidam com tecnologias perigosas, isto é, aquelas que trabalham com materiais perigosos e/ou podem produzir acidentes catastróficos, com possibilidade de causar danos que vão além dos limites físicos da própria organização. Nesta categoria estão incluídas as usinas nucleares, basicamente pelo inventário de material físsil utilizado como fonte de energia, plantas dos setores químico e petroquímico, o setor aeronáutico, enfim grande parte das organizações com as quais convivemos no dia-a-dia, o que levou PERROW (op. cit) a cunhar seu sub título: *Living with High Risk Technologies*. A partir de uma análise detalhada dos eventos que levaram a diversos acidentes industriais, inclusive no setor nuclear, PERROW observa, sombriamente, que acidentes são intrínsecos a este tipo de organização. Ainda segundo ele, acidentes são estados indesejáveis, com baixa probabilidade de ocorrência, mas normais ao funcionamento do sistema e, portanto, inevitáveis quando tecnologias perigosas são usadas. Eles ocorreriam a partir de interações múltiplas e não previsíveis entre os diversos elementos do sistema, que ele definiu como: “... *interações de sequências anormais, não planejadas, não atendidas e que não são visíveis nem compreensíveis imediatamente pelos operadores.*” A partir

daí ele conclui que: “... seres humanos são reféns da complexidade do sistema; elementos passivos que pouco podem fazer dada a imprevisibilidade e multiplicidade de possíveis interações em sistemas fortemente acoplados” (PERROW, 1984b).

Apesar deste vaticínio de PERROW ter sido reforçado com o acidente na usina nuclear de *Chernobil*, ocorrido em 1986, 2 anos após o lançamento do livro, observamos que: 1) os aportes da ergonomia demonstram que seres humanos não são elementos passivos e, ao contrário, contribuem ativamente para segurança das instalações e 2) é possível conviver com estas tecnologias ditas perigosas, tanto do ponto de vista da sociedade, quanto da organização e de seus trabalhadores, desde que sistemas para gestão de risco de acidentes garantam uma operação em segurança, minimizando os riscos de acidentes e impedindo a propagação e ampliação de seus efeitos.

Objetivos: Nosso trabalho evidencia que uma abordagem sócio-técnica é necessária para que o sistema de gestão de risco de uma organização que lida com tecnologias perigosas seja realmente eficaz. A gestão de risco precisa considerar a organização como um sistema sócio-técnico complexo, composto por diversos níveis interrelacionados, abrangendo desde o nível das políticas governamentais, dos órgãos reguladores, dos níveis gerenciais, dos operadores, pessoal de suporte, manutenção etc., enfim, todos aqueles envolvidos no controle de equipamentos, sistemas e processos para produzir com segurança por meio de leis, regras, procedimentos, instruções, habilidades, conhecimento e *savoir-faire*. A abordagem sócio-técnica em ergonomia passa pela modelagem das interações que ocorrem entre os agentes nestes diversos níveis. A partir daí estabelecemos o seguinte enunciado para a tese:

O desenvolvimento de sistemas de gestão de risco eficazes para sistemas sócio-técnicos complexos e que lidam com tecnologias perigosas, depende do conhecimento adequado das modalidades da ação coletiva no seio destes sistemas, em especial das tomadas de decisão, num contexto situado, durante seu funcionamento cotidiano.

Este enunciado parte da premissa de que o *locus* da gênese dos acidentes não se reduz às falhas técnicas ou aos erros humanos dos operadores da linha de frente do sistema, analisadas isoladamente do contexto. Conseqüentemente, nos induz a uma abordagem sócio-técnica, partindo do trabalho dos operadores, propriamente dito e indo

até aspectos organizacionais, macroeconômicos e sociais. Indica, ainda, que o ponto de vista dos atores precisa ser considerado, para não cairmos no reducionismo da dimensão do trabalho, e que a influência do contexto precisa ser considerada. O foco é colocado na modelagem dos processos de tomada de decisão dos operadores de sala de controle, consideradas o resultado final da cognição, o que nos leva ao objetivo mais específico da pesquisa descrita nesta tese que é, portanto:

Modelar os processos de tomada de decisão de operadores de sala de controle de usinas nucleares durante micro incidentes não postulados numa usina nuclear em operação e durante acidentes postulados em simulador, abrangendo diversas equipes de operação e em diversas condições operacionais.

Esta modelagem nos possibilita descrever as tomadas de decisão, identificando áreas de problemas relacionadas ao contexto sócio-técnico que as restringem. Objetivamos com isso auxiliar à melhoria do sistema de gestão de risco da organização.

Contribuições: As contribuições para o desenvolvimento científico da ergonomia, para as organizações que lidam com tecnologias perigosas e para a sociedade brasileira de modo geral são as seguintes:

1. Para a Ergonomia: Evidenciar a contribuição da ergonomia, em sua vertente situada, para tratar de sistemas sócio-técnicos, produzindo conhecimento sobre os compromissos multidimensionais do trabalho de operadores de usinas nucleares.
2. Para a Tomada de Decisão Naturalista – TDN (ver capítulo 3): Apropriar os modelos da TDN em salas de controle de reatores nucleares.
3. Do ponto de vista metodológico: Combinando as duas anteriores, propor metodologias para obtenção de dados empíricos em salas de controle de reatores nucleares durante micro incidentes em situação real de trabalho.
4. Do ponto de vista da organização: Identificar e descrever os tipos de tomadas de decisão dos operadores de sala de controle. Identificar algumas áreas de problemas da organização que trazem restrições para essas decisões.
5. Para a sociedade: Contribuir para a melhoria da segurança de organizações que lidam com tecnologias perigosas, neste e em outros setores industriais.

Estruturação do trabalho: Compreende 7 capítulos, a saber:

- No Capítulo 1 **A Ergonomia e a Gestão de Risco**, buscamos apresentar a evolução dos sistemas de gestão de risco, desde o paradigma mecanicista até a abordagem sócio-técnica, além de discutir o papel dos seres humanos em sistemas complexos a partir dos aportes da ergonomia, de modo a emoldurar nossa pesquisa.
- No Capítulo 2 **A Operação de Usinas Nucleares**, descrevemos a operação de uma usina nuclear, a partir de uma análise das tarefas de operação, e discutimos o modelo normativo do trabalho no setor nuclear.
- No Capítulo 3 **Tomadas de Decisão Naturalistas**, apresentamos os fundamentos, modelos e os resultados de diversas pesquisas em Tomadas de Decisão Naturalistas. O objetivo é apresentar o enquadramento teórico que utilizaremos para modelar as tomadas de decisão dos operadores.
- No Capítulo 4 **Análise do Trabalho em Sistemas Sócio-Técnicos Complexos**, discutimos metodologias usadas para análise do trabalho em sistemas complexos e apresentamos a metodologia desenvolvida e utilizada em nosso estudo de caso.
- No Capítulo 5 **Análise do Trabalho de Operadores de Salas de Controle**, apresentamos os resultados da análise do trabalho de operadores de sala de controle de usinas nucleares compreendendo diversas equipes de operação, em diversas circunstâncias operacionais.
- No Capítulo 6 **Resultados e discussão**, a luz do quadro teórico do capítulo 3 e dos resultados empíricos da análise do trabalho apresentados no capítulo 5, modelamos os processos de tomadas de decisão dos operadores de salas de controle de reatores nucleares durante micro incidentes, discutindo os resultados obtidos.
- No Capítulo 7 **Conclusão**, apresentamos nossa conclusão, formulando indicações a respeito do processo de tomadas de decisão dos operadores, das respectivas áreas de problemas, bem como indicações para desenvolvimentos ulteriores.

CAPÍTULO 1 GESTÃO DE RISCO E ERGONOMIA

Neste capítulo definimos Sistema de Gestão de Risco e como este sistema está evoluindo no setor nuclear, tomando como ponto de partida o paradigma mecanicista/racionalista. Caracterizamos a abordagem sócio-técnica da nossa pesquisa. Apresentamos, ainda, as contribuições que a ergonomia traz para o estudo das organizações que lidam com tecnologias perigosas.

1.1 Sistema de gestão de risco e segurança organizacional

Conforme a Teoria das Organizações, o termo gestão implica num ciclo de controle que busca a melhoria contínua de um processo. Deste modo, um Sistema de Gestão de Risco busca uma maneira sistêmica de controlar a possibilidade de ocorrência de acidentes e melhorar continuamente a segurança da organização. De acordo com RASMUSSEN (1998) acidentes são o resultado da perda de controle:

“Uma análise detalhada dos grandes acidentes indica que a coincidência dos múltiplos erros observados não pode ser explicada mediante uma coincidência estatística de eventos independentes. Acidentes são, com maior probabilidade, causados por uma sistemática migração na direção de acidentes por uma organização operando num ambiente agressivo e competitivo (...) A segurança é um problema de controle.”

Assim sendo, de uma perspectiva sistêmica, a gestão do risco em organizações que lidam com tecnologias perigosas passa também pelo problema de controle. Considerando que existem diversos níveis num sistema sócio-técnico, que diferentes processos perigosos envolvem requisitos de controle bastante diversos, diferentes estratégias para o controle do risco devem ser elaboradas. O Sistema de Gestão de Risco pode ser definido como sendo:

O conjunto de estratégias, definidas pela política de segurança da organização, que visam a minimizar a possibilidade de ocorrência (risco) e os efeitos danosos de acidentes, buscando a melhoria da segurança da organização (RASMUSSEN & SVEDUNG,2000).

Nosso trabalho contribui para identificar como os aportes da Ergonomia, em sua corrente situada, podem a melhorar os sistemas de gestão de risco de um modo geral e,

mais especificamente, no setor nuclear. O trabalho se insere na área de pesquisa de Ergonomia e Sistemas Complexos do GENTE/COPPE em conjunto com o Instituto de Engenharia Nuclear (CARVALHO & VIDAL, 2000a), na perspectiva ligada a ergonomia e segurança industrial, que vem desde os trabalhos de VIDAL (1984), onde a evolução do conceito da causalidade de acidentes é discutida, passando por teses desenvolvidas em diversos setores industriais como de petróleo (DUARTE & VIDAL, 1994) e da saúde (PORTO & VIDAL, 1994), até artigos mais recentes, já relacionados a este trabalho de tese (CARVALHO & VIDAL, 2000b), onde o papel de operadores em sistemas complexos é discutido.

VIDAL, em 1984, faz a seguinte constatação a respeito da segurança do trabalho nos setores então analisados: “... a segurança do trabalho tenta evitar não os acidentes, mas seus efeitos sobre as pessoas, e a engenharia de segurança tenta evitar não o acidente mas certos procedimentos que a princípio conduziriam a eles, bem como buscam mitigar suas conseqüências.” (VIDAL, op. cit.).

Esta constatação foi preocupante, pois refletiu a ausência de uma abordagem sistêmica, voltada para o controle da possibilidade de ocorrência de acidentes, da engenharia de segurança nos setores industriais analisados. Ou seja, não havia sistemas de gestão de riscos efetivamente implantados. Foge ao escopo deste trabalho examinar se esta ainda é a abordagem reinante na engenharia de segurança, ou no setor industrial brasileiro de modo geral, mas se a situação constatada por VIDAL em 1984 ainda for a mesma, ela remete novamente às sombrias conclusões de PERROW (1984a).

Podemos afirmar que no setor nuclear a situação é diversa. A segurança é considerada como um valor a ser preservado pelas organizações e sistemas para a gestão de risco sempre fizeram parte da gestão de usinas nucleares. Entretanto, os sistemas baseados apenas em aspectos técnicos das primeiras usinas, se mostraram insuficientes para dar conta do controle dos acidentes, como veremos a seguir.

1.2 Evolução dos sistemas de gestão de risco na área nuclear

Desde que as primeiras usinas nucleares para produção de energia elétrica começaram a operar nos anos 60, existe grande preocupação com a segurança das instalações e, conseqüentemente, algum tipo de sistema de gestão de risco. Seja pelo fato do estigma que ronda o setor em função de sua gênese bélica, seja pelas dificuldades de aceitação pelo público em geral, ou pela conscientização da própria

indústria nuclear, que sempre demonstrou a preocupação em evitar e mitigar as consequências de acidentes. Nestes projetos pioneiros o controle de risco se baseava em sistemas técnicos e no conceito de defesa em profundidade. Esta abordagem parte da análise dos possíveis acidentes que são ligados a falhas técnicas, por meio de regras simples determinísticas, do tipo SE (falha) ENTÃO (acidente), um processo denominado Análise de Segurança, realizado a partir dos aportes da Engenharia da Confiabilidade. De posse de uma árvore de falhas resultante da análise de segurança, são estudadas formas de evitar os acidentes, normalmente mediante sucessivas linhas de defesas físicas, garantindo que se uma destas linhas falhe, a defesa seguinte evite, ou diminua a gravidade do acidente. Por exemplo, em reatores nucleares diversas barreiras físicas são concebidas para evitar a liberação de produtos radioativos para o meio ambiente (para uma descrição destas barreiras ver o Anexo 1). Neste tipo de sistema de gestão de risco baseado em *hardware*, ou seja equipamentos, componentes e sistemas técnicos, os esforços são concentrados na fase do projeto, que utiliza conceitos de redundância, diversificação e equipamentos altamente qualificados. Os procedimentos são escritos de tal maneira a evitar o risco de erro humano, minimizando o papel consciente do indivíduo, cuja principal tarefa é aplicar os procedimentos a risca de modo a manter o sistema operando conforme as especificações técnicas de projeto.

Esta abordagem caracteriza o chamado paradigma mecanicista da engenharia clássica, baseado na racionalidade técnica, que imperou desde o fim da 2ª Grande Guerra, teve seu auge nas décadas de 60 e 70, passando a ser questionado apenas a partir da década de 80 (SCHON, D.,1982, PERROW, 1984b), mas que ainda tem grande influência em todos os campos da atividade humana, especialmente nas organizações que lidam com tecnologias perigosas.

Os fatores humanos: Questionamentos relativos à gestão de risco baseada apenas em *hardware* surgiram no setor nuclear após o acidente na usina nuclear de *Three Mile Island - TMI* nos EUA em 1979. O relatório da Comissão KEMENY (1979), que fez a primeira avaliação oficial do evento para o governo americano, concluiu que os operadores foram “*condescendentes com o perigo*” e que a causa principal do acidente foram “*ações incorretas tomadas por aqueles que operavam a planta.*”

Embora este acidente não tenha provocado consequências para pessoas ou para o meio ambiente, em função da atuação das barreiras de proteção, ele provocou profundas consequências financeiras para a operadora local e para a indústria nuclear em todo o

mundo. Do ponto de vista da gestão de risco, este acidente colocou em questão a insuficiência da abordagem baseada em *hardware* e chamou a atenção para o fenômeno do erro humano, colocando por terra a crença bastante difundida, especialmente pelos projetistas do setor, de que seria possível conceber projetos a prova de erros humanos.

A partir daí houve a sofisticação da análise de segurança, que deixa de seguir regras simples determinísticas e passa a usar relações probabilísticas entre as falhas e os acidentes, permitindo a consideração de novos tipo de falhas. Mediante aportes da Engenharia de Fatores Humanos foram introduzidas questões relativas a fatores humanos nas análises de segurança, a partir da modelagem dos erros humanos (REASON, J., 1990), ainda fora do contexto sócio-técnico. Daí surgem diversas metodologias para a análise da confiabilidade humana e sua inclusão na análise de segurança das instalações. (KIRWAN, B., 1994, REASON. J., 1987a).

Para as organizações e seus trabalhadores, estes conceitos começaram a mostrar que o papel dos seres humanos não poderia se restringir a aplicação pura e simples dos procedimentos. Concluiu-se que seria necessário aumentar o suporte da organização ao pessoal de operação e manutenção de tal forma a minimizar o erro humano, introduzindo novos sistemas de suporte ao operador, melhorando as interfaces homem/máquina e o treinamento técnico. Começa a haver uma maior preocupação com a investigação dos acidentes e respectivos relatórios, além da troca de experiências operacionais entre as diversas usinas, com a criação nos EUA do *Institute of Nuclear Power Operators* – INPO. Em meio a aplicação dessa abordagem, a indústria nuclear sofreu o segundo grande revés, quando da ocorrência do acidente de *Chernobyl*.

A abordagem sócio-técnica: Análises das causas raízes¹ dos acidentes de *Chernobil* (INSAG/IAEA, 1986, REASON, J., 1987b, KISELYOV, 1996), da nave *Challenger* (VAUGAHN D., 1996 e 1997), da contaminação de *Bhopal* (SHIVASTAVA, 1987), de Vila Socó, da Plataforma P36, dos vazamentos de petróleo na Baía da Guanabara (CARVALHO & VIDAL, 2001) dentre outros, trouxeram a tona o problema do contexto sócio-técnico, colocando em primeiro plano toda uma série de fatores sociais e organizacionais, que restringiam e, mais do que isso, chegavam a dirigir o desempenho humano e se constituíram nas verdadeiras causas destes acidentes.

¹ O estudo das causas raízes de acidentes denota uma prática do sistema de gestão do setor nuclear, estabelecida após o acidente de *Chernobil*, onde todos os fatores envolvidos no evento, e não somente as causas técnicas diretas, são analisados.

Estes eventos explicitaram o potencial catastrófico dos acidentes em organizações que lidam com tecnologias perigosas e trouxeram novos questionamentos sobre a segurança e o sistema de gestão de risco dessas organizações, que não poderia mais ser concebido sem a consideração do contexto sócio-técnico.

Torna-se evidente a necessidade da abordagem sócio-técnica para o estudo de sistemas complexos, abordagem esta que se baseia na dialética existente entre o micro – o trabalho das pessoas, e o macro – o contexto organizacional. Um não tem sentido sem o outro. É necessário considerar desde as interações microscópicas e situadas no interior da organização, até o contexto macroscópico da organização e onde ela se insere, isto é, o contexto sócio-econômico. Os resultados empíricos obtidos com a análise situada das interações locais precisam ser articulados de modo construtivo com o contexto sócio-técnico complexo. Segundo PAVARD, *“para provar de modo necessário e suficiente o caráter complexo de um sistema o foco deve ser nas interações locais e microscópicas e não na conceitualização de estruturas pré-existentes. É necessário demonstrar de um modo construtivo que o modelo considerado irá realmente gerar o comportamento macroscópico postulado”* (PAVARD,B. 1997).

Como exemplo desta articulação micro/macro, citamos as análises feitas pela socióloga DIANE VAUGHAN (1996, 1997) do acidente da nave *Challenger*. Segundo ela, o acidente foi *“... o resultado de um conjunto de micro decisões, tomadas ao longo de anos no interior da organização que contribuíram de forma lenta, mas decisiva, para levar a organização até os limites do funcionamento aceitável”* (VAUGHAN, D., op. cit.). Embora ainda não tenhamos disponível nenhum estudo científico a respeito, as informações da imprensa nos trazem indícios de semelhanças entre as causas do acidente da *Challenger*, descritas por VAUGHAN, e aquelas do recente acidente da *Columbia*, como relatórios de especialistas descartados, avaliações inadequadas de resultados de missões anteriores, da necessidade de aproveitar a janela temporal para o lançamento etc.

No setor nuclear, as conclusões da comissão KEMENY (op. cit.) sobre o acidente de TMI, que culpavam diretamente os operadores foram revistas, a partir de análises do acidente que incluíam os aspectos do contexto, que explicitaram o conjunto de falhas no sistema sócio-técnico, desde falhas de equipamentos, procedimentos, manutenção, treinamento, etc., que propiciaram o “erro” dos operadores (PEROW, 1984a; REASON,J., 1997).

O acidente de TMI ocorreu após uma série de falhas que resultaram na perda da refrigeração do reator (falhas que não dependeram somente dos operadores em serviço no turno do acidente), com o consequente aumento da pressão e temperatura do circuito primário (ver Anexo 1 para uma descrição do funcionamento de um reator nuclear) e abertura da válvula de alívio, que não se fechou completamente quando a pressão se reduziu. Esta falha na válvula de alívio não foi detectada pelos operadores tendo em vista um grande número de alarmes que desviavam sua atenção, a cartões de isolamento que cobriam várias indicações de estado de equipamentos nos painéis da sala de console e também porque, na interface H/M, não era mostrado o estado físico da válvula de alívio, só sua demanda de fechamento ou abertura. Aliado aos fatos acima, o reator foi desligado automaticamente por alta pressão no Sistema Primário, estancando a geração de energia, o que contribuiu para uma redução posterior da pressão e mascarou a percepção dos operadores com relação a queda de pressão pelo não fechamento da válvula de alívio (sistemas fortemente acoplados). Imaginando a válvula fechada, eles estacaram a injeção de água de emergência, supondo que esta injeção poderia aumentar ainda mais a pressão no pressurizador com o risco de romper as tubulações, naquele que foi considerado o pior erro pela comissão KEMENY (op. cit.).

O acidente só atingiu tal proporção (danos no elemento combustível e fechamento da usina), em função da decisão dos operadores de desligar o sistema de injeção de água de emergência: se o inventário de refrigerante perdido pelo não fechamento da válvula de alívio fosse repostado (como estava sendo pelo sistema automático) o superaquecimento do núcleo teria sido evitado. Entretanto, no momento da decisão, os operadores tinham 2 indicações antagônicas, a temperatura e pressão do reator versus a pressão no pressurizador. Eles ainda não sabiam que a válvula de alívio se mantinha aberta (problema da interface H/M), deixando vaziar o refrigerante e, portanto, não imaginavam que pudesse estar ocorrendo um LOCA². Com a indicação de pressão alta no pressurizador, os operadores desligaram a alimentação de água emergência, com receio de que a alta pressão pudesse levar ao rompimento das tubulações.

Surge daí mais um aspecto da influência do sistema sócio-técnico na geração do acidente de TMI: o tipo de treinamento dado aos operadores. Os operadores eram treinados de modo a acreditar que o nível do pressurizador era uma indicação de quanto

² LOCA – *Loss of coolant accident*: acidente postulado relacionado a perda de refrigerante no reator.

líquido (inventário de refrigerante) havia no circuito primário. Isto é verdade para a usina operando em condições normais. Entretanto, nas condições anormais que surgiram no acidente de TMI – os vazios no vaso de pressão devido a ebulição do refrigerante – estas condições não eram mais válidas. Mesmo com o aumento do nível no pressurizador, a quantidade de líquido no circuito havia decrescido em função da ebulição no vaso de pressão. Assim, em função de seu modelo mental impreciso, polarizado pelo treinamento e pela obrigação de cumprir os requisitos de procedimentos, os operadores, usando uma regra condição-ação simples, SE a pressão no pressurizador está alta ENTÃO não podemos injetar refrigerante, decidiram desligar a injeção de refrigerante. É bom notarmos, entretanto, que este modelo mental incorreto serviu durante anos à operação correta da planta antes do acidente. A situação específica, não familiar, criada durante a evolução daquele evento, foi o que revelou as deficiências do modelo mental dos operadores, as quais nunca haviam sido experimentadas anteriormente (RUBISNTEIN, 1979).

O acidente de *Chernobil*, ocorrido à 1:24h em um sábado no dia 26 de abril de 1986, foi considerado como um exemplo de miséria organizacional, gerando uma cultura de penúria e violações (KISELYOV, S., 1996). Este acidente ocorre durante a realização de um teste, que só poderia ser realizado quando a usina estivesse sendo desligada. De modo a aproveitar a janela temporal que permitiria a realização do teste, já adiado face às necessidades do sistema elétrico russo naquele inverno, os operadores reduziram a potência abaixo do limite recomendado pelo procedimento de teste (25%), operando o reator numa faixa de potência de instável (para aquele tipo de reator), chegando até 1% de potência. Entretanto, apesar de todos estes problemas, os operadores tomaram a decisão de executar o teste, violando os requisitos do procedimento de teste, culminando com a perda total do controle de potência do núcleo.

A discussão que seguiu a este acidente foi: Os operadores sabiam do problema da instabilidade do núcleo em baixa potência e violaram os procedimentos assim mesmo, pondo em risco suas próprias vidas? Segundo os primeiros relatórios elaborados por especialistas da INSAG/IAEA (1986), eles sabiam e violaram procedimentos em função de pressões organizacionais.

MOSEY (1990), discorda, a partir de análises da situação publicadas pelo Chefe da Usina, após sua soltura da prisão (BAGDASAROV et al., apud MOSEY, op. cit.). Segundo esta análise, a instabilidade dos reatores tipo RBMK, chamado de *positive SCRAM*, foi descoberta durante os testes de comissionamento da usina, 3 anos antes,

quando diversas contra-medidas foram sugeridas, inclusive modificações nos procedimentos operacionais, mas nenhuma delas foi implementada.

De um modo ou de outro, violação de procedimentos ou não implementação das contra-medidas, conclui-se que as decisões dos operadores que levaram ao acidente foram fortemente influenciadas pelo contexto organizacional (INSAG/IAEA, 1991). As pressões organizacionais, para a realização das tarefas programadas no planejamento da parada da usina, a presença do pessoal de outro setor, sediado em Moscou, e conseqüentemente ansioso para realizar o teste, emoldurou a decisão daqueles operadores, a partir de um sentimento do tipo “*podemos fazer apesar das restrições existentes*”, emoldurada por um tecido social que não fornecia todas as informações necessárias para uma tomada de consciência efetiva da situação, no que a IAEA resumiu como sendo a: “... *a falta de uma cultura de segurança na organização*” (INSAG/IAEA, op. cit.).

Pode – se dizer que o acidente foi o resultado de um ambiente organizacional que, influenciado pelo contexto sócio-econômico de uma União Soviética em crise (pré abertura), sugeria e recompensava (ainda que inconscientemente) hábitos de ação e decisões dos operadores sempre voltados a manter a usina operando, evitando desligamentos automáticos, enfim, gerando micro decisões que, de forma similar ao acidente da *Challenger*, levaram o processo paulatinamente na direção do descontrole.

Como resultado, a *International Atomic Energy Agency* – IAEA lançou em 1990 as bases para um programa de Cultura de Segurança (INSAG/IAEA, 1991) que finalmente reconhece, no âmbito do setor nuclear, a importância fundamental que o contexto sócio-técnico tem para a segurança das instalações. Deste modo, o setor nuclear começa a reconhecer que o sistema de gestão de risco precisa incluir os aspectos técnicos (tangíveis) e os aspectos humanos, organizacionais e sociais (intangíveis) que produzem a cultura da organização. O conceito da Cultura de Segurança no setor nuclear tem evoluído desde o seu lançamento em 1990, incorporando aportes da psicologia das organizações (SCHEIN, E., 1999). Com o suporte da IAEA, programas de cultura de segurança tem sido aplicados em diversas organizações, de diversos países, inclusive o Brasil, em especial na parte que se refere a avaliação da cultura de segurança, como ficou demonstrado em recente conferência sobre o assunto, realizada no Rio de Janeiro (IAEA, 2002).

Além da IAEA, o órgão regulador americano do setor nuclear a *Nuclear Regulatory Commission* – USNRC, tem publicado documentos que comprovam a

importância que o setor nuclear vem dando ao contexto sócio-técnico. Dentre estes, destacamos a metodologia para análise da confiabilidade humana ATHEANA (USNRC, 2000), que ao contrário das metodologias anteriormente recomendadas como o THERP (SWAIN, A. & GUTTMANN, H., 1983), considera os fatores do contexto organizacional que influenciam o desempenho dos operadores na análise.

Em outro estudo para USNRC nota-se a preocupação com uma visão do erro humano ligada ao contexto. GERTMAN e seus colegas (2002) procuram compreender como o desempenho humano influencia o risco de eventos não desejados na operação de usinas nucleares. A partir da análise relatórios de causas raízes de eventos em usinas nucleares norte americanas, eles concluem que: *“o erro humano contribuiu significativamente para o risco em quase todos os eventos analisados”*, que *“erros latentes estavam presentes em todo evento analisado e eram predominantes em relação aos erros ativos na proporção de 4 para 1”* e que *“os eventos operacionais analisados incluíam múltiplos fatores organizacionais contribuintes.”* Estes fatores foram classificados em 5 categorias principais: operações, projeto e modificações de projeto, práticas e controle de manutenção, programas de ações corretivas e aprendizado (implementar práticas já adotadas pela indústria) e gerenciamento e supervisão.

Ainda sob os auspícios da USNRC, BARNES et al. (2002) discutem os processos de revisão/avaliação do desempenho humano. Em relação aos órgãos reguladores eles enfatizam que os inspetores não devem aceitar relatórios que apresentem como causas de eventos aspectos ligados a motivação do trabalhador, como por exemplo *“falta de atenção”*. Eles assinalam que o inspetor do órgão regulador deve procurar descobrir que tipo de fatores organizacionais podem levar a esta falta de atenção. E para as Operadoras eles recomendam: *“... programas de segurança comportamentais, baseados em revisão de pares para redução de atos inseguros são controversos, pois eles podem ser percebidos como programas para consertar o trabalhador, ao invés de programas para consertar o ambiente de trabalho”* (os grifos são dos autores).

Diversas pesquisas recentes usam a abordagem sócio-técnica associada a teoria da complexidade para o desenvolvimento de propostas e discussões a respeito de sistemas de gestão de riscos para organizações que lidam com tecnologias perigosas em diversos setores industriais (EMBREY, 1994; RASMUSSEN & SVEDUNG, 2000; GROENEWEG, 2000; MAURINO, D., 2000, CARVALHO & VIDAL, 2003).

RASMUSSEN (op. cit.) define questões básicas, que incluem as tomadas de decisão, para a concepção de um sistema de gestão de riscos pró-ativo:

1. Identificar os tomadores de decisão e demais atores envolvidos no controle dos processos produtivos nos diversos níveis do sistema sócio-técnico;
2. A parte do espaço de trabalho sob seu controle precisa ser definida, isto é, o(s) critério(s) que direciona(m) a alocação de papéis (e as tomadas de decisão) dos controladores individuais precisa ser encontrado;
3. A estrutura do sistema de controle distribuído do sistema sócio-técnico precisa ser definida, isto é, a estrutura da rede de comunicações que conecta os tomadores de decisão dos diversos níveis precisa ser analisada.

O reconhecimento de que as abordagens clássicas, tanto do ponto de vista da engenharia da confiabilidade, quanto do ponto de vista das correntes da psicologia cognitiva que tratam o erro humano de forma isolada do contexto, são insuficientes para dar conta da explicação dos acidentes ditos organizacionais vem, até mesmo, dos principais estudiosos do erro humano sob o viés cognitivo como JAMES REASON, que faz uma espécie de *mea culpa* em seu último livro, quando reconhece: “...*nestas falências organizacionais o erro humano é mera consequência e não causa de acidentes*” (REASON, J., 1997).

Como o assinalam VIDAL e seus colegas (2001), a superação da explicação em termos da contradição entre fatores técnicos e fatores humanos não requer que se pense apenas em termos da combinação entre causas de naturezas técnicas e humanas, mas igualmente que estes fenômenos sejam entendidos como uma combinação multicausal, no nível de uma sistematização macroergonômica, envolvendo aspectos sociais, culturais, antropotecnológicos, psicológicos etc. Em outros termos, cada evento indesejado pode ter uma multiplicidade de causas diretas e estas articuladas em sistemas de causas raízes, cuja gênese não se limita aos agentes (pessoas e tecnologia), mas está igualmente vinculada ao contexto (organização) e, principalmente, como este contexto se articula e influencia os demais agentes sociais. Esta articulação dificilmente pode ser descrita como sequenciação linear de eventos para efeito de generalização com finalidades de aprendizado e de normalização, que prescindam de uma análise situada para sua descrição.

Sem esgotar a questão, acreditamos termos apresentado até aqui evidências suficientes para demonstrar que a abordagem sócio-técnica vem provocando transformações na visão da segurança nas organizações que lidam com tecnologias

perigosas. Acreditamos que estas transformações configurem um movimento mais profundo: a tentativa de emergência de um novo paradigma, no qual nosso trabalho de tese se insere. Como afirma KUHN (1962) mudanças de paradigma não ocorrem passivamente, elas são o resultado de crises nas práticas vigentes (que procuramos salientar), cuja resolução passa pela emergência de um novo paradigma. Neste novo paradigma sócio-técnico para segurança das organizações, as condições globais nas quais elas são concebidas e realmente operam passam a ser tão importantes quanto equipamentos, sistemas de segurança, capacidades cognitivas de operadores etc. Se começa a reconhecer que o papel dos seres humanos não pode ser relegado ao de simples cumpridor de regras, o grau de autonomia dos trabalhadores para executar suas tarefas começa a ser discutido. Conforme afirma MAURINO (2000): “... a segurança é uma construção social.”

Entretanto, ao contrário das ciências ditas exatas examinadas por KUHN (op. cit.), quando a emergência de um novo paradigma faz com que o anterior seja descartado, nas ciências sociais (ou sócio-técnicas) as influências dos diversos paradigmas podem conviver no mesmo *continuun*. Este é exatamente o estágio em que se encontra a usina nuclear que analisamos em nosso estudo de caso e, de um modo geral, das organizações do setor nuclear. Assim, neste momento, quando no tecido social que compõe as organizações do setor nuclear coexistem injunções pertencentes ao paradigma mecanicista, que do ponto de vista do trabalho, se apoia nos conceitos de TAYLOR (apud KANIGEL, 1997) que prescreve a “*melhor maneira de realizar uma tarefa*”, com as idéias construtivistas embutidas no paradigma sócio-técnico, achamos importante apresentar as contribuições que a ergonomia pode trazer para o tema.

1.3 A ergonomia e as organizações que lidam com tecnologias perigosas

Como já foi constatado por diversos pesquisadores, a proceduralização e normatização do trabalho é uma característica essencial das organizações que lidam com tecnologias de risco, e as usinas nucleares não são uma exceção (LA PORTE & THOMAS, 1995; DE TERSSAC & LEPLAT, 1990; DE TERSSAC, 1992; HIRSHHORN, 1993; VICENTE et al. 1997; VICENTE, 1999). Diversas justificativas emolduram este fato. Por exemplo, do ponto de vista cognitivo, procedimentos reduziriam o nível de complexidade, permitindo que atividades sejam realizadas ao nível de regras do tipo SE-ENTÃO, diminuindo a probabilidade de ocorrência de erros

(RASMUSSEN, 1983; RASMUSSEN & JENSEN, 1974). A obrigação de seguir procedimento a risca, reduzindo a autonomia dos trabalhadores, diminuiria a possibilidade de erros humanos, especialmente as violações de rotina (REASON, 1990).

Assim sendo, verificar como se processa a relação entre as prescrições e a realidade do trabalho dos operadores é fundamental para que possamos entender as interações entre a organização formal e o trabalho e, assim, modelar os processos cognitivos ligados a tomadas de decisão, conforme o objetivo deste trabalho.

Precisamos, então, retomar a questão prescrito x real que pode ser considerada uma das bases epistemológicas da escola de língua francesa da ergonomia³, conforme discussões ocorridas no Seminário GENTE/COPPE, 2003. Os ergonomistas citados, graças a abordagem situada da ergonomia, geraram numerosos estudos sobre situações de trabalho bastante precisos, e perceberam que a atividade humana no trabalho não se restringe a aplicação estrita de procedimentos; não se consegue reduzir o papel do ser humano ao de simples executante de um conjunto de tarefas prescritas. Como vimos na seção anterior, a própria indústria nuclear já foi alertada para este fato, após os acidentes de TMI e *Chernobil*. De modo ampliar esta discussão no setor nuclear procuramos respostas, mediante os aportes da ergonomia e por meio da investigação feita por meio do estudo de caso desta pesquisa, para a seguinte questão:

Porque a aplicação estrita de prescrições (procedimentos, planejamento, normas de conduta, regras etc.) causa problemas?

Os ergonomistas já citados já identificaram e documentaram de modo bastante claro algumas indicações sobre as origens do problema, que resumimos da seguinte maneira: considerando o princípio da racionalidade limitada e da limitação da informação daí decorrente, todos os eventos passíveis de serem encontrados pelos atores em sistemas complexos⁴ não podem ser inteiramente previstos. Uma parte da realidade com a qual eles se confrontam está além do campo de aplicação da regra. Ou seja todas

³ Nos referimos aqui a toda uma literatura que representa o conjunto da escola de língua francesa de Ergonomia que coloca o ser humano como foco da análise (Leplat, Wisner, Sperandio, Terressac, Danielou, Faverge, Montmollin dentre outros). Para uma revisão de textos de Jacques Leplat ver Leplat (1997).

⁴ “Um sistema complexo é aquele para o qual é difícil, senão impossível, restringir sua descrição a um limitado número de parâmetros ou caracterizar variáveis sem perdermos suas propriedades funcionais globais” (PAVARD, 1997).

as informações necessárias e suficientes para lidar com as situações não podem ser disponibilizadas por meio de regras formais explícitas.

Partindo da premissa de que procedimentos são estruturalmente incompletos e dos aportes da ergonomia, materializados pelos estudos dos autores citados, estatuímos algumas limitações inerentes às prescrições:

1. Prescrições não levam em consideração a variabilidade dos indivíduos – se eles dispõem de mais ou menos experiência, se estão mais ou menos em forma, se eles possuem atitudes diferentes e/ou percebem igualmente a atividade de risco de sua posição na organização.
2. A empregabilidade não é claramente definida: não é possível garantir que o procedimento adequado será posto em prática pelos operadores no momento oportuno, tanto pelo modelo particular de utilização, quanto pelos fatos implícitos que ele veicula.
3. Procedimentos não levam em conta a diversidade organizacional, observável nas organizações. Cada departamento, divisão, seção, serviço, deve seguir procedimentos estruturados da mesma maneira, mesmo que a organização das equipes seja fundamentalmente diversa.
4. As condições de aplicação não são sempre bem definidas: elas podem tornar o procedimento inadequado ou incoerente em função das condições da intervenção, ou do estado da planta.
5. Em muitos casos procedimentos são elaborados pelos projetistas do sistema num país diferente de onde o sistema será instalado, sem considerar os aspectos antropotecnológicos, isto é hábitos, cultura, aspectos da sociologia do país de aplicação.
6. Procedimentos se referem basicamente a situações ideais, previamente modeladas pelos projetistas do sistema.

Considerando estas limitações, a aplicação estrita de procedimentos não é suficiente para garantir o funcionamento seguro da organização e pode até mesmo não ser compatível com seu funcionamento. Paradoxalmente, a ergonomia nos mostra que os procedimentos criados para minimizar as possibilidades de intervenção humana, a requerem; uma vez que só a intervenção humana é capaz de criar as condições, mediante saberes locais e tácitos, que permitem superar as limitações e adaptar os procedimentos ao contexto da sua execução. Entretanto, este recurso à intervenção humana está ligado a capacidade de interpretar e se adaptar do homem (exatamente aquilo que prescrições procuram evitar), que podem ter tanto efeitos positivos como negativos para a segurança da organização.

Estes ajustamentos aparecem como uma das bases da confiabilidade humana e organizacional e, conforme seus resultados, podem ser considerados como elementos da degradação ou do erro, sejam eles humanos ou organizacionais, ou de inovação e melhoria do desempenho operacional, como exemplifica o situação de *Chernobil*, onde a mesma equipe premiada por seu desempenho operacional, foi considerada como sendo a responsável por dezenas de violações de procedimentos que geraram a catástrofe do ano seguinte.

Considerando as limitações das prescrições e o objetivo de nossa pesquisa, estabelecemos as seguintes questões relativas ao uso de procedimentos pelos operadores de usinas nucleares como suporte a tomada de decisão durante micro incidentes, que procuraremos discutir mediante o estudo de caso:

1. A concepção procedural do trabalho dos operadores, baseada em instruções detalhadas que se supõe sejam seguidas a risca, possui limitações em função da dificuldade dos projetistas dos sistemas de preverem as ações que serão efetivamente necessárias em situações novas e devido as restrições impostas pelo contexto de trabalho.
2. A limitação da hipótese 1 faz com que os operadores das usinas nucleares tenham dificuldades para determinar quando os procedimentos que eles, supostamente, devem seguir a risca, não são mais apropriados para lidar com uma situação nova.

3. A não consideração da hipótese 2 no projeto do trabalho dos operadores faz com que a equipe de operação não tenha a ajuda necessária para saber se (e quando) procedimentos poderiam ser modificados, momentaneamente e sem afetar a segurança, para lidar com micro incidentes de modo eficiente e seguro.
4. Em função da hipótese 3, em situações não familiares, nas quais os operadores não podem contar com o suporte de procedimentos escritos, eles mudam o nível de controle cognitivo e passam a trabalhar ao nível de conhecimento (RASMUSSEN, 1983; VICENTE & RASMUSSEN, 1992).

Procedimentos e a organização: Considerando os aportes da ergonomia, pode-se dizer que os procedimentos e todos os dispositivos prescritivos fornecem uma visão apenas parcial do que ocorre no trabalho (POYET, 1990). Esta mesma concepção, se extrapolada para um enfoque macroergonômico, nos leva a conclusão de que a Organização Formal não consegue disponibilizar todas as modalidades de organização do trabalho que são utilizadas pelos trabalhadores de um sistema sócio-técnico. Em outras palavras, a estrutura formal não permite compreendermos o que se passa na organização (DE TERSSAC, 1992; STINCHCOMBE, 1990). Como corolário dessa afirmação, podemos acrescentar que se a alta gerência da organização observa-la apenas por meio do filtro da regras formais, pode não compreender muito bem o funcionamento da organização sob sua responsabilidade (CARVALHO & VIDAL, 2002a).

Alguns ergonomistas (REYNAULD, 1989) consideram que assim que é introduzida, a distinção entre prescrito e real tenderia a ser suprimida nas organizações: de fato, a dicotomia entre trabalho prescrito e trabalho real, ou entre organização formal e organização informal, não faria muito sentido, tanto que uma se escora na outra de forma imanente e, idealmente, elas se reconciliariam através da noção de regulação conjunta, mediante um comportamento reflexivo dos trabalhadores (SCHON, D., 1982). Entretanto, se há dificuldades técnicas, operacionais, culturais ou burocráticas para mudar procedimentos (até mesmo saber se e quando eles deveriam de fato ser corrigidos) esta dicotomia persiste na organização, e se torna um objeto de ansiedade para os trabalhadores, obrigados que são a transgredir para operar, e ainda correndo o risco de sanções.

O debate sobre a relação entre o indivíduo e as prescrições é fundamental para que sejam estabelecidas as formas de como escrever, apresentar, modificar e, principalmente, sobre como utilizar procedimentos. Assim, a forma como eles são redigidos, o público alvo (operadores experientes o iniciantes), o grau de detalhamento que eles devem conter, e até mesmo sua forma de apresentação em sistemas computadorizados, as formas de atualização e incorporação de novas práticas, se os procedimentos devem ser seguidos a risca, como roteiros, ou como base de direcionamento, como mapas, constituem questões fundamentais a serem tratadas para o funcionamento e a segurança da organização. Para isso é necessário que a organização compreenda o real papel dos seus trabalhadores, que será discutido a seguir.

O real papel dos trabalhadores: A ergonomia tem procurado demonstrar que os saberes locais e contingenciais desenvolvidos pelos operadores evitam erros: segundo a Teoria da Inerência (FAVERGE, 1970,1980), os operadores recuperam os erros do sistema; eles adaptam (AMALBERTI, 1992) e são capazes de interpretar. Os operadores ainda preenchem os brancos e os aspectos implícitos dos procedimentos (DE TERSSAC, 1992); eles podem permitir que procedimentos existam, como explica HATCHUEL (1994): *“o redator do procedimento pode se enganar a respeito da qualidade do procedimento redigido: o operador realiza o trabalho em tempo real, o que para quem concebeu o procedimento é a prova de que o conteúdo e o tempo previsto para execução das tarefas estaria correto; entretanto as dificuldades encontradas obrigam seus executores a verdadeiros malabarismos para realizar o trabalho nas condições prescritas consideradas.”*

Para AMALBERTI (1996) e POYET (1990) afastar o homem do controle direto da produção e reduzir sua capacidade de intervenção seria prejudicial, principalmente em situações de perturbação do sistema: *“O diagnóstico e recuperação do mal funcionamento, o trabalho durante as perturbações, são ocasiões onde é muito difícil nos privarmos da competência humana.”* (POYET, 1990). O homem possui uma capacidade cognitiva que lhe permite julgar aspectos qualitativos, uma capacidade de síntese e de interpretação de representações analógicas, uma capacidade de racionar rapidamente em função dos casos mais prováveis (RASMUSSEN & JENSEN, 1974).

Segundo WOODS (1995) os seres humanos usam propriedades cognitivas especiais, como a da pré-atenção, quando monitoram sistemas. A pré-atenção não é uma decisão consciente ou um julgamento, mas sim um tipo de processo de

reconhecimento direcionado. Os observadores não estão sempre conscientes dos aspectos normais, esperados, ou irrelevantes do seu fluxo de atividade, mas eles são capazes de reconhecer o anômalo quando é pertinente ao contexto maior e as suas metas, fazendo com que desvios das características normais do sistema sejam antecipadamente observados. Eles também são capazes de se distanciar das prescrições: “*de resistir e atualizar as prescrições em função do contexto da atividade*” (POYET, 1990). AMALBERTI (1992 e 1996) indica ainda que o homem desenvolve atividades adaptativas para fazer frente as situações imprevistas: este é seu papel em sistemas automáticos. Estas são as razões que nos obrigam a aceitar o preâmbulo do homem como agente recuperador: a possibilidade efetiva para exercer um controle e uma intervenção direta sobre os sistemas técnicos.

Entretanto, as organizações do setor nuclear ainda consideram, predominantemente, o ser humano como uma possível fonte de falhas, cujo modo de previsão é difícil, possuindo um elevado grau de variabilidade, passível de cometer violações, numa categoria que podemos definir como homem violador. Considerando os aportes da ergonomia, que nos permitem enxergar os seres humanos como agentes recuperadores, esta categoria ainda subsiste em função da seguinte questão: a vontade do homem de sempre se mobilizar eficazmente de modo a cumprir suas exigências de trabalho. Neste ponto surgem as questões relativas à ética profissional, motivação, cultura, crenças etc. O saber-fazer seria suficiente, em si mesmo, para garantir um funcionamento seguro? Não existiria entre os operadores a necessidade de algo mais do que o saber, algo como uma mediação moral: a vontade de fazer o certo? Uma análise aprofundada destas questões foge ao escopo deste trabalho, mas achamos importante fazer as seguintes considerações.

REASON (1987b) trabalha a noção da violação de procedimentos, a partir da análise do acidente de *Chernobil*, que fornece um fértil terreno para este tipo de análise. A violação de procedimentos é definida como “*um desvio em relação a um procedimento operatório seguro*” (REASON, 1990). São classificados três tipos de violação de procedimentos: as “*violações de rotina*”, que se manifestam, por exemplo, na supressão de passagens de procedimentos de forma habitual, isto é a aplicação pelo ator da lei do menor esforço; as violações a quais ele chama “*chutes*”, que refletem o fato de que as ações humanas servem a uma grande variedade de motivações e que algumas delas tem muito pouco a ver com os aspectos funcionais da tarefa a ser cumprida; e finalmente as “*violações necessárias*” comandadas por um contexto

particular de trabalho no qual as tarefas são executadas: são ações em não conformidade com procedimentos, mas necessárias para executar e atender uma demanda de trabalho.

A abordagem sócio-técnica sob o ponto de vista da ergonomia, preconizada nesta tese, está particularmente interessada pela terceira categoria proposta por REASON (op. cit.): o ator não decide transgredir simplesmente por escolha pessoal, mas porque ele é coagido a atuar em função da situação do processo produtivo e das condições fornecidas pela organização.

De todas as maneiras, o lugar do ser humano nas organizações que lidam com tecnologias de risco é irreduzível existam ou não prescrições: ele é ao mesmo tempo fonte de aumento da segurança global do sistema, ou uma fonte de falhas ou de baixa confiabilidade.

O dilema a ser enfrentado: O potencial de transgressão do ser humano, indissociável de seu potencial de recuperação do sistema, é um dos principais dilemas das reflexões sobre o trabalho em organizações que lidam com tecnologias perigosas. Ao mesmo tempo que os graus de liberdade deixados aos operadores permitem uma melhor recuperação dos problemas (VICENTE & RASMUSSEN, 1992), deixam igualmente a porta aberta a erros, abusos e transgressões. É por este motivo que hoje em dia, um grande número de círculos profissionais, e aí incluída a comunidade nuclear, continuam a ver o homem como um mal necessário na cadeia da segurança e, conseqüentemente, o elo a ser eliminado através do automatismo, prescrições etc.

É por esta razão que diversos de pesquisadores, nos convidam a considerar outro ponto de vista para a alocação de funções entre homens e máquinas, por meio da noção de sistema cognitivo conjunto (JORDAN, 1963, HOLNAGEL & WOODS, 1983, AMALBERTI, 1996, ROGNIN et al., 2000) no qual as funções do sistema seriam compartilhadas por todos os elementos (sejam homens ou máquinas), conforme as capacidades de cada agente. JORDAN (op cit.), num artigo que pode ser considerado como clássico, publicado na década de 60 no auge do paradigma da racionalidade técnica, discute a alocação de funções proposta na lista de FITTS & JONES (1957), que compara computadores e seres humanos e, em praticamente todos os quesitos analisados, mostra que os computadores são melhores. JORDAN, observa que tal comparação não teria sentido, a partir da célebre frase:

“Homens não são como máquinas, pelo menos não como as máquinas feitas pelo homem” (JORDAN, 1960).

Para estes autores, é fundamental que os projetistas concebam sistemas que deixem aos agentes humanos margens de manobra, de modo a permitir que eles reajam e mobilizem toda uma série de competências que não estão obrigatoriamente incorporadas na automação. O papel dos erros no âmbito dos modos de apropriação dos conhecimentos é dessa forma enfatizado (AMALBERTI, 1996), donde a necessidade de conceber sistemas sócio-técnicos bem mais tolerantes aos erros e mais do que isso, que os operadores aprendam com os erros cometidos, como aliás já ocorre na realidade, mas à revelia da organização formal.

A teoria do contorno: (REINAULD, 1989, DE TERSSAC, 1992) Como vimos, os ergonomistas têm analisado e documentado amplamente as razões pelas quais é impossível aplicar de modo estrito qualquer tipo de prescrição. A teoria dos Sistemas Complexos corrobora esta afirmação, estatuidando a impossibilidade matemática de prever o comportamento de sistemas complexos que, como corolário, resulta na característica estruturalmente incompleta dos procedimentos. Esta propriedade obriga os atores a improvisar e inventar sem cessar soluções que lhes permitam superar os enquadramentos rígidos e, às vezes, inaplicáveis das prescrições.

O contorno destas prescrições é a única solução possível a este problema recorrente. Como bem resumiram GIRIN & GRONJEAN (1996): “... *a regra, no sentido da regularidade observada, é a ausência de regras...*” Neste nível, podemos considerar a diferença entre prescrito e real como a regra, talvez a única regra da ergonomia. Segundo estes autores, é a partir dessa diferença entre prescrito e real que se forja o tecido social da organização.

Nas organizações que lidam com tecnologias de risco o uso de estratégias de contorno é necessário e, ao mesmo tempo, seu uso é eventual e reduzido, muitas vezes punido e não reconhecido pelo quadro formal da organização, uma vez que estas estratégias podem ser também potenciais fontes de risco, de erros, de perigo e de abusos.

Conforme a teoria do contorno, a separação entre prescrito e real, que não pára de acontecer, é de certa forma especificada, se produzindo em função de:

- 1) Informação limitada, fornecida a partir de um modelo reduzido (simplificado e preciso) do sistema sócio-técnico.
- 2) Na maior parte da vezes aqueles que editam as regras e os que as usam são pessoas diferentes, diferentes em relação a competência técnica, ao campo de atuação (por exemplo, engenheiros escrevem procedimentos para

operadores, mas não conhecem efetivamente o trabalho destes operadores) e até de aspectos sociais e culturais. Muitas vezes estas diferenças vão além das fronteiras nacionais: os procedimentos operacionais que devem ser usados pelos operadores das centrais nucleares brasileiras são elaborados por engenheiros americanos ou alemães.

As consequências destas condições são bastante importantes. O primeiro elemento, que a informação é limitada e todas as variações não podem ser previstas ou antecipadas e, portanto necessariamente incompletas, já foi exaustivamente analisado neste trabalho. A segunda proposição, entretanto, ainda está sujeita a discussão. Na verdade, nem todas as organizações obedecem forçosamente ao um modelo tecnicista ou taylorista, baseado na divisão do trabalho e alocação de funções, onde Execução e Concepção estão inelutavelmente separadas, evoluindo entre dois mundos diferentes. Entretanto, acreditamos que na maioria das organizações que lidam com tecnologias de risco e certamente aquela que estudamos neste trabalho, este ainda é o paradigma predominante. Porque achamos importante sublinhar estas duas especificações da diferença entre prescrito e real? Porque elas permitem explicar também a diferença entre formal e informal, entre teórico e prático, entre o exposto e o assumido. Elas influenciam e são influenciadas pelo modo de divisão do trabalho e, conseqüentemente, pelo modelo organizacional. Em outros termos, se os criadores das regras são irremediavelmente diferentes dos que as devem executar, há grande chance de que as regras, mesmo as regras estritamente técnicas, reflitam de modo imperfeito as necessidades e a realidade vivida pelos executantes. Resumindo, o contorno das prescrições é duplamente especificado: ele é concernente a um problema de racionalidade, que tomamos como um fato, e concernente a um modo de divisão e organização do trabalho que é preciso, mas não é um dado, e sim construído como um modelo reduzido de sistema complexo, o qual, traz em si mesmo a dicotomia entre o universo (modelo) da concepção e o universo (real) da execução.

Segundo a forma canônica da teoria do contorno, os executantes não são os responsáveis pela criação de prescrições, nem mesmo a cargo de modificá-las de modo oficial e explícito. Entretanto, contornos sucessivos podem implicar na modificação de uma regra formal. A nova regra editada, entretanto, seria apenas temporariamente seguida a risca pelos praticantes e, então, novamente transgredida em função de novos ajustes. Se pode dizer que dá tudo na mesma. No momento em que a regra é modificada

e que as diferentes partes encontram um equilíbrio que as satisfazem, a modificação através da oficialização de uma prática que ficou por longo tempo oculta, ou o ajuste da regra a partir de um processo de correção formal, tem o mesmo resultado. Na realidade a diferença está apenas num detalhe: num caso o propósito é provavelmente atendido, mas não nos rendemos conta da maneira como as coisas se passaram: o aprendizado é perdido; no outro os processos de negociação são públicos e podem ser seguidos por todos os protagonistas de modo democrático e assim apropriados pela organização e todos seus trabalhadores.

Finalmente, o que diz a teoria do contorno? Ela indica que é possível uma adaptação informal ao enquadramento oficial que organização preconiza e considera, que evitaria tensões e permitiria um ciclo virtuoso de aprendizado. Para que isso ocorra é necessário que as organizações compreendam o papel do ser humano de forma diversa daquele que compreendem hoje em dia, modificando sua forma de organização do trabalho baseada em prescrições e punições.

As usinas nucleares não deveriam tentar anular esta lei social, apesar do universo ultra-prescrito das usinas nucleares ser concebido para não permitir improvisações e transgressões de regras. De modo mais importante ainda, os teóricos da informalidade nos convidam a pensar que é esta capacidade de contorno que está na base da segurança organizacional. Como vislumbramos no diálogo ocorrido entre operadores e instrutor durante o treinamento em simulador a respeito de quem iria propor a modificação de um procedimento aparentemente incorreto (ver capítulo 5), a teoria da produção de uma adaptação sistemática das regras é fortemente condicionada por um modo de divisão de trabalho particular, onde as repercussões sobre o modo de criação e modificação de regras são fundamentais.

1.4 Resumo do capítulo

Neste capítulo definimos sistema de gestão de risco e mostramos como eles têm evoluído no setor nuclear. Apresentamos algumas questões com relação ao uso de procedimentos. Discutimos as diferentes visões a respeito do papel de seres humanos em organizações que lidam com tecnologias perigosas. Indicamos que é necessário um ambiente organizacional que facilite a incorporação das regras práticas às escritas de modo que o aprendizado resultante venha a ser apropriado pela organização.

CAPÍTULO 2 A OPERAÇÃO DE USINAS NUCLEARES

Neste capítulo descrevemos como se processa a operação de uma usina nuclear. O capítulo se inicia com a apresentação da composição da equipe de operação de uma usina nuclear, seguindo-se uma descrição das tarefas de operação, sob uma base de revisão documental do setor nuclear, como a *Nuclear Regulatory Commission* – USNRC e o *Institute of Nuclear Power Operators* – INPO, visando uma melhor compreensão do ponto de vista que as organizações do setor nuclear têm em relação às tarefas de operação. Em seguida passamos à caracterização dos processos de desligamento (parada) e partida de um reator nuclear, além de aspectos relativos à operação em situações emergência, com o auxílio de trechos de procedimentos contidos no Anexo 1, uma vez que o estudo de caso foi realizado nestas condições operacionais. O capítulo se encerra com a apresentação dos modelos de competência que as organizações que lidam com tecnologias perigosas, do setor do petróleo e do setor nuclear, adotam em relação à tomada de decisão de seus operadores.

2.1 A constituição das equipes de operação

As equipes de operação de sala de controle de usinas nucleares são compostas por 4 Operadores Licenciados¹ e 1 operador auxiliar (não licenciado) na sala de controle. Estes operadores são auxiliados por um número variável de operadores de área, dependendo da usina, envolvidos nas tarefas relativas aos trabalhos de campo. A composição das equipes de operação é de responsabilidade da Operadora da usina e deve ser aprovada pelo Órgão Regulador, quando da concessão da Licença de Operação. O escopo das tarefas assinaladas a cada operador licenciado é diverso, o que é refletido na denominação dos cargos, na hierarquia da equipe de operação e no tipo de licença de cada operador.

A diferença das tarefas acarreta também em diferenças na formação, no tempo de experiência e no tipo de licença: para os Operadores do Reator e do Circuito Secundário é necessária formação de nível médio e uma licença do tipo RO - *Reactor Operator*, para Encarregado e Supervisor é necessária formação de nível superior,

¹ Operadores Licenciados no Brasil são aqueles aprovados em exames bianuais elaborados pelo Órgão Regulador, conforme a norma CNEN-NE-1.01 de 12/1979.

experiência de 2 anos na operação, e uma licença do tipo SRO - *Senior Reactor Operator* (NORMA CNEN-NE-1.01, 1979).

O escopo das responsabilidades e tarefas básicas dos operadores definidas pela Operadora e aprovadas pelo Órgão Regulador são:

- Supervisor de Turno: é o responsável direto pela operação segura e eficiente da planta durante seu turno e se reporta ao Gerente da Usina. Nessa responsabilidade são incluídas a segurança do pessoal e equipamentos e a operação da usina de acordo com todos os requisitos regulatórios e da Licença de Operação. Em caso de acidentes, ele é o responsável pela determinação da gravidade da situação, pela notificação ao pessoal apropriado, dentro e fora da usina, e por dirigir as operações necessárias a resolver a situação.
- Encarregado, se reporta ao Supervisor de Turno, sendo responsável por supervisionar as ações dos Operadores do Reator e Circuito Secundário. Ele deve iniciar as ações corretivas em qualquer condição anormal, até receber assistência do Supervisor, caso seja necessário. Ele atua ainda como um facilitador do trabalho dos operadores da usina (Reator e Circuito Secundário), sendo responsável por cálculos de parâmetros de segurança como margem de desligamento, taxas de diluição de boro etc. O Encarregado também é o responsável pela condução dos processos de desligamento e partida da usina, usando os procedimentos adequados, além de coordenar todas as atividades de manutenção e testes durante seu turno.
- Operador do Reator, atua sob supervisão direta do Encarregado, devendo monitorar e controlar o reator e os respectivos sistemas de segurança, de acordo com os procedimentos estabelecidos. Em situações anormais ele deve iniciar as ações de proteção com o auxílio do Encarregado e Supervisor. Ele ainda deve coordenar e dirigir as atividades dos operadores de área relacionadas a operação do reator.
- Operador do Circuito Secundário, atua sob supervisão direta do Encarregado, devendo monitorar e controlar a planta secundária conforme os requisitos do despacho de cargas, de acordo com os procedimentos estabelecidos. Em situações anormais ele deve iniciar as ações de proteção

com o auxílio do Encarregado e Supervisor. Ele ainda deve coordenar e dirigir as atividades dos operadores de área relacionadas a planta secundária.

Além da equipe de operação propriamente dita, a operação de um sistema complexo como uma usina nuclear envolve, como qualquer processo de produção, múltiplos times que devem trabalhar de forma coordenada e cooperar sempre que se fizer necessário.

2.2 As tarefas de operação

Os tipos fundamentais de tarefas operacionais descritos nesta seção foram identificados a partir da experiência operacional do setor nuclear e dos aportes da engenharia de fatores humanos. Após o acidente de TMI, diversos estudos neste sentido foram realizados por órgãos ou sob os auspícios do setor nuclear (BOVELL, C. et al, 1997; GENERAL PHYSICS CORPORATION, 1983; INPO, 1983). Algumas conclusões destes estudos, que refletem de forma bastante precisa a visão do setor nuclear a respeito das tarefas de operação, são apresentadas a seguir.

As tarefas de operação são genéricas, inclusive entre tipos diferentes de reatores como *Boiling Water Reactors* - BWR e *Pressurized Water Reactors* - PWR (que são os tipos de reatores existentes no Brasil, ver Anexo 1) e incluem tarefas executadas nos diversos modos de operação da planta: normal, anormal e em emergências (acidentes). As tarefas podem ser consideradas genéricas também quando levamos em consideração os vários postos de trabalho definidos para os operadores de salas de controle de reatores nucleares; a mesma composição de equipes de operação é usada em usinas semelhantes em todas as partes do mundo, numa padronização talvez só encontrada no setor aeronáutico. Operadores de Reator e Circuito Secundário – ROs são em primeiro lugar responsáveis pela monitoração de parâmetros e por manipulações dos controles. O trabalho normalmente executado pelos Operadores de Reator Senior – SROs (Supervisores e Encarregados) consiste na supervisão e auxílio do trabalho dos ROs e na realização de tarefas administrativas e de comunicação. Assim, as tarefas de operação podem ser classificadas em 5 tipos: 1)Tarefas de monitoração de funções; 2)Tarefas de manipulação de controles; 3)Tarefas de diagnóstico de falhas; 4) Tarefas de Comunicação, 5) Tarefas administrativas.

BOVELL e seus colegas (op. cit.) sugerem um fluxograma (figura 2.1) que relaciona logicamente, de forma normativa, sequencial e linear como os operadores devem executar as tarefas durante a operação da usina.

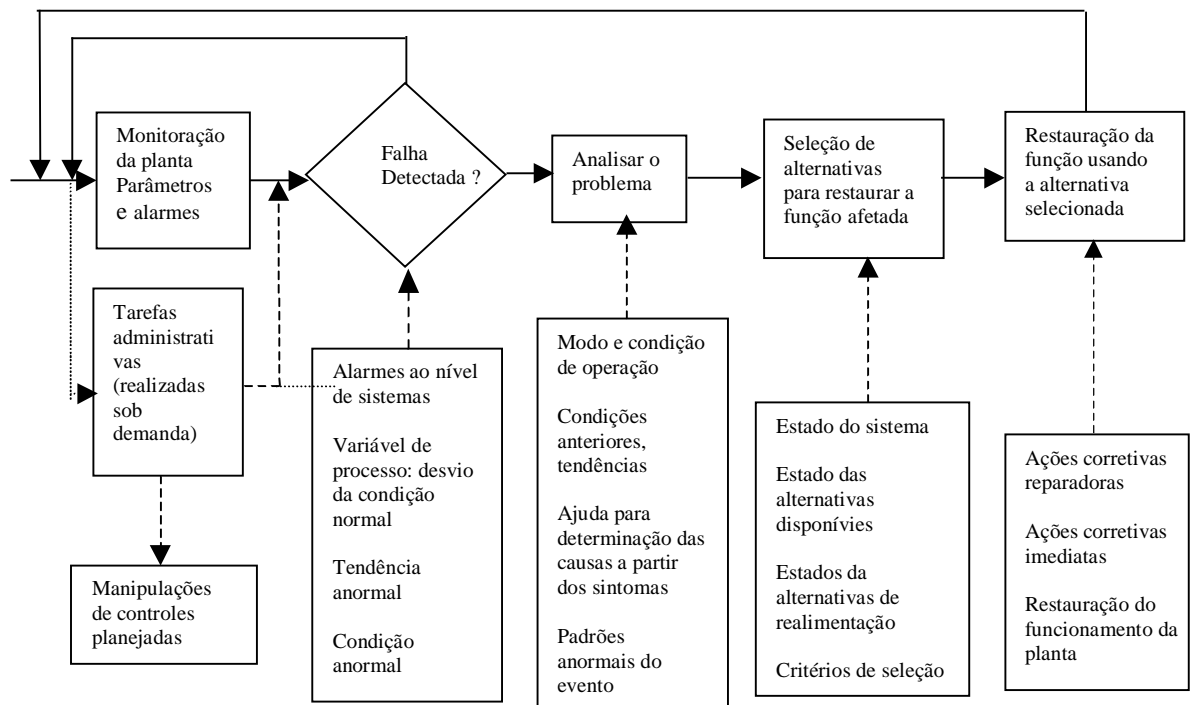


Figura 2.1 Normatividade das tarefas para operação de reatores.

Este tipo de modelagem normativa, linear e sequencial, desvinculada da situação real de trabalho, tem caracterizado a abordagem da escola de anglo saxônica de fatores humanos¹, e permite que o leitor tenha uma idéia geral do ponto de vista predominante no setor nuclear a respeito das características do trabalho dos operadores das usinas. Conforme o fluxograma da figura 2.1 observamos que, se durante a monitoração, o operador detectar uma falha num sistema ou componente, a causa da falha precisa ser analisada e a ação corretiva apropriada deve ser selecionada. Os operadores devem manipular os controles de modo que o sistema retorne às condições normais de

¹ Nos referimos aqui a uma série de autores de língua inglesa como Fitts, Sanders, Mc Cormick, Wickens, Meister, Salvendy, O'Hara, Swain, Snneiderman, Woodson, Wesley, Chapannis que dão importância primária as restrições que o sistema cognitivo humano impõe ao comportamento do operador, numa abordagem feita a partir das características cognitivas do ser humano que não considera o contexto ou ambiente de trabalho. O objetivo principal das pesquisas é identificar o modelo mental do operador em relação ao seu domínio de trabalho e a partir daí projetar uma interface compatível com o modelo.

operação. Quando as ações corretivas forem satisfatoriamente completadas, o operador deve retornar à tarefa de monitoração.

2.3 Os modos de operação do reator

Sem pretender apresentar uma descrição exaustiva a respeito dos diversos modos de operação de um reator nuclear, que foge ao escopo deste trabalho, aspectos relacionados ao desligamento, partida e operação em emergência serão descritos a seguir, uma vez que nosso estudo de caso foi realizado nestas condições de operação.

Desligamento (parada) do reator: O processo de parada ou desligamento de um reator nuclear se baseia na extinção da reação nuclear que ocorre no núcleo do reator, por meio da introdução neste núcleo de elementos que absorvem nêutrons (bancos de barras de controle e segurança e ácido bórico). A partir do momento em que são absorvidos mais nêutrons do que os produzidos nas fissões nucleares, a reação em cadeia, que gera calor e mantém o reator no chamado estado crítico, tende a se extinguir. Neste momento diz-se que o reator está num estado subcrítico.

Entretanto, em um reator nuclear, a geração de calor nos elementos combustíveis do núcleo prossegue, em função do decaimento dos produtos de fissão resultantes das reações nucleares nos elementos combustíveis, mesmo após o fim da reação em cadeia. Assim sendo, o processo de parada de uma usina nuclear requer que o núcleo continue sendo refrigerado, mesmo após a extinção da reação em cadeia, uma vez que esta geração de calor adicional, não sendo devidamente contrabalançada pelos circuitos de refrigeração (circuito especiais para remoção deste calor residual), pode gerar danos aos elementos combustíveis e até mesmo acidentes.

Para passar do estado subcrítico quente, como é chamado o estado logo após a queda de barras, no qual a temperatura no circuito primário é cerca de 320°C, até o estado subcrítico frio, temperatura de 50°C quando termina o processo de resfriamento, é necessário um período de cerca de 6 a 12 horas, dependendo do tipo de reator. Além disso, diversos componentes da planta, especialmente a turbina, requerem processos especiais de desligamento, pois um desligamento abrupto pode danificar o equipamento.

Estes processos são regidos por procedimentos bem definidos, cuja compreensão é importante para a análise do trabalho dos operadores. Assim sendo, algumas fases e definições contidas nestes procedimentos são apresentadas no Anexo 1 de forma

resumida. Algumas siglas de sistemas e abreviaturas – que se transformam em jargões profissionais – foram preservadas, pois elas serão úteis para a compreensão dos protocolos verbais, uma vez que os operadores se referem a sistemas, componentes e até mesmo a algumas tarefas por meio dessas siglas e abreviaturas.

A partida do reator: O objetivo do processo de partida é conduzir a usina do estado subcrítico frio sem pressão, que ela se encontra, até a geração máxima de potência. O processo de partida pode ser dividido nas seguintes fases:

- Evacuação do SRR (Sistema de Refrigeração do Reator) e início do aquecimento do tanque de água de alimentação para 120 °C;
- Enchimento do SRR com refrigerante (água);
- Preparação e realização do teste de estanqueidade do SRR e colocação e/ou preparação dos principais sistemas do lado secundário para operação;
- Aquecimento da central até 260 °C por meio das Bombas de Refrigeração do Reator - BRR e diluição do SRR;
- Criticalidade e aquecimento nuclear; aumento da potência até 100 %.

Analogamente ao processo de parada, o processo de partida é regido por procedimentos cujo resumo apresentamos no Anexo 1.

Operação em emergência: É a operação após o desligamento automático do reator, visando o gerenciamento de eventuais problemas que o acidente, que gerou a atuação do sistema automático, poderia causar. Dois conceitos distintos são utilizados para o gerenciamento de acidentes durante a operação em emergência: a orientação por evento e a orientação por função de segurança. A orientação por evento considera o tratamento específico do evento que causou o acidente (postulado). O forte acoplamento entre os sistemas e a conexão direta entre a causa e o acidente, permite que sejam estabelecidos guias bem definidos para o gerenciamento do acidente, que são escritos na forma de procedimentos (ver Anexo 1 para exemplos de procedimentos). Nas usinas tipo PWR, a partir de uma conexão direta causa/efeito, os acidentes postulados são classificados nos seguintes grupos: 1) Acidentes de perda refrigeração (*Loss of Coolant Accident* - LOCA, *Steam Generator Tube Rupture* - SGTR); 2) Acidentes no circuito secundário; 3) Impactos externos.

Na abordagem orientada por evento, o método, a extensão e a sequência de ações que devem ser tomadas pela equipe de operação são apresentadas nos

procedimentos denominados *Emergency Operating Procedure* – EOP, na forma de roteiro ou fluxograma (ver Anexo 1). O requisito essencial para a utilização do conceito de operação orientada por evento é a existência de um diagnóstico válido, que precisa ser previamente elaborado (antes da seleção do procedimento) pela equipe de operação.

Após o diagnóstico ter sido feito, isto é, se o evento que causou o acidente é conhecido, é possível prever o curso do acidente a partir do conhecimento disponível da planta (característica do projeto, experiência operacional, simulações em computador de acidentes etc.) e agir contra os perigos possíveis para a usina (danos ao combustível, componentes etc.), ou para as pessoas (liberação de radiação), realizando ações manuais no momento correto. Assim sendo, sob o conceito de gerenciamento de acidente orientado por evento, a existência de um diagnóstico válido é a condição necessária e suficiente para que seja escolhido um determinado procedimento que, se seguido a risca pela equipe de operação, irá levar a planta para um estado seguro.

É claro que em função da complexidade do sistema, suas múltiplas interações e possibilidades de combinação de eventos causadores, os sintomas observados não permitem sempre uma identificação ou diagnóstico sem ambiguidades da causa de acidentes. É possível, até mesmo, que um evento desconhecido seja a causa do acidente. Até que esta identificação das causas (sem ambiguidade), ou diagnóstico seja feito e os operadores possam usar procedimentos específicos, segundo o conceito de operação orientada por evento, é necessário que os operadores tenham algum tipo de ajuda. Para isto é utilizado um segundo conceito operacional em caso de acidentes: a operação orientada por funções de segurança. As funções críticas de segurança são aquelas funções que precisam ser mantidas dentro de determinadas margens para que não haja danos em sistemas ou componentes do reator. Nos reatores PWR normalmente são consideradas 7 funções críticas e de segurança: subcriticalidade, resfriamento do núcleo, inventário de refrigerante no lado do primário, transporte de calor no lado do primário, capacidade de retirada de calor no lado do secundário, alimentação do gerador de vapor, integridade do circuito primário.

O conceito de gerenciamento de acidentes orientado por funções de segurança objetiva assegurar que as funções de segurança sejam cumpridas, isto é, seus parâmetros indicadores estejam dentro das margens ou critérios de segurança especificados. Para isso os operadores devem monitorar continuamente as 7 funções críticas e de segurança e realizar ações sempre que algum critério estiver ameaçado ou for violado usando procedimentos do tipo *Safety Function Procedures* – SFP.

O esquema da figura 2.2 ilustra os aspectos básicos da filosofia da operação em emergência. Durante a operação normal os operadores monitoram continuamente a funções críticas e de segurança - FCS. A ocorrência de um dado evento leva as FCS para o limiar dos critérios de segurança. Se os operadores não conseguirem restabelecer os valores para uma condição segura, o sistema automático provoca a queda de barras de controle, interrompendo a reação nuclear. A partir deste momento, os operadores usam procedimentos do tipo SFP para tentar identificar e diagnosticar o evento estabelecendo a relação de causa/efeito necessária para o uso de um procedimento de um procedimento detalhado do tipo EOP. Vemos então, que o aspecto crítico dessa filosofia de gerenciamento de acidentes é a identificação e diagnóstico de acidentes, ou mais especificamente, como os operadores se utilizam das diversas fontes de informação disponíveis para chegar ao diagnóstico do acidente e, então, selecionar o EOP correspondente a situação.

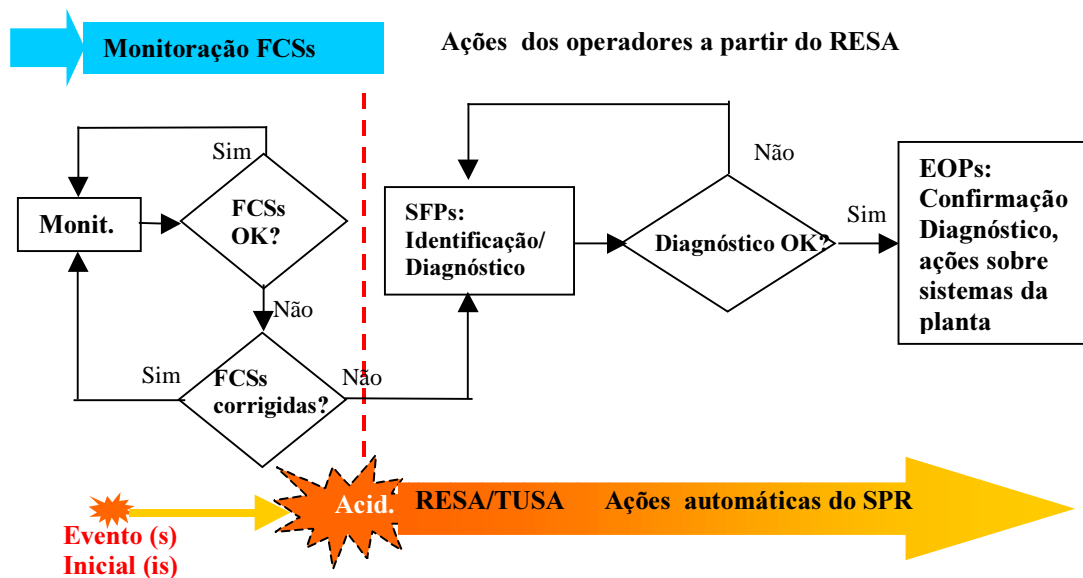


Figura 2.2 Ações do operadores e ações automáticas após um evento.

Podemos considerar que as atividades relacionadas ao diagnóstico de eventos são bastante complexas, remetem ao uso de diversos procedimentos em paralelo, numa condição natural de aumento de *stress* (um acidente evoluindo) e de eventuais dificuldades para que uma adequada avaliação/consciência da situação seja construída. Reconhecendo estas dificuldades é que se estabelece que a principal tarefa dos operadores, ao longo da operação da usina, é o monitoramento das funções de segurança

(BOVELL, C. et al., 1997). Se o ambiente de trabalho permitir que os operadores se concentrem nesta tarefa, a identificação do tipo de acidente se inicia ainda na fase de monitoração, a partir do momento em que as variáveis críticas e de segurança saem de seu estado normal no início do(s) evento(s) cuja evolução poderia levar ao acidente. Uma monitoração eficiente das funções de segurança pode prevenir o disparo das ações automáticas para o desligamento do reator. O Anexo 1 apresenta uma descrição resumida de procedimentos do tipo EOP e SFP da usina nuclear que analisamos no estudo de caso.

2.4 As organizações e o trabalho dos operadores

Na indústria do petróleo, outro setor industrial que lida com tecnologias perigosas, a abordagem normativa, linear/sequencial do comportamento humano ilustrada pelo fluxograma da figura 2.1 no setor nuclear, também se faz presente. O *Offshore Petroleum Industry Training Organisation's* – OPITO, em 1997, elaborou documento que estabelece critérios para um desempenho efetivo na resposta de emergências. Foram estabelecidos 8 critérios para uma tomada de decisão do Supervisor de plataforma de petróleo em emergências (OPITO, 1997):

1. A informação sobre todas as fontes apropriadas é obtida, avaliada e confirmada o mais rápido possível.
2. Os recursos apropriados são usados durante a emergência.
3. Interpretações válidas de todas as evidências são feitas e decisões válidas são tomadas.
4. Os problemas (saídas) potenciais e respostas possíveis são revistas em relação a conseqüências e probabilidades.
5. Um plano de ação é desenvolvido e continuamente revisado em função das contingências.
6. Ações apropriadas são tomadas o mais rápido possível.
7. As equipes de emergência são coordenadas e dirigidas de modo efetivo;
8. Práticas de trabalho seguras e conforme a legislação de saúde e segurança.

Voltando ao setor nuclear podemos observar diversos exemplos da influência que o modelo normativo para o processamento de informação humana tem no setor. O *Institute of Nuclear Power Operators* – INPO criou em 1993 o Comitê Especial de

Revisão de Performance Humana, formado por especialistas em performance humana (fatores humanos) e representantes de usinas nucleares americanas. Em setembro de 1997 o comitê lança o documento: Excelência em Performance Humana (INPO, 1997) que recomenda estratégias conservativas para tomadas de decisão, que visem colocar a planta numa condição segura em situações não familiares:

1. Parar o serviço rotineiro.
2. Envolver a equipe.
3. Utilizar técnicas de resolução de problemas.
4. Determinar a maneira mais efetiva (opção ótima) de continuar a ação.
5. Verificar as suposições antes de escolher um curso de ação.

O INPO realiza treinamentos, visando a melhora do desempenho de trabalhadores do setor nuclear, em diversos países, por meio da WANO – *World Association of Nuclear Operators* (versão internacional do INPO), inclusive no Brasil. O programa parte da sigla STAR – *Stop, Think, Act, Review*, preconizando o mesmo tipo de postura normativa para uma melhoria no desempenho dos trabalhadores das usinas (WANO, 2000).

MUMAW e seus colegas (1994), em estudo feito sob os auspícios da USNRC, descrevem o processamento da informação para execução de uma tarefa de um operador de usina nuclear, até a tomada de decisão, como sendo composto pelas seguintes fases: 1) detecção e monitoração, 2) avaliação da situação, 3) seleção de opções, 4) planejamento (escolha da opção ótima), 5) execução.

Estes elementos sugerem que o projeto do trabalho nas organizações que lidam com tecnologias perigosas pressupõem um modelo de tomada de decisão normativo, baseado em informações obtidas de todas as fontes disponíveis, utilização apropriada (ótima) de recursos, validação da interpretação da informação, seleção de opções e validação das mesmas antes de implementar aquela que seria a melhor (ótima). Além disso, uma verificação das conseqüências potenciais e probabilidades relacionadas ao resultado das ações, o desenvolvimento de um plano de ação e intervenções rápidas são requeridos.

Em base ao exposto surgem questões fundamentais: como os operadores realmente tomam decisões, tanto em situações de emergência, quanto durante seu dia-a-dia de trabalho? Esta tomada de decisões está de acordo com aquela preconizada pela organização como sendo a mais adequada para uma operação mais segura? Em caso de

resposta negativa da questão anterior, qual seria o caminho seguir: tentar mudar a forma como os operadores efetivamente tomam decisões, ou rever, a luz de novos conceitos sobre as estratégias cognitivas e das restrições do contexto envolvidas nos processos de tomadas de decisão, as bases do projeto do trabalho concebido pela organização?

Fornecer subsídios para responder estas perguntas é um dos objetivos desta tese: examinando as estratégias cognitivas por meio dos quais operadores chegam a uma decisão durante seu trabalho diário e procurando classificar o tipo de estratégia adotada, se é uma tomada de decisão normativa, como colocada pelos requisitos do OPITO (1997), ou INPO (1997), ou uma estratégia de Tomada de Decisão Naturalista – TDN (KLEIN, 1989). No próximo capítulo apresentamos um quadro teórico sobre as pesquisas e modelos desenvolvidos em TDN, que se constituem na base teórica para a modelagem das tomadas de decisão dos operadores.

2.5 Resumo do capítulo

Neste capítulo as tarefas de operação foram descritas realçando a visão normativa do trabalho das organizações do setor nuclear. Alguns modos de operação de reatores nucleares foram descritos, emoldurando o estudo caso dessa pesquisa. Os modelos de competência para as tomadas de decisão de operadores dos setores de petróleo e nuclear foram descritos, mostrando a sua fundamentação também normativa, de modo a enfatizar a importância da necessidade de sabermos se os operadores realmente tomam decisões conforme os padrões de competência normativos apregoados pela indústria.

CAPÍTULO 3 TOMADAS DE DECISÃO NATURALISTAS

As pesquisas sobre Tomadas de Decisão Naturalistas – TDN buscam descobrir como as pessoas, trabalhando isoladamente ou em equipe em ambientes dinâmicos, incertos, e que eventualmente, requerem um tempo de resposta pequeno, identificam e avaliam a situação, tomam suas decisões e executam ações, cujas consequências são significativas para elas e para toda a organização onde elas operam (ZSAMBOK & KLEIN, 1997). Tomada de Decisão Naturalista é um termo relativamente novo, que se refere a como pessoas tomam decisões nos ambientes complexos do mundo real (KLEIN et al., 1993; LIPSHITZ et al., 2001). Os pesquisadores em TDN procuram obter informações a respeito de como os operadores ou tomadores de decisão utilizam as informações contextuais e o seu conhecimento, e também procuram descobrir como os fatores do contexto influenciam o processo de tomada de decisões. Parte-se da premissa de que o processo de tomadas de decisão é específico da situação (EBBESEN & KONECI, 1980), sendo portanto, imperativo considerar características do contexto para entender as decisões. Neste capítulo descrevemos as características das pesquisas em TDN e suas diferenças em relação a teoria da tomada de decisão normativa. Resumimos as principais contribuições das pesquisas realizadas, antes de apresentar alguns modelos de TDN, originados a partir de uma grande variedade de estudos. Finalmente apresentamos algumas pesquisas onde estes modelos foram aplicados e testados.

3.1 TDN – Uma abordagem alternativa

As pesquisas em TDN são conduzidas de modo a compreendermos como decisões em ambientes naturais são tomadas. Este objetivo distingue uma abordagem naturalista ou ecológica (KLEIN et al., 1993) de uma análise normativa de julgamentos e decisões baseada em experimentos de laboratório (EDWARDS, 1954). DOWELL, SMITH & PIDGEON (1997) sugerem que a distinção entre abordagens naturalistas e normativas pode ser resumida ao longo de 3 dimensões fundamentais: ontologia, epistemologia e metodologia. Baseadas nestas 3 dimensões, as escolas naturalista e normativa geralmente fornecem visões alternativas para a compreensão do processo de tomada de decisão.

Ontologicamente, a abordagem naturalista da TDN aporta uma significância bem maior ao ambiente ou contexto como raiz para as variações do comportamento nas

tomadas decisão e se baseia em aportes da Psicologia Ecológica (BRUNSWICK, 1956; GIBSON, 1966, 1979; NEISSER, 1987).

GIBSON (op. cit.) elaborou uma teoria específica sobre a aquisição de habilidades pelos seres vivos, que vê o processo de adquirir habilidades a partir da educação da atenção¹. Economia cognitiva e relevância de meta são os outros pilares desta teoria que se transformou na base da Psicologia Ecológica (REED, 1996). GIBSON afirmou que a experiência é o resultado de um processo no qual as pessoas aprendem a estratégia mais econômica para realizar uma determinada tarefa, e assim podem se concentrar no menor número possível de características ou recursos importantes e relevantes para atingir uma meta. A estes recursos do ambiente que podem ser discriminadas com sucesso, dentre as infinitas possibilidades de um ambiente natural rico em informação, para que metas sejam atingidas GIBSON (op. cit.) chamou de *affordances*. Ele considerou que o processo de aquisição de habilidades especiais (experiência) é baseado em mudanças no direcionamento da atenção, sendo o objetivo principal a identificação da informação de ordem mais alta que produz um diagnóstico adequado, informação esta que pode, ainda, ser utilizada para atualizar as metas de tarefa. O treinamento da atenção pode ser alcançado por abstração, filtragem e otimização de busca perceptiva, que não é independente do processamento da informação. O processo de aquisição de habilidades consistiria assim, numa adaptação gradual e direcionada dos seres vivos às restrições impostas pelo ambiente. Peritos são aqueles aprenderam trabalhar no seio do sistema, e explorar a seu favor, o conjunto de restrições que definem o seu domínio de *expertise*.

FLACH (1990) sugeriu que o operador humano e seu ambiente de trabalho não podem ser estudados de forma independente, porque eles são reciprocamente acoplados e operam em sintonia. Ao contrário, a abordagem normativa minimiza, ou até mesmo ignora a influência do ambiente (VICENTE, 1995).

MEISTER (1989) se refere a esta distinção como a diferença entre perspectivas de sistema e perspectivas psicológicas (ou “cognitivistas”).

REED (1997) é mais radical e discorre sobre a falência da abordagem cognitivista da psicologia, que trata seres humanos como processadores de informação, afirmando que: “Ninguém até hoje sequer tentou conectar a teoria da informação de

¹ Para uma revisão das idéias de GIBSON ver REED, E., (1996) e LOMBARDO, T. J., (1987).

SHANNON (1969) com a cognição humana, e o uso de informações teoricamente quantificadas em laboratórios de psicologia é coisa do passado” (REED, op. cit.).

A abordagem ecológica ou naturalista, usada pelos pesquisadores em TDN, serve como base para a Engenharia de Sistemas Cognitivos (HOLLNAGEL, 1998; RASMUSSEN et al., 1994), e compartilha temas com a teoria de sistemas (GIBSON, op. cit) e, conforme vimos no capítulo 1, com a abordagem sócio-técnica e a ergonomia.

Em termos da epistemologia, a TDN, assim como a ergonomia (conforme as discussões do seminário GENTE/COPPE, 2003) e outras ciências que lidam com contextos situados, sofre com as restrições do paradigma mãe da ciência ocidental que pode ser resumido em 2 palavras – reprodutibilidade e generalidade (KUHN, 1962).

Assim, em termos de epistemologia a TDN difere novamente da teoria clássica ou normativa de tomadas de decisão. DOWELL e seus colegas (1997) notam que, “*teorias para serem aceitas pela abordagem normativa precisam ter a possibilidade de reproduzir seus resultados (falsifiable) e produzir novas previsões.*” De fato, os experimentos em Tomada de Decisão Normativa são conduzidos em laboratório, onde é possível o controle das variáveis, e têm sido geralmente voltados para áreas como estatística, economia e probabilidade, resultando em modelos quantitativos, úteis para uma pesquisa empírica controlada (por exemplo, VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986). Modelos normativos derivados destes estudos têm variado consideravelmente. Como observamos eles são oriundos e, conseqüentemente, mais apropriados para situações bem definidas, onde um planejamento é possível e a pressão temporal tem pouca importância. Um modelo típico de tomada de decisão normativa poderia ser composto das seguintes etapas: gerar um conjunto de opções, gerar um conjunto de critérios para avaliar estas opções, assinalar pesos para os critérios de avaliação, realizar cálculos, comparar cada opção com o respectivo critério, determinar a melhor (ou ótima) escolha (DOHERTY, 1993). Modelos normativos desenvolvidos a partir de pesquisa em laboratório têm algumas limitações, como consumir muito tempo e envolver cálculos complexos para a busca solução da ótima, por exemplo o *Multi Attribute Utility Analysis - MAUT* (EDWARDS & NEWMAN, 1992) e o *Subjectively Expected Utility Theory – SEUT* (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986). Enquanto a pesquisa em laboratório tem a vantagem de possibilitar um maior controle das variáveis, algumas dessas variáveis como risco pessoal, de vida, por exemplo, não podem ser simuladas. Assim sendo, também para os modelos normativos, derivados de estudos em laboratório a partir de tarefas específicas e isoladas do contexto, a

generalização para as demandas da vida real é difícil. Esta discrepância é o desafio que os pesquisadores em TDN têm procurado focar nos estudos em ambientes reais de trabalho.

A abordagem ecológica da TDN tem criado modelos relativamente pouco detalhados, de alto nível e descritivos, o que HOLLNAGEL (1998) chamou de *Folk Models*. Estes modelos resultam de dados e medições que refletem aspectos salientes da situação do operador, tais como controle da atenção, consciência da situação, tomada de decisão, carga de trabalho, normalmente relacionados a estados cognitivos intermediários em vez do desempenho global. Estas medições são assumidas como um substituto válido para o desempenho real, uma vez que elas se referem a um estado intermediário essencial ou a uma intervenção, em outras palavras, não se pretende modelar o operador enquanto ser humano, mas apenas alguns aspectos de sua atividade cognitiva durante as interações com o sistema controlado. Mais especificamente, a pesquisa em TDN, por meio de seus modelos, tenta descrever como decisões são tomadas durante o trabalho dos operadores. Ela se baseia em observações de eventos dinâmicos os quais são então trabalhados mediante hipóteses e paradigmas.

Em termos metodológicos, as abordagens naturalista e normativa diferem novamente. A abordagem normativa é geralmente associada ao reducionismo experimental, derivado da racionalidade técnica e do paradigma mecanicista da engenharia clássica, e a abordagem naturalista associada ao holismo, baseada em estudo de casos, e utilizando aportes da teoria dos sistemas complexos. KLEIN (1995) sugere que um dos elementos-chaves que diferenciam estudos ecológicos e normativos é a experiência ou competência dos sujeitos. Nas pesquisas baseadas em laboratório, a experiência é um fator de confusão porque, se os sujeitos do experimento diferem com relação ao conhecimento da tarefa, os resultados serão afetados. Os estudos são então projetados usando tarefas novas de modo a assegurar que os sujeitos tenham pouca ou nenhuma experiência prévia. O ganho em rigor científico, assim obtido, impacta diretamente na aplicabilidade dos resultados, uma vez que a influência da experiência é ignorada. STERNBERG (1995) identificou este aspecto como um dos problemas-chaves associados à pesquisa da solução de problemas complexos por peritos.

Os pesquisadores em TDN, geralmente, usam técnicas como observações, entrevistas, simulações (do ambiente real em casos especiais) e estudos de campo, de modo a identificar os processos cognitivos mais relevantes. Entretanto, isso não implica que não haja trabalhos relevantes em laboratório. Diversas equipes de pesquisadores,

como por exemplo, a pesquisa TADMUS – *Tactical Decision Making Under Stress* (HUTCHINS & KOWALSKI, 1993) usam tarefas baseadas em laboratório ou simuladores *full scope*, mas o foco da investigação é o processo de tomada de decisão como um todo, em lugar de uma única tarefa ou evento.

Esta notável mudança nos objetivos e metodologias da pesquisa, que beira a uma mudança de paradigma, vem sendo observada em diversos campos, como na teoria das organizações, segurança e pesquisa de acidentes (RASMUSSEN, 1997). RASMUSSEN (op. cit.) observa que a TDN segue uma trajetória já percorrida em diversos outros campos, onde as formas de elaboração de teorias, que eram inicialmente abstratas e normativas, como por exemplo a *Multi Attribute Utility Analysis* – MAUT (EDWARDS & NEWMAN, 1992) e a *Subjectively Expected Utility Theory* – SEUT (VON WINTERFELDT & EDWARDS, 1986), envolvendo modelos e cálculos complexos, vêm sendo substituídas (ou complementadas) por modelos descritivos que identificam os desvios das normas, como por exemplo, a Teoria Prospectiva (TVERSKY & KAHNEMAN, 1974). Estes autores sugerem que tomadores de decisão geralmente aplicam um conjunto amplo de heurísticas, mesmo quando estas heurísticas têm como resultado um desempenho sub ótimo. Teorias baseadas em heurísticas têm sido transpostas para modelos descritivos enfatizando os fenômenos por si só, sem referência a normas abstratas, como nos modelos de Controle Cognitivo de RASMUSSEN (1983) e de Tomada de Decisão Preparada pelo Reconhecimento de KLEIN (1989).

Estes modelos descritivos, dentre outros usados na TDN, serão detalhados posteriormente nesta revisão teórica. Entretanto, antes de discutirmos os modelos, apresentaremos a seguir as características principais com que lidam os pesquisadores em TDN.

3.2 Características das pesquisas em TDN

As características principais dos ambientes onde os estudos de tomadas de decisão naturalistas são realizados, e que os diferenciam dos estudos normativos de laboratório são (KLEIN, 1993; ORASARU & CONNOLLY, 1993):

1. Problemas pouco ou mal estruturados.
2. Ambientes de trabalho dinâmicos e incertos (complexos).
3. Transições pouco definidas, ou objetivos conflitantes.

4. Malhas de ação realimentadas.
5. *Stress* ou pressão temporal.
6. Agentes múltiplos (necessidade de cooperação).
7. Objetivos e normas da organização.
8. Experiência do tomador de decisão.
9. Procedimentos falhos e incompletos.

1 Problemas pouco ou mal estruturados: Os problemas encontrados na vida real em sistemas complexos raramente são simples e facilmente compreendidos. O tomador de decisão normalmente precisa buscar mais informações para construir hipóteses sobre o que está ocorrendo e ser capaz de gerar opções que levem a respostas apropriadas. Características da situação podem ser estar conectadas entre si por meio de interações complexas e associações causais.

2 Ambientes dinâmicos e incertos (complexos): Objetivos de curto prazo mudam frequentemente durante uma situação, como resultado de mudanças nas prioridades. As condições dinâmicas podem acarretar mudanças no que é realmente importante ao longo da evolução da situação. As escolhas e prioridades entre diferentes fatores como, por exemplo, tempo e perigo, precisam ocorrer, frequentemente envolvendo uma grande incerteza no lado do tomador de decisão.

3 Transições pouco definidas, ou objetivos conflitantes: Tomadas de decisão naturalistas ocorrem em situações onde a informação é incompleta ou imperfeita (situação real). O tomador de decisão pode ter informação sobre uma parte do problema, mas não sobre todas as outras. É rara a situação na qual uma decisão possa ser tomada baseada apenas num objetivo dominante simples, bem compreendido. Ao contrário, espera-se que o tomador de decisão seja guiado por múltiplos objetivos, alguns dos quais podem não estar claros e outros podem ser naturalmente contraditórios (ORASANU & CONNOLLY, 1993).

4 Malhas de ação realimentadas: Situações dinâmicas em sistemas complexos são caracterizadas por séries de eventos que ocorrem ao longo do tempo. O tomador de decisão raramente dispõe de toda informação necessária. Informações incompletas, não confiáveis, perdidas (na entropia do sistema cognitivo homem/máquina), ambíguas, errôneas estão na ordem do dia da maioria das situações de trabalho. Uma ação pode ou não ser apropriada, mas a malha de realimentação respectiva, apresentando o resultado da ação pode auxiliar o tomador de decisão na correção de seus planos (num processo

de tentativa e erro). As malhas de realimentação, entretanto, podem complicar ainda mais a situação. Elas podem, quando interligadas através de diversos sub sistemas fortemente acoplados, distorcer uma relação causa/efeito simples, em particular quando existem atrasos nas malhas do sistema. Assim sendo, as malhas de ação/realimentação podem auxiliar ou prejudicar o processo de tomada de decisão (AMALBERTI, 1996).

5 Pressão temporal: As decisões nos sistemas complexos modernos são usualmente tomadas sob considerável pressão temporal, o que traz várias implicações. Os tomadores de decisão podem ser obrigados a conviver com um alto nível de *stress* pessoal e adotar estratégias de simplificação de raciocínio para diminuição do custo cognitivo (AMALBERTI, 1996; PAYNE et al., 1988). Assim sendo, as estratégias para tomadas de decisão que dependem de uma exaustiva fase de deliberação se tornam impraticáveis (decisões normativas). Esta é a contradição das teorias normativas que são grandes consumidoras de tempo e envolvem cálculos complexos. Contradição esta que, por analogia, podemos estender ao projeto de trabalho baseado em normas e prescrições das organizações que lidam com tecnologias de risco. O tomador de decisão em ambientes dinâmicos – o operador na sala de controle ou o piloto na cabine de comando – simplesmente não têm tempo, nem capacidade ou recursos de processamento cognitivo para gerar e, de forma concorrente, avaliar opções, além de simultaneamente buscar as informações necessárias e avaliar a situação, como sugerem as abordagens normativas.

6 Agentes múltiplos: A maior parte dos ambientes complexos nos quais a TDN é estudada, como nas organizações que lidam com tecnologias de risco, envolve mais de um tomador de decisão, pois a informação se encontra distribuída no sistema. Deste modo, a maior parte das tomadas decisão envolvem, em algum grau, o trabalho em equipe. Emergem daí novas dificuldades potenciais para os tomadores de decisão relacionadas a bloqueios nas comunicações, relações funcionais mal resolvidas e diferentes formas de pensamento nos diversos grupos envolvidos, são aspectos sempre presentes (ORASANU & CONNOLLY, 1993).

7 Objetivos e normas da organização: Decisões não são tomadas independentemente dos valores organizacionais. As organizações têm suas prioridades, valores, culturas e os comunicam formal e intencionalmente, por meio de regras, procedimentos, controles, avaliações: os valores expostos. Entretanto, informalmente, a partir da percepção das pessoas, ou grupos, da melhor maneira de conviver com o ambiente organizacional emergem os valores assumidos: as percepções, credos, rotinas

criadas *ad hoc* que, inconscientemente, se transformam em fontes de valores para ação na organização (SCHEIN, 2002). A cultura organizacional formada a partir de todos esses fatores, baliza o estabelecimento de indicadores de práticas de trabalho aceitáveis, proibições e perspectivas. Os tomadores de decisão estão conscientes do que se espera deles, formal e informalmente, e podem agir de acordo com estas expectativas, que se não forem coerentes, são evidentes causas potenciais de tensão no tecido social da organização.

8 Experiência do tomador de decisão: Todos os operadores habilitados para operar sistemas complexos possuem alguma experiência em lidar com problemas específicos de seu contexto de trabalho. Tomadores de decisão mais experientes podem frequentemente atingir um nível elevado de habilidade que pode ser mais diretamente aplicado à situação. A experiência aumenta o poder de reconhecimento de padrões e formação de uma representação da situação, liberando os recursos cognitivos para serem aplicados no diagnóstico ou solução de problemas (AMALBERTI, 1996; WICKENS, 1992).

9 Procedimentos falhos e incompletos: Como vimos nos capítulos 1 e 2 procedimentos, tanto para situações normais como para emergências, são utilizados pelas organizações que lidam com tecnologias de risco. Se os procedimentos abrangessem todos os aspectos relacionados à operação, haveria pouca necessidade de tomadas de decisão. Entretanto, face a incompletude estrutural de procedimentos para sistemas complexos já discutida, existe uma série de problemas com relação a elaboração, seleção e uso dos procedimentos, conforme as questões levantadas no capítulo 1.

É claro que nem todos os estudos em TDN contém todas essas variáveis, de fato algumas estratégias naturalistas são aplicadas justamente quando faltam algumas destas características (procedimentos, por exemplo). Entretanto, a maioria das características mencionadas acima estão presentes na operação dos sistemas complexos, desafiando os operadores no seu trabalho diário e o que nos interessa é modelar como as pessoas tomam decisões sob estas condições.

3.3 Resultados de pesquisas em TDN

Diversos resultados de pesquisas em tomadas de decisão naturalista em ambientes dinâmicos (reais) têm sido contraditórios com os obtidos em pesquisas

anteriores de laboratório, baseadas no modelos normativos clássicos, fornecendo diferentes perspectivas para a disciplina. Alguns destes resultados serão resumidos a seguir.

1. Em situações reais (dinâmicas) de resolução de problemas, peritos tendem a gerar uma única e altamente provável opção de solução e avaliar sua adequação às condições atuais do problema (KLEIN, 1993; LIPSHITZ, 1993). Se a solução é considerada satisfatória, ela é implementada, se não, ela é alterada, ou uma nova opção é criada e o processo é repetido.
2. A principal diferença entre pessoas mais e menos experientes é a sua avaliação da situação, não sua capacidade de raciocínio (CHI et al., 1988; ENDSLEY, 1995b; KLEIN, 1989; AMALBERTI, 1996). O estado do sistema pode ser avaliado rapidamente usando a base de conhecimento do tomador de decisão experiente. O processo de identificação automaticamente conduz a recuperação de uma ou mais alternativas de ação que constituem as respostas apropriadas (ORASANU & CONNOLLY, 1993).
3. Tomadores de decisão usualmente adotam uma decisão satisfatória em vez de uma estratégia ótima. Isto é, eles selecionam uma estratégia adequada que satisfaça aos requisitos mínimos para uma solução, que pode não ser a melhor (KLEIN, 1993).
4. Em vez de ser conduzido como um algoritmo computacional, o raciocínio é conduzido por Esquemas (ver seção a seguir para uma definição de Esquema). Tomadores de decisão usam seus conhecimentos e intuição para analisar o problema, decifrar a situação, e definir qual informação é útil para a identificação de uma solução (NOBLE, 1993). Este processo permite uma rápida avaliação, busca e interpretação das informações, além de uma seleção do curso das ações, uma clara vantagem em situações de pressão de pressão temporal e saturação de recursos cognitivos. Uma importante característica da abordagem guiada por Esquemas é que as pessoas formulam modelos causais das circunstâncias. A compreensão é derivada de inferências a respeito dessas relações causais (PENNINGTON & HASTIE, 1988) baseadas numa interpretação do significado dos eventos. As pessoas

procuram entender as intenções dos outros e considerar as ações sugeridas antecipando suas consequências futuras (LIPSHITZ,1993).

5. Raciocínio ou diagnóstico e ação são entrelaçados e não segregados (AMALBERTI, 1996; CONNOLLY & WAGNER, 1988). As pessoas não analisam todos os detalhes possíveis de uma situação, ao contrário, pensam em pequenas partes, e agem sobre elas, a seguir avaliam as saídas e pensam e agem mais um pouco (GABA, 1992; ORASANU & CONNOLLY, 1993). Este processo contínuo de reavaliação reflete a dificuldade cognitiva causada pelas situações dinâmicas em sistemas complexos, gerando diversas malhas de realimentação, específicas para cada desdobramento da situação (AMALBERTI, 1996).

Após a descrição das características das pesquisas em ambiente natural e sua comparação com estudos analíticos de laboratório e dos principais resultados alcançados pelos estudos na área de tomada de decisão naturalista – TDN, nossa atenção será dirigida para a apresentação de modelos, paradigmas, taxonomias e hipóteses desenvolvidas a partir de estudos de tomadas de decisão em sistemas complexos.

3.4 Modelos em TDN

Conforme os resultados das pesquisas em TDN da seção anterior, o raciocínio usado para tomada de decisões em ambientes naturais parece ser guiado por esquemas e não por um processamento sequencial da informação (ENDSLEY, 1988; ORASANU & CONNOLLY, 1993; AMALBERTI, 1996). Assim sendo, não surpreende que diversos modelos tragam vários elementos, explícitos ou implícitos, da teoria dos esquemas (BARTLETT, 1932). Deste modo, parece apropriado introduzir a teoria dos esquemas que pode ilustrar a formulação de muitos destes modelos.

3.4.1 A teoria dos Esquemas

A teoria dos esquemas foi originalmente desenvolvida por BARTLETT (1932) e, posteriormente, após um período de dormência vem sendo aplicada por pesquisadores de diferentes correntes da psicologia, em diferentes campos, como aprendizado motor

(SCHMIDT, 1975), visão computacional (MINSKY, 1975), e interpretação de estórias (RUMELHART, 1975).

Esquemas são estruturas de conhecimento de alto nível, armazenadas na memória de longo prazo (MLP), que contêm informações tais como as características dos ambientes e comportamentos relevantes para uma situação particular. NEISSER (1976) sugere que os Esquemas são estruturas cognitivas ligadas a domínios e situações específicas, que direcionam a busca de informações externas, distinguem entre quais informações devem ou não ser atendidas, organizam as informações obtidas em categorias na memória, e dirigem a recuperação de informações na memória. Os Esquemas se tornam mais complexos e abrangentes em função da experiência. A informação sobre situações novas é adaptada ou agregada em Esquemas já existentes contendo informações de natureza similar. Uma considerável quantidade de detalhes é perdida por meio deste processo de simplificação da codificação. Entretanto, esta simplificação permite que a informação se torne mais organizada e coerente para o armazenamento, recuperação, e posterior processamento (MAYER, 1983). Os Esquemas são usados para gerar padrões de comportamento adequados para uma dada situação baseados no reconhecimento ou analogia. SCHANK & ABELSON (1997) descreveram a noção de Roteiro, como um tipo particular de esquema, que fornece seqüências de ações apropriadas para vários tipos de tarefas. Conexões entre os Esquemas e Roteiros enriquecem os processos cognitivos, uma vez que o indivíduo terá ao seu dispor ações automáticas a mão, em vez de ter que tomar decisões a todo o momento.

ENDSLEY (1995a) desenvolveu um modelo de consciência da situação que incorpora tomadas de decisão dinâmicas (figura 3.1). Ela enfatiza a importância da distinção entre Esquema e Modelo Mental com relação ao seu impacto nas tomadas de decisão. Esta distinção é relacionada ao armazenamento na memória. Esquemas e Roteiros se localizam na MLP e os Modelos Mentais, construções específicas para uma dada situação, se localizam na memória de trabalho – MT. O uso de Esquemas e Roteiros está baseado em reconhecimento e casamento de características, enquanto os Modelos Mentais são construções mais complexas usadas para interpretar e compreender a situação. Isto é, em situações familiares, tomadores de decisão experientes podem, a partir de seu domínio de conhecimentos usar atalhos (contidos nos Esquemas e/ou Roteiros) no processo de tomada de decisão. Em situações menos claras, eles necessitam utilizar métodos mais intrincados para chegar à solução. O modelo de

ENDSLEY é similar tanto ao modelo de Controle Cognitivo de RASMUSSEN (RASMUSSEN, 1983), quanto ao modelo de Tomada de Decisão Preparada por Reconhecimento de KLEIN (1989). Entretanto, a ênfase é na consciência da situação e identificação do problema, com pouca descrição do processo de tomada de decisão propriamente dito.

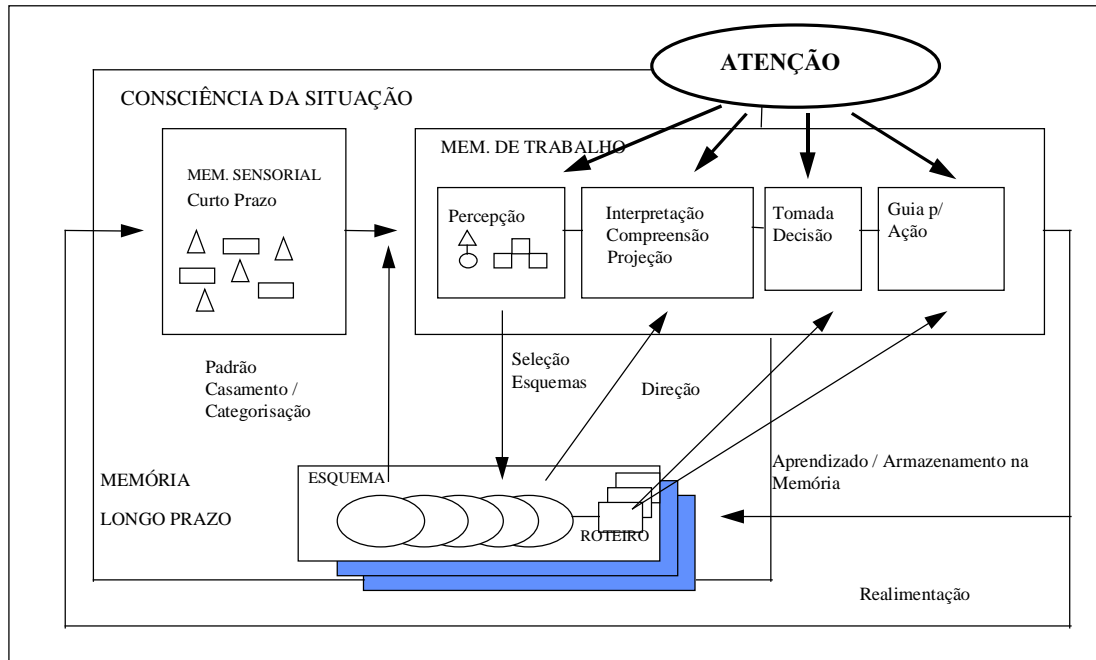


Figura 3.1 Modelo de ENDSLEY da consciência da situação (ENDLEY,1995).

O modelo de ENDSLEY fornece uma abrangente abordagem dos mecanismos cognitivos que auxiliam na contextualização do processo de tomada de decisão.

Esta pequena introdução a Teoria dos Esquemas procurou mostrar sua relevância para a TDN. O conhecimento desta teoria é fundamental para a compreensão dos modelos de TDN. Alguns destes modelos serão apresentados a seguir e foram escolhidos a partir de sua relevância em relação a tomada de decisão na operação de sistemas complexos, o foco de nosso trabalho. Esta revisão teórica se inicia como o modelo de Controle Cognitivo de RASMUSSEN.

3.4.2 Taxonomia do Controle Cognitivo (RASMUSSEN, 1983)

A taxonomia de controle cognitivo de RASMUSSEN (1983) procura descrever os aspectos da cognição humana durante a execução de uma tarefa, desde comportamentos senso-motores até deliberações analíticas conscientes (RASMUSSEN, 1986). A abordagem é baseada numa divisão tripartite dos níveis de desempenho: habilidades, regras e conhecimento, conhecida pela sigla SRK (*skill/rule/knowledge*). Segundo RASMUSSEN, “o nível de controle baseado em habilidades é caracterizado pela habilidade de gerar subconscientemente os padrões de movimentos necessários para a interação com um ambiente familiar, por meio de um modelo dinâmico interno” (RASMUSSEN, 1993). Neste nível o desempenho humano é regido por padrões de instruções pré-programadas armazenados na memória, representados como estruturas analógicas no domínio espaço-tempo. As pessoas automaticamente lêem as entradas sensoriais, as quais incluem a realimentação de ações prévias, de modo a ajustar suas ações presentes sem uma deliberação consciente.

O comportamento baseado em regras é caracterizado por ações controladas por procedimentos ou subrotinas armazenadas na memória. O controle do comportamento neste nível é orientado por objetivos e estruturado como uma malha de controle antecipativa (*feedforward*) por meio de regras armazenadas. As regras armazenadas são do tipo SE (estado) ENTÃO (diagnóstico), ou SE (estado) ENTÃO (ação corretiva). A fronteira entre os comportamentos baseados em habilidades e baseados em regras depende da extensão na qual o comportamento é executado automaticamente ou necessita de atenção consciente. O nível de habilidades é automático, libera o operador para a utilização de recursos cognitivos em outras tarefas, o nível de regras é conscientemente controlado, requerendo a utilização de algum recurso cognitivo.

Em situações novas ou não familiares, onde as regras ou o saber de uma vivência anterior não são disponíveis, o nível de controle precisa se mover para um nível mais alto, no qual o desempenho é considerado como sendo baseado no conhecimento. A partir de uma análise do ambiente, dos objetivos globais do indivíduo enquanto executor da tarefa e de aspectos metacognitivos (confiança em si, na abrangência de seu conhecimento face a situação etc.), planos são elaborados e selecionados. Com o aumento da experiência, o foco de controle tende a se mover do nível de conhecimento até o nível de habilidades, mas, mesmo assim, todos os 3 níveis podem coexistir ao mesmo tempo.

O modelo de RASMUSSEN é representado na figura 3.2 na forma de escada, na qual os estágios de ativação e execução do nível de habilidades formam a base, e os

estágios de interpretação e avaliação do nível de conhecimento formam o topo. Em ambos os lados, no nível intermediário, estão os estágios baseados em regras. Dessa forma, RASMUSSEN procura ilustrar os atalhos que os tomadores de decisão podem utilizar na vida real. Estes atalhos, normalmente, se traduzem em reações estereotipadas, bastante eficientes para situações específicas, onde a observação do estado do sistema automaticamente leva a seleção de procedimentos corretivos, sem necessidade de intervenções analíticas complexas dos custosos processos cognitivos baseados no conhecimento.

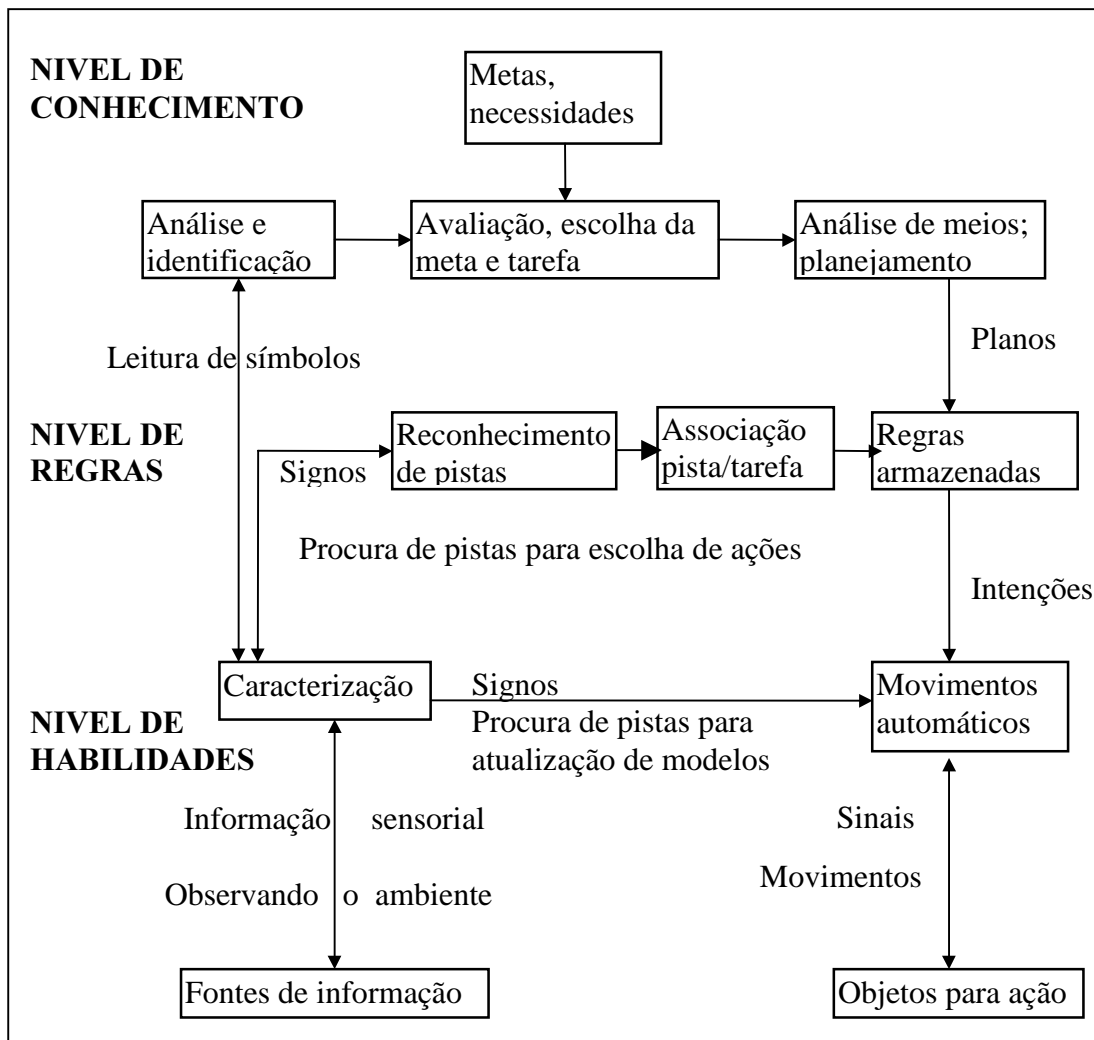


Figura 3.2 Modelo de controle cognitivo de RASMUSSEN (1983).

Uma das vantagens do modelo de RASMUSSEN é que ele é de fácil compreensão. Uma característica especial do modelo é a distinção feita entre tomadas de decisão baseadas no nível de conhecimento daquelas baseadas no nível de regras.

Esta distinção descreve de forma resumida a diferença peritos e novatos na sua forma de resolução de problemas, realçando os atalhos disponíveis para o tomador de decisão mais experiente.

Alguns aspectos problemáticos do modelo são também evidentes. Primeiro, o modelo não descreve completamente o fluxo de informação na tomada de decisão, mas apenas o fluxo de controle de uma tarefa para outra (uma ao nível de habilidades para outra ao nível de regras, por exemplo). Segundo, o modelo SRK assume que as pistas do ambiente percebidas são amalgamadas em um único estado. Por exemplo, em relação ao nível de regras, ele assume que mais de um objetivo ou tarefa pode ser gerado e usado para uma única decisão. No nível de conhecimento, ele assume que a relevância da informação é estabelecida e, a partir daí, é feita o amálgama destas informações relevantes. Entretanto, não se sabe (ou o modelo não indica) como estes processos poderiam ser gerenciados ao longo de uma situação dinâmica.

Entretanto, apesar dessas críticas, o modelo de RASMUSSEN fornece uma abordagem para o Controle Cognitivo que tem sido aplicada em diversas áreas, desde usinas geradoras de energia elétrica (RASMUSSEN & JENSEN, 1974), passando pela aviação comercial (ORASANU, 1994) e tem sido usada como base para modelos de localização de erros humanos como no *Generic Error-Modelling System – GEMS* (REASON, 1987a).

3.4.3 Tomadas de Decisão Situadas (ORASANU, 1994)

ORASANU (1994) aplicou o modelo de controle cognitivo de RASMUSSEN ao processo de tomadas de decisão de pilotos da aviação comercial. À raiz da taxonomia Tomadas de Decisão Situadas assume-se que os modelos mentais fornecem a base para descrever as relações causais entre eventos, para prever o que irá acontecer como consequência de um evento no sistema, e para examinar porque ocorreu uma determinada saída. ORASANU enfoca decisões baseadas em regras/conhecimento, uma vez que estas decisões envolvem processos conscientes, ao contrário de decisões ao nível de habilidades. Decisões baseadas em regras se aplicam frequentemente à situações envolvendo alto risco, emergências, operação pós acidentes, pressão temporal etc., quando não é desejável que as equipes de operação tenham que deliberar sobre o que devem fazer. Se procura (os projetistas dos sistemas) evitar os processos de tomada de decisão ao nível de conhecimento por meio de procedimentos para operação normal

e emergências, manuais de operação e regras da organização e do governo, especificando exatamente quais ações devem ser tomadas quando certas condições são encontradas.

Algumas situações, entretanto, não oferecem opções, ou apresentam múltiplas opções de resposta. Em ambos os casos, existe a demanda por um trabalho cognitivo mais complexo do aquele exigido quando são tomadas decisões baseadas em regras. ORASANU descreve estas situações como decisões baseadas no conhecimento. LPISHITZ (LIPSHITZ, 1993b) as chama de escolha consequente de problemas, uma vez que as opções são avaliadas em termos das saídas projetadas. A natureza da decisão não se reduz a escolha de uma dada opção dentre um conjunto de opções, mas decidir em que ordem implementar estas opções, pelo menos. A decisão crucial é planejar uma sequência de respostas, onde cada uma delas precisa ser executada num tempo determinado. O trabalho cognitivo inclui identificar as prioridades, o tempo aproximado para a execução de cada tarefa, determinar as dependências sequenciais, e planejar os eventos de modo que todos eles se encaixem no tempo disponível. Estas decisões são mais críticas e difíceis em períodos de saturação cognitiva, ou em momentos de elevada carga de trabalho.

ORASANU caracteriza os problemas encontrados como bem ou mal definidos. *“Se o problema é claramente entendido, se as opções de resposta estão prontamente disponíveis, e se os requisitos para uma solução adequada são sabidos, o problema é bem definido. Quando o problema não é entendido, e então as opções de resposta não são disponíveis e o problema é mal definido. Problemas mal definidos requerem diagnóstico e criação de soluções. Se o problema pode ser diagnosticado definitivamente, ele pode ser reduzido a um problema de seleção ou baseado em regras”* (ORASANU, 1994).

Baseado em suas extensivas pesquisas, ORASANU e FISCHER (1997) identificaram diversos tipos de decisão tomadas por tripulações de aviões comerciais e as classificaram a partir do modelo de RASMUSSEN, sugerindo a taxonomia para classificar decisões denominada Tomada de Decisão Situada (ver figura 3.3). Abaixo apresentamos esta classificação, onde são tratadas inicialmente as decisões em situações de problemas bem definidos:

1. Decisões baseadas em regras (SE x, ENTÃO y):

- Decisões partir/parar. Uma completa proceduralização dos curso das ações é prescrita, assumindo que todas as condições facilitadoras são normais. Se as condições para partir não são atingidas, uma ação alternativa é prescrita. Uma avaliação da situação correta é crucial, uma vez que uma decisão errada pode ter consequências negativas.
- Regras condição-ação explícitas. Prescritivas no domínio, isto é, elas não dependem fundamentalmente da experiência passada do tomador de decisão em casos semelhantes, mas em respostas prescritas pela indústria, organização etc.

2. Decisões baseadas no conhecimento:

- Situações onde ocorrem problemas que precisam ser resolvidos ao nível de conhecimento podem ocorrer com problemas bem ou mal estruturados. Situações de problemas bem estruturados ocorrem quando a situação problemática é conhecida e as respostas imediatamente disponíveis. A tarefa se torna então uma:
 - Seleção de problema. Várias possibilidades legítimas de cursos para ação existem, das quais uma deve ser selecionada. Opções devem ser avaliadas a luz dos objetivos e restrições da situação, regras simples não são aplicáveis.
 - Programação ou planejamento do problema. A equipe precisa decidir o que é mais importante ser feito, quando fazê-lo e por quem. Um desempenho efetivo depende de um adequado julgamento sobre as prioridades relativas e uma avaliação realista dos recursos e limitações.

A segunda categoria está relacionada a situações de problemas mal definidos, que ocorrem quando a situação é desconhecida e não existem respostas prontamente disponíveis. Nestes casos um diagnóstico é necessário:

1. Gerenciamento de procedimentos. Presença de uma situação ambígua combinada com julgamento de risco. A equipe não sabe o que está errado, mas reconhece que alguma coisa está fora do normal. Os procedimentos padrão são seguidos para se atingir um estado seguro. A resposta é geral, baseada nos

sintomas, não havendo um guia específico de regras para auxiliar este tipo de tomada de decisão.

2. Resolução criativa de problemas. Não estão disponíveis guias específicos em manuais, procedimentos de emergência ou *checklists*. A natureza do problema pode ou não ser percebida, mas mesmo assim fica claro que se não existem respostas prescritas, novas situações precisam ser criadas.

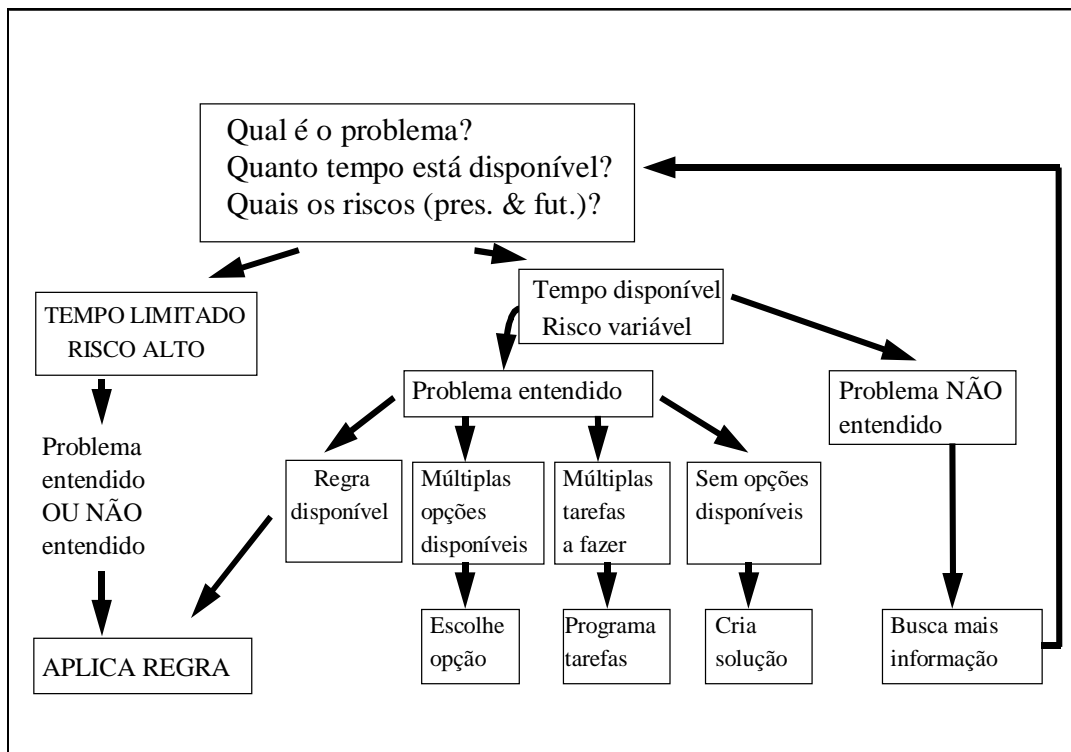


Figura 3.3 Taxonomia de tomadas de decisão situadas. (ORASANU & FISCHER, 1997)

ORASANU e FISCHER sugerem que existem 2 componentes principais envolvidos em seu modelo: avaliação da situação e seleção da resposta. A avaliação da situação requer que a natureza do problema esteja definida e que o nível de risco e o tempo para tomar a decisão sejam conhecidos. Ações de diagnóstico podem ser necessárias para definir o problema, se a situação não é compreendida e há tempo disponível. A seleção de respostas é obtida a partir dos recursos disponíveis em cada situação. Pode variar desde uma única resposta possível em alguns casos, enquanto em outros a resposta precisa ser selecionada entre as múltiplas opções; múltiplas ações precisam ser sempre realizadas durante um intervalo de tempo definido. Em alguns casos, ainda, não há respostas disponíveis e uma solução precisa ser construída.

ORASANU e FISCHER (1997) consideram ser fundamental entender o problema acarretado pela situação para que uma estratégia efetiva de tomada de decisão possa ser definida. Uma vez que estratégias de decisão são específicas do contexto e da situação é difícil criar um modelo geral que descreva a maneira mais efetiva e eficiente para lidar com situações problemáticas em todos os domínios. Aparentemente há uma necessidade de analisar um número maior de situações para identificar se outros tipos de tomadas de decisão são utilizadas. A taxonomia das Tomadas de Decisão Situadas, que foi criada a partir de diversos estudos usando diferentes métodos, fornece uma descrição de situações problemáticas encontradas por tripulações de aviões civis e como suas decisões são tomadas.

3.4.4 Tomadas de decisão preparadas por reconhecimento

KLEIN e seus colegas (1986) desenvolveram o modelo chamado Tomadas de Decisão Preparadas por Reconhecimento (*Recognition-Primed Decision Making – RPD*) que descreve como tomadores de decisão agem durante seu trabalho. O modelo distingue entre situações muito e moderadamente familiares. Ele assume que a familiaridade com as situações se dá no âmbito de um *continuum*. O modelo RPD é baseado em pesquisas na área militar e descreve como os tomadores de decisão usam sua experiência para avaliar a situação e identificar um curso para ação. KLEIN e seus colegas concluíram que, em vez de gerar e comparar múltiplas opções, os comandantes estudados eram capazes de executar rapidamente uma avaliação da situação baseada em reconhecimento, identificar e implementar um único curso para a ação, e ajustar este curso de modo a adapta-lo a forma como a situação evolui.

Situações muito familiares: O modelo RPD sugere que tomadores de decisão experientes usualmente estão familiarizados como a maioria das situações encontradas (KLEIN, 1989). Ele postula que o tomador de decisão pode julgar preliminarmente os eventos a partir de características já observadas em situações similares ou por raciocínio baseado em analogias. A isto ele chama de acoplamento simples. O modelo não diferencia entre o uso de uma única situação similar ou uma mistura de diversas situações como pista. Ele também não especifica se há um processo holístico de acoplamento ou casamento de padrões responsável por essa identificação, ou se ela é obtida a partir das características da situação, num processo de casamento entre

características similares. Além disso, como a informação é representada nos Esquemas das situações dos indivíduos, se como protótipos ou exemplos ou ambos, não é discutida no modelo. Presume-se que ambas as formas de armazenamento na memória e processos acoplamento perceptivo são possíveis.

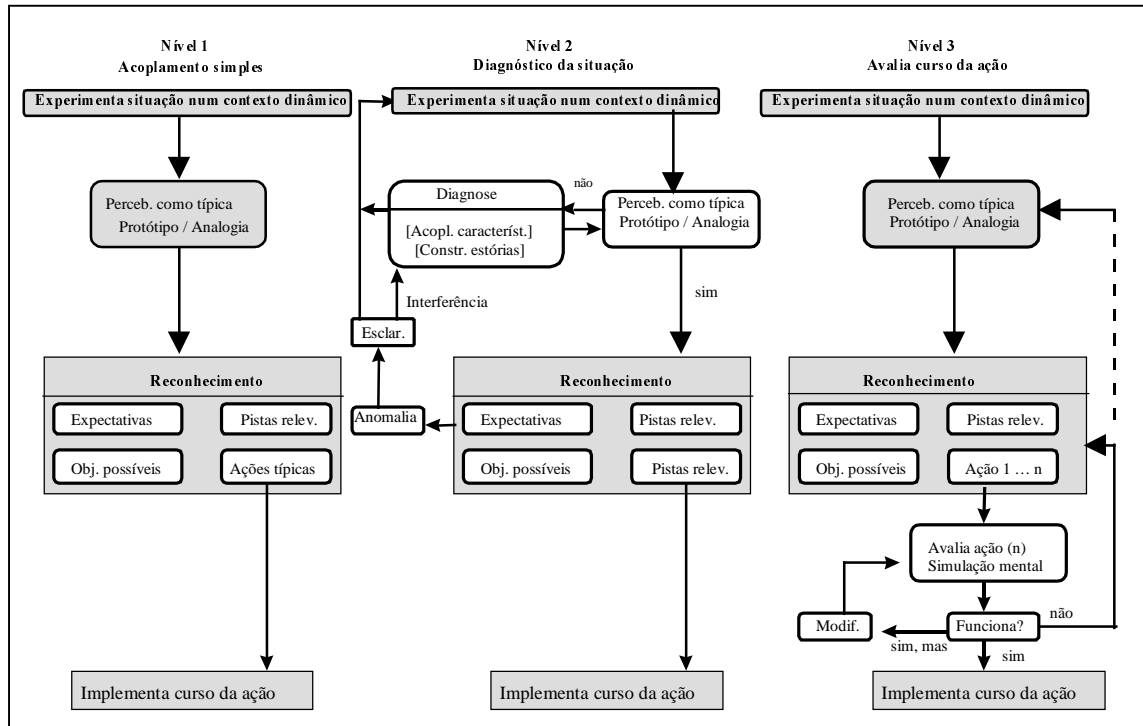


Figura 3.4 Modelo RPD (KLEIN,1997).

Presume-se que os protótipos contêm informações adicionais sobre quais pistas críticas devem ser seguidas, sobre as metas atingíveis, sobre as expectativas de como a situação se desdobrará, e sobre as ações típicas necessárias para lidar com o problema. A característica principal do processo de acoplamento simples é que ele fornece ao tomador de decisão um curso para ação que pode ser automaticamente implementado, sem a necessidade de avaliação ou revisão. O tomador de decisão também adquire informações sobre o que pode esperar de um tipo particular de situação. Violações dessas expectativas são, dessa forma, imediatamente identificáveis e uma reavaliação da situação é realizada. Esta reavaliação é baseada numa análise de pistas previamente encontradas sem deixar de prestar atenção às novas pistas, que se tornam disponíveis à medida que a situação evolui. Se, neste momento, a situação parece familiar, isto é, se a situação é reconhecida e, ao mesmo tempo, é significativamente e

categoricamente diferente da situação original, um novo curso de ação ligado a esta nova avaliação da situação é identificado na memória. Isto se passa como se o processo de acoplamento simples começasse de novo. Se a situação pode ser reconhecida apenas como moderadamente familiar o tomador de decisão precisa empregar métodos mais complexos de RPD.

Situações moderadamente familiares: Situações moderadamente familiares ocorrem quando muitas das pistas do ambiente não se casam com as informações contidas na memória a respeito das situações previamente encontradas, ou quando, mesmo tendo inicialmente percebido a situação como muito familiar, o tomador de decisão começa a notar violações nas suas expectativas que eram baseadas na avaliação inicial.

Se a situação é percebida como moderadamente familiar, uma estratégia que pode ser aplicada é a busca de informações adicionais. O tomador de decisão pode imediatamente buscar mais informações de outras fontes que permitam uma nova interpretação das pistas disponíveis ou esperar que novas informações se tornem disponíveis, à medida que passe o tempo. Esta espera pode ser descrita como uma tática, cujo objetivo seria prevenir uma avaliação prematura e, portanto, incompleta da situação.

A reavaliação é outra estratégia que o tomador de decisão pode aplicar. Se a situação é de difícil interpretação ou se mais de uma interpretação é possível, a reavaliação da situação pode ser necessária. Esta reavaliação pode ser conduzida por meio das características de acoplamento, raciocínio por analogias ou simulações mentais. O acoplamento de características se refere a quando o tomador de decisão usa características ou padrões da situação para recordar ou construir uma hipótese, ou então para avaliar diferentes hipóteses sobre a situação. O raciocínio por analogias ocorre quando o tomador de decisão recupera e usa analogias, algumas vezes sem pensar sobre isso e outras vezes a partir de um esforço deliberado e consciente.

Simulações mentais são mecanismos mais complexos e se referem a quando os tomadores de decisão usam seus modelos mentais do problema. Nestas simulações, o tomador de decisão imagina uma sequência de eventos que possivelmente teriam ocorrido para que se chegasse a situação presente. Elas também podem ser usadas para comparar diferentes hipóteses sobre como o incidente irá se desenvolver, assim como a efetividade das diferentes estratégias disponíveis (KLEIN, 1995). Isto é, simulações

mentais podem ser usadas como ferramenta para avaliar um curso para ação imaginado, como ele afetará o incidente e o que pode ser feito se este curso para ação não for bem sucedido; uma estratégia complexa de RPD.

Se o tomador de decisão pode reconhecer a situação como muito familiar após usar o acoplamento de características ou simulação mental, o processo de decisão se torna de acoplamento simples. O modelo RPD assume que tomadores de decisão experientes são capazes de agir mesmo quando a situação não é familiar e quando ocorrem violações das expectativas. Isto decorre da crença de que tomadores de decisão experientes podem modificar o curso da ação, a partir da recuperação de informações contidas na memória na forma de protótipos ou por meio de analogias.

KLEIN (1993) enfatiza que a avaliação da situação é o aspecto mais importante da tomada de decisão. Ele observa que uma clara avaliação da situação permite aos tomadores de decisão usar expectativas para verificar se a avaliação está correta, para dirigir o comportamento, para identificar um curso preferido para ação, para monitorar este curso detectando e diagnosticando problemas, para gerenciar recursos (técnicos e cognitivos), para priorizar ações refletindo metas/restrições, e para desenvolver um planejamento abrangente para lidar com a situação.

LIPSHITZ e SHAUL (1996) testaram o modelo RPD num estudo realizado durante treinamento simulado em combates navais comparando peritos e novatos. Eles concluíram que 1) peritos coletam mais informações sobre a situação que novatos antes de tomar uma decisão; 2) peritos são mais eficientes na busca de informações; 3) peritos lêem (compreendem e antecipam a evolução) com mais precisão a situação; 4) peritos tomam menos decisões ruins; e 5) peritos se comunicam mais frequentemente e de forma mais elaborada com as outras unidades. O modelo RPD foi geralmente compatível com todas as 5 observações, embora ele não possa responder pela observação de que peritos realizem uma busca mais extensiva e eficiente de informação antes de tomar uma decisão. Realmente, dado que peritos tendem a colher mais informações que novatos, implica que peritos precisam de mais informação que novatos para identificar pistas relevantes, metas, expectativas e ações. Isto é, peritos possuem Esquemas mais complexos que requerem mais informações para serem satisfeitos. Além disso, as expectativas de peritos, por serem mais amplas, possuem um maior probabilidade de serem violadas do que aquelas mais restritas dos novatos.

Contrastando com outros modelos de avaliação da situação (por exemplo ENDSLEY, 1995), o modelo RPD não inclui explicitamente o componente Esquema.

De forma similar ao RPD, modelos de avaliação da situação conceitualizam a tomada de decisão como uma combinação de processos de reconhecimento e raciocínio que permitem correlacionar situações com as ações apropriadas. Os modelos de avaliação da situação, entretanto, contêm 2 construções hipotéticas que não aparecem explicitamente no RPD: Esquemas, estruturas da memória de longo prazo que dirigem a construção de representações específicas e os modelos mentais de situações específicas na memória de trabalho. É importante que seja feita distinção entre Esquema e modelo mental. Decisões são guiadas pelos modelos mentais, assim para compreender a diferença perito/novato em situações idênticas, é essencial que estas construções sejam analisadas. Porém, como LIPSHITZ e SHAUL, (1996) afirmam:

“Modelos mentais são entidades lábeis que são construídas e descartadas à medida que o tomador de decisão se move, no tempo e no espaço, de uma situação para outra. Assim, de modo a compreender porque peritos e novatos constroem modelos mentais diferentes em situações idênticas, e para compreender de forma geral como novatos transferem a experiência de uma situação para outra até que se tornem peritos, nós precisamos investigar as diferenças nos seus Esquemas e como estes Esquemas se modificam em função da experiência adquirida, respectivamente.”

Em outras palavras, para compreender a maneira como os modelos mentais são usados, é essencial compreendermos o conhecimento esquemático que alimenta estes modelos. O modelo de KLEIN falha em fazer isso. A falta da distinção entre Esquema e modelo mental no RPD impacta na interpretação e aplicação do modelo. Por exemplo, de uma perspectiva de treinamento, seriam necessários diferentes programas para desenvolver Esquemas e melhorar a capacidade de construção de modelos mentais. Embora tanto os Esquemas quanto os modelos mentais estejam implícitos no modelo RPD, as categorias envolvidas parecem superpostas e são difíceis de serem distinguidas.

Outro problema com o modelo RPD está na sua falha em não responder apropriadamente como são tomadas decisões num nível mais elevado, baseadas em raciocínio abstrato e que tipo de avaliação de risco é feita pelo tomador de decisão.

Entretanto, o modelo RPD tem se mostrado bastante popular e usado em diversos campos como na área da indústria de processos (ROTH, 1996) e médica (GABA, 1992). Essencialmente o modelo RPD fornece uma abordagem útil para modelar tomadas decisão baseadas em regras ou reconhecimento, áreas nas quais a evidência empírica tem sido encorajadora. Para uma ulterior elaboração de modelos

teóricos mais complexos mais pesquisas são necessárias para avaliar as questões pendentes.

3.4.5 Tomada decisão por controle de risco cognitivo (AMALBERTI, 1996)

Esta revisão teórica de modelos de tomadas de decisão naturalistas não poderia se encerrar sem que o parâmetro risco fosse discutido. Afinal toda decisão é função do risco (probabilidade de insucesso da alternativa selecionada) envolvido. O Modelo de Controle de Risco de AMALBERTI (1996) coloca a avaliação de risco como um dos fatores determinantes para a tomada de decisão.

Segundo AMALBERTI (op. cit.) os tomadores de decisão assumem riscos em suas decisões na operação de sistemas complexos em função da necessidade de economizar recursos cognitivos, minimizando a possibilidade de saturação cognitiva que poderia levar a perda definitiva do controle sobre o sistema. Para isso, eles possuem uma série de defesas em profundidade que permitem assegurar que os riscos assumidos são os aceitáveis para a situação e controlá-los, conforme a evolução dessa situação (ver tabela 3.1). Ainda segundo o autor (AMALBERTI, op. cit.) este conjunto de defesas se constitui de uma verdadeira segurança ecológica.

Estas defesas se repartem em 2 níveis: 1) aquelas que permitem a aceitação do risco inicial; 2) aquelas que permitem controlar que o risco aceito não se degenere em perda de controle. As defesas que definem o risco inicial que pode ser aceito são a experiência, o metaconhecimento e a confiança.

Por meio da experiência o operador desenvolve novos *savoir-faire*, automatiza suas práticas, resolve mais rapidamente os problemas.

O metaconhecimento age por meio de uma consciência reflexiva que indica ao operador o que ele sabe e, principalmente, o que ele não sabe fazer. Ela permite ao operador a definição antecipada de planos que ele sabe que poderá executar, de escolher opções redutoras (simplificadoras) sobre o universo (simplificar para compreender), aceitando riscos de eventos não previstos, que ele sabe que poderia controlar com base em seu conhecimento, experiência, *savoir-faire*. O metaconhecimento é fundamental para a segurança, pois ele protege o sistema de riscos potenciais importantes, sendo fundamental quando a experiência do operador não é muito grande, permitindo o enquadramento adequado dos riscos aceitos e a condução da situação, mantendo as exigências dessa situação dentro dos limites dos saberes do operador.

Tabela 3.1 Resumo das soluções disponíveis para economia de recursos cognitivos, riscos inerentes às soluções e defesas em profundidade para controlar os riscos (AMALBERTI, 1996).

Solução cognitiva para evitar falta de recursos cognitivos	Risco Associado	Regulagem do risco no momento da decisão	Defesas em profundidade: assumir o risco tomado
Construção antecipada da representação – planificação.	Simplificar excessivamente a realidade. Apostar sobre os incidentes possíveis.	Metaconhecimento: avaliação do que o operador sabe fazer e sobre o que ele crê que sejam os incidentes possíveis na situação.	Condução antecipativa: evitar o que não esteja preparado no plano, obrigar a realidade a se adequar ao plano...
Revisão minimalista da representação/ compreensão da situação.	Ter de aceitar de não compreender elementos importantes. Risco de saturação de recursos em caso de mudança no nível de abstração não reconduzir rapidamente a uma compreensão correta.	Avaliação de ligações entre os elementos não entendidos e as prioridades do momento. Distância do objetivo. Avaliação dos riscos internos e externos. Metaconhecimento: avaliação da possibilidade de continuar a operação com uma representação parcialmente válida.	Acelerar o processo de não ramificação de preocupações para controlar as combinações dos problemas a serem efetivamente tratados. Distribuir as revisões ao longo do tempo para distribuir os recursos respeitando os objetivos de cada revisão.
Gestão de tarefas múltiplas em tempo compartilhado.	Erros de prioridade, perda de controle sobre uma tarefa que não é adequadamente controlada.	Avaliação da tarefa dominante, antes de trocar uma tarefa pela outra. Confiança em si e no sistema	Estratégias de proteção contra interrupções.
Operação automatizada.	Erros de rotina.	Confiança em si e no sistema.	Autocontrole sobre os próprios erros e sobre a normalidade do sistema.

A confiança, terceira defesa importante para a aceitação do risco de determinada situação, é parcialmente dependente da experiência e metaconhecimento. A confiança se forma a partir das primeiras experiências do operador com o sistema, das (i)regularidades do sistema no contexto e de uma verdadeira fé na tecnologia e em si mesmo. A confiança permite que sejam colocadas em jogo as soluções escolhidas com base na experiência e no metaconhecimento, com um mínimo de controles e de custo cognitivo. Assim sendo, um aumento da confiança permite um aumento do risco inicial aceitável.

As defesas que permitem o controle do risco assumido inicialmente surgem como uma série de heurísticas (ver figura 3.5) que visam a proteger o operador contra o risco de seus próprios erros de execução: risco de ser ultrapassado pela situação, sendo

mais lento que a evolução dos eventos, ou risco de cometer erros não detectados e não recuperáveis.

AMALBERTI apresenta seu modelo de proteções ou defesas do sistema cognitivo em placas ou escalas, de forma semelhante a do modelo de defesas em profundidade de REASON (1997), de modo a, como ele mesmo reconhece, “retomar a metáfora de REASON garantindo ao nível de cada placa uma coerência e segurança para o desempenho do operador” (AMALBERTI, 1996).

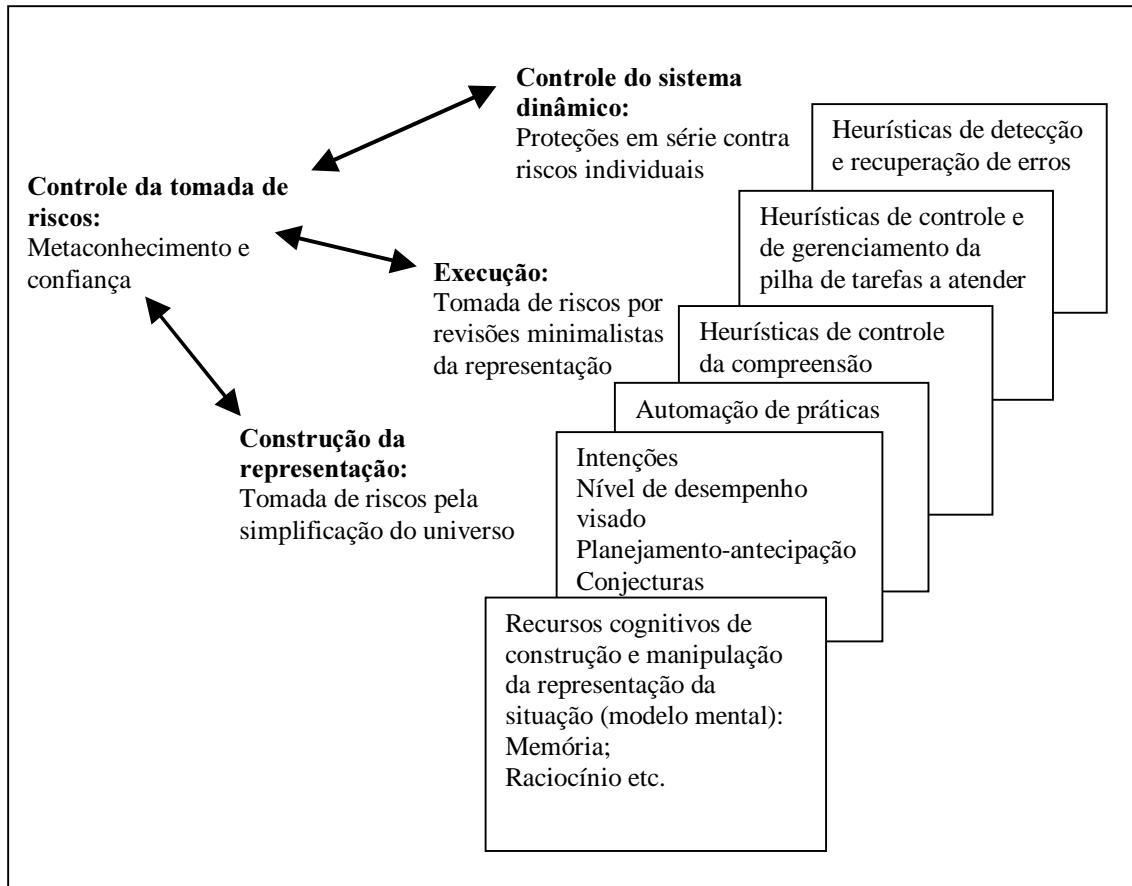


Figura 3.5 Modelo de controle de risco do sistema cognitivo (AMALBERTI, 1996).

Entretanto, no modelo multi-placas da figura 3.5, ao contrário da idéia das defesas em profundidade de REASON, as placas não são independentes entre si: elas possuem interações fundamentais orientadas por 2 variáveis, metaconhecimento e confiança, que asseguram a coerência global do modelo. O modelo representa um sistema realimentado, com um retorno de informação que permite uma tomada de

consciência do comportamento produzido e um ajuste contínuo das intenções e proteções que devem ser utilizadas em função do nível de desempenho obtido em cada situação, conforme a tabela 3.1.

As indicações fundamentais que podem ser tiradas do modelo de AMALBERTI são:

- O número de erros cometidos é o resultado de decisões tomadas pelos operadores, que são função do contexto, do nível de risco assumido inicialmente e das estratégias usadas para controlá-lo ao longo da evolução da situação.
- O número de erros cometidos não é sintoma de desregulação do sistema ou de um funcionamento em modo degradado: os verdadeiros sintomas de um funcionamento em modo degradado são uma pequena capacidade de detecção e, principalmente, restrição das possibilidades de recuperação dos erros cometidos.
- A verdadeira segurança de um sistema cognitivo conjunto (HOLNAGEL & WOODS, 1983) não se consegue por meio da limitação ou tentativa de supressão dos erros humanos, mas sim a partir da concepção de um sistema sociotécnico que não prive os operadores do uso de suas defesas cognitivas naturais, deixando aos seres humanos possibilidades de regulação de seu compromisso cognitivo, de controle das situações e de uma avaliação de riscos efetiva nas respectivas tomadas de decisão.

3.4.6 Considerações sobre os modelos de TDN

Considerando os processos de decisão, estratégias e mecanismos descritos nos diferentes modelos as tomadas de decisão envolvem 4 componentes distintos mas interdependentes:

1. Identificação de situação; baseada no reconhecimento de características ou acoplamento holístico de padrões.
2. Diagnóstico da situação; a partir de reavaliações do desdobramento do evento, juntando mais informações pertinentes antes de finalizar o diagnóstico, construção de histórias, ou raciocínio por analogias.

3. Seleção de resposta; baseada na estratégia não-comparativa de avaliação da única opção por meio da ativação de um protótipo armazenado na memória de longo prazo, ou geração ativa por meio de simulação mental. A seleção da resposta também pode ser baseada na geração de múltiplos cursos para ação, na comparação entre eles ou com um padrão, antes que um deles seja escolhido.
4. Avaliação inicial e controle dos riscos ao longo da evolução da situação, usando as defesas cognitivas baseadas em diversas heurísticas e guiadas pela experiência, metaconhecimento e confiança em si e no sistema.

Um dos fatores fundamentais que distingue os modelos da TDN dos modelos da teoria das decisões tradicional é a importância de experiência e metaconhecimento. Tomadores de decisão experientes reconhecem situações padrão com base no conhecimento de seu domínio de trabalho e saber tácito, que assim lhes proporcionam soluções possíveis para o problema. O meta conhecimento permite um maior controle dos riscos assumidos. Assim sendo, decisões tomadas por operadores experientes são, geralmente, baseadas em regras preparadas por reconhecimento, como descrito por RASMUSSEN (1983) e KLEIN (1989), respectivamente. Se a situação não pode ser reconhecida, são utilizados métodos de mais alto nível, métodos baseados em conhecimento como raciocínio e solução de problemas.

Deixar aos operadores margens de manobra para avaliar os riscos de suas decisões em função da saturação de seus próprios recursos cognitivos, usando as defesas cognitivas é uma das contribuições mais importantes que os estudos em ambientes naturais trazem para a segurança dos sistemas sócio-técnicos complexos. Esta consideração traz importantes consequências para o paradigma vigente no desenvolvimento de sistemas para a gestão de risco que, a pretexto de um aumento da segurança, pretendem suprimir erros humanos ou bloqueá-los, obrigando a aceitação de níveis pré definidos de risco, resultando em sistemas com pouca margem de manobra ou de adaptação, tornando, nos projetos desenvolvidos conforme esta filosofia, os operadores numa espécie de reféns do sistema.

Após esta breve descrição de alguns modelos e da indicação dos pontos relevantes, descrevemos algumas pesquisas em TDN em diversos setores.

3.5 As pesquisas em Tomadas de Decisão Naturalistas

Nos EUA, os estudos de TDN se originaram com comandantes do Corpo de Bombeiros (KLEIN et. al., 1986). Com base neste trabalho, KLEIN e seus colegas, desenvolveram o modelo RPD que foi, desde então, regularmente aplicado na América do Norte e Europa. O estudo original de KLEIN envolveu 2 fases distintas. No primeiro estudo em envolvendo comandantes experientes, 80% das decisões foram consideradas do tipo preparada por reconhecimento, com as 20% restantes envolvendo algum tipo de deliberação relacionada a seleção de opções. Este estudo foi feito a partir entrevistas pós incidente usando o Método de Decisão Crítica – MDC (KLEIN, CALDERWOOD & MACGREGOR, 1989). No segundo estudo (CALDERWOOD, CRANDALL & KLEIN, 1987), realizaram uma comparação entre peritos e novatos, usando novamente o MDC, com foco em deliberações sobre estados da situação e na presença ou ausência de opções alternativas. Neste estudo concluiu-se que 70% das decisões foram baseadas em reconhecimento. Diferenças entre peritos e novatos eram relacionadas ao tipo das deliberações. Peritos usavam mais tempo na avaliação da situação e novatos na escolha do curso da ação.

Pesquisas no setor militar: O setor militar tem sido um dos principais agentes para o desenvolvimento das pesquisas em TDN. O projeto TADMUS (CANNON-BOWERS et al.,1993; ROUSE et al., 1992), financiado pelo *US Office of Naval Technology*, foi iniciado para responder a problemas de comando e controle naval após 2 incidentes no Golfo Pérsico. Em ambos os casos os comandantes do *USS Stark* e *USS Vincennes* falharam na avaliação da situação e como consequência tomaram decisões erradas. O comandante do *USS Stark* não levou tão seriamente quando devia a aproximação de um avião de ataque do Iraque, ficando com muito pouco tempo para reagir quando o míssil foi disparado; enquanto que no caso do *USS Vincennes*, seu comandante escolheu o extremo oposto e não coletou informações suficientes que permitissem a identificação de uma aeronave comercial, antes que ela fosse abatida. A maior parte do trabalho do projeto TADMUS foi focalizada na tomada de decisão em

equipe, modelos mentais compartilhados e ajudas para tomadas de decisão para o centro de informações de combate.

KLEIN também desenvolveu diversos estudos para a marinha americana (p.ex., CRANDALL et al. 1994) cujo foco foram as tomadas de decisão individuais e o desenvolvimento e aplicação de uma versão de Análise do Trabalho Cognitivo (ATC - um conjunto de métodos e técnicas usados para eliciar informações sobre o desempenho humano na realização de tarefas) em ambientes de combate naval, de modo a descrever os processos cognitivos envolvidos nas tomadas de decisão. Os resultados obtidos foram encorajadores para a abordagem da TDN, enfatizando a importância da experiência no processo de tomada de decisão, assim como as dificuldades para aplicação dos modelos analíticos convencionais aos ambientes dinâmicos característicos dos sistemas complexos. Como resultado, o corpo de fuzileiros navais dos EUA (US MARINE CORPS, 1994) adaptou o modelo RPD à sua doutrina, ressaltando que tomadas de decisão intuitivas, isto é, tomadas de decisão baseadas na experiência, julgamento e focalizadas na avaliação de situação, seriam mais efetivas para o cenário complexo de um campo de batalha, do que as tomadas de decisão analíticas baseadas em raciocínio abstrato e comparações entre múltiplas opções.

PASCUAL e seus colegas (1994) da *UK Defence Research Agency*, estudaram 15 oficiais comissionados e não comissionados do exército britânico. Os participantes completaram 3 cenários em um simulador de comando, treinamento e planejamento, e um cenário dinâmico, no âmbito do comando e controle operações de guerra. Os resultados indicaram que estratégias naturalistas eram muito mais comuns (87%), em comparação com as clássicas (2%), híbridas (3%), e outras estratégias indefinidas (8%). O modelo RPD de KLEIN foi aquele que melhor descreveu o processo de tomadas de decisão, respondendo adequadamente por cerca de 60% das decisões.

O estudo de tomadas de decisão na área de comando e controle de operações militares utilizando metodologias relacionadas a TDN mostram a importância dessa abordagem no estudo de sistemas complexos. A complexidade crescente do cenário de combate, com sua tecnologia avançada, tempo de decisão reduzido e dependência de vários fatores externos, como fotos de satélite e complicados padrões de comunicação, enfatizaram a necessidade do desenvolvimento de sistemas para ajuda às tomadas de decisão mais adequados. Como mostraram os resultados apresentados, as pesquisas em TDN parecem prover uma abordagem muito melhor para tratar estes problemas do que a teoria de tomadas de decisão normativa.

Pesquisas na aviação comercial: Tomadas de decisão de pilotos de aeronaves é outro campo no qual os pesquisadores têm se deparado com as limitações da teoria das decisões tradicional. A cabina do piloto fornece um ambiente interessante para pesquisas em TDN, face ao seu contexto altamente técnico, a possibilidade de mudanças rápidas, entre longos períodos de operação relativamente enfadonha e com poucas ações, para períodos de elevada pressão temporal com necessidade de ações imediatas, além das situações de crise, ocasionalmente enfrentadas por pilotos. Pesquisas em TDN na aviação comercial foram administradas principalmente por psicólogos de NASA, usando uma variedade de métodos e cenários para coletar dados. Estes incluem simuladores de voo, gravações de caixas pretas, e relatórios confidenciais de pilotos obtidos do *Aviation Safety Reporting System - ASRS* (CHIDESTER, R. et al., 1990; FOUSHEE et al. 1986; ORASANU & FISCHER, 1997).

ORASANU e FISCHER (1997), como descrevemos anteriormente, desenvolveram uma taxonomia de estratégias de decisão usadas por pilotos comerciais. Com base nessa pesquisa, eles concluem que não há uma única abordagem ótima para as tomadas de decisão, as tripulações adaptam e utilizam diversas estratégias de decisão conforme as características e exigências da situação. ORASANU e FISCHER (op. cit.) enfatizaram que 2 aspectos da fase de avaliação, julgamento do tempo disponível e avaliação de risco, que eram dimensões fundamentais para a tomada de decisão de pilotos, somados a ambigüidade da situação e as opções de resposta. Para determinar a frequência das 6 estratégias de decisão sugeridas na taxonomia, ORASANU e seus colegas (1993) investigaram 94 relatórios ASRS concluindo que, de 240 decisões, 54% eram do tipo única opção baseada em regras, isso é, partir/parar (14%), ou seguindo regras condição-ação (40%). As restantes 46% das decisões eram baseadas em conhecimento, onde 36% escolhiam soluções a partir de um determinado número de possíveis soluções já existentes, e os 10% restantes se baseavam em solução criativa de problemas.

Outro fator de importância para as tomadas de decisão de pilotos, obtida por meio de análises de relatórios de acidentes e estudos em simuladores na aviação comercial, é que uma inadequada avaliação ou consciência da situação é o contribuinte principal para os acidentes atribuídos a erro humano, ao invés de uma má decisão baseada em um diagnóstico adequado, (ENDSLEY, 1997; AMALBERTI, 1996). ENDSLEY definiu consciência da situação como:

“A percepção dos elementos no ambiente num volume limitado de espaço e de tempo, a compreensão do seu significado e a projeção do seu estado para um futuro próximo” (ENDSLEY, 1995a).

A avaliação da consciência da situação tem recebido uma quantidade crescente de atenção, em particular de pesquisadores no campo da aviação, desde que foi percebida como a base para uma tomada de decisão efetiva (ENDSLEY, 1995; 1997; ORASANU, 1994). Erros humanos que atribuídos a uma decisão inadequada, geralmente envolvem problemas relacionados à construção da consciência da situação e não com a escolha da ação (ORASANU & FISCHER, 1997; AMALBERTI, 1996). Tomadores de decisão podem tomar, baseados na sua percepção da situação, uma decisão correta, mas sua percepção é errônea. Este é um problema muito diferente de quando a situação é corretamente compreendida e uma escolha inadequada é feita, impedindo que a melhor ação possível seja executada. Estratégias para correção diferirão consideravelmente para os 2 tipos de erros mencionados acima, mas é essencial considerar ambos, pois cada um tem implicações diferentes para o processo de tomada de decisão e, conseqüentemente, para o projeto de sistemas de auxílio ao operador e para a segurança da instalação.

As pesquisas de TDN na aviação têm sido bastante produtivas, não só por causa dos excelentes simuladores de vôo, das gravações de vozes em acidentes disponíveis para pesquisadores, mas também por causa do interesse da indústria relacionado ao problema de erros humanos em acidentes.

3.6 Resumo do capítulo

As pesquisas em Tomadas de Decisão Naturalista surgiram durante a década de 80, fornecendo uma visão descritiva de como as pessoas tomam decisões na vida real em seu *habitat* natural que, frequentemente, incluem problemas complexos, não estruturados em ambientes dinâmicos. A ênfase das pesquisas está na importância da experiência do tomador de decisão e na sua capacidade de avaliação de situação. Dois modelos, o Controle Cognitivo de RASMUSSEN e o RPD de KLEIN, foram usados como base para muitas pesquisas, com diversos resultados importantes. Nenhum destes modelos detalha os processos de raciocínio abstrato de mais alto nível que eventualmente são usados nas tomadas de decisão (COHEN & FREEMEN, 1997). AMALBERTI (1996) introduz o conceito de risco cognitivo como uma das principais

variáveis nas tomadas de decisão, o que resulta numa nova visão do erro humano e, conseqüentemente, da segurança dos sistemas sócio-técnicos complexos.

Os resultados das pesquisas indicaram uma grande semelhança nos estilos de tomadas de decisão nos mais diversos setores da atividade humana, em particular em ambientes mais complexos e dinâmicos, envolvendo riscos e situações de pressão temporal. A maioria das decisões observadas tende a ser baseada em regras de condição-ação ou reconhecimento de padrões, ou ambos, com pouca evidência para decisões que envolvam geração de opções concorrentes, avaliação e otimização de cursos de ação, como sugerido pelas pesquisas da teoria das decisões normativas. A maior parte das pesquisas iniciais em TDN focaliza o estilo e tipo de tomada de decisão, uma vez que o paradigma reinante para concepção do trabalho em sistemas complexos (até hoje, apesar do resultado dessas pesquisas) considera que operadores humanos devem tomar decisões com base normativa. Mais recentemente, o horizonte das pesquisas em TDN foi estendido para uma visão holística, incorporando áreas como consciência de situação, trabalho em equipe, treinamento, comunicação e carga de trabalho cognitiva, uma vez que se constatou que o processo de decisão envolve todas essas áreas.

É importante notar que as pesquisas em TDN contribuem para o processo de mudança de paradigma, ao qual já nos referimos no capítulo 1. Esta mudança de paradigma ainda está longe de acontecer, apesar de muitos de seus fundamentos já estarem entre nós há algum tempo. Por exemplo, o fato de que seres humanos compilam a informação em Esquemas foi descrito por BARTLETT em 1932, e muito antes disso por ARISTÓTELES que, no longínquo ano de 436 AC, afirmou:

“É da memória que o homem adquire experiência, porque as numerosas memórias da mesma coisa eventualmente produzem o efeito de uma experiência única.”
(ARISTÓTELES, Metafísica).

Em suma: a abordagem holística da TDN difere substancialmente da teoria das decisões tradicional e se revela mais pertinente ao tratamento da situação de controle a que nos remetemos no plano empírico. Como consequência, metodologias diversas para investigação das tomadas de decisão em ambientes dinâmicos foram introduzidas, as quais descreveremos no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 ANÁLISE DO TRABALHO EM SISTEMAS SÓCIO-TÉCNICOS COMPLEXOS

Este capítulo se inicia por uma pequena revisão teórica das metodologias de análise do trabalho, a partir das quais obtivemos indicações para desenvolver uma metodologia para obter dados visando a modelagem da tomada de decisão dos operadores de usinas nucleares. A revisão teórica engloba desde as metodologias tradicionalmente utilizadas no setor nuclear, como a análise de tarefas, até as novas propostas metodológicas de análise do trabalho em ambientes dinâmicos e complexos, como a Análise de Tarefas Cognitivas – ATC e a Análise Ergonômica do Trabalho, mais adequadas às perspectivas ecológica e holística da TDN. A partir daí apresentamos e comentamos a metodologia desenvolvida para coletar os dados em nosso estudo de caso na usina nuclear.

4.1 A análise de tarefas

Tradicionalmente, metodologias para a análise do trabalho foram concebidas como instrumentos para decompor o fluxo da atividade de trabalho em uma sucessão de eventos, expressos em termos do contexto de trabalho de acordo com o paradigma funcionalista/mecanicista da engenharia clássica, conforme (FULMANN, 1975). A ênfase é identificar o que os trabalhadores devem fazer para executar uma tarefa e atingir aos objetivos do trabalho, conforme a idéia de FREDERICK TAYLOR da melhor maneira de executar a tarefa, expressa abaixo em suas próprias palavras:

“Cada empregado do seu estabelecimento deve receber todos os dias instruções claras e bem definidas sobre o que deve fazer e como deve fazer, e estas instruções devem ser executadas exatamente como planejadas, estejam elas certas ou erradas.” (TAYLOR, F. apud KANIGEL, 1997).

Surgem daí diversos métodos prescritivos de análise do trabalho que são denominados de Análise de Tarefas. Estes métodos foram apropriados pela comunidade de fatores humanos Anglo-Americana e se tornaram num dos pilares da chamada Engenharia de Fatores Humanos (MEISTER, 1985). A partir da 2ª Guerra Mundial a

análise de tarefas passou a ser parte integrante do projeto de sistemas como aviões, (FITTS, P. & JONES, R., 1957) ferrovias e centrais nucleares. Os métodos para análise de tarefas podem ser usados para identificar e examinar as tarefas que precisam ser executadas pelos trabalhadores quando eles interagem com sistemas. Ou em outras palavras, a análise de tarefas pode ser definida como o estudo sobre o que um operador (ou equipe de operação) precisa fazer, em termos de ações e/ou processos cognitivos para que o sistema atinja determinada meta (KIRWAN & AINSWORTH, 1992). KIRWAN & AINSWORTH (op cit.) apresentam diversos métodos de análise de tarefas dos quais destacamos os mais utilizados:

- Entrada-Saída: identifica as entradas que operador precisa executar na interface Homem/Sistema para realizar a tarefa e as saídas que são obtidas após o término da tarefa.
- Fluxo sequencial: A este nível é identificada uma sequência de ações cronologicamente ordenadas, ações estas que são necessárias para que uma tarefa seja cumprida. Esta é uma descrição equivalente a um fluxograma do processo que os trabalhadores precisam seguir para ter seus objetivos atingidos, bastante semelhante a um algoritmo computacional.
- Linha temporal: Este é o nível final da prescrição, onde além da sequência de ações sua duração também é previamente determinada.

Normalmente realizada durante a fase concepção do sistema, a análise de tarefas visa fornecer informações sobre como os fatores humanos devem ser considerados nos projetos de engenharia, garantindo que seus operadores possam realizar as tarefas requeridas. O resultado natural desta análise detalhada de ações que devem ser executadas pelos operadores, feita na fase de projeto dos sistemas, é um conjunto de instruções detalhadas, na forma de procedimentos, que precisam ser seguidas por estes operadores. Resumindo, a análise de tarefas na sua forma clássica tem as seguintes características:

1. Define o que é requisitado ao operador fazer.

2. É usada pelos projetistas nos estágios iniciais de projeto para decidir como alocar funções entre homens e máquinas (sistemas).
3. Parte da premissa clássica da alocação de funções de que algumas tarefas são mais bem realizadas por homens e outras por máquinas.
4. Traz como resultado na fase de operação do sistema um conjunto de procedimentos que precisa ser seguido a risca de modo que as especificações do sistema sejam mantidas.

4.2 A análise de tarefas cognitivas - ATC

Com a evolução da tecnologia, uma significativa mudança no trabalho humano vem ocorrendo. Atividades mecânicas, repetitivas estão sendo executadas por equipamentos automatizados, restando aos seres humanos exercer atividades em contextos de trabalho dinâmicos, onde a rápida adaptação e flexibilidade, além de aspectos como resolução de problemas, tomadas de decisão e o trabalho cooperativo, se tornaram em novas e fundamentais exigências para um desempenho efetivo. A adaptação a situações que mudam constantemente, em função das variabilidades dos processos, das organizações, da tecnologia, enfim de todo o ambiente onde o trabalho humano está inserido, envolve habilidades complexas e capacidades cognitivas, que a análise de tarefas convencional, não conseguia explicitar, pois ela se tornou insuficiente para explicar os processos cognitivos envolvidos em sistemas sócio-técnicos complexos.

As técnicas de análise de tarefas evoluíram e procuraram incorporar o componente cognitivo na análise do trabalho para que fosse possível responder satisfatoriamente pelas habilidades complexas envolvidas na operação dos modernos e complexos sistemas de trabalho. Diversas técnicas se desenvolveram e foram apropriadas concomitantemente por diversas disciplinas como informática (desenvolvimento de sistemas especialistas, inteligência artificial), psicologia experimental, ciência cognitiva, antropologia e ergonomia, conduzindo à introdução de novas metodologias, conceitos, modelos e terminologias com pouco acordo interdisciplinar sobre rótulos e categorias. A introdução de aspectos cognitivos na análise do trabalho passou a ser chamada por alguns autores de Análise de Tarefas Cognitivas - ATC (SEAMSTER et al., 1977). Na realidade a ATC constitui-se de

diversas descrições de métodos, técnicas e instrumentos que visam fundamentalmente eliciar o modo como especialistas, peritos e demais trabalhadores executam atividades cognitivas em contextos específicos de trabalho. SEAMSTER e sus colegas (op cit) definem a ATC como um conjunto de métodos para identificar e descrever estruturas cognitivas como as bases de organização do conhecimento, as formas de representação de habilidades, e processos como atenção, resolução de problemas, tomadas de decisão, saberes tácitos etc. Apesar da abrangência dos conceitos envolvidos, os objetivos deste tipo de análise são bastante claros. A ATC visa a medição indireta de sistemas complexos de pensamento e comportamento.

Considerando que o foco da maior parte das metodologias de ATC são os processos cognitivos que ocorrem no interior do ser humano, enquanto operador de um sistema cognitivo conjunto, processos que ocorrem nas outras partes do sistema sócio-técnico e que influem no comportamento dos operadores só podem ser parcialmente aferidos. Assim sendo, a apropriação das metodologias de ATC pela Engenharia de Fatores Humanos (no setor nuclear após o acidente de TMI, ver capítulo 1), resultou na chamada perspectiva “cognitivista” (WICKENS, 1992), na qual se dá importância primária as restrições que o sistema cognitivo humano impõe ao comportamento do operador. Esta análise é feita a partir das características cognitivas do ser humano e não da análise do contexto ou ambiente de trabalho. Um dos principais objetivos desse tipo análise é identificar o modelo mental do operador em relação ao seu domínio de trabalho e, a partir daí, projetar uma interface compatível com o modelo.

Preocupados com as limitações dessa abordagem, RASMUSSEN e seus colegas (1994) introduziram a metodologia chamada Análise do Trabalho Cognitivo, recentemente revista por Vicente (VICENTE, K., 1999) que incorpora na ATC a influência que o contexto de trabalho exerce na atividade dos operadores. Este ponto de vista é baseado na mesma perspectiva ecológica (FLACH et al., 1995) da TDN que apresentamos no capítulo 3, dando precedência as restrições que a ecologia do trabalho impõe ao comportamento direcionado à metas dos operadores.

A Análise de Restrições (VICENTE, 1999) nos diversos níveis do sistema sócio-técnico é o ponto inicial da Análise do Trabalho Cognitivo. Esta análise parte da identificação do conjunto restrições à operação segura do sistema, para poder determinar que tipo de informação deve ser dada aos operadores para executar suas tarefas. Em sistemas projetados segundo esta abordagem, as tarefas não seriam explicitamente definidas, ficando a cargo dos operadores a escolha da estratégia mais

adequada para dar conta de determinada situação. Como mostra a figura 4.1, os operadores terão mais flexibilidade e autonomia para executar suas tarefas, adaptando-as dentro do espaço de possibilidades: em uma dada situação, diversas trajetórias (uma dada sequência de ações) podem ser usadas.



Figura 4.1 A abordagem baseada em restrições (apud Vicente, 1999). Diversas trajetórias são possíveis, algumas mais próximas, outras mais afastadas da fronteira de restrições que baliza uma operação segura.

As restrições especificam o que não deve ser feito, ao invés daquilo que precisa ser feito. São elas, as restrições, que permanecem invariantes, ao invés da ação dos operadores, os quais podem decidir a forma de agir quando determinada situação se apresentar. Deste modo, esta análise baseada em restrições aumenta a flexibilidade dos sistemas projetados segundo seus aportes. Flexibilidade esta que é necessária para suportar as variabilidades introduzidas pelo contexto de trabalho (VICENTE, op cit), facilitando o processo de adaptação dos operadores e fundamental para lidar com situações emergentes, não previstas pelos projetistas do sistema. Resumindo, sistemas projetados a partir de uma análise de tarefas baseada em restrições devem permitir aos operadores responder a situações não previstas ou emergentes, uma característica dos sistemas complexos, a partir de suas preferências subjetivas (escolhendo a trajetória mais adequada), satisfazendo as demandas do trabalho e a segurança (permanecendo no espaço de possibilidades).

O fato dos reatores nucleares terem sido projetados a partir dos aportes de uma análise de tarefas tradicional, ajuda a explicar o viés normativo que caracteriza o trabalho no setor. Este tipo de abordagem desde a fase de projeto deixa, necessariamente, muito pouca margem de manobra para a autonomia e o processo de

adaptação dos operadores às situações emergentes. Este fato emerge como contraponto a respeito as idéias da psicologia ecológica sobre comportamento dos seres humanos e nos permitem supor que os operadores enfrentam dificuldades relacionadas ao uso de procedimentos e ao suporte para lidar com situações novas, que não sendo previstas no projeto, não poderiam contar com o mesmo nível de suporte daquelas ações previstas pelo projeto conforme as questões levantadas no capítulo 1.

É importante observarmos que, geralmente, as metodologias usadas na ATC não são metodologias situadas. As informações sobre aspectos cognitivos são obtidas por meios indiretos como entrevistas, análises de incidentes críticos etc. (SEAMSTER et al., op. cit). Nossa opção pelo uso de uma metodologia situada de análise do trabalho para colher dados que permitam modelar as tomadas de decisão dos operadores é fundamentada a seguir.

4.3 A análise do trabalho: as abordagens situadas

A Análise Ergonômica do Trabalho – AET têm um longo histórico de aplicações pela escola de língua francesa de ergonomia (ver capítulo 1), e também no Brasil, onde aparece como base de dezenas de teses (por exemplo, ZAMBERLAN & VIDAL, 2000; SANTOS, I., & VIDAL, 2003) e trabalhos (VIDAL, 2001) desenvolvidos no País.

A AET se apropriou da Análise da Atividade, cujas raízes remontam a psicologia russa do início do século 20 (VYGOTSKY, L. S., 1925/1982), como parte fundamental de sua metodologia de análise do trabalho. Segundo DANIELLOU (1992) a Análise da Atividade se refere a análise de comportamentos e condutas, dos processos cognitivos e das interações postas em ação pelos trabalhadores no momento das observações. Deste modo, a análise da atividade introduz uma clara distinção entre atividade e tarefa (LEPLAT, 1989, 1990, 1997), que permite distingui-la das metodologias de análise de tarefas descritas na seção anterior. O termo Tarefa se refere às ações oficiais que são prescritas e devem ser executadas pelos trabalhadores. O termo Atividade se refere ao trabalho real, ao que efetivamente está sendo feito durante a execução do trabalho.

Ainda segundo DANIELLOU (op. cit.) a Análise do Trabalho pressupõe uma abordagem global, onde a atividade é inserida numa investigação que deve, também,

levar em conta a análise dos fatores econômicos, sociais, técnicos com os quais os trabalhadores se defrontam.

Mais recentemente a Teoria da Atividade foi revista com diversas conotações (KUUTI,1996; ENGESTRON, 2000; VIDAL & BENCHEKROUN, 1997), todas elas visando sua aplicação no estudo do trabalho em sistemas sócio-técnicos complexos, a partir de uma abordagem sócio-técnica, segundo a qual qualquer processo produtivo é sempre definido mediante uma combinação de pessoas, hardware e software. Desta forma, tanto as fraquezas quanto os pontos fortes do sistema estão na interação entre seus componentes (dentro e fora do sistema), que passam, então, a ser o foco da análise. Talvez, o principal postulado metodológico desta abordagem sócio-técnica, seja o de que as ações são sempre situadas num contexto e é impossível compreendê-las fora dele. Interligando forma biunívoca pessoas, sistemas técnicos e organização, esta abordagem faz com que propriedades antes atribuídas a apenas uma parte do sistema, como a cognição por exemplo, passem a ser uma propriedade do sistema sócio-técnico, como sugerem a noção de Sistema Cognitivo Conjunto (HOLNAGEL & WOODS, 1983) e a idéia de Cognição Distribuída (HUTCHINS, 1994), cuja tese central se desenvolve em torno das seguintes idéias:

- Para compreendermos o processo profundamente, o papel e as propriedades de cada artefato, nós temos que ampliar o foco da análise, usualmente a tarefa, e levar em consideração todo o sistema sócio-técnico composto pelas pessoas, papéis, artefatos, regras etc., isto é todo o contexto de trabalho.
- Este sistema sócio-técnico deve ser analisado em termos de um Sistema Cognitivo Conjunto que realiza computações mediante transformações e propagação de diferentes estados de representação, que podem estar dentro ou fora da mente das pessoas.

De acordo com o paradigma sócio-técnico, o contexto determina fortemente as possibilidades de inferir e agir e também as condições limite para as tomadas de decisão, cooperação e demais ações dos operadores. Podemos então descrever o contexto como um conjunto de possibilidades e restrições determinadas pelas demandas da tarefa e, ao mesmo tempo, condicionadas pela natureza dos processos cognitivos,

tecnológicos, organizacionais e sociais envolvidos. Os operadores assumem mais ou menos estas condições limites, em função das demandas das tarefas, da forma como eles compreendem (representam) a situação, e do respectivo custo/risco cognitivo.

Assim sendo, consideramos que a compreensão das atividades situadas num contexto específico de trabalho é a chave para um analista que se propõe a estudar o funcionamento de sistemas complexos. A abordagem situada, que procura explicitar a conceitualização das situações reais de trabalho sob o ponto de vista dos operadores, permitirá compreender a realidade do trabalho dos operadores e compará-la com a visão (prescrita) que a organização tem deste trabalho, surgindo daí importantes indicações sobre os processos de tomadas de decisão, como também sobre processos de treinamento, de gerenciamento de operações, de definição de responsabilidades, de alocação de funções etc.

4.4 Descrição da metodologia

A abordagem sócio-técnica de nossa pesquisa busca uma metodologia que permita uma descrição dos principais mecanismos cognitivos envolvidos nos processos de tomadas de decisão dos operadores, assim como identificar as influências que as restrições do contexto de trabalho produzem no processo, de modo a manter operante a dialética micro/macro da abordagem sócio-técnica.

Torna-se claro que a metodologia engloba análises nos diversos níveis do contexto sócio-técnico de modo a identificar as restrições, como sugere a Análise do Trabalho Cognitivo - ATC de RASMUSSEN et al. (1994). Apropriamos do método da AET a análise da atividade, contrapondo à instrução da demanda gerencial, nossa demanda induzida pela problemática da pesquisa (esta passagem tem sido objeto de elaboração nos seminários GENTE/COPPE). Assim sendo, em nosso estudo de caso, desdobramos tal análise nos seguintes níveis:

1. Análise do contexto onde a Organização está inserida: Uma descrição do contexto do setor núcleo-elétrico brasileiro.
2. Análise do ambiente físico: Descrições dos ambientes relacionados ao trabalho dos operadores, desde o arranjo geral da usina, passando pela sala de controle, os sistemas de instrumentação/automação, comunicação etc.,

com foco nas restrições que estes ambientes produzem no trabalho dos operadores.

3. Análise da atividade dos operadores: Esta análise é focada nas descrições dos mecanismos cognitivos de regulação dos operadores, especialmente durante os micro incidentes ou eventos de modo a possibilitar a identificação e modelagem da tomada de decisão.

Na análise da atividade dos operadores, de uma posição mais restritiva que a ergonomia tradicional, que usualmente coloca poucas restrições sobre o que irá ser observado, procuraremos descobrir como os agentes regulam (adaptam) coletivamente seu trabalho quando são confrontados com micro incidentes. Esta abordagem possui a vantagem de limitar o escopo e o tempo gasto na análise (BRESSOLLE et al., 1996).

Na aplicação da metodologia, e para os efeitos desta pesquisa, consideramos micro incidente qualquer evento que provoque uma ruptura com a operação normal, que faça emergir uma nova apreensão da realidade, remetendo à emergência de um novo tipo de racionalidade prática. Conforme a teoria dos sistemas complexos, atribuímos aos micro incidentes as seguintes características principais: singularidade, imprevisibilidade, importância (seu valor discriminador pelo qual apenas alguns dos eventos observados serão analisados) e sua imanência à situação.

A singularidade do micro incidente advém da sua própria natureza: ele surge como algo que não estava presente, como um acréscimo, um excesso à situação presente. A ele não se pode aplicar o enunciado: pertence à situação. De fato, o micro incidente, na medida em que ele se produz, está dentro da situação, mas se situa fora da norma que descreve, avalia e trata dessa situação.

O caráter imprevisível dos micro incidentes coloca em cheque a operação linear/sequencial, baseada em procedimentos bem definidos e introduz ações cuja lógica é intrinsecamente cognitiva e, portanto, mais adequada para a identificação das estratégias de tomada de decisão.

A importância do micro incidente é definida conforme os objetivos dos agentes (observados e observadores). Uma falha é sem importância se os agentes envolvidos não lhe derem nenhuma importância. Como veremos em nosso estudo de caso, a maior parte daquilo que consideramos micro incidentes e importantes para nossa análise, não é sequer mencionado nos registros de operação. Assim sendo, importância de um micro

incidente está embutida no paradoxo: ele é indeterminável porque escapa às normas de funcionamento existentes e, ao mesmo tempo, o micro incidente só pode existir como tal, em relação à uma norma que vai determinar se esse evento é importante e pode ser visto como um micro incidente. Em nosso estudo de caso, 2 normas se confrontaram a respeito da importância dos eventos: nossa metodologia para a análise da atividade e as normas da organização. O mais importante nesta passagem é sublinhar que a natureza própria da classe de eventos que nos interessa – os micro incidentes – não é capturada pela gerência de riscos (uma vez que as normas da organização não consideram a maior parte dos eventos observados como incidentes passíveis de serem relatados) de modo que a informação se perde na entropia do sistema cognitivo (não é incorporada à memória) e, portanto, não pode ser usada como reflexão ou aprendizado.

A maneira mais simples de perceber a última característica do micro incidente – sua imanência a situação – é dizer que ele é sempre interno à situação: não é necessário recorrer a nenhum efeito transcendental externo para explicar o micro incidente, ele é engendrado e pode ser explicado no âmbito geral da situação de trabalho.

4.4.1 A coleta de dados em usinas nucleares

A observação *in situ* implica na tomada de notas quotidianamente de modo a armazenar e compreender conversas e interações que ocorrem naturalmente entre os atores. De modo a facilitar o trabalho dos ergonomistas, meios eletrônicos como gravadores e vídeos, são usados para facilitar o trabalho de armazenamento e análise de dados. Entretanto, a manutenção pelo analista de uma narrativa escrita das formas usadas pelos atores para interagir e se integrar ao ambiente sócio-técnico é parte fundamental da metodologia, pois permite o acesso a atividades que ocorrem por trás dos panos, onde os atores usam suas competências tácitas, estratégias particulares de cooperação, heurísticas próprias etc., que são essenciais para lidar com eventos e situações novas.

A participação em atividades diárias da organização durante o trabalho de campo permite ao analista estabelecer interações com os atores de modo a se familiarizar com sua linguagem natural, para compreender os métodos usados para interpretar sua realidade sócio-técnica e aprender a como se comportar dentro da organização em estudo. Em outras palavras, o objetivo principal do analista é conhecer

de modo profundo as rotinas, costumes, maneirismos, jargões de trabalho, regras locais etc.

Finalmente, é preciso deixar claro que a coleta de dados empíricos nesta base etnográfica não é independente das interações que ocorrem entre o analista e os atores observados. Descobrir o local e os interlocutores apropriados requer que os analistas conversem com os atores de modo a negociar seu papel e posição na organização (física e hierárquica) do modo mais proveitoso possível. Isto quer dizer que todas as interações que ocorrem entre o analista e as pessoas em estudo precisam ser consideradas como dados empíricos e como tal classificadas no momento da análise teórica. Ao final do período de observação os dados obtidos são as notas do ergonômista e as gravações de áudio e vídeo em situação de trabalho real.

No estudo de caso que realizamos na usina nuclear passamos pelos seguintes passos para coletar os dados necessários ao nosso estudo:

1. A chegada dos analistas, os primeiros dias na usina.
2. A observação do trabalho (notas no campo).
3. A análise da conversação ou dos protocolos verbais.
4. A análise dos vídeos.
5. Análise de documentos de operação (registros e procedimentos).

1 Primeiros dias na usina: A obtenção da permissão para entrada nas usinas nucleares, mais especificamente nas sala de controle e edifícios auxiliares onde trabalham os operadores de área implicou em reuniões e negociações com diversos setores da organização. O pesquisador precisa justificar sua necessidade de estar observando diariamente as atividades dos operadores e ao mesmo garantir as formas de utilização das informações obtidas, tanto para os operadores, preocupados se os dados serão usados contra eles, quanto para os escalões superiores, preocupados com as repercussões que a revelação de determinadas informações sobre os bastidores da organização poderiam ter junto aos órgãos reguladores e à sociedade em geral. Sem dúvida alguma estes aspectos trazem problemas para a realização de análises deste tipo em setores tão estigmatizados como o nuclear, inclusive dilemas éticos para o pesquisador.

Nas reuniões iniciais procuramos deixar claro que não éramos inspetores e sim pesquisadores buscando dados para uma pesquisa cujo resultado poderia melhorar as

condições de trabalho dos operadores das usinas. Esta é uma situação estranha, difícil de ser assimilada pelos trabalhadores do setor nuclear nos mais diversos níveis hierárquicos, que têm dificuldade em compreender o papel do ergonômista, uma vez que usinas nucleares são instalações de acesso restrito, visitadas apenas por inspetores – de órgão regulador, ou pares de outras usinas estrangeiras (inspeções cruzadas). O ergonômista é dessa forma confrontado com uma legítima ansiedade e uma natural falta de confiança dos trabalhadores, que se tornam apreensivos em relação à intrusão de pessoas estranhas na sua comunidade de trabalho.

Assim, após obtermos a aprovação para a realização de nossa pesquisa, nos encontramos no campo com os operadores, que sabiam apenas que algumas pessoas iriam estar com eles enquanto trabalhavam, dentro da sala de controle da usina nuclear – um ambiente que poucos trabalhadores das próprias usinas têm acesso – gravando suas conversas e filmando suas ações. Como resultado, os primeiros períodos de observação foram naturalmente tensos, mas é interessante notar que ao longo do tempo os operadores adquiriram progressivamente mais confiança nos ergonômistas, esquecendo o constrangimento inicial e vendo nos ergonômistas um canal para expressar suas dificuldades.

2 Observação do trabalho (notas de campo): As notas de campo retratam os eventos ocorridos durante a operação e algumas cenas sociais protagonizadas pelos atores durante o desempenho de suas atividades cotidianas. Em nosso estudo constatamos que descrever as atividades a partir de diálogos naturais requer habilidades particulares dos analistas, que precisam agregar conhecimentos específicos da área. Os operadores das usinas falam exatamente conforme EMERSON et al. (1994) registraram: *“Pessoas falam em jorro e fragmentos, acentuam ou completam frases com gestos, expressões faciais ou posturas (...) interrompem umas as outras, sobrepõem palavras, falam simultaneamente, e respondem com novas perguntas, comentários ou murmúrios.”* Deste modo a pesquisa precisa de técnicas apropriadas para armazenar e classificar os discursos, a linguagem gestual, expressões faciais, movimentos do corpo, deslocamentos espaciais etc. A nitidez necessária aos dados obtidos empiricamente depende fundamentalmente dos objetivos da pesquisa, por exemplo, fazer gravações de áudio e vídeo das atividades dos operadores permite uma análise mais detalhada das conversações e interações naturais, que desta forma podem ser mais bem exploradas pelo ergonômista. No nosso caso, onde pretendemos identificar os processos de tomada

de decisão dos operadores, concluímos a partir de nossas primeiras observações na sala de controle, que a utilização deste tipo de mídia eletrônica para armazenamento e posterior análise dos dados, seria uma condição indispensável para a realização de nossa proposta de trabalho; seria praticamente impossível para os analistas darem conta de todos os fenômenos da atividade dos operadores usando apenas as notas de campo (que entretanto ainda se constituem em elementos fundamentais da pesquisa).

3 A Análise da Conversação ou de Protocolos Verbais: É uma metodologia que procura entender a realidade do trabalho através da análise dos diálogos capturados por meio gravações de áudio e vídeo durante a atividade real de trabalho, procurando compreender a partir daí quais métodos de interpretação e formas de raciocínio são usados pelos trabalhadores. Assim sendo, a análise da conversação é concernente a uma construção de descrições da organização das ações e atividades humanas, que são sensíveis e explicáveis pelos recursos e orientações dos próprios participantes. Ela dirige a atenção do analista para os recursos que os participantes usam para desempenhar de forma adequada suas atividades, tanto na produção da ação, quanto no modo de torná-la inteligível. Ela parte de um ponto de vista básico, que coloca as propriedades intrínsecas das ações práticas, a ocasionalidade, a emergência e um sentido único de conduta, diretamente à frente da agenda do analista, direcionando sua atenção para os recursos disponíveis (cognitivos, técnicos, organizacionais), conhecimento prático e formas de raciocínio que os operadores confiam para o desempenho de suas ações. Enfim, a análise das conversações se interessa pela linguagem falada e corporal, derivando do reconhecimento de que as condutas verbais e corporais são os veículos primários para a produção das ações e atividades na sociedade humana.

A análise da conversação tem sido usada em diversos estudos, dentre os quais destacamos o estudo e as palavras de SUCHMAN (1987), relacionando a conversação e a emergência de eventos: *“A comunicação se sucede em função de perturbações e não porque podemos prever o que irá acontecer e desta forma evitar os problemas, ou porque encontramos problemas que tenham sido antecipados pelos projetistas do sistema, mas sim porque trabalhamos, a todo o momento, tentando identificar os inevitáveis problemas emergentes.”*

4 A análise de vídeos: Além dos diálogos nossa pesquisa necessita também de gravação em vídeo das interações entre os operadores, uma vez que esta seria a única

maneira prática de capturar as demais formas de expressão usadas pelos trabalhadores na construção da cena social. Os vídeos são usados de modo a aumentar abrangência e coerência da pesquisa, potencializando e contextualizando os resultados da análise da conversação. Os vídeos nos permitiram a examinar o carácter interativo das atividades da equipe de operadores da sala de controle, no que concerne especialmente ao trabalho colaborativo entre os membros da equipe durante os turnos de operação observados.

Finalmente podemos dizer que o uso de mídias eletrônicas para o armazenamento de dados serviram para um controle sobre as limitações e possíveis falhas na memória, intuição ou na tomada de notas por parte dos analistas. Estas mídias expõem o pesquisador a uma grande quantidade de material a respeito da interação entre os agentes, entre os agentes e as circunstâncias do contexto de trabalho, produzindo alguma garantia de que as considerações analíticas não surjam idiossincriticamente a partir da intuição, de uma atenção seletiva, ou mesmo de uma reconstituição de atividades falha por parte dos analistas.

5 Análise de documentos de operação (registros e procedimentos): Concluimos nossas observações sobre métodos para coleta de dados em situações reais de trabalho, observando que, além da observação direta ou situada descrita acima, o analista precisa coletar documentos oficiais (procedimentos, registros de operação) e informais (bilhetes, anotações), que servem ao analista para uma melhor compreensão a respeito da estocagem e transmissão das informações e do contexto de trabalho como um todo.

4.4.2 A organização do trabalho dos analistas

Para por em prática a metodologia descrita na seção anterior, em nosso estudo de caso numa usina nuclear, diversas questões em relação a organização da coleta dos dados pelos ergonomistas, como sua localização física, capacitação, função e número necessário, qual o momento mais apropriado para as observações tiveram de ser definidas antes do início das observações.

Localização dos analistas: Os estudos de campo foram centralizados na Sala de Controle da usina. A escolha da Sala de Controle como ponto principal de observações é óbvia a partir do objetivo da pesquisa, que é a descrição das tomadas de decisão dos operadores. Entretanto, o acesso as Salas de Controle de reatores nucleares é difícil, em

função da própria segurança da usina, e foi conseguido após diversas discussões com os operadores e alta-gerência das usinas. Observamos durante a realização do estudo, que a escolha da Sala de Controle como ponto principal de observação foi bastante adequada, uma vez que ela é o ponto focal em torno do qual o sistema se organiza para funcionar adequadamente, onde ocorre a maior parte da interação entre as equipes de operação, manutenção, planejamento, engenharia, bem como as relações com a burocracia da organização em seus diversos níveis. Uma característica de um sistema sócio-técnico complexo, onde a hierarquia formal se adapta às metas do sistema. Observações na sala de controle fornecem pistas sobre o funcionamento global da organização do trabalho nas usinas.

Função, capacitação, e número de analistas: Como vimos, a equipe de operação das usinas é composta de 4 operadores licenciados na sala de controle. Apenas 2 destes operadores possuem posições relativamente fixas na sala: os Operadores do Reator e Circuito Secundário. Assim sendo, em função do número de operadores, do seu deslocamento, das dimensões da sala de controle, da necessidade da tomada de notas, de trocar fitas de áudio e vídeo, a análise da operação na Sala de Controle de uma usina nuclear precisa ser feita por mais de um ergonômista. Procuramos estabelecer um número mínimo de analistas, uma vez que a permanência dentro da sala de controle é limitada a um determinado número de pessoas. Decidimos por 4 ergonômistas que, após negociações com a gerência, tiveram permissão para ficar dentro da sala de controle, cada um deles acompanhando o trabalho de cada um dos 4 operadores licenciados.

Com relação a capacitação, mesclamos ergonômistas com experiência na análise do trabalho, embora sem conhecimento específico da área nuclear, com analistas oriundos do setor nuclear. Acreditamos que esta integração permitiu uma melhor compreensão do domínio do trabalho e diminuiu o tempo que seria gasto numa análise na qual participassem apenas analistas sem conhecimento do setor nuclear.

O período de observação: Foi escolhido de modo a observar os operadores lidando com micro incidentes. Após entrevistas com diversos operadores e gerentes, consideramos que as situações de partidas e paradas das usinas seriam as mais indicadas para as observações. As paradas para manutenção das usinas são períodos reveladores e catalisadores do funcionamento da organização, pois envolvem praticamente todo o pessoal da usina. A pressão temporal e o caminho crítico necessário para que as diversas tarefas programadas sejam realizadas geram conflitos e mantêm a organização sob

tensão. Muitos sistemas que normalmente não operam precisam ser acionados e centenas de procedimentos são executados.

Treinamento em Simulador: Simuladores de treinamento são uma possibilidade de investigação sobre o comportamento das equipes durante acidentes, embora reconheçamos que a validade ecológica destas observações é limitada. A análise do trabalho das equipes de operação no simulador foi incluído no escopo da análise de modo que tenhamos algum parâmetro sobre o comportamento das equipes durante a operação em emergência e o uso dos respectivos procedimentos.

4.5 Resumo do capítulo

Neste capítulo, diversas metodologias para análise do trabalho em sistemas complexos foram descritas. Mostramos que, face a abordagem sócio-técnica da pesquisa, seria necessário usar a análise das restrições da ATC de RASMUSSEN em conjunto com a análise da atividade, para a modelagem das tomadas de decisão. Definimos uma classe específica de objetos que estamos interessados em observar: os micro incidentes e, finalmente, descrevemos a metodologia que foi utilizada na análise do trabalho dos operadores, cujo resultados apresentamos no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5 – A ANÁLISE DO TRABALHO DOS OPERADORES DE SALAS DE CONTROLE DE UMA USINA NUCLEAR

Neste capítulo descrevemos os métodos utilizados em nosso estudo de caso para coleta e análise dos dados empíricos e apresentaremos os resultados da análise do trabalho dos operadores de sala de controle de uma usina nuclear. Como observamos no capítulo 3, a análise do trabalho em sistemas complexos precisa ser feita em diversos níveis, desde o ambiente ou contexto onde a organização está inserida, passando pelo ambiente de trabalho aí incluídos o *hardware* (interface H/M, sistemas de I/C, nível automação, sistemas de comunicação), o *software* (procedimentos, sistemas de ajuda) e a análise da atividade dos operadores. A seguir descrevemos o método que utilizamos para a coleta de dados empíricos em nossa pesquisa.

Método para coleta de dados na sala de controle: A observação *in situ* implica na tomada de notas pelos analistas de modo a armazenar e compreender conversas e interações que ocorrem naturalmente entre os atores. De modo a facilitar o trabalho dos ergonomistas, meios eletrônicos como gravadores e vídeos, são usados para o armazenamento e análise de dados. Entretanto, a manutenção pelo analista de uma narrativa escrita das formas usadas pelos atores para interagir e se integrar ao ambiente sócio-técnico é parte fundamental da metodologia, pois permite o acesso a atividades que ocorrem por trás dos panos, onde os atores usam suas competências tácitas, estratégias particulares de cooperação, heurísticas próprias etc., que são essenciais para lidar com eventos e situações novas.

A participação em atividades diárias da organização durante o trabalho de campo permite ao analista estabelecer interações com os atores de modo a se familiarizar com sua linguagem natural, para compreender os métodos usados para interpretar sua realidade sócio-técnica e aprender a como se comportar dentro da organização em estudo. Em outras palavras, o objetivo principal do analista é conhecer de modo profundo as rotinas, costumes, maneirismos, jargões de trabalho, regras locais etc.

Finalmente, é preciso deixar claro que a coleta de dados empíricos nesta base etnográfica não é independente das interações que ocorrem entre o analista e os atores observados. Descobrir o local e os interlocutores apropriados requer que os analistas

conversem com os atores de modo a negociar seu papel e posição na organização (física e hierárquica) do modo mais proveitoso possível. Isto quer dizer que todas as interações que ocorrem entre o analista e as pessoas em estudo precisam ser consideradas como dados empíricos e como tal classificadas no momento da análise teórica. A coleta de dados empíricos passou pelas seguintes fases:

1. A chegada dos analistas, os primeiros dias na usina.
2. A observação da atividade na sala de controle e simulador.

1 Primeiros dias na usina: A obtenção da permissão para entrada nas usinas nucleares, mais especificamente nas sala de controle e edifícios auxiliares onde trabalham os operadores de área, implicou em reuniões e negociações com diversos setores da organização. O pesquisador precisa justificar sua necessidade de estar observando diariamente as atividades dos operadores e ao mesmo garantir as formas de utilização das informações obtidas, tanto para os operadores, preocupados se os dados serão usados contra eles, quanto para os escalões superiores, preocupados com as repercussões que a revelação de determinadas informações sobre os bastidores da organização poderiam ter junto aos órgãos reguladores e à sociedade em geral. Sem dúvida alguma estes aspectos trazem problemas para a realização de análises deste tipo em setores tão estigmatizados como o nuclear, inclusive dilemas éticos para o pesquisador.

Nas reuniões iniciais procuramos deixar claro que não éramos inspetores e sim pesquisadores buscando dados para uma pesquisa cujo resultado visa melhorar as condições de trabalho dos operadores das usinas. Esta é uma situação estranha, difícil de ser assimilada pelos trabalhadores do setor nuclear nos mais diversos níveis hierárquicos, que têm dificuldade em compreender o papel do ergonômista, uma vez que usinas nucleares são instalações de acesso restrito, visitadas apenas por inspetores – de órgão regulador, ou pares de outras usinas estrangeiras (inspeções cruzadas). O ergonômista é dessa forma confrontado inicialmente com uma legítima ansiedade e uma natural falta de confiança dos trabalhadores, que se tornam apreensivos em relação à intrusão de pessoas estranhas na sua comunidade de trabalho.

Assim, após obtermos a aprovação para a realização de nossa pesquisa, nos encontramos no campo com os operadores, que sabiam apenas que algumas pessoas iriam estar com eles enquanto trabalhavam, dentro da sala de controle da usina nuclear –

um ambiente que poucos trabalhadores das próprias usinas têm acesso – gravando suas conversas e filmando suas ações. Como resultado, os primeiros períodos de observação foram naturalmente tensos, mas é interessante notar que ao longo do tempo os operadores adquiriram progressivamente mais confiança nos ergonomistas, esquecendo o constrangimento inicial e vendo nos ergonomistas um canal para expressar suas dificuldades.

2 Observação da atividade (notas de campo): As notas de campo retratam os eventos ocorridos durante a operação e algumas cenas sociais protagonizadas pelos atores durante o desempenho de suas atividades cotidianas. Em nosso estudo constatamos que descrever as atividades a partir de diálogos naturais requer habilidades particulares dos analistas, que precisam agregar conhecimentos específicos da área. Os operadores das usinas falam exatamente conforme EMERSON et al. (1994) registraram: *“Pessoas falam em jorro e fragmentos, acentuam ou completam frases com gestos, expressões faciais ou posturas (...) interrompem umas as outras, sobrepõem palavras, falam simultaneamente, e respondem com novas perguntas, comentários ou murmúrios.”* Deste modo a pesquisa precisa de técnicas apropriadas para armazenar e classificar os discursos, a linguagem gestual, expressões faciais, movimentos do corpo, deslocamentos espaciais etc. A nitidez necessária aos dados obtidos empiricamente depende fundamentalmente dos objetivos da pesquisa, por exemplo, fazer gravações de áudio e vídeo das atividades dos operadores permite uma análise mais detalhada das conversações e interações naturais, que desta forma podem ser mais bem exploradas pelo ergonomista. No nosso caso, onde pretendemos identificar os processos de tomada de decisão dos operadores, concluímos a partir de nossas primeiras observações na sala de controle, que a utilização deste tipo de mídia eletrônica para armazenamento e posterior análise dos dados, seria uma condição indispensável para a realização de nossa proposta de trabalho; seria praticamente impossível para os analistas darem conta de todos os fenômenos da atividade dos operadores usando apenas as notas de campo (que entretanto ainda se constituem em elementos fundamentais da pesquisa).

A organização do trabalho dos ergonômistas: Diversas questões em relação a organização da coleta dos dados pelos ergonômistas, como sua localização física, capacitação, função e número necessário, qual o momento mais apropriado para as observações tiveram de ser definidas antes do início das observações.

Localização: Os estudos de campo foram centralizados na Sala de Controle da usina. A escolha da Sala de Controle como ponto principal de observações é óbvia a partir do objetivo da pesquisa, que é a descrição das tomadas de decisão dos operadores. Entretanto, o acesso as Salas de Controle de reatores nucleares é difícil, em função da própria segurança da usina, e foi conseguido após diversas discussões com os operadores e alta-gerência das usinas. Observamos durante a realização do estudo, que a escolha da Sala de Controle como ponto principal de observação foi bastante adequada, uma vez que ela é o ponto focal em torno do qual o sistema se organiza para funcionar adequadamente, onde ocorre a maior parte da interação entre as equipes de operação, manutenção, planejamento, engenharia, bem como as relações com a burocracia da organização em seus diversos níveis. Uma característica de um sistema sócio-técnico complexo, onde a hierarquia formal se adapta às metas do sistema. Observações na sala de controle fornecem pistas sobre o funcionamento global da organização do trabalho nas usinas.

Função, formação e número: Como vimos, a equipe de operação das usinas é composta de 4 operadores licenciados na sala de controle. Apenas 2 destes operadores possuem posições relativamente fixas na sala: os Operadores do Reator e Circuito Secundário. Assim sendo, em função do número de operadores, do seu deslocamento, das dimensões da sala de controle, da necessidade da tomada de notas, de trocar fitas de áudio e vídeo, a análise da operação na Sala de Controle de uma usina nuclear precisa ser feita por mais de um ergonômista. Procuramos estabelecer um número mínimo de analistas, uma vez que a permanência dentro da sala de controle é limitada a um determinado número de pessoas. Decidimos por 4 ergonômistas que, após negociações com a gerência, tiveram permissão para ficar dentro da sala de controle, cada um deles acompanhando o trabalho de cada um dos 4 operadores licenciados.

Com relação a formação, mesclamos ergonômistas com experiência na análise do trabalho, embora sem conhecimento específico da área nuclear, com analistas oriundos do setor nuclear. Acreditamos que esta integração permitiu uma melhor

compreensão do domínio do trabalho e diminuiu o tempo que seria gasto numa análise na qual participassem apenas analistas sem conhecimento do setor nuclear.

O período de observação: Foi escolhido de modo a observar os operadores lidando com micro incidentes. Após entrevistas com diversos operadores e gerentes, consideramos que as situações de partidas e paradas da usina seriam as mais indicadas para as observações. As paradas para manutenção das usinas são períodos reveladores e catalisadores do funcionamento da organização, pois envolvem praticamente todo o pessoal da usina. A pressão temporal e o caminho crítico necessário para que as diversas tarefas programadas sejam realizadas geram conflitos e mantêm a organização sob tensão. Muitos sistemas que normalmente não operam precisam ser acionados e centenas de procedimentos são executados.

Foram colhidos dados de 5 equipes de operação diversas, sendo um turno completo (cerca de 14:00 horas) na parada (desligamento) da usina – equipe 1, testes antes da partida – equipe 2, a partida da usina – equipe 3 e treinamento no simulador, mais 2 equipes, totalizando cerca de 36 horas de observação.

Materiais: Ao final do período de observação o material obtido é composto pelas notas dos ergonomistas, fotos e gravações de áudio e vídeo em situação de trabalho, além dos documentos oficiais – relatórios e registros de operação da usina. Conforme previamente combinado, cada 1 dos 4 ergonomistas presentes na sala de controle procurou anotar cronologicamente os eventos que julgasse importantes, de modo a facilitar a identificação dos micro incidentes na fase de análise dos dados.

Considerando que cada um dos 4 operadores licenciados (Supervisor, Encarregado, Operador do Reator e Operador do Circuito Secundário) portava micro gravadores, foram gerados 4 conjuntos de fitas de áudio. Com relação aos vídeos, foram colocadas 3 câmaras na sala de controle, sendo 2 delas para cobrir os deslocamentos dos operadores na sala de controle e uma para cobrir a exploração visual dos Operadores do Reator e Circuito Secundário.

Método para análise dos dados obtidos: Considerando que cada ergonomista acompanhou um determinado operador, a análise dos dados foi iniciada a partir de reuniões entre os 4 ergonomistas participantes do estudo. Estas reuniões permitiram uma compatibilização das notas de campo e o início da identificação dos micro

incidentes. A partir daí a análise é aprofundada por meio dos protocolos verbais, vídeos e documentos de operação, como descrito a seguir:

A Análise da Conversação ou de Protocolos Verbais: É uma metodologia que procura entender a realidade do trabalho através da análise dos diálogos capturados por meio gravações de áudio e vídeo durante a atividade real de trabalho, procurando compreender a partir daí quais métodos de interpretação e formas de raciocínio são usados pelos trabalhadores. Assim sendo, a análise da conversação é concernente a uma construção de descrições da organização das ações e atividades humanas, que são sensíveis e explicáveis pelos recursos e orientações dos próprios participantes. Ela dirige a atenção do analista para os recursos que os participantes usam para desempenhar de forma adequada suas atividades, tanto na produção da ação, quanto no modo de torná-la inteligível. Ela parte de um ponto de vista básico, que coloca as propriedades intrínsecas das ações práticas, a ocasionalidade, a emergência e um sentido único de conduta, diretamente à frente da agenda do analista, direcionando sua atenção para os recursos disponíveis (cognitivos, técnicos, organizacionais), conhecimento prático e formas de raciocínio que os operadores confiam para o desempenho de suas ações. Enfim, a análise das conversações se interessa pela linguagem falada e corporal, derivando do reconhecimento de que as condutas verbais e corporais são os veículos primários para a produção das ações e atividades na sociedade humana.

A análise da conversação tem sido usada em diversos estudos, dentre os quais destacamos o estudo e as palavras de SUCHMAN (1987), relacionando a conversação e a emergência de eventos: *“A comunicação se sucede em função de perturbações e não porque podemos prever o que irá acontecer e desta forma evitar os problemas, ou porque encontramos problemas que tenham sido antecipados pelos projetistas do sistema, mas sim porque trabalhamos, a todo o momento, tentando identificar os inevitáveis problemas emergentes.”*

A análise de vídeos: Além dos diálogos, nossa pesquisa necessita também de gravação em vídeo das interações entre os operadores, uma vez que esta seria a única maneira prática de capturar as demais formas de expressão usadas pelos trabalhadores na construção da cena social. Os vídeos são usados de modo a aumentar abrangência e coerência da pesquisa, potencializando e contextualizando os resultados da análise da conversação. Os vídeos nos permitiram a examinar o carácter interativo das atividades

da equipe de operadores da sala de controle, no que concerne especialmente ao trabalho colaborativo entre os membros da equipe durante os turnos de operação observados. Por meio dos vídeos foram elaborados diagramas de deslocamento e comunicação dos operadores que serão apresentados posteriormente.

Finalmente podemos dizer que o uso de mídias eletrônicas para o armazenamento de dados serviu para um controle sobre as limitações e possíveis falhas na memória, intuição ou na tomada de notas por parte dos analistas. Estas mídias expõem o pesquisador a uma grande quantidade de material a respeito da interação entre os agentes e entre os agentes e as circunstâncias do contexto de trabalho, produzindo alguma garantia de que as considerações analíticas não surjam idiossincriticamente a partir da intuição, de uma atenção seletiva, ou mesmo de uma reconstituição de atividades falha por parte dos analistas.

Análise de documentos de operação (registros e procedimentos): Além da observação direta, o analista precisa coletar documentos oficiais (procedimentos, registros de operação) e informais (bilhetes, anotações), que servem ao analista para uma melhor compreensão a respeito da estocagem e transmissão das informações e do contexto de trabalho como um todo.

Identificação de micro incidentes: Após a concatenação das notas de campo dos 4 ergonômicos e de posse da transcrição dos protocolos verbais, ocorreram novas reuniões entre os ergonômicos e foi estabelecida uma descrição cronológica dos eventos, que é exemplificada na tabela 5.1. A caracterização de alguns destes eventos como micro incidentes se baseou nas propriedades que definimos para que um evento qualquer pudesse ser considerado um micro incidente (ver cap. 3), principalmente na sua importância para o objetivo da pesquisa, que é a caracterização de estratégias cognitivas na tomada de decisão. Assim procuramos observar as tabelas de eventos em conjunto com a transcrição dos protocolos verbais de modo a verificar a ocorrência de pontos de decisão e ruptura do modo nominal de operação. Algumas fitas foram novamente ouvidas de modo a caracterizarmos os momentos de maior pressão ou *stress*, conforme o tom de voz dos operadores, de modo aqueles eventos que trouxeram mais problemas para a operação fossem classificados como micro incidentes.

Tabela 5.1 Exemplo da tabela de eventos - desligamento do reator.

Hora	Modo de operação	Evento
21:01	Redução de carga (potência)	Supervisor anuncia no sistema geral de comunicação que será iniciado o processo de redução da carga. O operador do circuito secundário aciona sistema automático que reduz potência a 10MW/min até 25% da potência ou 330MW. Encarregado comanda checagem de variáveis, conforme procedimento <i>Shutdown to hot critical condition (hot standby)</i> – procedimento em inglês. Operadores ficam de pé para visualizar melhor as variáveis.
21:17		Válvula do LAC 30 – acionamento manual não funciona.
22:16		Bomba AP001 LAC 30 – Eixo vibrando.
22:25	Reator 410MW.	Anúncio supervisor no sistema geral de comunicação: interromper redução da potência por solicitação da ONS.
22:31		Operadores notam uma “balançada” na rede (oscilação na alimentação elétrica).
22:41		Encarregado, após ser abordado por consultor, conversa com operador e pede informação sobre alarme de radiação na chaminé. Obs. Durante a passagem de turno os operadores haviam discutido este assunto.
22:44		Anúncio supervisor no sistema geral de comunicação: potência pode voltar a ser reduzida. Encarregado reassume lugar no púlpito. Supervisor liga para a outra usina do sítio avisando do desligamento.
22:52	330 MW	Próximo ao trip da turbina.
22:56		Encarregado no púlpito pede leitura de variáveis aos operadores.
22:58		Chega operador de área para falar com o Operador do Reator usando a Folha de Passagem de Turno: emitir SOT (Solicitação de trabalho) para manutenção de válvula.
23:06	Desligamento da turbina	A turbina é desligada, a usina sai da malha do sistema elétrico, o vapor gerado pelo reator é desviado, sem passar pela turbina. Desligamento do reator, por meio da redução de potência via inserção de barras de controle.
23:20	Reator a 9%	Sinal sonoro enquanto barras são inseridas. Operador pressiona 2 botões ao mesmo tempo.
23:34	Desligamento do reator	<i>SCRAM</i> manual. Operador do primário aperta botão que libera as barras de seus atuadores, conforme procedimento. Todas as barras no fundo do núcleo, com o reator a 0,54% de potência. A partir daí se inicia o processo de resfriamento do reator.
23:40	Início resfriamento	Operador do secundário percebe que a Caldeira 2 está travada, não liga. Na passagem de turno havia preocupação com o estado da Caldeira 1 que se encontrava em testes.

Dentre os eventos descritos na tabela 5.1, apenas a não partida da Caldeira foi classificado como sendo um micro incidente.

Caracterização dos participantes: Os participantes diretos do estudo são os operadores licenciados da sala de controle da usina nuclear: Supervisor, Encarregado, Operador do Reator e Circuito Secundário.

Os Supervisores das equipes de operação analisadas possuem nível superior em engenharia, conforme a exigência do cargo e idades que variam entre 35 e 55 anos e experiência na área nuclear de pelo menos 10 anos. Alguns deles já eram Supervisores na outra usina nuclear desta operadora, outros ocupavam cargos em setores que lidavam com a operação, como manutenção ou engenharia. Todos passaram por extensivos cursos de treinamento nos últimos 2 anos para operar esta nova usina e foram aprovados em exame realizado pelo órgão regulador do setor nuclear.

Os Encarregados possuem perfil semelhante aos Supervisores em idade, formação, origem e tempo de experiência. Encontramos ainda como Encarregados operadores da outra usina que já estavam aposentados e foram recontratados para operar esta nova usina. Alguns dos Encarregados mais experientes da outra usina foram transferidos para esta e novos operadores foram contratados para a primeira usina.

Os Operadores do Reator e Circuito Secundário possuem nível médio e idade entre 20 e 30 anos. Alguns deles foram transferidos da outra usina, mas a maior parte era de pessoal contratado recentemente (com cerca de 2 anos de casa) sem experiência previa na operação de usinas. Estes operadores passaram também por cursos de pelo menos 1 ano de duração e foram aprovados em exames de forma análoga aos Supervisores e Encarregados.

A seguir iniciamos a apresentação dos resultados da análise, iniciando por uma análise do contexto onde a organização está inserida, conforme nossa proposta metodológica.

5.1 A usina e o contexto do setor núcleo-elétrico nacional

Pode – se dizer que a usina nuclear analisada é o principal resultado concreto do acordo de cooperação Brasil-Alemanha para o uso pacífico da energia nuclear, firmado em 1975. Este acordo previa, numa primeira fase, a construção de 8 usinas nucleares, o domínio completo do ciclo combustível nuclear, utilizando a tecnologia do jato-centrífugo (hoje abandonada até pela própria Alemanha), além de uma fábrica de equipamentos pesados para fornecer componentes para usinas nucleares e de uma fábrica elementos combustíveis.

A construção desta usina foi duramente afetada pela idas e vindas do chamado Programa Nuclear Brasileiro. Ela finalmente foi conectada ao sistema elétrico nacional em julho de 2000, depois de quase 14 anos de atraso, uma vez que sua conclusão foi inicialmente prevista para 1986, com efeitos diretos sobre *hardware* (instrumentos comprados antecipadamente se tornam obsoletos) e o *liveware* (dificuldades para formação e treinamento de operadores, por exemplo). Uma consequência direta desta situação foi constatada quando observamos que o turno de trabalho de alguns dos operadores da usina (principalmente Supervisores e Encarregados) era de 12 horas, em função da falta de operadores licenciados em número suficiente para um turno normal de 8 horas naquele momento. Este fato pode ser explicado em função da dificuldade de formar, manter e qualificar pessoal para operação de usinas nucleares num contexto tão volátil.

A formação de operadores de usinas nucleares é um processo longo que requer anos de treinamento, ao final do qual os operadores devem se submeter a exames de qualificação para obterem a licença de Operador de Reator ou de Operador Senior. Para os cargos de Supervisor de Turno e Encarregado exige-se a licença de Operador Senior e um tempo de experiência anterior em operação de usinas (térmicas ou nucleares) de pelo menos 30 meses. Para a obtenção da licença os operadores são submetidos a provas aplicadas pelo órgão regulador (NORMA CNEN NE 1.01, 1979). Assim, num período que foi de 1986 até 2000, a Operadora da usina deveria estar sempre preparada para, em determinado momento, dispor de pessoal em número suficiente para operar a usina, fato que foi bastante dificultado pelas políticas de desmanche do setor público brasileiro no início dos anos 90, com os diversos incentivos dados para a aposentadoria de pessoal das empresas estatais.

Outro aspecto externo que influencia o trabalho dos operadores é a situação do setor energético brasileiro em tempos de crise, de geração e transmissão. A crise energética foi materializada no final de 2000, na época de nosso estudo de caso. Naquele momento, os reservatórios das regiões sul e sudeste acumulavam cerca de 34% de água, longe dos 49%, considerado o nível mínimo necessário para a operação segura do sistema elétrico. Neste cenário, qualquer desligamento não programado das usinas nucleares poderia agravar ainda mais este quadro.

A precariedade da distribuição de energia elétrica no país, refletida pelos “apagões” ocorridos em 1999 e 2000, pode tornar o desligamento das usinas nucleares um fato com grandes repercussões sociais. Em um sistema interligado, como o sistema

elétrico brasileiro, operando no limite de sua capacidade, um desligamento abrupto de uma usina nuclear que opera na “ponta da linha” do sistema, pode propiciar um ambiente favorável para uma queda em cascata do sistema, gerando um “apagão”.

Aspectos financeiros, particulares do modelo adotado para a comercialização da energia no país, também contribuem para que desligamentos das usinas nucleares sejam vistos como um grande problema pela organização e todos os seus funcionários, pois estes desligamentos afetam diretamente os indicadores financeiros. A Operadora precisa “vender” a energia produzida conforme preços estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica. O preço pago pelo MW/h é de cerca de R\$ 63,00 e a Operadora das usinas nucleares pleiteia algo em torno de R\$ 98,00 para cobrir os custos da geração nuclear. Outra proposta para aumentar a receita é aumentar o contrato de fornecimento de energia, isto é, a quantidade média de energia a ser vendida passaria de 1260 MW/hora, 80 % da disponibilidade das 2 usinas nucleares, para 1460 MW¹, fazendo com que desligamentos não programados tragam ainda mais problemas para a organização.

Considerando que o desligamento automático (*trip*) da usina é a ação de segurança mais importante de um reator nuclear, as pressões por uma produção contínua de energia podem induzir tomadas de decisão que evitem a ocorrência destes desligamentos. Estas pressões permeiam informalmente pela organização e são materializadas por meio de exigências das gerências intermediárias, que podem interferir no comportamento cognitivo dos operadores, sujeitos a situações típicas do clássico conflito produção X segurança e ao *stress* devido a menos horas de repouso do que seria desejável (turno de 12 horas).

5.2 O ambiente físico de trabalho

Nesta seção descrevemos o ambiente físico de trabalho da equipe de operação. A seção se inicia com uma visão geral da usina, onde os diversos prédios que compõem a instalação são sumariamente descritos. A seguir é feita uma avaliação das restrições que os sistemas da Sala Controle, em especial os sistema de Instrumentação, Controle e Automação, e Comunicação trazem para os operadores. Apresentamos ainda algumas características do ambiente de trabalho dos operadores de área.

¹ Gazeta Mercantil de 12/06/03.

5.2.2 O sistema de instrumentação e controle – I/C

O projeto de I/C e automação se baseia numa tecnologia de controle de processos desenvolvida na década de 70 para plantas industriais, que com preocupações adicionais de confiabilidade e segurança foi usada nas usinas nucleares alemãs. Apesar da usina ter entrado em operação em 2000, muitos dos equipamentos do sistema de I/C já haviam sido adquiridos, considerando as diversas previsões para entrada em operação da usina e utilizam uma tecnologia de portas lógicas discretas que não engloba os recentes desenvolvimentos da micro eletrônica, por exemplo o uso de micro processadores. A filosofia básica do sistema de I/C, cujo diagrama de blocos simplificado é apresentado na figura 5.2, segue o conceito de defesa em profundidade. No sistema de I/C o conceito da defesa em profundidade desdobra-se em diversos níveis de proteção, desde a proteção de componentes, de sistemas, chegando até ao reator propriamente dito. Além disso, o Sistema de Proteção do Reator, cujo objetivo é o desligamento automático do reator, é física e funcionalmente isolado dos sistemas de operação, de modo a garantir uma atuação independente deste sistema. Atuando entre os sistemas para operação normal e o Sistema de Proteção, existe o Sistema de Limitação, que tem a função de diminuir automaticamente, porém sem chegar ao desligamento, a potência do reator em determinadas situações.

Durante a operação normal o operador atua no sistema partindo grupos automáticos, que por sua vez interagem com os instrumentos e atuadores da planta. Assim sendo, a partida (ou parada) destes equipamentos depende de habilitação dada pelo sistema automático, a partir de critérios definidos pelo projeto do sistema. Existem ainda alguns equipamentos auxiliares que são manobrados diretamente pelos operadores no campo sem a intermediação de automatismos.

A exceção do Sistema de Proteção do Reator, todo o resto do sistema de automação é concebido para que, em caso de falhas, somente uma área específica e limitada seja afetada. Esta área afetada pode, então, ser isolada e o resto da usina continua operando sem intervenção. Por esta razão, alguns controles automáticos são desligáveis. Além disso, este elevado grau de automatismo e proteção de componentes traria uma extrema rigidez para a operação da usina, se não houvesse a possibilidade de, em determinadas situações, desligar certos automatismos.

Há no âmbito do sistema de I/C a possibilidade de simular o sinal (critério) de comando fornecido por determinados sensores defeituosos ao automatismo que controla determinado equipamento. A simulação de sinais facilita também a condução da usina em determinados modos de operação, como partidas, paradas e a manutenção da planta, quando alguns sistemas que operam apenas nas condições de plena carga ainda não podem ser acionados. A simulação é realizada por meio de plugue ou adaptador de teste. Uma vez que a simulação constitui uma intervenção na seqüência normal de operação da planta, ela deve ser anunciada (sinalizada). Para isso, na botoeira da Sala de Controle correspondente ao sinal simulado, deve ser colocado um cartão indicando esta condição operacional.

Este tipo de estrutura, onde a atuação do operador não é feita diretamente sobre os equipamentos que controlam o processo (válvulas, bombas etc.), mas sim mediada por sistemas automáticos, caracteriza o Controle Supervisório (SHERIDAN, 1992; SHERIDAN & NIVA, 2001; VIDAL et al., 2001).

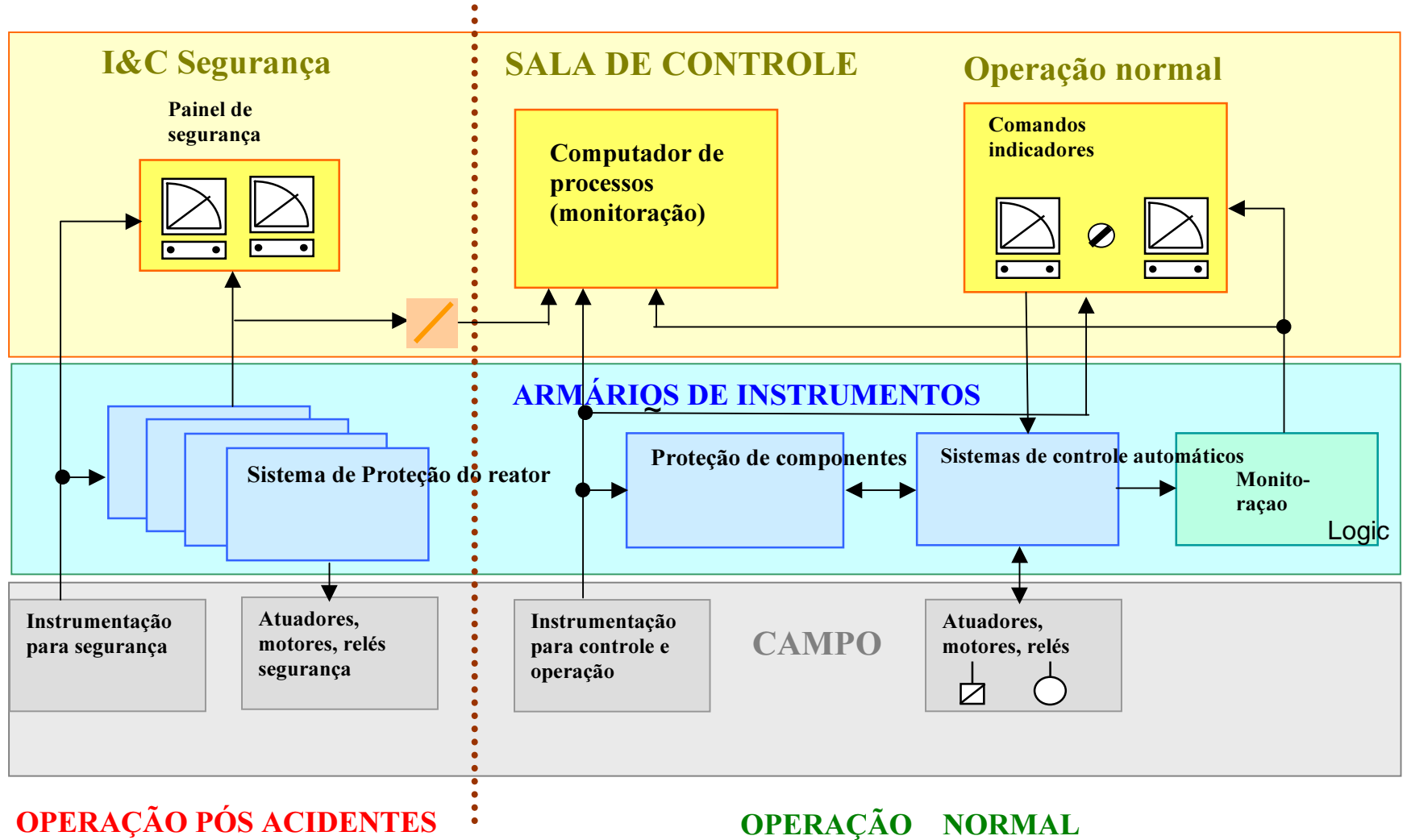


Figura 5.2 Diagrama esquemático do sistema de I&C da usina.

5.2.3 A Sala de Controle

As informações sobre o estado do processo, geradas pelo Sistema de Instrumentação e Controle chegam aos operadores por meio de indicadores analógicos e digitais, *displays* computadorizados, registradores e anunciadores de alarme localizados na Sala de Controle Principal (figura 5.3) e em alguns painéis distribuídos pelos diversos prédios da usina. Estes instrumentos são distribuídos pelos respectivos consoles e painéis, de acordo com o sistema ao qual pertencem, auxiliando a formação de uma referência espacial comum a todos os operadores.



Figura 5.3 Diagrama esquemático do layout da Sala de Controle.

O mobiliário dos postos de trabalho dos operadores foi inserido na sala em função das necessidades operacionais, após o início da operação, e não constava do projeto original, que só contemplava os consoles e painéis. Este fato reflete a abordagem (ou a falta dela) de aspectos ergonômicos de um projeto concebido na década de 70.

Assim, constatamos mais restrições que o atraso na construção da usina trouxe para o trabalho dos operadores: a organização precisa se esforçar para modernizar a usina em relação a aspectos ergonômicos (*layout*, mobiliário etc.) e sistemas de instrumentação, no mesmo momento em que a usina inicia sua operação. Na figura 5.4, vemos uma foto da sala de controle, no momento de nossas observações.



Figura 5.4 Visão geral da Sala de Controle.

O posto de trabalho dos Operadores do Reator e Circuito Secundário é idêntico e localizado nas extremidades esquerda e direita do console CWA, conforme a figura 5.5. É suposto que de seu respectivo posto de trabalho estes operadores possam monitorar confortavelmente, de uma posição sentada, os *displays* do CWB que precisam ser constantemente observados, e o sistema SICA (computadorizado), de onde as funções críticas e de emergência devem ser monitoradas.



Figura 5.5 Postos de trabalho dos Operadores do Reator e Secundário.

A visualização da última linha dos *displays* do CWB, de uma posição sentada do posto de trabalho dos operadores no CWA, é problemática, fazendo com que os operadores passem uma boa parte do tempo de pé, ou se esforcem para visualizar os *displays* numa posição sentada inadequada, conforme indicado nas fotos das figuras 5.6 a e b, respectivamente.



Figura 5.6 (a) Ponto de vista do operador de pé.

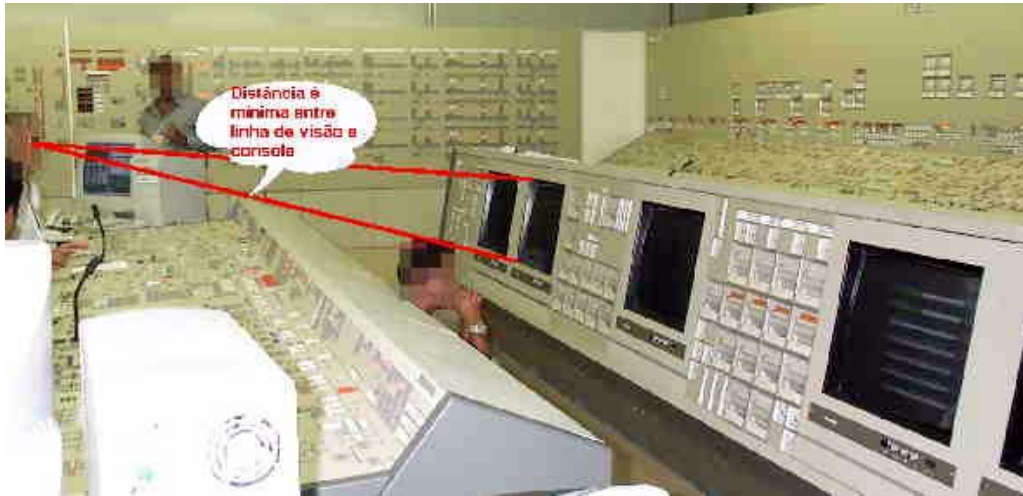


Figura 5.6 (b) Ponto de vista do operador sentado.

Na figura 5.7 apresentamos um diagrama esquemático do console CWA e painel CWB. A altura dos olhos do operador sentado para que a última linha do *display* do CWB seja lida, supondo que o mesmo esteja encostado à borda do CWA – como na foto da figura 5.6 b – é de 1200mm (bastante superior ao percentil 5F brasileiro que é de 1045 mm). Ficando um pouco mais distante dessa borda, sentado numa posição mais confortável à frente do console, a altura da visão precisa a ser ainda maior.

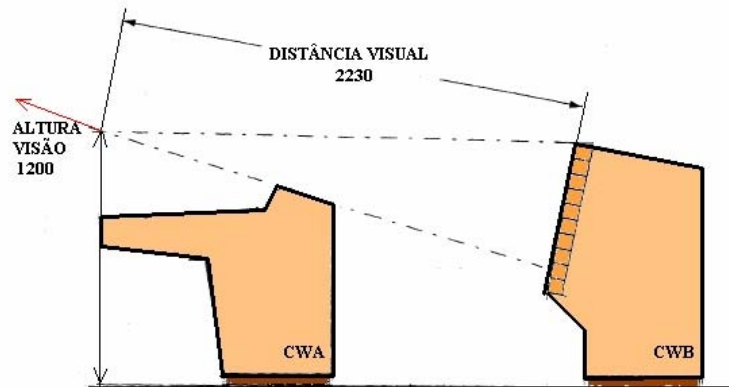


Figura 5.7 Diagrama esquemático do console CWA e painel CWB.

A visualização dos valores das variáveis nos *displays* é dificultada também em função do tipo dos caracteres, seu tamanho, enfim de uma tecnologia obsoleta (tubo de raios catódicos de resolução e luminosidade bem menor que os atualmente disponíveis) e da distância operador/*display*.

O gráfico da figura 5.8 corrobora a dificuldade de visualização das variáveis do painel CWB dos Operadores do Reator e Circuito Secundário de uma posição sentada.

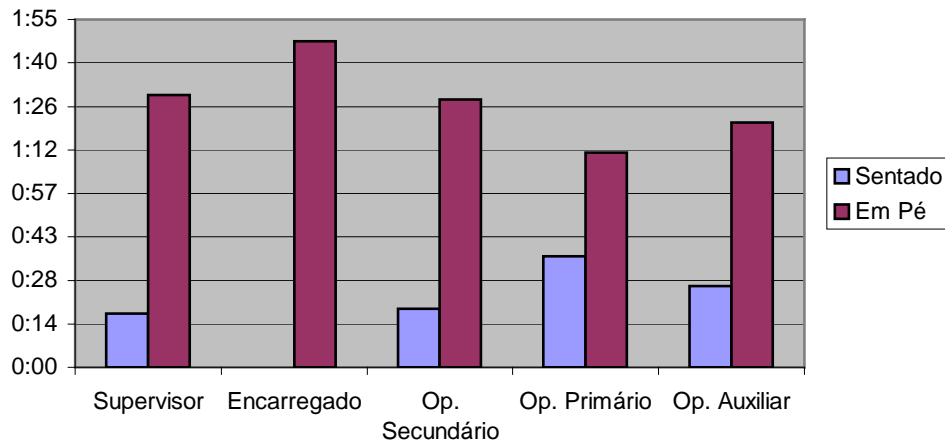


Figura 5.8 Variação da postura dos operadores na parada de 21:13 às 23:01 horas.

Ele foi obtido durante o desligamento (parada) da usina num período de cerca de 2 horas. Neste processo de mudança de estado, os operadores precisavam checar variáveis no *display* do CWB, conforme o procedimento lido pelo Encarregado. Neste período o Operador do Reator permanece 72 minutos de pé e 34 minutos sentado, enquanto que o Operador do Circuito Secundário permanece 90 minutos de pé e apenas 16 minutos sentado.

A montagem dos controles e indicadores nos painéis é feita de modo que componentes e equipamentos de um mesmo sistema se localizem conforme o fluxograma do processo do respectivo, facilitando a monitoração, controle e diagnóstico, por aproximar a representação contida na interface, com o modelo mental que os operadores desenvolvem durante o aprendizado, pelo uso extensivo dos fluxogramas de processo dos sistemas. Na figura 5.9 apresentamos parte de um painel da Sala de Controle que ilustra essa situação. Os operadores atuam no sistema pressionando os *push-bottoms* verdes.

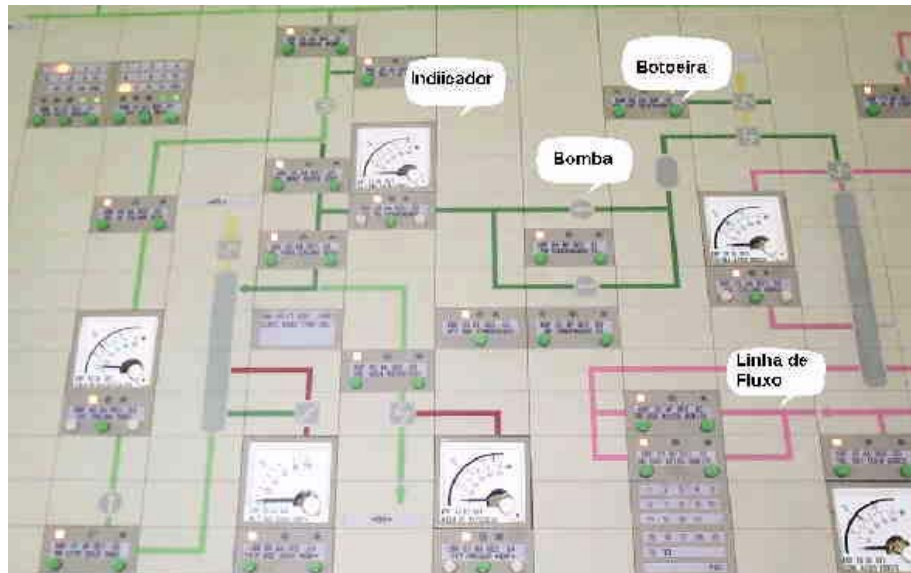


Figura 5.9 Painel de controles e indicadores.

A posição de alguns registradores gráficos é outro aspecto que dificulta o trabalho dos operadores, que precisam permanecer durante algum tempo na posição indicada na figura 5.10, para observar a tendência das variáveis.

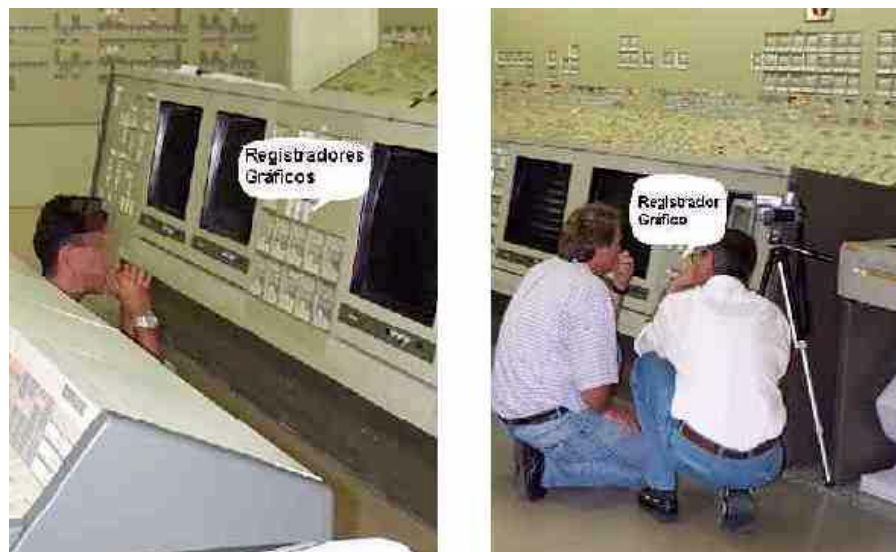


Figura 5.10 Posicionamento inadequado para leitura de registradores gráficos.

O Operador de Painel também enfrenta algumas dificuldades em função do projeto ergonômico dos painéis auxiliares. Este operador não possui um posto de trabalho específico na sala de controle. As tarefas diante do painel deveriam ser

executadas de pé, mas, conforme a figura 5.11, algumas vezes a duração da tarefa se estende, e o operador procura se sentar, tendo dificuldades para ler no painel e anotar as variáveis.



Figura 5.11 Dificuldades para o operador de painel.

Além dos indicadores e *displays* da interface da Sala de Controle, os operadores dispõem do auxílio do Sistema de Alarme para as suas tarefas de monitoração e controle. Os anunciadores de alarme na forma de janelas, são organizados junto aos sistemas respectivos, seguindo a filosofia geral do projeto da sala de controle, conforme a figura 5.11.

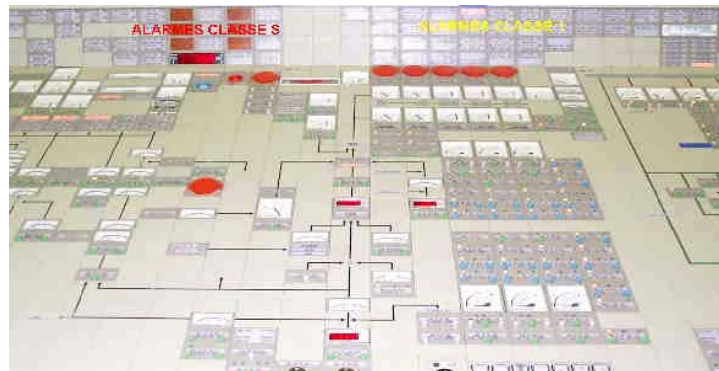


Figura 5.11 Organização dos alarmes na sala de controle.

O Sistema de Alarmes da usina é um sistema convencional, analógico, típico da tecnologia empregada na década de 70. Ele constitui-se de um conjunto de

dispositivos eletrônicos que faz o processamento dos sinais de alarmes dos equipamentos e os encaminha aos anunciadores da Sala de Controle. Alarmes locais, em painéis específicos no campo, também fazem parte deste sistema. O Sistema Computadorizado faz a leitura dos alarmes gerados pelo sistema convencional, os armazena em mídia computadorizada e fornece os respectivos sinais ao *display* de alarmes do CWB e a impressora de alarmes. Os alarmes são acusticamente anunciados, cabendo aos Operadores do Reator e Circuito Secundário, seu reconhecimento, suprimindo o sinal acústico. A partir daí se inicia a tarefa de diagnóstico.

Os alarmes na usina são divididos em classes, com relação a sua importância para a segurança da usina. Os alarmes de classe S, são sinais de saída de sistemas de segurança, cujo surgimento obriga a equipe de operação a adotar as medidas de emergência, previamente estabelecidas nos procedimentos de emergência, dentro de um determinado intervalo de tempo. Esses alarmes ocorrem após o desligamento automático do reator e são em número de 4, indicados em janelas anunciadoras da cor vermelha.

Alarmes de classe 1 indicam distúrbios nos sistemas de segurança da usina, como por exemplo sistema de remoção de calor residual, sistema de boração, *diesel* de emergência, água de refrigeração de componentes nucleares, monitoração de radiação etc. Eles são indicados na sala de controle por meio de anunciadores na cor amarela.

Os alarmes de classe 2 estão relacionados a disponibilidade da usina e são indicados na cor branca, apenas no sistema computadorizado. Na usina existem cerca de 8000 alarmes indicados e armazenados no Sistema Computadorizado e cerca de 1400 em anunciadores convencionais na Sala de Controle, sendo 4 de classe S e o restante de classe 1.

Este tipo de sistema de alarmes não incorpora as possibilidades da moderna tecnologia digital, que permite o desenvolvimento de sistemas com requisitos especiais para um gerenciamento dinâmico dos alarmes, como priorização inteligente, supressão de alarmes em função do modo de operação (evitar a geração de alarmes sem sentido), agrupamento lógico/funcional, como proposto por WOODS (1995). Assim sendo, efeitos como a avalanche de alarmes em acidentes não são evitados (como vimos existem 1400 janelas de alarme) e perturbam os operadores durante eventos graves. Em nosso estudo de caso pudemos observar como a geração de alarmes sem sentido, em função do modo de operação da usina, perturbou a operação (ver protocolo verbal do evento intervenção no armário da automação, ainda neste capítulo).

5.2.4 O sistema de comunicação

O Sistema de Comunicação fornece *links* especiais de comunicação para dentro da própria usina, entre os diversos prédios, e para fora da usina: com outras usinas, com o despacho de cargas, a autoridade reguladora e defesa civil, além de conexão via PABX com a rede pública de telefonia. A comunicação da usina é centralizada na sala de controle, trazendo implicações diretas ao trabalho dos operadores, como veremos na análise da atividade.

Os principais sistemas de comunicação no âmbito da usina são o sistema eletroacústico – CYC, o sistema de comunicação do console de controle – CYB, e o sistema telefônico – CYA. O sistema eletroacústico (auto-falantes) é usado para avisos gerais, possuindo auto-falantes nos diversos prédios e áreas externas. A transmissão é em *broadcast* de forma geral ou seletiva (apenas para determinado prédio ou área) a partir da sala de controle. O sistema de comunicação do console de controle usa telefones internos (interfones) para comunicação com os operadores de área. O sistema telefônico complementa a comunicação com as áreas, via ramais internos e permite o acesso à rede pública de telefonia. Os sistemas CYC e CYB possuem microfones e interfones localizados no console de operação CWA e painéis auxiliares.

O processo de comunicação com os operadores de área normalmente se inicia com uma chamada do operador da Sala de Controle pelo Sistema Geral - CYC, pedindo para que determinado operador entre em contato com a Sala de Controle. Este operador precisa interromper sua atividade e se dirigir até uma cabine, como a da figura 5.12, para atender pelo sistema CYB (interfone), ou se dirigir para uma sala que disponha de telefone, para atender ao chamado. Notamos ainda, que existem locais na usina onde o sistema geral CYC não consegue ser ouvido, e que existe um número limitado de cabinas do CYB distribuídas pelas áreas.



Figura 5.12 Cabina usada pelos operadores de área.

A figura 5.13 mostra a mesa de comunicação da sala de controle onde os diversos aparelhos do sistema telefônico PABX (CYA) estão localizados. Note-se que esta mesa dispõe também de microfones do sistema geral, de onde o Supervisor de turno faz a maior parte das suas comunicações gerais. Além destes telefones os Operadores do Reator e Circuito Secundário dispõem também de telefones em seus postos de trabalho, com acesso a rede pública, via PABX (ver figura 5.5).



Figura 5.13 Mesa de comunicação da sala de controle.

As dificuldades de comunicação entre a Sala de Controle e o campo ficaram patentes quando o Supervisor tentava suspender testes, que estavam perturbando a operação da usina, gerando alarmes espúrios e bloqueando sistemas automáticos. A

ordem de suspensão de testes partiu às 5:35, por telefone ao responsável pelos testes e às 05:55 uma equipe ainda se dirigia ao local para iniciar um novo teste.

5.2.5 Restrições ao trabalho dos operadores de área

Durante um turno, a equipe de operação da usina deve contar com pelo menos 1 Operador da Área Controlada, 1 Operador do Complexo Turbina/Gerador e 2 Operadores de equipamentos. Estes operadores de área se constituem nos olhos e braços dos operadores de Sala de Controle no campo. Numa usina que utiliza um sistema de instrumentação analógico, com limitadas possibilidades de armazenar, adaptar, replicar e transmitir informações, o papel dos operadores de área é fundamental. É por meio destes operadores que a Sala de Controle é informada a respeito do processo da isolação de equipamentos, do andamento e término de serviços de manutenção. Eles são frequentemente chamados pelos operadores de sala de controle para verificar o estado e o funcionamento de componentes. É ainda função dos operadores de área identificar equipamentos de campo defeituosos e colocar cartões de solicitação de manutenção nos mesmos.

Assim sendo, só os Operadores de Área possuem, ou, pelo menos, têm mais facilidade para obter, determinadas informações a respeito do estado de equipamentos periféricos, que não fazem parte do corpo principal de equipamentos de controle e segurança. Normalmente, muitas destas informações não estão disponíveis, ou não podem ser facilmente obtidas por meio do sistema de instrumentação ou da interface H/M. Esta situação é uma consequência das propriedades de um sistema complexo, onde nenhum agente possui todas as informações necessárias para que seu estado seja completamente compreendido, uma característica ainda mais marcante em sistemas de instrumentação analógica, que possuem limites físicos bem definidos para a quantidade de informações que podem ser armazenadas e apresentadas nos consoles e painéis de instrumentos e necessitam de usar a memória cognitiva para completar suas possibilidades de armazenamento de informações.

É importante notar que devido ao forte acoplamento entre os sistemas da usina, falhas nestes equipamentos periféricos podem se combinar e se propagar, acarretando sérios problemas para a instalação. O acidente de TMI é um exemplo típico de propagação de falhas, que se iniciaram em sistemas auxiliares e se propagaram de um modo não previsível. Face ao exposto, o processo de comunicação campo/sala de

controle, que, por sua vez, depende da eficácia do Sistema de Comunicação, se reveste de especial importância para um funcionamento confiável e seguro da usina (CARVALHO & VIDAL, 2002b).

Dificuldades adicionais do trabalho no campo (aí incluímos não só os operadores de área como também pessoal de serviços de manutenção, química, rejeitos etc.) estão relacionadas algumas características especiais do processo nuclear. Nos referimos aos trabalhos dentro da área controlada, UJA/UJB, onde podem existir níveis elevados de radiação. A maior parte dos serviços nesta área só pode ser feita com o reator fora de operação, mas mesmo assim, em função do decaimento dos produtos de fissão e da contaminação dos equipamentos durante a operação normal, continua a existir o risco da exposição a radiação e a necessidade do uso de vestimentas especiais, pesadas e desconfortáveis. Além do mais, o trabalho durante a parada do reator precisa ser feito conforme planejado – existe um caminho crítico de tarefas que precisa ser seguido – e no tempo determinado, uma vez que o número de dias gastos numa parada é fundamental para o balanço econômico de uma usina nuclear. Para isso o trabalho nestas áreas é cercado por regras e rígidos procedimentos técnicos e administrativos, que vão desde a liberação para entrada na área controlada, passando por inspeções do Serviço de Proteção Radiológica, pelo uso de vestimentas especiais, por passagens por eclusas que separam as áreas controladas das não controladas etc.

Resumindo, o trabalho de campo numa usina nuclear é submetido a uma série de restrições, consequência direta da tecnologia envolvida, acarretando desconforto e calor pelo uso de roupas especiais, obrigando a passagens por ambientes estreitos carregando procedimentos, folhas de serviço e *check lists* em papel, que precisam ser consultadas e preenchidas durante a atividade.

5.3 Análise da atividade dos operadores de salas de controle

A partir desta seção apresentaremos a descrição da atividade dos operadores, a partir das observações efetuadas, conforme a metodologia apresentada no capítulo 3. Durante estas observações havia a presença de ergonômistas junto aos operadores e suporte de áudio e vídeo para gravação das comunicações e da movimentação dos operadores na sala de controle. Os períodos observados foram:

1. Um turno completo, mais as trocas de turno na parada da usina.

2. Realização de testes preparatórios para a partida.
3. A partida do reator.
4. Treinamento em simulador, 2 equipes diferentes lidando com 2 cenários distintos cada.

5.3.1 O turno de trabalho na Sala de Controle da usina

O turno de trabalho na sala de controle da usina nuclear pode ser dividido em 3 fases características: Início, Meio e Término do turno, onde diferentes tipos de atividades são executadas.

Início do turno: O início do turno é caracterizado pelo processo de Passagem de Turno (ver seção 5.3.2). Os operadores que saem do turno passam informações sobre o que foi feito na usina, qual o estado do processo, quais operações estão em andamento e precisam continuar etc. O fato dos operadores da equipe que entra não estarem presentes quando os eventos ocorreram no turno anterior, implica que os significados precisam ser compartilhados, o que caracteriza o início do turno e o processo de passagem propriamente dito.

Deste modo, a passagem de turno é um processo de compartilhamento da informação, cujo principal instrumento são as narrativas verbais, que se transformam em diálogos face-a-face entre os operadores de mesmo posto das 2 equipes, que duram normalmente cerca de 30 minutos, podendo durar até mais de uma hora, nos casos de parada, partida ou em outras condições atípicas. Nestes diálogos, o operador que entra não é um elemento passivo e evoca novas informações a partir da construção do diálogo. Esta narrativa envolve uma revisão do estado da usina, os trabalhos de manutenção ou testes em andamento, dicas sobre o comportamento de alguns equipamentos ou sistemas, discussões a respeito de falhas em equipamentos ou incidentes. Para auxiliar neste processo os operadores contam com os Registros de Passagem de Turno, onde os principais eventos do turno devem ter sido registrados pelo respectivo operador e outras estratégias para fazer emergir informações sobre o ocorrido durante o turno, como o “passeio pelos painéis” (ver seção 5.3.2).

Após a passagem de turno, o Encarregado e o Supervisor de turno se envolvem em uma série de atividades de comunicação (algumas vezes, em casos de problemas a serem resolvidos, estas atividades se iniciam simultaneamente à passagem de turno –

ver seção 5.3.2), onde as ordens do turno são passadas aos diversos atores envolvidos com os trabalhos do turno que se inicia. Estas atividades são face-a-face, através de telefones, ou do sistema de comunicação da usina. Neste momento, Operadores de Área vêm à sala de controle discutir suas atividades com os Operadores do Reator, do Circuito Secundário e com o Encarregado: equipamentos que serão isolados para manutenção, atividades de manutenção concluídas e em andamento etc. O Encarregado e o Supervisor de turno discutem as informações recebidas na passagem e verificam possíveis inconsistências, ou buscam informações que ainda faltam. O Supervisor de turno procura checar o plano de trabalho estabelecido para o turno com o estado real da planta, avaliando sua consistência e discutindo o plano de trabalho para o turno que se inicia. Esta planificação de tarefas envolve priorizar e ordenar cronologicamente os serviços que serão executados, levando em consideração os serviços já programados pela manutenção ou engenharia e os novos serviços oriundos do turno anterior (por exemplo, se houver uma falha em equipamentos importantes à segurança, o reparo deste equipamento deve ter prioridade e ser executado o mais rapidamente possível). A planificação engloba ainda quando e quais equipamentos deverão ser isolados (retirados de operação e desconectados fisicamente do sistema) para realização dos serviços de manutenção e, eventualmente, a realização de testes periódicos em alguns equipamentos pela instrumentação. A planificação é revisada após conversas, normalmente por telefone, entre o Supervisor de turno e os responsáveis pela manutenção e testes, de modo que um consenso seja estabelecido entre o que a manutenção deseja fazer e o que a operação deseja que ela faça durante o turno.

A partir daí, o Encarregado se envolve com os Operadores do Reator e do Circuito Secundário discutindo o trabalho que deve ser feito no turno. Ainda numa primeira parte do turno (as primeiras duas horas) os Operadores do Reator e Circuito Secundário, completam um *check list* das leituras de alguns instrumentos dos painéis da sala de controle (verificação da Especificação Técnica). O Encarregado procura observar o registro de turnos anteriores e o resumo do estado da planta, por meio de lista computadorizada contendo os dados principais como potência, pressão, temperatura, alarmes etc. A partir daí, as atividades começam a fluir e as permissões de trabalho começam a ser liberadas pelo Supervisor de turno.

Meio do turno: Durante o turno existe um contato quase que contínuo entre os membros da equipe de operação da sala de controle e o pessoal espalhado pelo campo.

Este contato se dá por diversas vias – telefone, sistema de comunicação interno e face-a-face (quando algum operador de campo vem à sala de controle). Estas comunicações envolvem o Supervisor de turno, que procura informações sobre o andamento dos serviços de manutenção, o pessoal de campo, que necessita informação sobre o estado da planta, os operadores, no fornecimento de instruções e informações técnicas ao pessoal de campo.

Uma boa coordenação é necessária para a realização de testes de equipamentos e sistemas de segurança, onde certas manobras precisam ser realizadas no campo e o resultado observado nos painéis da sala de controle. Se esta coordenação não for bem feita sinais espúrios podem prejudicar o trabalho dos operadores.

Considerando toda essa necessidade de comunicação durante um turno de trabalho numa usina nuclear, observamos que uma comunicação com o pessoal de campo livre de bloqueios ou restrições é fundamental para que as tarefas possam ser adequadamente executadas.

O Encarregado é o responsável por algumas tarefas administrativas, como solicitar as refeições para a equipe de operação, e pela leitura de procedimentos técnicos a serem seguidos pelos Operadores do Reator e do Circuito Secundário. Esta leitura em voz alta de procedimentos pelo Encarregado e a resposta dos operadores, também em voz alta, caracteriza o Modo Nominal de Operação. Na figura 5.14 vemos o Encarregado comandando o processo de parada do reator a partir do púlpito.

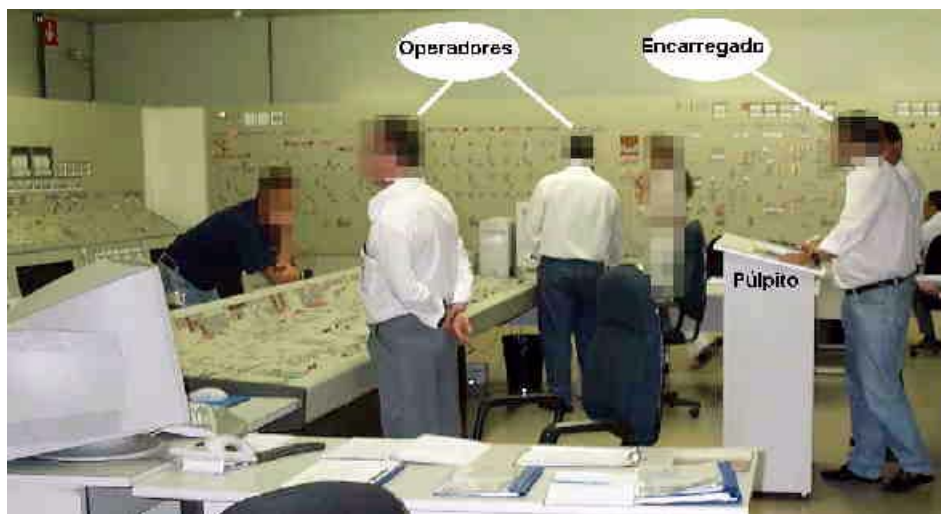


Figura 5.14 Posição dos operadores no Modo Nominal de Operação.

O protocolo verbal abaixo ilustra esse modo de operação:

Encarregado: “*Os controles do reator todos em auto? Todos ligados.*”

Operador do Reator: “*Controles do reator, todos eles em automático.*”

Por meio do procedimento os operadores são informados das variáveis que devem ser monitoradas e dos comandos que devem ser acionados. A cada comando lido em voz alta pelo Encarregado, os Operadores confirmam, também em voz alta, o recebimento da instrução e informam o resultado da ação.

Pudemos constatar que no período de mudança de estado da usina existe uma intensa atividade de comunicação. O processo de comunicação gera as correspondentes decisões de ação (partir, parar, esperar), a partir das instruções lidas que estão contidas nos procedimentos e respectivos *checklists* (ver Anexo 1). O diagrama da figura 5.15 apresenta o resultado da quantificação das trocas de informação verbal entre os membros da equipe de operação num período de cerca de 2 horas no início da parada. As setas indicam a direção e o número das comunicações, por exemplo, a seta do Operador do Circuito Secundário para o Encarregado, indica que o Operador do Circuito Secundário se dirigiu 50 vezes ao Encarregado. No diagrama de troca verbal as seguintes siglas foram utilizadas: INST para designar os técnicos de instrumentação, MANUT técnicos de manutenção, A para designar os diversos consultores e pessoal envolvido em testes da firma alemã fornecedora da usina, OPAREA, para designar Operador de Área e TE para designar técnico de outra área.

Os resultados obtidos permitem visualizar o papel fundamental que as atividades de comunicação desempenham no trabalho da equipe de operação, bem como as inter-relações entre os operadores. A interação entre o Supervisor e o Encarregado foi intensa em todos os períodos, e os protocolos verbais analisados mostraram que a formação de representações compartilhadas sobre o estado da planta é incessantemente construída pelos operadores.

O quadro 5.1 resume as informações do diagrama, permitindo uma melhor identificação dos *links* de comunicação estabelecidos por cada membro da equipe de operação (Supervisor, Encarregado, Operadores do Reator e Circuito Secundário, Operador Auxiliar).

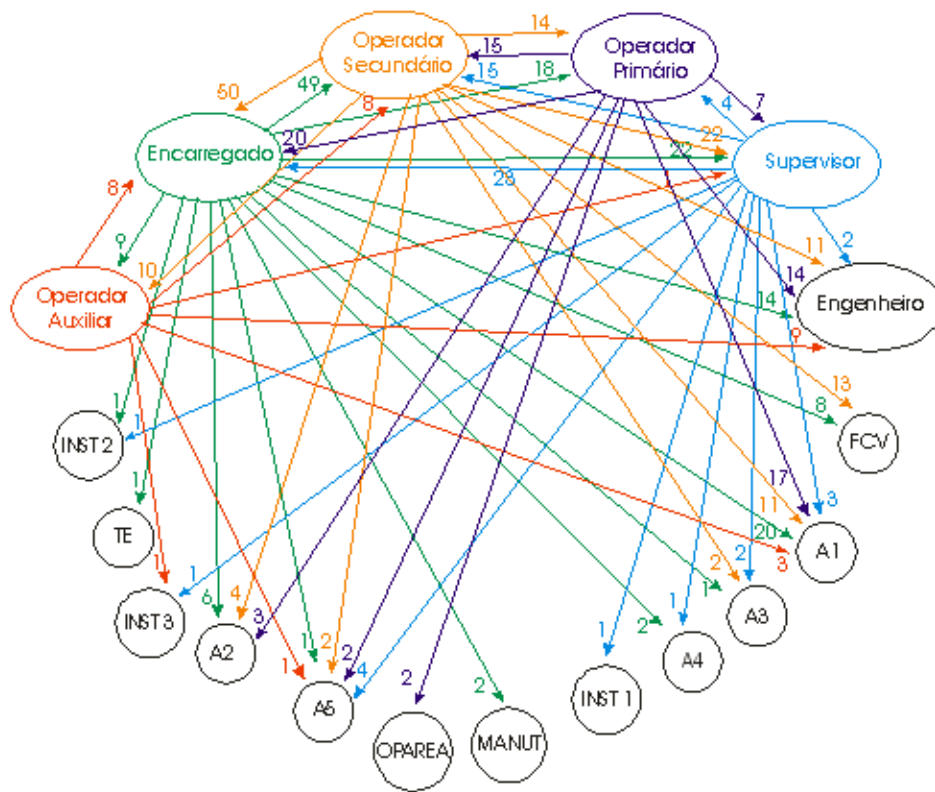


Figura 5.15 Trocas de informação verbal entre os operadores de 21:13 às 23:01.

Quadro 5.1 *Links* de Comunicação estabelecidos entre 21:13 e 23:01horas.

	Sup.	Enc.	Op. R.	Op. S.	Op. A.	Eng	Cons. Alem.	Op. Área	Tec/ Inst.	Total
Sup.		28	4	15	0	2	10	0	3	62
Enc.	22		18	49	9	14	30	0	4	146
Op. R.	7	20		15	0	14	22	2	0	80
Op. S.	22	50	14		10	11	19	0	0	126
Op. A.	1	8	0	8		9	4	0	1	31

Este quadro indica que durante os 108 minutos de observação na mudança de estado (parada) da usina, o Encarregado efetuou 146 trocas de informação verbal, numa média de 1,35 trocas/minuto. Estes números dão uma idéia do tempo gasto em atividades de comunicação, de sua importância para a operação da planta e de como as outras atividades, especialmente aquelas mais demandantes do ponto vista cognitivo e que não podem ser feitas em conjunto com trocas verbais, como busca de informações para resolução de problemas, raciocínio indutivo e dedutivo, estocagem de informações

do turno (preenchimento de Registros, Relatórios etc.), podem ser prejudicadas face a necessidade de comunicação em determinados momentos da operação.

Os Operadores do Reator e do Circuito Secundário monitoram o processo através da interface H/M: observam no painel as variáveis mais importantes relacionadas à operação e às funções de segurança, fornecem comandos para atuação de sistemas e equipamentos, reconhecem e analisam os sinais de alarme, fazem pequenos ajustes nos painéis. Eles ainda revêm os planos de trabalho, preparam as folhas de isolamento de equipamentos e preenchem seus livros de turno. Frequentemente se comunicam com os Operadores de Área que são os responsáveis por supervisionar os serviços de manutenção que são realizados nas diversas áreas da planta. Muitas comunicações com o campo ocorrem a partir da necessidade que os operadores na sala de controle têm de complementar as informações fornecidas pela interface H/M, para executar com sucesso suas tarefas de monitoração e controle.

Em determinado momento, os Operadores do Reator e Circuito Secundário, um por vez, se dirigem a uma copa, localizada perto da Sala de Controle. Nestes momentos (ida e retorno do almoço/jantar) ocorrem mini passagens de turno, normalmente com o Encarregado substituindo o operador que se ausenta, pois o substituto precisa estar ciente do estado da planta, a partir das informações e sob o ponto de vista do operador que se ausenta, no momento em que ocupar provisoriamente seu posto de trabalho.

No caso da ocorrência de algum problema (desligamento não programado do reator, por exemplo) que requeira comunicação externa à usina, entra em cena o Supervisor de turno, que realiza estes contatos. Durante o desenrolar dos eventos o Encarregado procura auxiliar os Operadores do Reator e Circuito Secundário, ficando próximo a eles e aos painéis de controle, consultando os procedimentos pertinentes e fornecendo as instruções necessárias aos operadores.

Durante o turno emergem situações que exigem uma flexibilização do modo nominal de operação. Isto é, situações onde o fluxo das tarefas preconizado pelos procedimentos não é suficiente e os Operadores do Reator e Circuito Secundário requerem esclarecimentos adicionais. Neste momento emergem formas colaborativas de trabalho, onde as hierarquias são relaxadas e todos – Operadores, Encarregado, Supervisor de turno, Consultores – procuram uma solução em conjunto. Nestas situações os operadores se deslocam de suas posições nominais (o Encarregado do púlpito para os postos de trabalho para os Operadores do Reator e Circuito Secundário) para travar diálogos face-a-face e observar os indicadores da interface H/M.

A análise do deslocamento dos operadores nos dá uma idéia do caracter dinâmico do trabalho, e também do desgaste sob o ponto de vista físico, após um turno de 12 horas (mais cerca de 2 horas de superposição entre turnos), numa sala de controle analógica, de grandes dimensões, com indicadores e comandos distribuídos por diversos painéis de controle. Na figura 5.16, a Sala de Controle da usina, é representada por esquema, que deve ser referenciado ao *layout* da mesma Sala de Controle (ver figura 5.3). Visando facilitar a representação dos deslocamentos, os consoles CWA e o painel CWB são divididos em 2, correspondendo aos postos de trabalho dos Operadores do Reator e Circuito Secundário. Da mesma forma que o console, o painel auxiliar é dividido em 3 partes: esquerdo, centro e direito, permitindo que o esquema aponte o local aproximando para onde o operador se desloca. As flechas representam os deslocamentos no período e o número ao final da flecha indica quantas vezes o operador percorreu o caminho. A figura 5.16, que mostra o deslocamento do Encarregado na parada no mesmo período em que foi feita a análise da comunicação, nos permite constatar que o modo nominal de operação, preconizado pelos padrões de competência da organização e enfatizado nos treinamentos de performance humana (WANO, 2000), precisa ser constantemente flexibilizado.

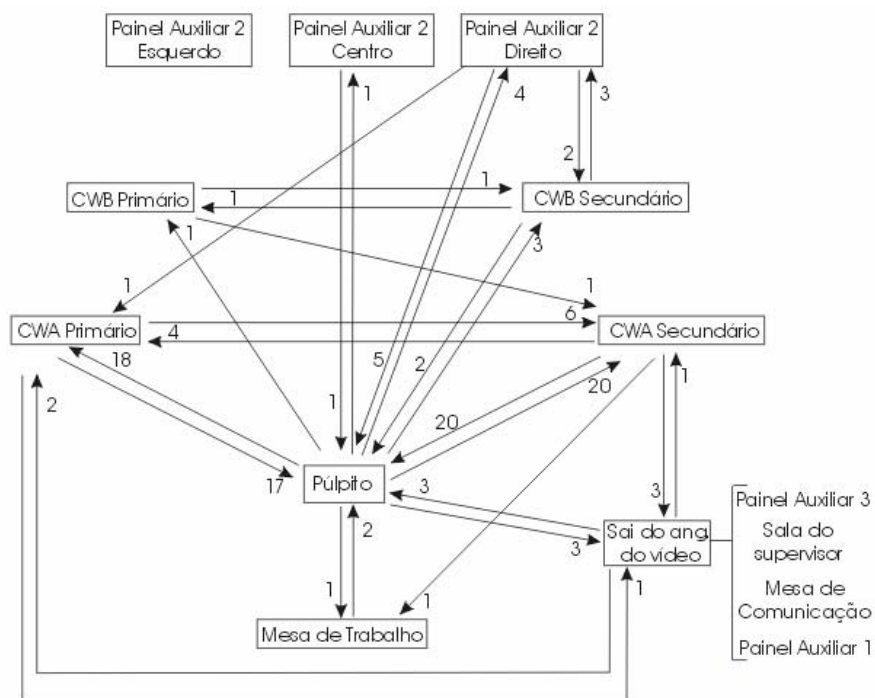


Figura 5.16 Deslocamento do Encarregado na parada, período de 21:13 às 23:01.

Em princípio, não haveria necessidade do Encarregado se deslocar do púlpito, caso todos os passos do procedimento seguissem sem problemas, conforme o protocolo do modo nominal de operação. Ocorre que, quando surgem problemas, o Encarregado se desloca, ou para auxiliar o operador, ou para obter informações diretamente do console de controle. Os constantes deslocamentos do Encarregado (38 no total) para os postos de trabalho dos operadores no console CWA ilustram o número de vezes que a leitura do procedimento teve que ser interrompida e o modo nominal flexibilizado.

Foram elaborados diagramas de deslocamento para todos os operadores durante desta equipe de operação durante o desligamento da usina, referentes aos períodos de 21:13 às 23:01 e de 23:30 às 01:44 horas. O quadro 5.2 resume os resultados obtidos.

Quadro 5.2 Número de deslocamentos no desligamento da usina.

	21:13 / 23:01	23:30 / 01:44	Total
Supervisor	68	111	179
Encarregado	126	106	232
Operador do Reator	136 (32 tel.)	153 (66 tel.)	289
Operador Circuito Sec.	101	83	184

As análises dos *links* de comunicação e dos deslocamentos mostram a dimensão cooperativa e o caráter dinâmico do trabalho neste sistema complexo, envolvendo todos os integrantes da equipe, contrastando novamente com os padrões normativos de trabalho. Por exemplo, na mudança de estado da usina, os Operadores do Reator e Circuito Secundário, segundo a definição de suas tarefas (ver capítulo 4), deveriam estar fixos no seu posto de trabalho, voltados para a monitoração e controle da usina, com a atenção concentrada na manipulação de variáveis no console CWA e sua indicação no painel CWB. Entretanto, se observarmos os deslocamentos do Operador do Reator neste período vemos que ele efetuou 289 deslocamentos em cerca de 4 horas, sendo que em 191 vezes ele precisou se afastar de seu posto de trabalho (considerando que os 98 deslocamentos para acessar o telefone ocorrem no âmbito deste posto de trabalho).

Na realidade, estas análises nos permitiram constatar que, ao contrário do que pressupõe o modelo normativo linear/sequencial, gerado a partir da análise de tarefas clássica, os operadores organizam sua conduta de modo a realizar atividades de monitoração simultaneamente a outras atividades de comunicação, diagnóstico ou

resolução de problemas, participam nas atividades de outros operadores, ou até mesmo em atividades não diretamente relacionadas com a operação da usina propriamente dita, atividades estas que chamamos de Atividades Interferentes. O elevado número de telefonemas atendidos pelo Operador do Reator nos alertou para essa situação, que é descrita a seguir.

Atividades interferentes: Em nosso quadro teórico observamos que a intensificação da atividade aumenta o custo cognitivo e leva os operadores a procurar compensar a elevação deste custo mediante uma simplificação da representação da situação. Chamadas telefônicas, assim como sinais de alarme são fortes atratores cognitivos, pois requerem atenção e ação imediata. Deste modo, chamadas telefônicas que não forem diretamente relacionadas à operação, podem ser consideradas como atividades interferentes, isto é, atividades que interferem no processo operativo, consumindo os recursos cognitivos do sistema e não trazendo benefícios para a operação.

Assim sendo, durante os mesmos períodos nos quais analisamos as trocas verbais na parada da usina, fizemos uma avaliação do uso sistema telefônico PABX (CYA). Os demais sistemas de comunicação, (CYB e CYC) usados para contatar os operadores de área (ver seção 5.2.4) não foram incluídos, uma vez que seu uso é intrinsecamente ligado às necessidades da operação. Para isto anotamos o número de chamadas efetuadas e recebidas por cada operador nos diversos aparelhos disponíveis. Os aparelhos considerados são os telefones existentes nos postos de trabalho do Operador do Reator e Operador do Circuito Secundário, telefones existentes na Mesa de Comunicação, além do telefone sem fio, cuja estação também se localizava na mesa de comunicação. Os gráficos das figuras 5.17 e 5.18 apresentam, respectivamente, os resultados para os períodos de 21:13 às 23:01 e 23:34 à 1:44, na parada da usina.

Em todos os períodos observados constatamos o número elevado de chamadas telefônicas recebidas pelos Operadores do Reator e Circuito Secundário, as quais, na sua maior parte, podem ser consideradas na categoria de atividades interferentes. Do total das chamadas cerca de 90% são chamadas recebidas. Das chamadas recebidas pelo operador do primário no período de 21 às 23 horas, cerca de 50%, se referiam a perguntas sobre o estado da usina dos mais diversos setores da organização (se a usina já estava “desligada”, qual temperatura/pressão do primário etc.).

Observamos ainda que muitas das chamadas restantes não são diretamente relacionadas as atividades de monitoração e controle. Ocorrem desde chamadas ligadas de alguma forma à operação, como de pessoal que permaneceria durante o turno noturno querendo saber se os lanches já estavam disponíveis, até algumas outras completamente alheias a aspectos operacionais, como pessoas procurando saber a localização de outras, ou pedidos para tirar cópias na Sala de Controle.

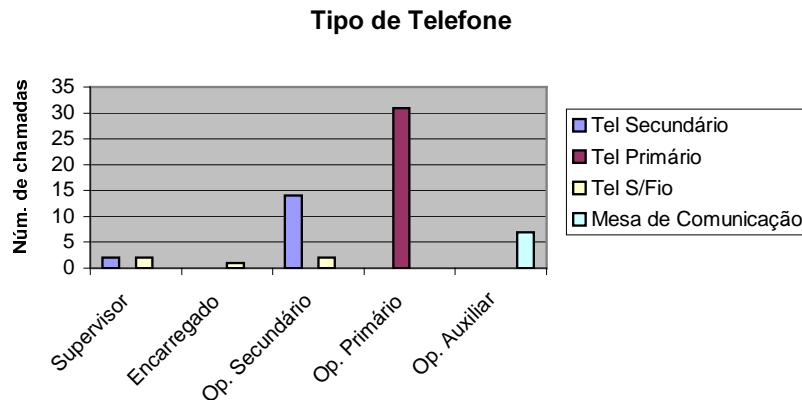


Figura 5.17 Uso dos telefones durante a parada da usina (21:13 às 23:01 horas)

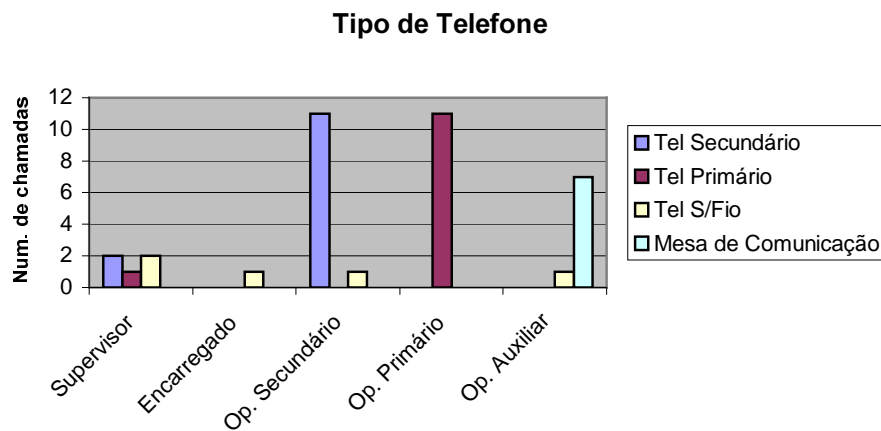


Figura 5.18 Uso dos telefones durante a parada da usina (23:34 às 01:44 horas).

Constatamos então que pelo fato destes operadores permanecerem, por requisito do cargo, em seus postos de trabalho, eles são usados como uma espécie de central de informações da usina. Um dos operadores consultados a respeito da situação confirmou nossas observações, acrescentando que o problema ocorre também durante dias normais de operação (sem parada ou partida da usina). Segundo suas próprias palavras: “As vezes, em casa, atendo ao telefone: - Sala de Controle, bom dia.”

Término do turno: O término do turno envolve o fechamento dos trabalhos e a preparação para o processo de passagem de turno. Assim, verificar o estado dos serviços de manutenção, encerrar as permissões de serviço e o preenchimento dos formulários do turno são as atividades que marcam a última hora do turno. Tipicamente, durante este período o Encarregado e o Supervisor de turno se reúnem, conversam com os Operadores e conferem os dados de seus registros de passagem de turno (cada membro da equipe deve preencher seu próprio registro). Os Operadores de Área chegam do campo e informam aos Operadores do Reator e Circuito Secundário sobre a situação dos serviços nas áreas, de modo que os operadores da sala de controle possam incorporar estas informações em seus registros de turno. O fechamento do turno leva, normalmente, cerca de 30 minutos, mas pode levar bem mais tempo em caso de problemas no turno, se o Supervisor de turno ou Encarregado que entra vêm de férias etc. A figura 5.19 esquematiza a atividade dos operadores durante um turno.

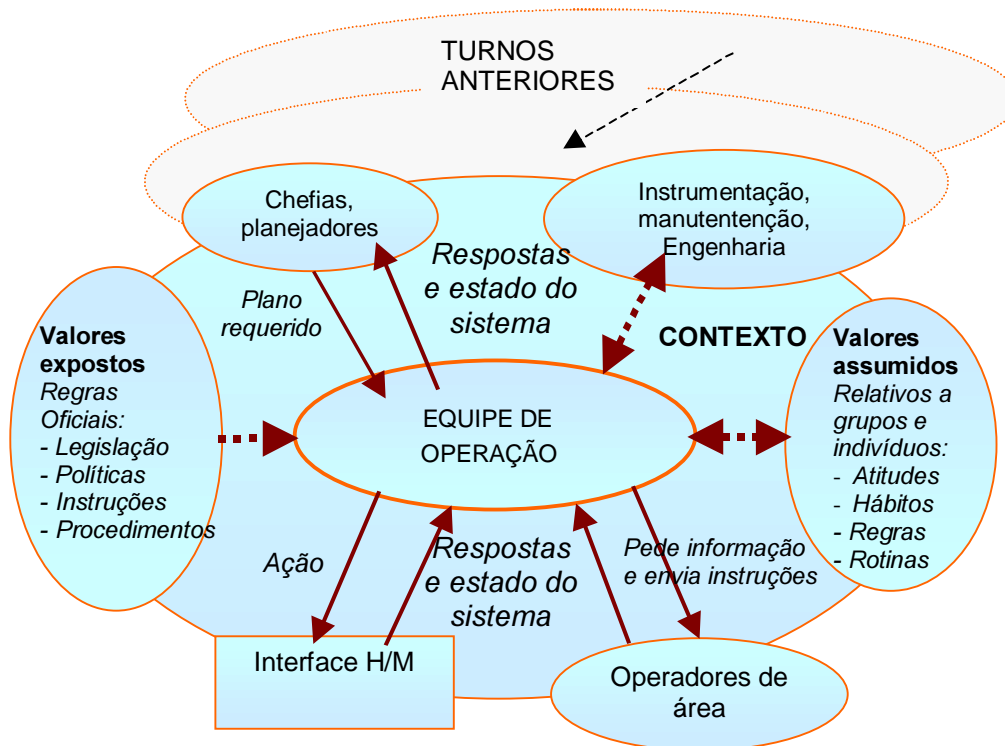


Figura 5.19 Diagrama esquemático da atividade dos operadores.

Do turno anterior a equipe recebe a informação do estado da planta. As tarefas do dia são transmitidas do turno anterior e/ou repassadas por chefias ou pelo setor de planejamento. Os setores de instrumentação/teste, manutenção e engenharia podem

solicitar autorização para realização de tarefas e são consultados pelos operadores em caso de dúvidas em relação ao funcionamento de sistemas. As decisões da equipe de operação são balizadas pelos valores expostos da organização, desde suas políticas até os procedimentos administrativos e operacionais (modo nominal de operação), e pelos valores assumidos pelos operadores ao longo de sua inserção no tecido social da organização, construindo hábitos de ação, regras tácitas ou implícitas, atitudes (flexibilização da operação) etc. A ação sobre a planta ocorre por meio da interface H/M da sala de controle e mediante instruções repassadas aos operadores de área.

Na próxima seção detalharemos alguns aspectos relacionados ao processo de passagem de turno.

5.3.2 As passagens de turno

Observamos um turno completo de operação incluindo as 2 trocas de turno, conforme a figura 5.20, na parada da usina.

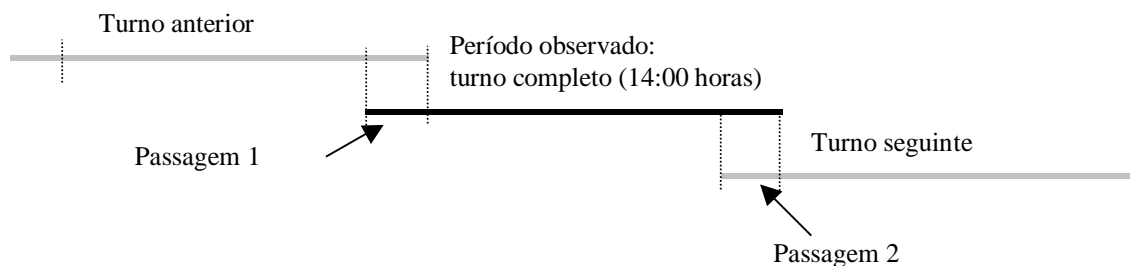


Figura 5.20 Período observado na parada da usina.

A parada da usina que analisamos foi motivada pela necessidade de troca de um componente importante (transformador) que havia sido danificado durante os testes de comissionamento da usina. O tempo para esta troca de transformadores foi estimado em 10 dias, que foi o tempo estipulado da parada. Considerando que a parada de uma usina nuclear é uma operação complexa e de custo elevado, diversas outras tarefas foram programadas para serem executadas durante os 10 dias previstos para a parada. O objetivo da equipe de operação que entrava no turno era o desligamento (parada) do reator para o estado subcrítico frio, sem pressão.

Na descrição do turno, já observamos que o problema fundamental das passagens de turno está relacionado à transmissão das informações sobre o estado da

usina. Informações relevantes que não sejam repassadas de forma precisa o suficiente para serem adequadamente armazenadas, podem desaparecer do sistema, quando um turno se encerra. Surge, daí a questão fundamental que procuramos investigar na passagem de turno:

Quais características presentes na atividade de passagem de turno podem levar à perda de informações importantes para as tomadas de decisão dos operadores ao longo do turno que se inicia?

Para responder a esta questão descreveremos a seguir os documentos usados pelos operadores para armazenar e transmitir as informações do turno e, posteriormente, as situações e tipos de trocas de informação verbal observadas na passagem de turno.

Documentos de registro da operação (a informação escrita): Existem diversos tipos documentos que servem para os operadores registrarem eventos que ocorrem durante o turno, que são fonte de informação para os operadores do turno que entra em serviço. Todos eles em papel, preenchidos a mão livre, com exceção da Folha de Passagem de Turno, um formulário computadorizado que é replicado em papel. Esses documentos incluem formulários sobre o estado de componentes (posição de válvulas, estado de alarmes), notas de operação (informações básicas sobre a operação dos sistemas), formulários de acidentes e incidentes (procedimentos de emergência e/ou tratamento de anomalias), fluxogramas de processo, procedimentos de operação de sistemas e equipamentos – que possuem *check lists* embutidos que devem ser preenchidos durante sua utilização, procedimentos administrativos (organograma da usina, procedimentos sobre como utilizar procedimentos, etc).

Em nossa análise usamos basicamente os diversos Registros Diários de Operação, que são os documentos que devem ser preenchidos pela equipe do turno contendo as informações necessárias para a equipe que entra de serviço. Estes documentos são os seguintes:

- Os livros ou Registros Diários de Operação (Supervisor e Operadores, cada um tem seu livro): que contém informações técnicas sobre eventos ocorridos no turno. Os registros de operação são preenchidos durante o turno, no momento em que ocorrem os eventos e à mão livre.

- Folhas de passagem de serviço: documento elaborado em computador, mediante formulário padrão, preenchido ao final do turno, no qual os operadores resumem as informações contidas nos registros diários.

Observamos que nestes registros existem anotações sobre o quê foi feito e muito pouca informação sobre como teria sido feito, isto é, as formas de solução de eventuais problemas que ocorreram durante o turno. A anotação contida no registro da equipe que saía do turno (antes da parada): *Feita simulação de nível normal no JEC*, não indica o motivo dessa simulação: se existe um sensor defeituoso, se é uma necessidade em função da condição operacional, se se trata de um *bypass* de critério de automação. No registro há anotações do tipo: *equipamento inoperável*, que não dá uma indicação precisa sobre que está ocorrendo com o equipamento: ele pode estar sendo objeto de uma ordem de isolamento; estar com sua ordem de isolamento por terminar; pode ter sido tirado de serviço a partir de algum controle operacional ou a critério do sistema automático; ou pode estar indisponível porque operadores de área estão realizando algum teste.

Durante o desligamento, testes realizados pela instrumentação provocaram por diversas vezes bloqueios de sistemas automáticos e alarmes durante o processo de resfriamento da planta, levando o Supervisor a suspender a realização destes testes por 2 vezes. No Registro Diário de Operação do Operador do Reator são feitas referências apenas à primeira suspensão dos testes:

01:30 Paralisado o teste. 1 JTE 13 – 1 após ter paralisado o resfriamento da planta.

É interessante notar que as anotações não falam da segunda suspensão dos testes, nem dos reais motivos pelos quais os testes foram suspensos: a geração de alarmes e bloqueios espúrios que dificultaram o resfriamento do reator.

Na Folha de Passagem de Serviço do Encarregado, nenhuma referência aos problemas causados pelos testes pôde ser encontrada e apenas no item 29 (transcrito abaixo), o último item da Folha, são indicados problemas nos circuitos do RHR e a informação da emissão de um Relatório Preliminar de Evento – RPE:

29) Durante o resfriamento ocorreu aumento de pressão no JN30 e JN40 emitido um RPE.

Concluimos, então, que os documentos oficiais de passagem de turno fornecem suporte apenas parcial para a formação de uma consciência compartilhada sobre o estado dos equipamentos e serviços em andamento, e não auxiliam aspectos relacionados ao aprendizado das estratégias usadas para resolver problemas e corrigir erros (informam **o que** foi feito e **não como foi feito**). Durante o turno, por diversas vezes, apareceram expressões como “*Isto já aconteceu comigo*”, indicando situações já vivenciadas por algum operador e que não eram do conhecimento dos demais operadores.

Assim sendo, as trocas verbais de informação emergem como a principal forma de preenchimento das lacunas de informação a respeito do estado da planta contidas nos documentos escritos.

Situações de trocas de informação verbal na passagem de turno: Pelo menos 4 situações diversas foram identificadas:

- Entre os operadores que entram e saem (Supervisor, Encarregado, Reator e Secundário) do turno em torno dos Registros respectivos, ocorrendo no posto de trabalho de cada um na Sala de Controle.
- Durante um “passeio pelo painéis”, Supervisores e Encarregados que saem e entram, percorrem os indicadores dos painéis da sala de controle que são usados como um auxílio da memória sobre o estado da usina.
- Reuniões comandadas pelo Supervisor do turno que entra com os todos membros da equipe.
- Operadores de Área trocam informações com o operador de sala de controle (reator ou secundário) ao qual estão subordinados.

A seguir analisamos algumas características das trocas de informação verbal que ocorrem na passagem de turno.

Compartilhar a consciência da situação: O início de praticamente todos os diálogos entre operadores que entram e saem do turno tem por objetivo compartilhar a consciência da situação. Por exemplo:

“Então, dos equipamentos que estavam inoperáveis de manhã, a caldeira 1 está sendo testada agora e a amostragem do DV20 voltou”

Este tipo de troca habilita estes operadores a chegarem numa visão comum sobre o estado da Caldeira 1. O estado “*inoperável*” da Caldeira 1, é qualificado, complementando as informações escritas: “*A Caldeira 1 está sendo testada agora.*” É importante notar que a caldeira é um equipamento auxiliar que deve ser usado justamente durante a parada (ver procedimento de parada no Anexo 1). A informação de que a Caldeira 1 “*está sendo testada agora*” indica que ela passou (ou está passando) por um processo de manutenção e, segundo o resultado do teste, poderá estar operacional, ou não, durante a parada (embora se espere que o teste realizado após a manutenção apresente um resultado positivo). Fica claro a dinâmica da construção da consciência da situação, que requer não só a informação sobre o estado presente do equipamento, mas também como este estado poderá evoluir num futuro próximo.

Planificação de tarefas: O controle de processo produtivo, mesmo num setor ultra normativo como o nuclear, está sujeito a eventos que ocorrem de maneira imprevisível ao longo do turno, e implicam no planejamento de novas ações. Os horários e previsões das atividades fornecidos pelo setor de planejamento da usina variam, e são continuamente refeitos e atualizados no coletivo de trabalho. Esses eventos podem ser simultâneos, consecutivos, ou darem origem a outros eventos. Os eventos observados foram concorrentes às atividades de parada e partida e interromperam, ou não, o andamento destas. Os eventos podem ser ou internos à usina, como a realização de testes, ou externos, como a interferência do Órgão Nacional do Sistema (ONS) no desligamento, ilustrada no trecho da passagem de turno entre Supervisores:

“O ONS definiu pela não abertura do anel amanhã ao meio-dia e ficou de abrir na madrugada de sexta para sábado. Eles não aceitaram em hipótese nenhuma correr o risco de abrir o anel ao

meio-dia, tendo em vista a vulnerabilidade do suprimento de potência”

A abertura do anel é uma operação feita após o processo de desligamento do reator, necessária para a troca do transformador defeituoso, que envolve a outra usina nuclear do sítio e que pode desestabilizar o sistema elétrico, se este estiver sobrecarregado, como ocorria naquele verão. Assim sendo, o ONS controla o momento mais adequado para que esta ação seja realizada, trazendo impactos diretos ao planejamento da parada, pois ela afeta o momento que o início do desligamento do reator deverá começar.

A “reprogramação” de licenças de trabalho (LTs) ilustra a planificação durante a atividade feita pelos Supervisores:

“Eu peguei aquelas LTs, todas do dia 12, dei uma olhada e mandei reprogramar uma série delas. Estava até falando com o (NOME DO ERGONOMISTA), eu acho que tem poucas LTs, pra você trabalhar hoje à noite.”

Preenchimento de brancos dos Registros: Vimos que o Registro Diário informava a respeito da simulação do JEC: *Feita simulação de nível normal no JEC.* O Supervisor que sai, lendo em voz alta o Registro, quando se depara com a referência acima, complementa a informação indicando o porquê da simulação:

“O meio looping está com problema o que impediria a gente de abrir a estação redutora de baixa pressão. Nós simulamos, e eu estou entendendo que a estação redutora de baixa pressão está OK..”

Isto é, o sinal fornecido pelo *meio looping* (com problemas) foi simulado eletricamente para o sistema automático, permitindo o funcionamento da estação redutora de pressão.

No trecho a seguir o Supervisor que sai indica que determinada válvula deve ser aberta primeiro, independentemente da priorização do sistema de automação. Um exemplo de informação importante repassada apenas verbalmente (este tipo de indicação – como proceder – não aparece nos registros de turno):

*“A válvula está travada na LAC30 (esta válvula, a montante da bomba, não está abrindo), nós demos comando de abertura pra ela hoje, e ela não está abrindo, uma das válvulas que está com ... **Então ela tem de ser a primeira a ser desligada na parada.** Tá OK? Você tem de desligar ela primeiro! Não sei se lá no subgrupo ela está como a primeira a ser desligada, mas é a primeira que tem de ser desligada. Bom, o problema de parada está aqui.”*

Ler os registros de turno e complementar seus brancos verbalmente é uma prática comum entre os operadores e se constitui de importante auxílio na recuperação de informações da memória de trabalho.

Passeio pelos painéis/ emersão de informações: A ida ou “passeio” pelos painéis faz parte do procedimento administrativo para troca de turno dos Supervisores e Encarregados, como forma de encerramento do turno, quando os operadores caminham à frente dos painéis e observam os controles e indicadores. Em função da natureza distribuída da informação da interface analógica, o passeio pelos painéis permite que, mediante a visualização de determinado medidor, ou posição de chave, ou cartão de sinalização, o Supervisor que sai se lembre de algum evento importante que tenha ocorrido durante o turno e transmita as informações correspondentes ao Supervisor que entra. Este passeio se torna numa importante ferramenta de auxílio para a recuperação de informações da memória de um sistema cognitivo conjunto, uma vez que, como a análise do turno de trabalho está mostrando, muitas informações são armazenadas apenas na memória da parte humana do mesmo (a memória de trabalho dos operadores). A preocupação do Supervisor que sai em verificar se alguma informação não foi repassada fica evidente no diálogo abaixo, onde ele chama o Supervisor que entra a acompanhá-lo aos painéis:

“Então é isso, vamos dar só uma olhada ali no painel, pra eu ir pra reunião. Bom, então falei contigo do CLK, falei das LTs, falei do procedimento, falei do ...”

Durante o passeio pelos painéis emergem novas informações, mesmo após os diversos repasses na memória feitos anteriormente como:

“A pressão lá no JD ficou completamente louca e aí, parece, que depois da drenagem normalizou. A gente ficou um tempo, hoje, ao longo do dia com ele todo em manual, e agora já voltou.”

Pressões para um desligamento conforme programado: O Supervisor que saía do turno era também o Chefe ou Gerente da usina, ocupando uma posição hierarquicamente superior a do Supervisor que entrava. Na passagem de turno, por 3 vezes, aparece a pressão para a realização do desligamento e das tarefas planejadas o mais rapidamente possível em expressões como *“Não relaxa porque nós estamos amarrados”*, ou *“Não pode parar, não tem nada pra parar!”* ou ainda *“É de morro abaixo, agora não tem jeito!”*

Porosidade de informações: Diálogos terminados com informações finais não conclusivas como: *“... O operador vai acabar...”*, onde não se sabe se o serviço foi efetivamente terminado e se o equipamento pode ser utilizado foram observados. Este tipo de informação, não conclusiva, é muito comum em diálogos naturais, onde protocolos formais para confirmação do entendimento do conteúdo e da forma de transmissão das informações não são utilizados. É bom lembrar que também não existe nos Registros Diários de Operação informação conclusiva sobre o estado real de alguns dos equipamentos, especialmente aqueles em teste, como a Caldeira 1, de modo que esta informação conclusiva só poderia ser acessada pelos atores por meio da via verbal, uma vez que ela está armazenada na memória dos atores.

Dúvidas sobre o estado da Caldeira 1 e informações porosas aparecem também na passagem de turno Operadores do Circuito Secundário, quando este último dá instruções ao Operador de Painel, que é o responsável pela partida da caldeira, uma vez que este equipamento necessita manobras de campo para sua partida, conforme o protocolo abaixo.

Operador de painel: *“A Caldeira 1, foi encerrada a”* (interrompido)

Operador que entra: *“Tá.”*

Encarregado que sai: *“Então, teoricamente, está disponível.”*

Operador que entra: “*Mas está quente, ela?*”

Operador de painel: “*Tá ... Eu vou aquecer.*”

Operador que entra: “*Porque de repente vai precisar hoje, hoje na madrugada.*”

Operador de painel: “*Vou partir a 2.*”

O início do diálogo dá a entender na expressão, “*A Caldeira 1 tá encerrada*” que o equipamento está disponível. O Encarregado procura confirmar as informações do operador de painel (presente em parte do turno anterior e que continuaria operando em parte deste turno) por meio da assertiva: “*Então, teoricamente, está disponível*”. O Operador do Circuito Secundário que entra de serviço usa a expressão, “*Mas está quente ela?*”, com objetivo de provocar como resposta não uma informação, mas sim uma ação do operador de painel. Este fato decorre da força não locucionada de comissão (comissionando o ouvinte para uma ação futura) da expressão, significando que, em vez de uma força assertiva (representando as coisas como elas são), a expressão fornece um claro direcionamento ao operador de painel para que uma caldeira esteja disponível durante a parada da usina. Seu real significado seria “*Precisamos de uma caldeira pronta para desligar a usina.*” Nota-se ainda que o operador do painel compreende o sentido da comunicação, pois é instado à ação: “*Vou partir a 2*”. Aí surge uma nova questão: Porque o operador de painel resolve partir a Caldeira 2 (de reserva) ao invés da Caldeira 1 (que já estaria disponível segundo suas próprias informações iniciais)? Como veremos durante a análise do micro incidente Caldeira, ele toma essa decisão porque não dispõe de informações que garantam o estado dos reparos da Caldeira 1.

Aprendizado: Diálogos na passagem de turno são usados para o repasse de informações práticas, baseadas em conhecimentos tácitos do operador, caracterizando um processo de aprendizagem informal, a respeito de diversos aspectos da operação da usina, como por exemplo as consequências da injeção de peróxido, já presenciada em outra usina por um operador: “*Ele injetou peróxido em (nome-outra-usina) e deu muito problema. Ia contaminar muito ... O peróxido remove toda a corrosão que está solta ali no primário.*”

Outro exemplo de aprendizado é a conversa entre os operadores do reator sobre como foi o processo de desligamento do reator, evocado pelo operador que entra de

serviço. O diálogo indica que o procedimento de parada (ver anexo 1) que prescreve a redução de potência térmica pelo desvio de vapor depois do desligamento da turbina (“...SDV um pouquinho aberto...”) junto à redução do fluxo neutrônico (“...pra reduzir os 2 juntos...”), não foi seguido a risca pela equipe que efetuou o desligamento. Pudemos constatar que procedimentos, embora escritos como roteiros, com ações sequencialmente bem definidas, algumas vezes não são seguidos a risca e usados como mapas.

Uso de procedimentos: A forma como procedimentos são usados, já mencionada acima, é ilustrada em outro trecho da passagem de turno entre Encarregados. Nos diálogos entre operadores, o procedimento aparece como mais um participante da discussão. Quando se referem aos procedimentos, os operadores falam na terceira pessoa: “...Ele pede reator subcrítico frio...”. O uso do verbo “pedir” na maioria das vezes onde procedimentos são mencionados, fortalecem a idéia de que procedimentos, apesar de escritos como roteiros, são usados como mapas, que orientam o curso das ações. Mapas permitem diversas alternativas para que um objetivo seja atingido: “pedem”, ou “sugerem” um curso para ação. Assim, algumas vezes, em função de problemas em equipamentos, pressões temporais etc., algumas ações que um procedimento “pede”, podem não ser seguidas, como veremos ao longo da análise dos micro incidentes, onde a questão do uso dos procedimentos aparece novamente. Entretanto, veremos também, que este tipo de abordagem não é explícita, em função da obrigatoriedade de cumprir os procedimentos a risca colocada pela organização e reforçada por possíveis sanções em caso de acidente.

Repassa de estratégias naturalistas (Teoria do Contorno): Os operadores, face a opacidade do automatismo, descobrem soluções alternativas para a partida de sistemas, baseadas em regras simples SE ... ENTÃO, diferentes daquelas previstas nos procedimentos operacionais, que por este motivo são repassadas de boca em boca, de uma forma quase clandestina: “Aí você vai e parte a p... Entendeu? Então, isso é um bizu que eu ia te passar, já te passei na prática e você já viu! Entendeu?!”

A locução “...já te passei ... e você já viu! Entendeu?!” traz uma carga imperativa dando a entender que a estratégia não deve ser explicitada. Emerge claramente a problemática da Teoria do Contorno (ver capítulo 1), com os operadores

instados a transgredir regras e evitar a discussão das novas práticas no âmbito da organização.

Simultaneidade de tarefas: Após o desligamento, durante a passagem de turno, o Encarregado que saía precisava realizar várias tarefas simultaneamente: 1) preencher a Folha de Registro para sair do serviço, 2) acompanhar a situação da usina num momento de problemas, 3) verificar ações do Operador do Circuito Secundário, e 4) repassar verbalmente ao novo Encarregado as informações do turno, após um período de 12 horas de trabalho.

Construção mútua da consciência da situação: Nas passagens de turno observamos que os operadores que entram têm um papel ativo na emersão de informações, numa construção mútua junto aos operadores que saem. Expressões como: “*Você esta drenando o LAA*”, ou “*Como vocês fizeram este isolamento?*”, evocam respostas nas quais emergem novas informações a respeito de operações que se iniciaram durante o turno e devem prosseguir no próximo turno.

Estratégias para flexibilização da informação da interface: Interfaces analógicas têm limitações físicas importantes relacionadas à flexibilização da informação, monitoração e controle (ver seção 5.3.2). Os operadores, algumas vezes, modificam momentaneamente de *set-points* de algumas variáveis, de acordo com suas preferências: “*Eu só deixo em alto pra poder ficar com a proteção, mas é só a gente ficar olhando.*” É uma forma de flexibilizar o funcionamento de alguns sistemas (estratégia de contorno), neste sistema de instrumentação e controle que permite (oficialmente) poucos graus de liberdade aos operadores.

Eliciação de aspectos da passagem de turno: Logo após a saída do Supervisor que deixava o serviço, procuramos eliciar alguns aspectos do processo de passagem turno mediante uma entrevista com o Supervisor que entrava de serviço.

Quando perguntado a respeito de suas primeiras atividades no turno que se inicia, o Supervisor retorna ao problema da busca de informações:

“*Eu estou conferindo aqui a passagem ... vou lá no livro do reator (Registro Diário de Operação do Operador do Reator) verificar isso*”

aqui, livro do turno, instruções do último dia de trabalho, verificar o registro do operador do painel primário e secundário. Então, agora, eu vou lá olhar direitinho.”

É patente a preocupação com uma possível perda de informações importantes, face aos processos de armazenamento e recuperação das informações do sistema a partir das ferramentas existentes:

“O objetivo é ver se passou alguma coisa pelo (nome-supervisor-que-sai), que ele não tenha me falado, ou que eu não tenha perguntado, mas que por um acaso está lá, então seria a última peneira, pra ver se eu não fiquei sem alguma informação importante. Normalmente eu esqueço de fazer isso, a gente esquece. É uma coisa meio quebrada isso daí, tá? É uma coisa que não é muito, não sei se você está percebendo? Por exemplo, se agora chegasse uma ligação pra mim, alguma coisa relevante, com isso aí eu ficaria só com a informação limitada.”

Aparece a problemática da interrupção do trabalho na Sala de Controle: “... se agora chegasse uma ligação pra mim...”, que é aprofundada na continuação da entrevista.

Supervisor: *“Isso aí! Ainda vai mudar alguma coisa, não sei se vocês devem estar observando, é o seguinte: obviamente o pessoal sabe que a sala de controle é o coração da usina, que é aqui, quer queira, quer não queira que tem que ter todas as informações, se for um caso de dívida, seja ela qual for, o cara pega o telefone e liga pra sala de controle... Assim: liga pra lá que eles sabem.”*

Esta análise das trocas de turno levanta diversas questões sobre a construção de representações compartilhadas e de uma consciência mútua da situação, num momento crucial do funcionamento do sistema, quando estas representações precisam ser construídas mediante informações escritas e verbais e não apenas a partir da interação entre o operador e o sistema, como por exemplo:

1. Quais são as verdadeiras relações entre as comunicações verbais e escritas?
2. O processo de evocação da informação a partir da leitura de Registros e passeio pelos painéis é suficiente para garantir que informações importantes não se percam na entropia do sistema?
3. Como narrativas de situações que se prolonguem ao longo de dias ou semanas podem ser elaboradas, ajustadas, armazenadas e transformadas pelos atores, sem que informações importantes se percam?
4. Até que ponto atividades simultâneas, interrupções, atividades interferentes, isto é, os diversos atratores cognitivos presentes na situação de trabalho afetam a qualidade da informação transmitida?
5. Os artefatos e mentefatos (equipamentos, procedimentos, treinamento, competências) disponibilizados pela organização podem consolidar adequadamente as informações baseadas nos eventos em relação aos fatos, requisitos, e sobre como estes requisitos são interpretados?
6. Quando a informação deve ser consolidada (escrita): durante o evento, depois de um certo tempo, depende do evento? Como a informação é transformada no tempo em função da mudança de atores?
7. A informação relativa aos eventos é decodificada de forma absoluta ou em relação à atividade? Em qual contexto?

Foge ao escopo deste trabalho uma discussão aprofundada sobre estas questões, o que demandaria uma análise mais abrangente das passagens de turno. Para nós, conforme as premissas metodológicas da análise de restrições, é suficiente a constatação de que os procedimentos para a consolidação e transmissão de informações na passagem de turno podem levar a diversas fontes potenciais de problemas, ou disfunções e, conseqüentemente, introduzir contrantes para as tomadas de decisão dos operadores durante os micro incidentes que ocorrerem durante o turno. Estas disfunções estão ligadas a:

1. Ausência de informações precisas nos documentos escritos e a não garantia de que as trocas verbais as complementam (por exemplo, o estado da caldeira 1).

2. A simultaneidade e intensificação de tarefas durante a passagem do turno – operar e passar o turno – adiciona um custo cognitivo adicional que induz ao uso de estratégias simplificadoras e dificulta uma discussão mais aprofundada dos problemas, das estratégias para solucioná-los e até mesmo a elaboração de anotações mais detalhadas nas Folhas de Passagem de Turno. Enfim, dificulta uma atitude reflexiva sobre os aspectos mais importantes da operação e consolida estratégias de contorno e transgressão.
3. Turnos longos, de 12:00 horas (mais a 2 horas de passagem de turno) dificultam ainda mais o processo, aumentando a quantidade de informação, a fadiga dos operadores que deixam o turno e, conseqüentemente, a qualidade da informação transmitida.

Finalmente, observamos que nos diversos tipos de trocas verbais da passagem de turno ficaram caracterizadas as estratégias naturalistas e as heurísticas simplificadoras para resolução de problemas, conforme preconizam os resultados das pesquisas em Tomadas de Decisão Naturalista, que se contrapõem aos padrões normativos de trabalho da organização.

Na próxima seção faremos uma análise da atividade dos operadores durante os micro incidentes que ocorreram nos períodos observados, na parada, partida e treinamento em simulador.

5.3.3 Micro incidentes na parada do reator

Nesta seção apresentamos a atividade dos operadores durante os micro incidentes ocorridos durante a parada do reator. Os micro incidentes constituem uma categoria especial de evento, conforme definimos no capítulo 3. Os micro incidentes emergem da situação, interrompendo o fluxo nominal de trabalho. A seleção dos micro incidentes, em meio aos diversos eventos observados foi feita por nós, em função de sua importância para os objetivos desta pesquisa (ver a discussão sobre a importância de um evento no capítulo 3).

Micro incidente partida da Caldeira 1: A disponibilidade de uma Caldeira para o desligamento do reator (ver anexo 1), já foi discutida durante a passagem de turno. Como vimos, até momentos antes do início do turno, os operadores não tinham

informação conclusiva sobre o resultado dos testes pós manutenção na Caldeira 1. Vimos também, que instado à ação o operador auxiliar decidiu partir a caldeira redundante, isto é a Caldeira 2. Entretanto, a Caldeira 2 não partiu devido a problemas com seu ventilador. Restava à equipe de operação descobrir o estado da Caldeira 1, ou suspender a parada.

A presença de um andaime junto à Caldeira 1 é o motivo das dúvidas a respeito do término da manutenção nesta caldeira. O Supervisor aciona o Operador Auxiliar ou de Painel para ir ao campo tentar obter informações sobre o estado desta caldeira e continua tentando, via telefone, obter as informações sobre o estado deste componente. O problema é finalmente resolvido no campo, pelo Operador Auxiliar, que consegue partir a Caldeira 1.

Este micro incidente ilustra como uma situação à margem do processo produtivo – a presença de um andaime junto à caldeira – pode criar eventos dentro deste processo, criando tensões e dificuldades para os operadores. Ele exemplifica as dificuldades porque passaram os operadores na busca de informações que permitissem saber o real estado de funcionamento da Caldeira 1, dificuldades que se iniciaram na passagem do turno e chegaram até o momento do desligamento do reator, quando, pelo menos uma das caldeiras funcionando seria imprescindível para o resfriamento do reator.

Informações imprecisas e incompletas, resultados de uma comunicação porosa (fazendo com que as lacunas fossem preenchidas com inferências), foram geradas por comunicações verbais, informações escritas – baixa da LT e até visuais – presença de andaime no local, não congruentes, gerando signos opostos: se a LT foi baixada, porque havia um andaime junto à Caldeira? Como concluir se Caldeira estava, ou não, pronta para operar nesta situação? É interessante notar que as informações foram transmitidas sem suficiente precisão pelos diversos agentes envolvidos no processo, desde o pessoal de manutenção, passando pelos operadores de área e chegando até os operadores da sala de controle; e ao longo do tempo, desde a passagem de turno até o desligamento do reator. Assim sendo, estas informações não permitiram aos operadores da sala de controle identificar o real estado da Caldeira 1, que se tornou crucial após a falha da redundante Caldeira 2. O problema só foi resolvido com a ida do Operador de Painel ao campo e os contatos telefônicos do Supervisor.

Outra lição que tiramos deste evento é que anomalias ou disfunções podem ocorrer em função da transmissão imprecisa de informação, seja ela verbal, escrita ou

visual, e que todos os tipos de informação são utilizados para uma tomada de consciência mútua adequada da situação, a qual é buscada de forma incessante pelos agentes envolvidos na operação. Vimos que, o que chamamos de micro incidente partida da Caldeira 1, teve como gênese a existência de informações discrepantes – presença do andaime (visual) x baixa de LT (escrita) – que geraram conflitos lógicos e dificuldades para os operadores, que lidam com diversos eventos ao mesmo. Este micro incidente, aparentemente sem importância, que como vimos sequer foi mencionado nos registros do turno, ocupou tempo e demandou esforços físicos e cognitivos consideráveis do Supervisor e Operadores, num momento crítico do desligamento do reator.

Micro incidente liberação de testes: Conforme a programação de tarefas da parada, alguns testes da instrumentação deveriam ser iniciados logo após o desligamento do reator (estado subcrítico quente). Entretanto, o procedimento destes testes indica que eles devem ser realizados com o reator no estado subcrítico frio. O estado subcrítico frio só poderia ser atingido após o processo de resfriamento, que dura pelo menos 6:00 horas (ver Anexo 1). Assim sendo havia uma inconsistência entre 2 informações escritas: o procedimento do teste e o planejamento da parada. A problemática da tomada de decisão Supervisor para autorizar a liberação de 2 testes da instrumentação é causada por essa incongruência de informações: os procedimentos dos testes “pedem” o reator no estado subcrítico frio e no momento para o qual o teste foi programado o reator está no estado subcrítico quente.

O micro incidente se inicia logo após a queda das barras às 23:34 horas, quando chegam instrumentistas à Sala de Controle pedindo autorização para realizar o teste dos Transmissores Analógicos até a Entrada das Funções de Limitação. Começa então uma discussão que envolve os operadores e instrumentistas a respeito da possibilidade ou não de realizar o teste, mesmo contradizendo o respectivo procedimento.

É bom lembrar que os problemas com a caldeira e outros preparativos para o resfriamento ocorriam exatamente neste momento, caracterizando um período de intensificação de tarefas. Ao final das discussões, o Supervisor decide autorizar a realização do teste.

Entretanto, a principal questão que deveria ser analisada é tocada apenas ao final da discussão pelo instrumentista: *“Eu vou só falar com o Operador do Primário aqui porque alguns alarmes da limitação do trem 1 eventualmente podem surgir aqui.”*

Esta fala, que não ecoou nos demais interlocutores, dá idéia de que pequenos problemas poderiam ocorrer, porém, a real extensão destes problemas para a operação não é analisada. Ocorre que os mesmos sinais que geram alarmes e a atuação do Sistema de Limitação (em teste) são usados também pelo sistema de automação em outros processos. A consequência desta decisão será observada ao longo do turno.

Logo a seguir à autorização para o teste anterior, às 24:05 horas, nova equipe de instrumentistas chega à Sala de Controle solicitando autorizando para a realização de outro teste: Calibração de Transmissores de Pressão do Circuito Primário. A pressão do primário é uma das principais variáveis monitoradas pelos operadores. Por se tratar de informação vital para a segurança da usina, existem 4 canais redundantes para a medida de pressão. Segundo o procedimento do teste, cada canal de pressão (um por vez) deve receber sinais simulados (fornecidos por circuitos eletrônicos) correspondentes a 0, 25, 50 e 100% da faixa de medida, de modo a verificar a precisão da medida de cada canal. Analogamente ao anterior, este teste também foi programado para ser iniciado às 24:00, segundo o planejamento da parada e segundo o procedimento do teste deveria ser realizado com o reator subcrítico frio, o que, como vimos no teste anterior, é uma impossibilidade física. Também de forma análoga, o Supervisor decide autorizar sua realização.

Observamos que a principal preocupação do Supervisor neste momento de tomada decisão em relação a autorizar ou não o teste é a validade do mesmo, em função da discrepância entre o procedimento de teste e o modo de operação do reator. Nesse sentido são interessantes as locuções do Encarregado e do outro instrumentista envolvido, expressando algum receio: “...mas o teste está pedindo subcrítico frio...”, que não ecoam nos demais agentes. Outro aspecto evidente do diálogo é a pré disposição do Supervisor em adiantar as tarefas: “Começa logo a fazer essa p...”, ou “Então vamos fazer essa p... logo”, caracterizando a pressão temporal a qual o Supervisor está submetido, como responsável pela condução das tarefas a serem executadas no desligamento, pressão esta que é repassada aos demais membros da equipe.

Nas 2 decisões de liberar os testes aparecem as mesmas estratégias naturalistas que já havíamos observado na passagem de turno: reconhecimento de padrões (se o reator está desligado, a atuação da limitação não é problema), simplificação da situação (não consideração da eventual influência dos testes nos sistemas automáticos – sistemas

fortemente acoplados), decisões tomadas em série, critérios de satisfação em vez de otimização.

Nota-se também a problemática dos procedimentos. O planejamento das tarefas é incompatível com os requisitos do procedimento de teste. Este último por sua vez não explicita o motivo do requisito: Porque é necessária a realização do teste com o reator subcrítico frio? Para garantir a validade dos resultados a serem obtidos, ou para não afetar sistemas que ainda estão sendo usados no resfriamento do reator? Isto é, da mesma forma que os documentos de Registro de Turno, que vimos na seção anterior, estes procedimentos dizem o que deve ser feito e não porque deve ser feito dessa maneira. Assim sendo, ocorre uma inversão da função básica dos procedimentos que seria diminuir a complexidade das situações, trazendo-as para o nível de regras. Ao não explicar os motivos de seus requisitos, quando postos em cheque pela situação ou por outras regras (como o planejamento das tarefas), estes procedimentos obrigam os operadores a usar estratégias cognitivas mais complexas ao nível de conhecimento (raciocínio indutivo e dedutivo, inferências etc.) que expliquem os motivos dos seus requisitos que, em momentos de intensificação da atividade levam a simplificações da situação (não consideração da influencia dos testes na operação para tomada de decisão) de modo a aliviar o custo cognitivo desses operadores. Esta situação reforça ainda mais o uso das estratégias naturalistas de tomadas decisão, num setor que enfatiza o uso de procedimentos como um dos pilares da segurança.

As expressões usadas pelo Supervisor para liberar o teste (“*Começa logo a fazer essa p...*”) sugerem que a intensificação da atividade decorrente de vários eventos que estão ocorrendo simultaneamente neste início da parada fazem com que o Supervisor e o Encarregado não tenham a disponibilidade de recursos cognitivos suficiente para analisar a fundo qual a implicação de cada uma das situações para as quais são requisitados.

Observamos que os micro incidentes que apresentamos até aqui (Caldeira e as 2 liberações de testes) ocorreram simultaneamente, entre 21:00 e 24:00 horas. Nos 3 micro incidentes a equipe de operação lidou com informações conflitantes, geradas no seio do sistema sócio-técnico. A busca de informações envolveu diversas mídias e diversos agentes, com diferentes competências e, possivelmente, diferentes consciências da situação (características de contextos complexos e compartilhados de trabalho). Em todos os micro incidentes observamos informações contraditórias que não subsidiaram uma estratégia normativa de tomada de decisão. Pressões para a realização de tarefas

conforme o planejado também emolduram o processo de tomada de decisão do Supervisor: necessidade de partir a caldeira e interesse em cumprir o planejamento dos testes.

Todos estes fatores de complexidade do sistema sócio-técnico, acarretaram dificuldades para os operadores e contribuem decisivamente para a opção naturalista de construção das estratégias, que pela via da simplificação (às vezes exagerada), busca minimizar o custo/risco cognitivo envolvido.

A liberação dos testes trouxe diversos problemas para a operação da usina. Estes problemas começaram a ser percebidos pelos operadores cerca de 30 minutos depois da liberação dos mesmos, quando começaram a ocorrer diversos alarmes na Sala de Controle. Às 24:30, o Encarregado comenta com o Supervisor sobre estes alarmes: *“Esse negócio de liberar teste de (ininteligível) é alarme direto, cara.”*

Como já observamos, o sistema de alarmes não permite a supressão de alarmes em função do modo de operação, gerando neste momento de desligamento e testes muitos alarmes sem sentido, espúrios. O Supervisor aventa a possibilidade de desligar o alarme sonoro (buzina) para facilitar a operação, mas logo observa que apenas, no estado subcrítico frio, poderia desligá-la, conforme o procedimento: *“Desligar a buzina !? Só subcrítico frio?”*

Entretanto, além de alarmes, ocorrem bloqueios intermitentes da água de alimentação (sistema KBA), causando a suspensão do processo de resfriamento, o que gerou o seguinte comentário do Operador do Reator: *“Não dá para saber se o bloqueio é devido aos testes ou a uma condição real da usina.”*

Esta dúvida permanece ao longo de toda operação de resfriamento do reator. Esse bloqueio da injeção de água do Sistema KBA ocorre de forma intermitente em diversos momentos. Alguns operadores associam aos testes, outros a problemas do sistema, ficando patente a dificuldade para a construção de um diagnóstico válido. A opacidade do sistema de automação fica caracterizada quando analisamos estes eventos. Como vimos na descrição do Sistema de I/C e Automação, cada grupo automático possui diversos níveis de habilitação, que são comandados por diversos sinais. Além disso, estes grupos operam de forma distribuída e autônoma (não existe um sistema central que coordene as ações dos diversos grupos automáticos). Cabe aos operadores a tarefa de integrar as informações disponíveis num todo coerente e, a partir daí, realizar o diagnóstico. Para o diagnóstico de problemas, os operadores possuem informação a

respeito do diagramas lógicos de cada grupo automático (*Display* de Critérios e fluxogramas de engenharia em papel) e dos diversos sinais dos sensores.

Face ao bloqueio da injeção de água, que impedia o resfriamento, o Supervisor à 01:35 horas pede a suspensão do teste de Transdutores do Sistema de Limitação, o principal suspeito dos bloqueios.

Entretanto, os outros testes liberados continuam sendo executados, como por exemplo o teste dos transdutores de pressão. À 01:38, o Operador do Reator, perde a indicação de pressão no *display* de variáveis do painel CWB: repentinamente a pressão do primário, indicada mediante um *Bargraph* no *display* de variáveis do CWA, cai para 0 bar, uma vez que o canal monitorado pelo operador foi o escolhido pelo instrumentista para realizar o teste. Esta situação revela a existência das diferentes lógicas ou subculturas técnicas entre o pessoal da operação e da instrumentação. Para o instrumentista, a perda de um sinal pressão, quando existem outras 3 redundâncias não é um problema, afinal canais redundantes são feitos para isto mesmo, na falha de 1 os outros são utilizados. Para a operação a coisa não é tão simples assim, especialmente numa sala de controle analógica, onde as opções de busca de informação não são muitas. De seus respectivos postos de trabalho, os Operadores do Reator e Circuito Secundário monitoram as principais variáveis da usina por meio do *Display* de Variáveis, localizado no painel CWB. Neste *display* os operadores podem selecionar para visualização apenas 7 variáveis. Obviamente, são escolhidas as variáveis mais importantes e somente uma redundância de cada canal é selecionada para indicação. Para observar as outras redundâncias, o operador precisa sair de seu posto de trabalho, se deslocar até o painel e se ajoelhar para observar os registradores gráficos (ver seção 5.2). Outra opção dos operadores seria modificar a seleção de variáveis no *display*. Uma operação que raramente é utilizada, pois as variáveis monitoradas devem ser sempre da mesma redundância, uma vez que daí são extraídos valores de variáveis para os documentos de operação e estes sinais, apesar de redundantes, apresentam pequenas discrepâncias nas medidas, em função de diferenças intrínsecas dos sensores e condicionadores de sinal, diferenças da ordem de até 3%, prejudicando a coerência dos documentos preenchidos.

O Supervisor reconhece a gravidade da situação e às 01:48 contata por telefone o responsável pelos testes pedindo a suspensão de todos os testes em andamento: “*Eu tô com uma indicação aqui de pressão do pressurizador do SRR (Sistema de Refrigeração do Reator). Sumiu a indicação aqui no painel. Então o seguinte, eu tô*

suspendendo tudo quanto é teste. Eu não tô seguro que estes testes não estão gerando sinais, porque é muita coincidência: começaram os testes, começaram a sumir, começaram a dar uma p... de alteração. Porque vocês não estão me passando uma informação confiável, que eu possa entender, que realmente estes sinais não estão sendo gerados pelos testes.”

Fica caracterizada uma situação de grande dificuldade, onde os operadores não confiam mais nos sinais da interface. Não sabem se são alarmes espúrios ou alarmes efetivamente gerados pelo sistema (a concepção do sistema de alarme contribui para isso também). Neste tipo de situação apelos para *bypasses* na automação podem se tornar frequentes – se os alarmes são espúrios, os bloqueios também o seriam – em um tipo de estratégia simplificadora. É bom lembrar que embora desligado, o reator ainda está em processo de resfriamento, com diversos sistemas ainda em operação.

A intervenção final do Supervisor mostra que a decisão anteriormente tomada, de liberar os testes com o reator em processo de resfriamento, indo inclusive contra os procedimentos específicos dos testes, não teria sido a mais adequada. Seria importante que esta experiência fosse passada para as outras equipes de operação, de modo que situações deste tipo não se repetissem. Entretanto, como vimos na seção anterior, nos documentos de passagem de turno existe pouca ou nenhuma informação sobre os problemas que esta liberação antecipada dos testes causou no processo de resfriamento da usina.

Eliciação dos motivos da liberação dos testes: Durante uma pausa para café o Supervisor discorre a respeito dos problemas com os testes, conforme o protocolo abaixo. Neste momento, às 3:30, o Supervisor se prepara para liberar novamente os testes, após a entrada em funcionamento dos Circuitos de Remoção de Calor Residual (RHR).

Supervisor: *“Esses testes, eu podia não ter liberado hoje a meia noite, tá. Eu podia não ter liberado! Mas o pessoal tentou experimentar esses testes. Embora eles sejam previstos para usina já fria. No teste, um dos pré requisitos é esse. Mas a Usina tentou jogar esses testes, adiantar. Porquê nós temos um tempo muito curto de parada! Com isso eu topei o desafio e liberei à meia noite. Mas no meio da onda eu senti que não dava e mandei parar. Eu liberei 2*

agora e daqui a pouco vou liberar o resto. Pra depois que eu entrar no sistema interno, sem gerador de vapor. Eu já tô agora com 140°C, quando eu tiver a 120°C (condições de RHR) eu libero o resto.

No fundo, no fundo, quem tem interesse nos testes somos nós mesmos: a Operação, tá. Os testes são mais interessantes porquê é a confiança na usina, né. Agora eles tão aí trabalhando, tão ganhando. Não está fazendo o teste, vai para um canto ali, se encosta, dorme. Dá prejuízo pra companhia, que perde homem/hora! Mas o que é eu vou fazer?

O Chefe da Usina que determina uma tarefa, mas no final, quem toma as decisões todas, todas as responsabilidades, são em cima do Chefe de Turno (Supervisor). É ele quem tem que tomar todas as decisões do momento, embora já tenha havido uma ordem da chefia para fazer aquilo, aquelas tarefas. A usina está nas mãos do chefe do turno, toda a segurança da usina!”

Fica caracterizado que as pressões para realização de tarefas emolduraram a decisão do Supervisor de autorizar a realização dos testes.

Micro incidente segunda liberação de testes: Às 3:35 o Supervisor avisa ao responsável pelos testes que vai liberá-los em breve. De acordo com a experiência do Supervisor, a partir da entrada em RHR (reator a 120°C e sistema de remoção de calor residual ativado) os testes não trariam mais problemas. Se repete o padrão de tomada de decisão, condicionada fundamentalmente pela pressão imposta pela Chefia da Usina. Nem os problemas anteriores, causados por estes mesmos testes, fizeram com que uma análise mais detalhada das reais influências destes testes na operação fossem consideradas em profundidade, antes que eles fossem novamente liberados, às 04:30.

Às 4:43, 13 minutos após a nova liberação, alarmes voltam a ecoar na Sala de Controle motivando o seguinte comentário do Supervisor: “*Não há dúvida de que começaram os testes!*” O Supervisor procura repassar à equipe a mesma pressão que recebeu da chefia da usina na passagem de turno em expressões como: “*Agora relaxa! Relaxa, que vai ter que conviver com isso.*” Às 04:48, soa o alarme do KBA 31 e é

bloqueada a injeção de água. Este bloqueio já havia surgido antes, e o teste da limitação foi considerado o principal suspeito por seu aparecimento.

O Supervisor insiste em manter os testes a despeito das observações dos demais membros da equipe. Ele sugere meios de mitigar os efeitos do bloqueio na injeção de água. Em função do bloqueio intermitente na injeção de água, seria necessário bloquear também a injeção de ácido bórico, sob pena de exceder a quantidade de boro que deve ser injetada circuito primário durante o resfriamento do reator.

Às 05:33, o Supervisor se rende às evidências e sob pressão dos demais operadores suspende novamente a realização dos testes.

Micro incidente intervenção no armário da automação: Às 05:15, após a segunda liberação dos testes (antes de sua suspensão), com o reator ainda em fase de resfriamento, os operadores têm dificuldade em diagnosticar o que se passa com o Sistema de Injeção de Água que constantemente é bloqueado. Alguns operadores acreditam que o bloqueio é causado pelos testes que estão em andamento, enquanto outros creditam o problema ao sistema de instrumentação e controle da usina. Este bloqueio intermitente impede a correta boração do primário, pois o sistema fica impossibilitado de injetar água e injeta apenas ácido bórico. Fica patente a dificuldade para o estabelecimento de uma representação mútua e compartilhada dos problemas da planta. O operador secundário já tinha passado por problemas com este sistema que não eram do conhecimento dos demais membros da equipe: *“O problema é antigo. Desde a partida eu vi.”*

A situação chega ao ponto em que os operadores, apenas pelos sinais aparentemente espúrios (não há certeza) da interface, começam a inferir que testes estão sendo realizados : *“Tem alguém fazendo teste aqui!”*

Neste momento de dificuldade o Supervisor toma a decisão de *by-passar* a automação no armário respectivo: *“Manda alguém resetear esse alarme lá. Porque esse troço tá terrível. E não é teste não. O (nome operador-circuito-secundário) tá falando aqui que com ele já aconteceu isso direto e reto, quando ele tava... (nome-operador-circuito-secundário) tá garantindo que não é teste, com ele já aconteceu várias vezes isso aí. (pausa) Saiu de novo!?”*

O Supervisor procura justificar para o Encarregado sua decisão de mexer no armário, a partir da informação dada pelo Operador do Circuito Secundário. A surpresa

quando sai o bloqueio mostra o nível de dificuldade a que chegou a situação da planta em relação ao nível de compreensão dos fenômenos pelos operadores, cujo principal auxílio neste momento é a consulta a fluxogramas de processo e documentos de engenharia.

Apesar das deficiências e contradições nas informações, da dificuldade para elaboração de um diagnóstico conclusivo e contando apenas com a experiência prévia do Operador do Circuito Secundário, o Supervisor toma a decisão de intervir no armário da automação (intervenção que não foi necessária, pois o bloqueio saiu por si só). Entretanto, alarmes e bloqueios espúrios ocorrendo constantemente, levam a este tipo de prática (intervir para bloquear sinais no armário de automação) simplificadora, que permite compatibilizar a dificuldade da situação com as ajudas do sistema e os recursos cognitivos disponíveis. Este tipo de situação pode levar a uma operação num modo degradado, perto do nível de saturação cognitiva: face a sua dificuldade de compreensão e a pouca ajuda disponível, os operadores, para não perder o controle cognitivo, simplificam a situação no momento das tomadas de decisão, não levando em conta as possíveis implicações das decisões na segurança global da instalação. Bloqueio de sinais no armário da automação é um tipo de solução extrema, que só deveria ser tomada a partir de um diagnóstico da situação absolutamente claro e válido.

Eliciação dos problemas causados pelos testes/bloqueios: Após a suspensão dos testes o Supervisor fala sobre os problemas causados pelos testes, conforme o protocolo abaixo.

Ergonomista: *“Deixa eu fazer uma pergunta. Só vai poder agora fazer testes com 50 graus?”*

Supervisor: *“Olha, a não ser que às 7:00 da manhã a usina estiver numa outra condição e o (nome-supervisor-próximo-turno - chefe da usina) quiser recomendar os testes. É com ele, tá entendendo?”*

Ergonomista: *“Agora, uma dúvida minha: Qual é a diferença da usina trabalhar a 90 °C ou a 50 °C?”*

Supervisor: *“É o seguinte. Por enquanto, eu tô resfriando. Então se eu tô resfriando, eu tô recomplementando o primário (injetando água). Eu tô com o RHR em serviço. Então, tem uma série de sistemas entrando em serviço para chegar à condição de 50 °C. Nessa que eu tô botando eles (os sistemas) em*

serviço, eles tão recebendo sinal pra desligar, pra fechar válvula, tá entendendo (pausa) É isso que tá acontecendo! E eu não sei de onde está vindo essa p... desse sinal. É só começa a acontecer isso quando eu libero os testes. Sacou? Eu não posso nem dizer que a culpa é dos testes! Só sei o seguinte: quando eu libero os testes começa isso.(pausa) Naquela hora (referindo-se a primeira suspensão dos testes) , eu suspendi os testes e acabaram os sinais.”

Ergonomista: “*Naquela hora o RHR estava fora, né?”*

Supervisor: “*RHR tava fora, ainda tava fora.”*

Ergonomista: “*E o efeito teste?”*

Supervisor: “*Exatamente. Aí os alarmes começam, uma p... de alarmes, ventilação, bloqueio. Então cara, é uma loucura. Não dá pra gente se concentrar na taxa de resfriamento (valor da queda de temperatura/hora estabelecida no procedimento de parada). Por exemplo, o pessoal agora tem que tá concentrado só numa coisa: garantir que eu jamais vá resfriar numa taxa menor do que 50 °C por hora (conforme o procedimento). Aí os caras (os operadores) ficam doidos nessa p...! Quando a usina chegar a 50 °C, aí não tem mais p... nenhuma para fazer aqui na sala de controle, não tem mais nada e vai indo. É só manter os 50 °C. Pode tocar alarme, o c..., f...! É só ver a temperatura do SRR (Sistema de Refrigeração do Reator), mais nada: tá em 50 °C? Tá. RHR tá em serviço? Tá. Então f...! Aí pode dar alarme, deus e o mundo. Você entendeu? Agora, explicação eu não tenho, você não tem, ninguém tem! O (nome-encarregado) tá maluquinho, coitado. Ele não consegue me convencer, nem eu a ele!”*

Neste momento intervém na conversa o Operador do Circuito Secundário.

Operador do Circuito Secundário: “*O que?”*

Supervisor: “*Tamos comentando aqui a relação dos testes.”*

Operador do Circuito Secundário: “*Não, esse problema, é um problema que ocorreu no início, na fase B (pausa), na fase B não. Naquela parte liga, desliga a usina, isso já tinha ocorrido (testes de comissionamento). Entendeu?”*

Supervisor: “*Sei, sei.”*

Operador do Circuito Secundário: “*É um problema que a gente já sabe! A gente tem um problema sério de medição de fluxo.”*

Supervisor: “*Eu sei, isso eu sei.”*

Operador do Circuito Secundário: “É porquê o sistema, lá da forma como foi projetado é muito crítico. Os transmissores que a gente tem lá, são transmissores antigos, sem muitos recursos”(tecnologia da década de 80).

Supervisor: “Tô entendendo.”

Operador do Circuito Secundário: “Então, esse problema só aparece no momento em que você tem que injetar água. E com a usina operando, você não injeta água! Injeta quando tem a atuação da Limitação.”

Um exemplo de falha latente do sistema, provavelmente (segundo o Operador e Instrumentista), resultante do atraso na construção da usina.

Em resumo, não há consenso no âmbito da equipe de operação se os bloqueios na injeção de água no circuito de remoção de calor residual (um sistema de segurança) foram devidos a problemas na medição do fluxo, ou aos sinais espúrios gerados pelos testes. Os problemas de medição de fluxo durante o comissionamento fazem parte da memória do Operador do Circuito Secundário, que participou daqueles testes. Para os demais operadores os bloqueios foram devidos aos testes.

É importante notar que certos sistemas (talvez a maior parte dos sistemas de uma usina nuclear) quase nunca operam (sistemas de emergência, desligamento etc.), de modo que informações a respeito destes sistemas para a experiência operacional da usina são muito valiosas. Entretanto, as informações discutidas acima não eram conhecidas por todos os operadores evidenciando a dificuldade do repasse da informação entre turnos/equipes.

Micro incidente bloqueio do JN após desligamento da BRR: Às 06:17, com o reator na fase final do resfriamento, 2 das 4 Bombas de Refrigeração do Reator BRRs são desligadas, conforme o procedimento (nesta fase elas são a principal fonte de calor). Ocorrem alarmes nos circuitos JN-20, 30 e 40 do Sistema de Remoção de Calor Residual (RHR). O circuito JN-30 é bloqueado quando os limites de pressão ΔP , especificados na Curva de Parada da usina são ultrapassados. Já com a presença dos operadores da equipe que iria iniciar o turno às 7:00 horas, os operadores discutem a estratégia para a partida do circuito bloqueado na reunião de passagem de turno. Havia 2 alternativas em discussão, modificar o *set-point* de pressão da Curva de Parada no armário da instrumentação, ou, a escolhida, abaixar a pressão do circuito primário por meio do sistema de *SPRAY*. O abaixamento de 2 bar na pressão do primário (36 para 34

bar) traria de volta as condições nas quais o sistema automático permitiria a partida do JN-30.

Neste micro incidente observamos que situações já vivenciadas por algumas equipes não são do conhecimento de todas as outras. Mais uma vez surgem problemas relacionados ao diagnóstico de situações, especialmente dos critérios que levam o sistema automático a bloquear determinados sistemas. A estratégia de tomada de decisão é menos influenciada pela pressão temporal, uma vez que o processo de resfriamento já está quase terminando e existem 2 equipes na Sala de Controle.

Mais uma vez ficam patentes as dificuldades que a rigidez (a diferença de 2 bar – que pode ser devido a própria resolução dos medidores – na curva de desligamento é suficiente para que bloqueios sejam gerados) e a opacidade do automatismo produzem para operação, levando os operadores a usar artifícios para modificar os critérios da automação, conforme eles mesmos reconhecem na expressão: “...trapacear o grande irmão”. Das duas opções discutidas, intervir no armário “Manda abrir lá o disjuntor”, ou abaixar a pressão do primário, por meio da abertura manual da válvula de *spray*, foi escolhida a segunda, mas ambas visam *bypassar* o critério de automação.

5.3.4 Micro incidentes na partida do reator

Nesta seção serão analisados os micro incidentes ocorridos na partida da usina, com 2 equipes de operação deferentes. Os 3 primeiros micro incidentes descritos a seguir ocorreram durante os preparativos para partida (equipe A) e os 2 últimos durante a subida de potência do reator (equipe B).

Micro incidente problemas com válvulas: Como vimos na parada da usina, estratégias naturalistas foram as mais usadas pelos operadores daquela equipe. Agora, com uma nova equipe, procuramos averiguar que tipo de estratégias são utilizadas.

Este micro incidente se refere a problemas de vedação em válvulas de alívio. Válvulas de alívio de faixa larga em geral apresentam o seguinte problema: elas não conseguem manter a mesma característica de vedação em toda a faixa de variação da pressão, uma vez que a preocupação dos construtores é com a vedação próxima da faixa de operação normal, no caso de 140 bar, que é a pressão do primário do reator. Muitos eventos e até mesmo acidentes em usinas nucleares (TMI, por exemplo) ocorreram em função de válvulas de alívio que abriram por sobre-pressão e não fecharam

adequadamente, quando a pressão diminuiu. Por isso, antes da partida da usina, quando as pressões ainda são baixas, os procedimentos de partida incluem testes que procuram checar o comportamento dessas válvulas nessas condições.

Neste micro incidente aparecem diferentes estratégias usadas pelo operador para resolver o problema de válvulas e/ou sinais de controle relacionados a elas. Das 3 válvulas de sistemas diversos, uma estaria realmente com problemas (vazando) e outras 2 com problemas relacionados à indicação de posição. Face a característica do sistema de automação, que impede atuação direta do operador sobre os componentes (só é possível a atuação se um, às vezes mais de um, sinal permissivo estiver ativo) e da falta de procedimentos para testar a integridade dos sinais, o operador busca caminhos alternativos para cumprir suas tarefas, usando as diversas interconexões existentes entre sistemas fortemente acoplados: “... mas eu consegui despressurizar por KBA.” É interessante notar que não há procedimentos para cobrir este tipo de situação: o operador parte da experiência adquirida a respeito de como os sistemas estão interligados para construir estratégias e, a partir daí, cria regras *ad hoc* que aplica nas diversas situações que ele reconhece serem semelhantes entre si, conseguindo obter informações importantes. Não seria válvula que está com problema e sim a chave de fim de curso, (*microswitch*) cuja função é justamente indicar o estado final da válvula. Constatamos então que, mesmo em situações para as quais não há um procedimento disponível, a heurística dos operadores continua baseada em regras do tipo SE ... ENTÃO, sem considerar muitos parâmetros (na realidade apenas 1, o fato da linha correspondente à válvula não ter sido pressurizada), apesar da complexidade do sistema e a dificuldade da situação, caracterizando o aspecto naturalista e o uso de estratégias de simplificação. Por 2 vezes, em válvulas diferentes, a mesma estratégia e a mesma conclusão:

“(SE) Eu despressurizei e logo depois ... não pressurizou mais, ENTÃO significa que a válvula está fechada, é só mesmo problema de microswitch”; ou

“...mas aí (SE) eu consegui despressurizar por KBA e não pressurizou de novo, ENTÃO é só problema de sinal.”

A eficiência deste tipo de estratégia depende fundamentalmente da experiência de cada operador e de um processo de discussão e reflexão no âmbito da organização.

Micro incidente compatibilidade entre procedimentos: Os operadores seguem o procedimento para a realização do Teste de Estanqueidade, ainda durante a passagem de turno. Em determinado momento eles procuram compreender a razão e discutem a necessidade de cumprir determinado requisito especificado no procedimento de teste.

Esta é uma situação que já havíamos observado durante a parada da usina (ver micro incidentes sobre liberação de testes): as razões de determinados requisitos de procedimentos não estão claras para os operadores e estão em conflito com o planejamento das tarefas, trazendo evidentes dificuldades para a operação.

O procedimento de teste pede que a bomba (JND), mesmo com a válvula adjacente fechada e travada, seja desconectada eletricamente. O objetivo seria evitar a injeção de água no primário durante o teste. Porém se a bomba está desligada e a válvula travada e fechada, porquê a exigência de desconetar a bomba eletricamente? O procedimento estaria sendo excessivamente rigoroso, ou a bomba poderia partir de alguma maneira durante o teste? Este requisito se justificaria por alguma razão que a equipe ainda não consegue perceber?

A razão fundamental para a discussão a respeito de cumprir ou não o requisito do procedimento é a necessidade de realização de novo teste na bomba, caso seja realmente necessário desconectá-la eletricamente. Este teste já foi realizado anteriormente nessa mesma parada, não está programado neste momento e poderia atrasar o cronograma para o retorno da usina à condição de operação.

Os operadores começam a fazer inferências sobre os motivos pelos quais o procedimento de teste estaria impondo estes requisitos, usando o Manual de Operação e fluxogramas de engenharia. É interessante notar que neste momento o procedimento funciona como um ator do processo que dá ordens, mas não as discute. As inferências sobre as motivações destes requisitos, em função das dificuldades que eles estão trazendo à operação, face ao encadeamento das tarefas colocado pelo planejamento da parada é o objeto da discussão. Pelo Manual de Operação, os operadores confirmam que, se for modificado o estado de determinados componentes, será preciso testá-los novamente. Surge a questão da compatibilidade entre o procedimento do teste, o manual de operação e planejamento das tarefas.

Emerge também a questão da temporalidade. O autor do procedimento já teria levado em consideração a posição das válvulas neste momento e o requisito teria um outro propósito, ou o autor não teria pensado que o teste seria realizado neste momento? A partir daí os operadores buscam eliciar as motivações do autor do procedimento ao incluir o requisito de desconectar eletricamente a bomba.

Quando o Encarregado diz “...o cara fez isso aqui... ele sabe das condições da planta...” significa que quem elaborou o Procedimento de Teste deveria ter especificado os testes que precisam ser feitos na partida de forma ordenada, conhecendo o estado da usina (dado pelo Manual de Operação). O que deveria estar adequadamente coordenado com o planejamento das tarefas. A dificuldade cognitiva que a situação acarreta continua aparecendo na fala do Encarregado apresentada abaixo.

Encarregado: *“Qual a relação que tem entre o Manual de Operação, bloqueando isso e o teste também (pausa). Estamos fazendo este teste na mesma região do Manual de Operação. Você está naquele ponto, então ele sabe que está bloqueado. Teoricamente, quem fez isso aqui, sabe. Então seria uma redundância o que está escrito aqui. Eu estou querendo ver se realmente tem alguma coisa a ver você ter os dois bloqueados, tanto a bomba, como a válvula. Qual é preocupação dele?”*

Vemos claramente a dificuldade de elaborar e seguir a risca procedimentos em sistemas complexos. Neste caso estamos diante do problema da compatibilidade funcional e, principalmente, temporal entre 3 documentos: Manual de Operação, Procedimento de Teste e Planejamento da Parada. Sendo que cada um deles foi elaborado por um grupo diferente de especialistas, em organizações diversas, em momentos diversos, enfim, dentro de contextos totalmente diferentes; mas que se não forem compatíveis trazem evidentes problemas para a atividade dos operadores.

Finalmente é construída uma estratégia que visa evitar a isolação elétrica da bomba que acarretaria em novo teste: *“não tirando o disjuntor, mas sim travando a descarga da válvula.”* Os operadores não estão tão certos a respeito da estratégia acima e continuam checando passos do manual de operação, documentos de engenharia e o procedimento de teste.

Ao término das discussões, os operadores decidem não desconectar eletricamente a bomba durante a realização do teste, contrariando o procedimento de teste.

Micro incidente operação chave: A descoberta do modo de operação de uma chave (se com retenção, sem retenção, apertar e girar, ou girar e apertar etc.) pode ser considerada uma operação simples, que poderia ser resolvida pela consulta a um manual de instrução (dependendo da facilidade dessa consulta). Entretanto, as estratégias naturalistas são novamente as preferidas.

O micro incidente emerge quando os operadores se surpreendem com uma resposta não esperada do sistema. Eles identificam a causa imediata do problema: uma chave no console CWA (ver figura 5.21) não permanece na posição que deveria ficar para a realização de um teste: “*Ela (se referindo a chave) tem que manter! ...Ela volta?*” A partir daí se inicia uma discussão sobre qual seria o modo de operação da chave. Todos parecem imaginar que seria uma chave com retenção (que trava em determinada posição). Em nenhum momento dessa discussão é sequer aventada a possibilidade do uso de algum tipo de ferramenta de auxílio como procedimentos, diagramas etc. que identificasse o modo de operação da chave.

Este micro incidente nos permite observar outra característica típica da operação da usina: a passagem de um modo coordenado, nominal de operação, a leitura do procedimento e a repetição das leituras pelos operadores, para um modo de cooperação, onde todos procuram resolver o problema.



Figura 5.21 Operadores tentam acionar chave na mesa de controle.

Emerge novamente a problemática de equipamentos, controles e indicadores que só são acionados em testes ou emergências, isto é, em situações não familiares. Os operadores não dispõem de um suporte adequado para acessar como é o funcionamento destes componentes. A estratégia de diagnóstico e resolução do problema é mais uma vez naturalista: reconhecimento de padrões (funcionamento de chaves), regras SE ... ENTÃO. Operadores e Encarregado mexem sucessivamente na chave tentando verificar se ela trava em alguma posição (sem saber realmente se ela é, ou não, uma chave com retenção).

No segundo dia de observações na partida da usina acompanhamos a subida de potência do reator, desde a potência 0 até o sincronismo da usina ao sistema elétrico, onde uma terceira equipe de operadores é observada. A seguir apresentamos os micro incidentes observados no período.

Micro incidente oscilação de parâmetro do Sistema de Limitação: A subida de potência da usina, que no momento operava com cerca de 13% de potência, teve que ser suspensa em função de oscilações no valor de um parâmetro do Sistema de Limitação.

Este micro incidente ilustra um processo de tomada de decisão na sala de controle no qual o curso da ação é fornecido por outro membro da organização, no caso um Instrumentista. O operador do reator a partir de uma oscilação num parâmetro importante, suspende a subida de potência. O parâmetro oscilante é formado a partir de variáveis do processo, dentre as quais o fluxo de água, que se encontrava muito baixo. O instrumentista contactado pelo operador reconheceu uma situação, onde pequenas variações de um fluxo muito baixo poderiam levar a distorções no cálculo do parâmetro e, portanto, ser a causa das oscilações do valor lido pelo operador. O fluxo baixo só poderia aumentar, com um aumento da potência, potência esta cuja elevação foi suspensa devido as oscilações, criando 2 condições antagônicas. A decisão final do Supervisor – *“aumentar a potência em 5 %, para ver se a oscilação pára”* – foi tomada a partir da solução sugerida pelo instrumentista ao Operador do Reator e repassada por este ao Supervisor.

Outro aspecto interessante deste evento é que ele permitiu a discussão de alguns aspectos da operação em baixa potência, que resultaram em aprendizado aos envolvidos.

Micro incidente abaixamento do nível do tanque MKF: Durante o processo de subida de potência – reator a 33% de potência – o tanque MKF começa a baixar o nível. Operador do Circuito Secundário atende telefonema de Operador de Área informando que o nível do tanque MKF está baixando rapidamente. Imediatamente ele informa ao Supervisor da situação, cujo agravamento pode levar a um *trip*, isto é, ao desligamento automático da usina. Este tanque faz parte de um dos inúmeros sistemas auxiliares da usina e não possui alarmes na sala de controle. A única indicação na Sala de Controle é seu nível, no Painel Auxiliar, por meio de um registrador gráfico. A figura 5.22 mostra este registrador gráfico no momento do evento. A linha mais grossa corresponde ao nível do tanque MKF, onde se pode observar a tendência de baixa.

É interessante observarmos que o Operador do Circuito Secundário toma conhecimento do problema mediante contato telefônico da área, uma vez que, apesar dos cerca de 1500 alarmes sonoros presentes na Sala de Controle, não existe alarme diretamente ligado ao nível deste tanque na sala de controle.

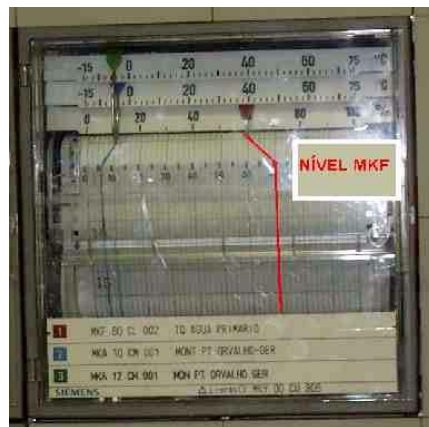


Figura 5.22 Registrador gráfico indicando queda de nível do MKF.

O Supervisor imediatamente toma a primeira decisão no micro incidente: repor o inventário do tanque para evitar o desligamento. Mesmo sem saber a causa, ou de onde vem o vazamento, o Supervisor busca formas de encher o tanque, de modo a viabilizar a decisão tomada, construindo uma estratégia que procura resolver o problema simplificando a fase avaliação da situação, baseada numa regra simples: SE o nível do tanque está baixando ENTÃO é preciso repor seu inventário. O objetivo é o mesmo dos outros Supervisores: evitar um desligamento automático. O Operador do Circuito

Secundário, por outro lado, continua buscando uma melhor avaliação da situação, prosseguindo o processo de tomada de consciência da situação, buscando mais informações, da memória dos operadores, da interface H/M e do pessoal na área.

O protocolo abaixo ilustra a busca da informação em 3 partes do sistema cognitivo: 1) memória dos operadores, 2) interface H/M e 3) na área.

1) Memória dos operadores:

Encarregado: “*Dá outra vez foi uma mangueira, lembra?!*”

Operador Circuito Secundário: “*Foi a mangueira do condutivímetro, mas tinha um condutivímetro lá.*”

2) Interface H/M:

Operador Circuito Secundário: *Vê aí (apontando para o Painel Auxiliar), aí tem um indicador de nível do MKF (ver figura 5.22). Ô (nome-encarregado), (nome-op.-reator), dá uma olhada ali como é que tá? É, tá caindo muito rápido!*

3) Na área:

Operador Circuito Secundário (ao telefone): “*Oi (nome-op.-área) dá um tempo nisso aí, dá uma olhada no MKF que o nível tá baixando demais! (pausa) O (nome) tá lá, mas dá uma acompanhada lá, vê se tu ajuda porque daqui a pouco vai tripiar esse negócio. Valeu tchau!*”

O Encarregado relembra situação semelhante: “... dá outra vez foi uma mangueira.” O operador relembra da situação, mas imediatamente descarta a possibilidade: “... mangueira do condutivímetro ... mas tinha um condutivímetro lá...” Isto é, na situação presente o padrão não é exatamente igual – não existe a mangueira do condutivímetro por onde a água vazava naquela vez – ao padrão reconhecido pelo Encarregado e sua hipótese deixa de ter sentido. O Operador do Circuito Secundário continua recebendo telefonemas relacionados aos mais diversos problemas e procura priorizar a situação do MKF, acionando os operadores de área disponíveis. Os diálogos caracterizam a necessidade de uma busca de informação em 3 partes do sistema (memória, interface e área) para a construção da consciência da situação neste micro incidente.

Esta foi a terceira equipe de operação observada e percebemos o mesmo tipo de comportamento que vimos nas outras equipes: Supervisores, mais diretamente submetidos as pressões organizacionais, procuram evitar os desligamentos (e cumprir os cronogramas), enquanto os demais operadores procuram aprofundar a avaliação da situação.

O problema, uma válvula que havia sido deixada aberta após o término da manutenção, é finalmente resolvido pelo pessoal na área.

5.3.5 Micro incidentes durante treinamento em simulador

Nesta seção, completaremos nossa análise do trabalho dos operadores da usina nuclear, acompanhando o treinamento anual no Simulador da usina de 2 equipes de operação lidando com acidentes postulados. Acidentes postulados são os acidentes considerados durante o projeto da usina, para os quais, portanto, foram concebidos sistemas de segurança e procedimentos específicos, tipo *Emergency Operating Procedures* - EOP (ver Anexo 1). O objetivo dessa fase da análise foi a atividade durante a operação em emergências. As equipes eram diferentes daquelas observadas durante a parada e a partida da usina.

O treinamento no simulador: Durante 2 dias, cada equipe lida com 2 tipos de acidentes relacionados a perda da capacidade de refrigeração do núcleo: LOCA – *Loss of Cooling Accident* e o SGTR – *Steam Generator Tube Rupture*. Estes tipos de acidentes ocorrem no sistema primário, com o reator operando a 100% de potência, quando existem rupturas em tubulações (LOCA), ou quando esta ruptura ocorre nos tubos localizados dentro do Gerador de Vapor (SGTR). O objetivo dos operadores na operação em situação de emergência é atingir os critérios de resfriamento de emergência do núcleo, mesmo com a fuga do refrigerante, para evitar danos aos elementos combustíveis, seguindo instruções contidas em procedimentos específicos para lidar com emergências, os *Emergency Operating Procedures* – EOP. Ver o Capítulo 4 e o Anexo 1 para uma descrição dos procedimentos de emergência.

O treinamento compreende as seguintes fases: 1) *Briefing*; 2) Manobras no Simulador; 3) *Debriefing*.

Briefing: o Instrutor discute aspectos relacionados ao cenário do acidente com o qual a equipe irá lidar no Simulador. A equipe de operação neste treinamento é composta pelo Supervisor, Encarregado, Operador do Reator e Operador do Circuito Secundário (o Operador Auxiliar ou de Painel não participa deste treinamento). No treinamento observado, havia ainda a participação do consultor da firma fornecedora.

Simulador: a equipe de operação se posiciona de forma semelhante àquela da operação normal, com os operadores do Reator e Circuito Secundário em seus postos de trabalho, próximos ao console CWA, o Encarregado no púlpito, dirigindo os trabalhos por meio de procedimentos e o Supervisor discutindo aspectos da operação e fazendo, às vezes, o trabalho do Operador Auxiliar, verificando o valor de variáveis e acionando comandos nos painéis auxiliares. O Instrutor observa os operadores de uma sala anexa à Sala de Controle do Simulador, através de divisórias de vidro que permitem a visualização apenas na direção Sala do Instrutor/Sala de Controle. O treinamento se inicia com a usina em operação normal a 100% de potência. Após alguns minutos o Instrutor seleciona e executa o programa relativo ao acidente, o qual, em linhas gerais, foi discutido no *briefing*. O Instrutor interrompe o treinamento sempre que julga necessário, para discutir aspectos relacionados ao desempenho da equipe.

Debriefing: o desempenho da equipe ao longo da evolução do cenário do acidente simulado é discutida.

Neste tipo de treinamento, o principal objetivo é fazer com que os operadores tomem conhecimento da forma como um determinado acidente evolui, quais parâmetros e variáveis devem ter suas tendências monitoradas e quais ações devem ser tomadas pelos operadores para corrigir essas tendências, utilizando o EOP correspondente. Assim sendo, a fase de identificação e diagnóstico do acidente é quase imediata (afinal o acidente simulado é discutido previamente), de modo que as tomadas de decisão para identificação do evento não podem ser avaliadas. Outros tipos de cenários e formas de treinamento seriam necessários para que pudéssemos observar o desempenho das equipes de operação durante a fase de identificação/diagnóstico de acidentes.

A análise deste treinamento mostrou claramente a importância dos EOPs para as tomadas de decisão dos operadores. Durante todo o desenrolar do cenário do acidente, os operadores procuraram selecionar ações conforme os passos dos

fluxogramas e instruções detalhadas contidas no procedimento (ver anexo 1). Entretanto, pudemos constatar alguns problemas no uso destes procedimentos, fato que está diretamente ligado às dificuldades intrínsecas de procedimentos para sistemas complexos: 1) por mais detalhados que sejam, os procedimentos não contemplam todas as situações; 2) o excesso de detalhes pode levar a um número elevado de ações que os operadores não julgam tão importantes; ou 3) podem, simplesmente, conter informações incorretas.

Por exemplo, o EOP utilizado para o LOCA não indica aos operadores como injetar água para repor o inventário. O Instrutor sugere usar o procedimento de parada, que possui instruções neste sentido. Entretanto, como alerta o Encarregado: “...*não contempla, ia ser uma confusão.*” A confusão causada pelo uso de 2 procedimentos em conjunto aumenta o risco de perda de controle cognitivo, o que é inaceitável durante uma emergência. O próprio Instrutor reconhece outros problemas no procedimento: “*Não está claro porque retirar a BRR.*”

Outro problema identificado está relacionado à dificuldade para monitoração da concentração de boro com o primário isolado. Este valor deve permanecer igual 2200 ppm em 200 graus, conforme especificação técnica da usina. Normalmente esta monitoração é feita na área, isto é, técnicos da química retiram amostra da água do primário e analisam a concentração de boro no laboratório. Com o primário isolado devido ao acidente (LOCA) esta monitoração não pode ser feita e o procedimento não fornece alternativas de monitoração. Em resumo, no procedimento LOCA *Outside Containment* faltariam alguns passos e existem passos cujo objetivo não é claro.

Em outra parte do *debriefing* desta mesma equipe, os operadores discutem com o Instrutor o modo como os procedimentos devem ser usados, a partir de uma pergunta do Operador do Reator ao Instrutor a respeito da necessidade de seguir todos os passos de um procedimento. No anexo 1 podemos observar que os procedimentos são divididos em fluxogramas, que fornecem uma visão geral da situação, e seu detalhamento mediante *checklists*. O diálogo abaixo apresenta esta discussão.

Operador: “...*se é obrigado, ou não a seguir todos os passos?!*”

Instrutor escreve no quadro: *Supervisor/Encarregado – Geral.*

Encarregado/operadores – Detalhado.

Operador: “*É preciso ver o detalhado?* (parte final do procedimento: os check lists que detalham as ações manuais) *Ver o resultado do*

processo? Ou ver todas as válvulas, uma por uma etc.? Operação padrão cria outro tipo de problemas: o operador naturalmente procura short-cuts e cai em problemas legais de não seguir procedimento!”

Instrutor: *“Não é preciso seguir estritamente a ordem, podem ser feitas ações simultâneas. Não pode haver dúvida é com relação a estrutura do Manual (EOP), se não cada um interpreta de um jeito.”*

Operador: *“Na hora do problema: (pausa) Porque não seguimos o que está escrito? A coisa pega pro nosso lado!”*

A seguir aprofundamos as questões sobre os problemas e o uso dos procedimentos, a partir de micro incidente ocorrido durante as manobras no simulador da outra equipe de operação.

Micro incidente abaixamento da pressão: Este micro incidente ocorre durante a evolução de um evento do tipo SGTR. Este acidente se caracteriza pela ruptura de 1 ou mais tubos do Gerador de Vapor - GV, fazendo com que a água do circuito primário passe para o circuito secundário.

As primeiras ações manuais do procedimento consistem na checagem das condições da planta, na identificação e isolamento do GV danificado (existem 4 GVs na usina), para iniciar o processo de redução da pressão e temperatura do primário (usando os outros GVs disponíveis). Durante esta redução, especial atenção precisa ser tomada para evitar a condição de saturação no primário que, se atingida, poderia provocar bolhas e danificar os elementos combustíveis.

O micro incidente é caracterizado pela intervenção do Instrutor no treinamento – o Instrutor se dirige para a Sala de Controle e interrompe as manobras dos operadores. A intervenção do Instrutor foi motivada pelo fato de que a equipe de operação continuava a reduzir a pressão, que estava em 81,6 bar, para 80 bar, conforme indicado no procedimento. Segundo o Instrutor, dadas as condições de pressão e temperatura do circuito primário, qualquer redução adicional de pressão poderia levar à saturação do primário.

O teor da discussão, então, se volta para o uso de procedimentos. Segundo o Instrutor, apesar do procedimento pedir explicitamente que a pressão seja reduzida para 80 bar, os operadores devem prestar atenção em outros parâmetros, no caso extraídos da

curva de saturação (no sistema computadorizado - SICA), para avaliar se é, ou não, possível cumprir o requisito estabelecido no procedimento.

Considerando o *stress* natural de uma condição de acidente, as dezenas de tarefas e requisitos existentes nos EOPs e o aspecto punitivo que o não cumprimento de procedimentos acarreta, esta espécie de distanciamento crítico operador/procedimento, proposta pelo Instrutor, é bastante complicado de ser conseguido na prática, em situações reais de trabalho.

O Instrutor introduz outro aspecto interessante na discussão: o problema da modelagem matemática do simulador. A fidelidade do modelo num simulador *full scope*, em relação aos procedimentos respectivos não poderia ser objeto de questionamento, uma vez que o simulador é a única ferramenta disponível para treinamento em situações de emergência (acidentes). Entretanto, este Simulador foi adquirido há bastante tempo, possui tecnologia da década de 80, o que explicaria algumas falhas da modelagem. Uma falha no modelo matemático poderia ser o motivo do requisito estabelecido no procedimento não estar de acordo com a situação observada. Entretanto, não há como verificar de forma simples esta situação (quem, de fato, estaria incorreto se o procedimento ou o modelo).

Além disso, a relação entre os valores de parâmetros nos procedimentos e os parâmetros medidos pela instrumentação da usina durante sua operação normal também apresentaram variações intrínsecas à precisão da resposta de sensores e condicionadores de sinais. Durante a parada, já havíamos observado parâmetros estabelecidos em procedimentos que não eram atingidos pela planta (ou por problemas de calibração de instrumentação, ou pela própria condição do sistema, ou enfim em função de erro no procedimento), como a pressão durante a curva de parada, conforme o micro incidente Bloqueio do JN após desligamento das BRRs.

O protocolo a seguir encerra este micro incidente. Nele os operadores mostram preocupações com sanções em função do não cumprimento de procedimentos à risca.

Encarregado (olhando para o procedimento, comenta com Supervisor): *“Não dá para baixar para 80 bar, se a gente tiver na saturação. A gente vai ter que parar, senão vai saturar o primário. Primeiro tem baixar a temperatura, para depois baixar a pressão.”*

Esta última observação do Encarregado não consta do procedimento.

Supervisor (protesta): “Manual (procedimento) manda você fazer uma coisa, mas você deve fazer outra!? Do jeito que está, se o Manual manda abrir, nós temos que abrir! Senão estamos ferrados! Principalmente eu, se não estiver documentado!”

Instrutor: “A operação tem que mudar os Manuais. Senão vocês vão ficar eternamente com Manuais errados!”

Operador Circuito Secundário: “Estamos sempre lá dentro! Fazer isso quando?”

Instrutor: “Mas olha só, independente do que diz o manual, ou do jeito de ser das pessoas, que é muito difícil de entender, isso (apontando para a curva de saturação) é que é importante de você entender: independente do que o manual diz, o que eu quero é que você entenda a situação! Senão eu não precisava estar aqui!”

Estas discussões, bem como os diversos outros problemas semelhantes durante a parada e partida confirmam a problemática que apresentamos no capítulo 1 relacionadas a elaboração, utilização e correção de procedimentos em sistemas complexos, as quais adicionamos as seguintes questões a partir dos aportes deste estudo de caso:

- Até que ponto é conveniente detalhar procedimentos, por exemplo, fixando valores de parâmetros a serem atingidos, sem que esse excessivo detalhamento venha a trazer mais problemas do que auxílio para os operadores?
- Qual a melhor forma de usar procedimentos: como mapas ou como roteiros? Obrigando operadores a segui-los a risca, como preconiza o sistema normativo de trabalho da organização, ou dando graus de liberdade na forma de utilização, como sugere o Instrutor?
- Quem deve modificar os procedimentos e de que forma. No caso acima, quem pode garantir, efetivamente, que um procedimento elaborado pela firma fornecedora da usina está errado e pedir sua modificação?

5.4 Resumo do capítulo

Durante este capítulo apresentamos uma análise resumida do contexto do setor núcleo-elétrico do país e sua influência na organização do trabalho dos operadores, uma análise das restrições do ambiente de trabalho, incluindo a sala de controle e os sistemas que a compõem, finalizando com uma análise da atividade de operadores de sala de controle de uma usina nuclear, em diversas situações operacionais, com equipes de operação diferentes, que nos permitiram obter material para que pudéssemos descrever os processos de tomadas de decisão de operadores de Sala de Controle de usinas nucleares, o que é feito no próximo capítulo.

CAPÍTULO 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, a partir dos resultados do estudo de caso (capítulo 5) e dos aportes da TDN (capítulo 3) modelamos as tomadas de decisão de operadores, apropriando os modelos RPD de KLEIN (1989) e SRK de RASMUSSEN. Propomos uma taxonomia para as tomadas de decisão dos operadores de usinas nucleares, e procuramos identificar algumas áreas de problemas que dificultam essas tomadas de decisão.

6.1 Decisões preparadas por reconhecimento (RPD)

Como o modelo RPD foi utilizado em diversos contextos de trabalho (ver capítulo 3), nos pareceu apropriado investigar se a tomada de decisão dos operadores de usinas nucleares também pode ser modelada a partir do modelo de KLEIN (1989). Para facilitar a leitura, apresentaremos a seguir um pequeno resumo do RPD (para maiores detalhes ver capítulo 3).

O modelo de RPD difere das abordagens da psicologia e das ciências organizacionais tradicionais para estudar e descrever tomadas de decisão. O modelo considera que, em lugar de fazer uma avaliação simultânea das vantagens e desvantagens relativas de vários cursos de ação possíveis, os operadores encarregados das tomadas de decisão em situações naturais ou situadas (contexto real de trabalho) selecionam um único curso de ação, que é gerado a partir do reconhecimento da situação presente como semelhante a uma experiência prévia, e avaliam a adequação do curso de ação escolhido para este particular conjunto de circunstâncias.

O modelo RPD pressupõe a geração consecutiva (em série) de cursos de ação e suas sucessivas avaliações, uma conclusão que se manifestou a partir da observação de que uma solução potencial recuperada da memória, com base no reconhecimento de padrões de situações similares já vividas, não é comparada com outras alternativas na tentativa de otimizar, ou simplesmente escolher a mais apropriada. Cada solução escolhida é avaliada conforme sua suficiência – satisfação em vez de otimização – para lidar com o problema presente. É óbvio que este processo é dependente da experiência do tomador de decisão.

Nesta seção, nosso objetivo é verificar se os operadores de Sala de Controle de usinas nucleares tomam decisões da mesma maneira que operadores de outros domínios,

onde são enfrentadas situações típicas de TDN, ou se no setor nuclear onde o uso de normas é preconizado pelo sistema de trabalho, as decisões tendem para um viés mais normativo. Mais especificamente, pretendemos demonstrar nesta seção se o estilo de tomada de decisão dos operadores é baseado na geração consecutiva e avaliação de um único curso de ação, como no modelo de RPD, ou se eles usam um estilo de tomada de decisão normativa, onde várias opções são geradas em paralelo e avaliadas concorrentemente.

Metodologia: Foi baseada nas transcrições dos diálogos e das anotações dos ergonomistas dos diversos micro incidentes descritos no capítulo 5, na parada e partida da usina e no simulador e na elaboração de um esquema de codificação dos protocolos verbais.

Exercício de Codificação: O propósito principal do exercício de codificação foi identificar pontos de decisão no protocolo verbal e classifica-los de acordo com o modelo RPD, isto é, se eles mostram evidência de geração consecutiva (em série) e avaliação do curso de ação escolhido, ou se geram múltiplas opções em paralelo e as avaliam de forma a escolher a melhor, antes de iniciar a ação. O esquema de codificação foi baseado em critérios apropriados do modelo RPD. O quadro 6.1 ilustra o esquema de codificação inicialmente utilizado.

6.1.1 Resultados e Discussão

Os resultados do estudo sugerem que a maioria das decisões tomadas pelos operadores foi baseada na geração e avaliação de só um curso de ação. O quadro 6.2 apresenta um exemplo onde o esquema de codificação do quadro 6.1 foi usado nos protocolos verbais do micro incidente Caldeira.

O esquema de codificação do quadro 6.1 mostrou-se muito complexo para ser usado nos protocolos verbais dos micro incidentes, principalmente em função de não podermos realizar longas seções de discussão com os operadores para discutir as subcategorias mais complexas, como simulação mental, por exemplo. Decidimos, então, partir para uma codificação simplificada, enfatizando os pontos de decisão e como a decisão foi tomada, isto é, se houve ou não geração e comparação de opções, uma vez que este é o ponto focal da teoria que serve de base ao modelo RPD.

Quadro 6.1 Esquema de codificação para classificar tomadas de decisão baseado no modelo RPD.

Avaliação da situação - AS	Pistas - AS/P	<i>Checklists</i> - AS/CS	<i>Checklists</i> disponíveis
		Busca de Informações AS/BI	Busca ativa de informação: a informação <u>não</u> é obtida prontamente, sem participação ativa do operador.
	Metas - AS/M		Resultados desejados, metas parciais e globais.
	Expectativas AS/E		Relacionadas diretamente ao micro incidente. Hipóteses geradoras sobre como o incidente poderia se desenvolver. Baseado em raciocínio dedutivo.
		Imagem mental AS/E(IM)	Visualização.
Ação - AS/A		Curso da ação gerado baseado em reconhecimento de problema, incluindo procedimentos.	
Avaliação da ação – AA			Repassa plano de ação mentalmente. Se refere a um plano de resposta particular.
		Simulação mental AA/SM	Simulação mental do plano de ação.
		Modificação - AA/M	Reavaliação e modificação do plano de ação.
Construção de estórias – CE			Uso das pistas que não se ajustam diretamente no modelo presente de incidente. Construção de história a partir do conhecimento de uma situação semelhante e expectativas sobre a situação.
Geração de opções – GO			Geração de múltiplas opções para lidar com o incidente.
Ponto de Decisão – PD			Operador toma uma decisão consciente de agir.

Quadro 6.2 Exemplo de codificação da tomada de decisão dos operadores.

O protocolo verbal abaixo é entre o Operador do Circuito Secundário e o Encarregado, que entravam no turno, e o Operador de Painel que vinha do turno anterior e ia continuar de serviço durante o turno atual. A conversa é a respeito do estado da Caldeira 1 e das providências a serem tomadas (ver capítulo 5).

Operador de painel: “A Caldeira 1, foi encerrada a.”

Avaliação da situação/Busca de informações – AS/BI

Operador que entra: “Tá.”

Encarregado que entra: “Então, teoricamente, está disponível.”

Avaliação da situação/Metas – AS/M

Operador que entra: “Mas está quente, ela?”

Avaliação da situação/Simulação mental – AS/SM

Operador de painel: “Tá. Eu vou aquecer.”

Avaliação da ação - AA

Operador que entra: “Porque de repente vai precisar hoje, hoje na madrugada.”

Operador de painel: “Vou partir a 2.”

Ponto de decisão – PD, sem geração de opções.

O micro incidente Caldeira é um claro exemplo de tomada de decisão naturalista conforme o modelo RPD. Uma única opção de ação é gerada: partir a Caldeira 2, que é considerada uma solução satisfatória. Como vimos na descrição do Micro incidente Caldeira (capítulo 5), no momento necessário a Caldeira 2 não partiu e o curso da ação precisou ser reavaliado. No trecho a seguir o Supervisor pede que o Operador de Painel vá ao campo para verificar o estado da Caldeira 1.

Supervisor: “Vê o estado dessa p... dessa caldeira, o que é que tá realmente acontecendo lá.”

Avaliação da situação/Busca de informações – AS/BI: uma reavaliação da situação é necessária para estabelecer um novo curso de ação.

O trecho a seguir ocorre quando o Operador de Painel retorna do campo.

Operador de Painel: “Tem um andaime lá que ele botou escorando lá na tubulação lá, mas,” (Supervisor interrompe).

Supervisor: “Porque é que aquilo impede pra rodar a caldeira?”

Operador de Painel: “Não, nada, nada.”

Supervisor: “Então manda partir a caldeira!”

Ponto de decisão sem geração de opções: se a Caldeira 1 também não partisse um novo curso de ação seria gerado e avaliado. Este conjunto de decisões e avaliação de opções em série é a característica básica das decisões naturalistas segundo o modelo RPD.

Assim sendo, neste micro incidente Caldeira, foram geradas 2 decisões de cunho naturalista, partir a Caldeira 2 pelo Operador de Painel e, posteriormente em razão da não obtenção do sucesso na primeira decisão, partir a Caldeira 1, mesmo com a presença de um andaime junto a esta caldeira (ver capítulo 5).

Os quadros 6.3, 6.4 e 6.5 a seguir, apresentam os resultados para cada um dos micro incidentes analisados durante a parada, partida e treinamento no simulador, respectivamente. O quadro 6.6 quantifica e resume os resultados obtidos.

Quadro 6.3 Classificação dos estilos de decisão durante a parada da usina.

Micro incidente Caldeira			
Operador	Pontos de decisão	RPD	Múlt. Op.
Op. Painel	Partir Caldeira 2: Caldeira 1 com andaime	X	
Supervisor	Partir Caldeira 1: Caldeira 2 com problemas.	X	
Micro incidente liberação testes do Sistema de Limitação			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Supervisor	Liberar ou não testes da Limitação (23:45)	X	
Micro incidente liberação testes de transdutores de pressão			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Supervisor	Liberar ou não testes dos transdutores (24:10)	X	
Micro incidente problemas causados pelos testes			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Supervisor	Interromper os testes (01:42). Reavaliação do curso da ação.	X	
Micro incidente liberação/suspensão de testes			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Supervisor	Liberar testes com reator em RHR (04:34)	X	
Supervisor	Suspender testes (05:53). Reavaliação do curso da ação.	X	
OBS.	Evidência de decisões em série, reavaliação do curso da ação em função de resultados satisfatórios ou não, características do estilo RPD.		
Micro incidente intervenção no armário da automação			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Circuito Sec.	Bloquear alarme no armário da automação.	X	
Supervisor	Autoriza bloqueio pedido pelo operador.	X	
Micro incidente bloqueio do JN após desligamento da BRR			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Reunião. Operadores de 2 turnos.	Definir estratégia para a partida do circuito JN-30 do RHR, bloqueado após desligamento da BRR. 2 alternativas discutidas.		X

Quadro 6.4 Classificação dos estilos de decisão durante a partida da usina.

Micro incidente compatibilidade entre procedimentos			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Toda equipe	Não desconectar eletricamente a bomba durante a realização do teste.		X
Micro incidente operação chave			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Toda equipe	Manter chave pressionada no console CWA durante todo o período de realização do teste.	X	
Micro incidente oscilação no set point do Sistema de Limitação			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Op. Reator e Supervisor	Subir 5% a potência para “ <i>ver se parava a oscilação.</i> ”	X	
Micro incidente nível do tanque MKF			
Operador	Ponto de decisão	RPD	Múlt. Op.
Supervisor	Procura encher o tanque de água, imediatamente após constatado o vazamento.	X	
Op. Circuito Secundário	Procura avaliar a situação.		X

Quadro 6.5 Classificação dos estilos de decisão durante treinamento em simulador.

Operador	Ponto de decisão	Estilo RPD	Opções múltiplas
Encarregado e Supervisor	Baixar a pressão do primário para 80 bar.	X	
OBS.	Instrutor intervém no treinamento. Operadores corriam o risco de levar o primário à saturação baixando a pressão até 80 bar, por não considerarem outros cursos de ação (outras opções) diferentes daquele proposto pelo EOP		

Quadro 6.6 Sumário dos resultados obtidos.

	Pontos de Decisão	Estilo RPD	Opções múltiplas
Parada	10	90%	10%
Partida	4	75%	25%
Simulador	1	100%	0%
Total	15	86,7%	13,3%

Antes de concluir que maioria das decisões dos operadores de sala de controle usa uma estratégia baseada no reconhecimento de padrões (RPD), é necessário olhar mais de perto para o modo pelo qual estes resultados foram gerados neste estudo. O critério principal para a classificação de uma decisão do tipo RPD foi a geração de um único curso de ação e sua (re)avaliação usando critérios de satisfação, na maior parte das vezes, próprios do tomador da decisão (Supervisor tinha interesse em cumprir cronograma, por isso decidiu pela realização dos testes). Entretanto, no âmbito do conjunto de decisões usado nesta classificação, pode haver casos de decisões que pareçam ser do tipo RPD, mas que na realidade, se apoiem em outros mecanismos cognitivos. Esta questão foi colocada por ORASANU e FISCHER (1997) analisando tomadas de decisão de pilotos de aeronaves comerciais. Eles identificaram uma classe de decisões, que eles sugeriram ser baseadas em regras de condição-ação: *“Estas decisões dependem de regras do tipo SE ... ENTÃO. Demandas cognitivas requerem reconhecimento da condição e recuperação da resposta associada. Estas decisões são muito semelhantes as do modelo RPDs de KLEIN, mas são prescritivas no domínio. Quer dizer, elas não dependem principalmente da experiência passada do piloto com casos semelhantes, mas em respostas prescritas pela indústria, companhia ou FAA.”* (ORASANU & FISCHER, 1997). (O grifo é nosso).

Este parece ser o caso das decisões baseadas em procedimentos e *checklists*, como o EOP do acidente SGTR, mencionado no PD do treinamento do simulador: SE determinadas condições da planta são atingidas, ENTÃO a pressão do primário deve ser baixada para 80 bar. Mesmo em eventos não rotineiros, como muitos dos micro incidentes observados é possível descrever as decisões a partir de regras condição-ação, como veremos no decorrer deste capítulo.

Não é simples de distinguir se a aplicação de um procedimento poderia representar uma tomada de decisão preparada por reconhecimento. Por um lado, pode-se sugerir que, como na base do RPD está o processo de avaliação de situação, a aplicação do procedimento apropriado após um processo de reconhecimento da situação como familiar, pode ser considerado uma instância de uma tomada de decisão preparada por reconhecimento. Por outro lado, KLEIN (1993) afirma que uma tomada de decisão RPD é mais do que simplesmente reconhecimento de padrões: *“... nós afirmamos que a decisão é preparada em função da situação reconhecida, e não que ela seja completamente determinada por este reconhecimento.”*

O ponto central ao processo de RPD é uma avaliação da (única) opção gerada e uma compreensão dos modos pelos quais o curso escolhido de ação beneficiará o tomador de decisão. Então, podemos arguir que a escolha de um dado procedimento, pode advir de uma decisão preparada por reconhecimento, desde que esta decisão não seja uma escolha feita às cegas baseada unicamente no reconhecimento do tipo da situação (ao nível quase motor ou de habilidades). Para descobrir quais das decisões identificadas neste estudo foram baseadas em regras condição-ação seguidas às cegas para escolha de procedimentos, precisaríamos distinguir quais dos cursos de ação escolhidos estavam baseados em procedimentos. Entretanto, nos micro incidentes observados na operação da usina, o curso de ação escolhido não passava pelo uso de um procedimento determinado.

Por outro lado, a aplicação a risca de procedimentos também pode induzir os operadores a seguirem suas regras às cegas, o que também foge ao estilo RPD de decisão, que preconiza a interação do tomador de decisão com os padrões da situação. A decisão tomada durante o treinamento no simulador, onde os operadores seguindo um procedimento tentavam atingir 80 bar no circuito primário pode ser enquadrada nesta categoria. Assim sendo, sua classificação como decisão tipo RPD pode ser discutida. Entretanto, quando comparamos esta decisão a uma decisão normativa, que pressupõe a otimização de diversas opções, como no quadro 6.5, sua inclusão na categoria RPD nos pareceu a mais adequada.

6.1.2 Conclusões sobre a modelagem RPD

Não obstante as dificuldades encontradas relacionadas, principalmente a falta de disponibilidade de tempo dos operadores para seções de avaliação de resultados, este estudo baseado no modelo RPD, fornece algumas importantes indicações a respeito das estratégias de tomadas de decisão de operadores. Tomar decisões em salas de controle de usinas nucleares não parece ser uma questão de geração concorrente e avaliação de diversas opções diferentes antes que o ótimo curso para ação seja selecionado. Segundo os resultados obtidos, esta tomada de decisão é uma questão de encontrar uma solução satisfatória, rapidamente, que responda a uma série de problemas multifacetados, aplica-la e monitorar constantemente o resultado. Se a solução não funciona adequadamente, outra solução é buscada e é aplicada. Os resultados apoiam o modelo RPD, mas com alguns problemas de definição a respeito dos

reais mecanismos cognitivos utilizados. Mais dados e pesquisas são necessárias para distinguir precisamente entre a aplicação de regras e decisões preparadas por reconhecimento.

O problema fundamental é até que ponto o modelo RPD provê uma descrição adequada das tomadas de decisão de operadores de usinas nucleares. Por exemplo, de uma perspectiva psicológica, o RPD não diferencia explicitamente entre níveis mais altos e mais baixos dos processos cognitivos como definidos por RASMUSSEN (1983). KLEIN (1993) descreve o modelo RPD simples como orientado por esquemas, mas não elabora se simulação mental e construção de histórias são baseados em esquemas, ou se constituem processos cognitivos totalmente diferentes, envolvendo faculdades diferentes. O modelo RPD também não contempla uma explicação adequada para tomadas de decisão analíticas, para as decisões tomadas às cegas, ou mesmo para aquelas baseadas em conhecimento. Esta falta geral de integração entre princípios psicológicos é a principal dificuldade do modelo. Impede aos investigadores a capacidade de prever, testar e avaliar, uma vez que o modelo RPD não comporta uma geração adicional de teorias. Porém, observamos que o modelo RPD é útil para pesquisas aplicadas onde a ênfase está em resultados e não no desenvolvimento teórico. O modelo permite descrições das tomadas de decisão em ambientes dinâmicos, mas deixa muitas questões à própria interpretação do investigador.

Considerando as limitações do modelo RPD, nos pareceu sensato reconhecer sua importância e a força de seus resultados, mas também procurar meios alternativos para descrever as tomadas de decisão dos operadores de usinas nucleares. Na próxima seção nos apropriamos do modelo *SRK* de RASMUSSEN, para modelar as tomadas de decisão, conforme a idéia de triangulação de métodos de investigação.

6.2 Tomadas de decisão e a taxonomia *SRK*

O objetivo desta seção é modelar os processos de tomadas de decisão de operadores de usinas nucleares em outra dimensão, relacionando-os a taxonomia *SRK* de RASMUSSEN. Embora não tenhamos descrito em profundidade os processos cognitivos envolvidos nas tomadas de decisão, foi colhida informação suficiente para indicar que a maioria das decisões se baseou em processos de reconhecimento, ou foram tomadas a partir de regras simples, analogamente aos resultados de outros estudos em Tomadas de Decisão Naturalista em diversos campos de aplicação (ver capítulo 3).

Metodologia: a metodologia envolveu diversas fases nas quais a análise dos dados foi refinada de modo crescente. O processo compreendeu as seguintes fases:

1. Para cada micro incidente foram elaborados quadros de requisitos de decisão, cujos dados foram obtidos a partir dos protocolos verbais, das entrevistas gravadas durante a ação e das notas dos ergonomistas. As declarações foram segmentadas em decisões, suas respectivas pistas e implicações, além das opções disponíveis.
2. As decisões foram categorizadas em termos de (a) aplicação de conhecimento existente e planos de ação (baseada em regras), ou (b) resolução analítica de problema que inclui raciocínio indutivo e dedutivo (baseada em conhecimento). A diferenciação entre (a) e (b) reflete a diferença entre decisão baseada em regras e baseada em conhecimento, conforme o enquadramento SRK de RASMUSSEN (1983).
3. Foram elaboradas árvores de decisão baseadas nas decisões tomadas nos diversos micro incidentes.
4. Com base na análise dos itens anteriores os resultados foram comparados com a taxonomia SRK de RASMUSSEN e suas implicações examinadas.

6.2.2 Resultados e discussão

Os protocolos produziram um conjunto de dados de grande relevância para as tomadas de decisão tanto em relação ao processo, quanto para os mecanismos psicológicos que estão por trás do desempenho cognitivo. Serão descritas as fases esboçadas em 6.2.1 em detalhes, iniciando pelas decisões tomadas pelos operadores a partir dos quadros de requisitos de decisão. A seguir apresentamos como as decisões foram categorizadas, as árvores de decisão e a relação do processo de decisão com a taxonomia SRK de RASMUSSEN.

O quadro 6.7 descreve os requisitos das decisões tomadas nos micro incidentes, as pistas seguidas e suas implicações para o resultado obtido, as opções disponíveis, se procedimentos escritos foram usados e o tipo da decisão, se baseada em regras (R) ou conhecimento (C).

Quadro 6.7 Caracterização de decisões conforme a taxonomia SRK.

O quadro abaixo, a respeito do micro incidente caldeira deve ser lido da seguinte forma: Durante a parada da usina é necessário que uma caldeira possa operar. O operador de painel decide partir a Caldeira 2 (decisão). O motivo da decisão foi um andaime próximo a Caldeira 1(pista), aquela que normalmente seria utilizada, indicando a possibilidade de que a manutenção que estava em andamento no turno anterior naquela caldeira, ainda não houvesse terminado. Partir a caldeira em processo de manutenção poderia danificar o equipamento, além de não ser fornecido o suprimento de vapor necessário ao sistema (implicações). Esta é uma decisão baseada numa regra simples implícita (tipo): SE a Caldeira 1 não pode partir ENTÃO parte-se a Caldeira 2 do sistema redundante, uma situação comum num sistema complexo com diversas redundâncias. Para tomar esta decisão não foram consultados procedimentos escritos, indicando que as regras usadas foram regras implícitas, evocadas a partir do modelo mental ou representação da situação e da experiência do tomador da decisão.

Micro incidente Caldeira								
Decisão	Operador	Pistas/Indicações	Implicações	Opções disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1.Partir Caldeira 2	Painel	Existe um andaime na Caldeira 1, a manutenção terminou e ela está liberada para partir?	Se NÃO, danos na Caldeira 1, não suprimento de vapor quando necessário.	Descobrir o estado da Caldeira 1.		X	X	
2. Partir Caldeira 1	Supervisor	É feita avaliação no campo do estado da Caldeira 1, ela está liberada para partir?	Danos a Caldeira se a avaliação feita no campo não estivesse correta.	Interromper resfriamento.		X	X	

Micro incidentes relacionados à liberação/suspensão de testes								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Liberar o teste da Limitação	Supervisor	O teste pode ser realizado na condição operacional? A liberação traria problemas para a operação?	Se NÃO, teste inválido. Se SIM, cronograma seguido. Retardar processo de resfriamento.	Não liberar o teste.	X		X	
2. Liberar o teste de transdutores	Supervisor	O teste pode ser realizado na condição operacional? A liberação traria problemas para a operação?	Se NÃO, teste inválido. Se SIM, cronograma seguido. Retardar processo de resfriamento.	Não liberar o teste.	X		X	
3. Suspende os testes (1ª suspensão)	Supervisor	Os testes trouxeram problemas para a operação. Supervisor sofre pressão de operadores.	Processo de resfriamento prejudicado. Operadores perdendo confiança nas indicações.	----		X	X	
4. Liberar os testes	Supervisor	A liberação traria problemas para a operação? (Nova condição operacional – RHR)	Problemas na operação, bloqueio de sistemas, alarmes espúrios.	Não liberar novamente os testes.		X	X	
5. Suspende os testes (2ª suspensão)	Supervisor	Os testes trouxeram problemas para a operação. Supervisor sofre pressão de operadores.	Processo de resfriamento prejudicado. Operadores perdendo confiança nas indicações.	----		X	X	
Micro incidente intervenção no armário da automação								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C

1. <i>Bypassar</i> bloqueio automático.	Supervisor	O bloqueio era espúrio? Os testes estavam gerando os sinais espúrios?	Se SIM, poderia ser <i>bypassado</i> . Se NÃO, danos a equipamentos ou sistemas.	Identificar as causas do bloqueio.		X	X	
Micro incidente bloqueio do JN após desligamento da BRR								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Acionar o <i>spray</i> do PZR	Equipe de operação reunida.	Os critérios de automação estavam impedindo o acionamento do RHR?	Se SIM, intervir sobre estes critérios para possibilitar a continuidade do resfriamento.	Abrir disjuntor. Acionar <i>spray</i> . Aguardar mais tempo.		X		X
Micro incidente compatibilidade entre procedimentos								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Não desconectar eletricamente a bomba	Equipe de operação.	É preciso desconectar eletricamente uma bomba durante a realização de teste, conforme pede o procedimento?	Caso fosse desconectada eletricamente, novo teste deveria ser realizado na bomba.	Seguir procedimento e repetir o teste.	X			X
Micro incidente operação chave								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Segurar a chave durante a realização de teste.	Equipe de operação	A chave possui retenção ?	Se NÃO, é necessário mantê-la na posição durante todo o teste.	Consultar especificação da chave.		X	X	
Micro incidente oscilação de parâmetro do Sistema de Limitação								

Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Aumentar potência em 5% para evitar oscilação.	Operador do Reator e Supervisor	Oscilações interrompem subida de potência. Oscilações bruscas de parâmetro são causadas por um fluxo baixo?	Se SIM, um aumento da potência termina com as oscilações.	Interromper a subida, enquanto aguarda diagnóstico preciso do problema.		X	X	
Micro incidente abaixamento do nível do tanque MKF								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1. Encher o tanque de água.	Supervisor	Nível do tanque diminuindo, há risco de <i>trip</i> .	Enchendo o tanque, risco imediato de <i>trip</i> diminui.	Aguardar a identificação do problema.		X	X	
2. Identificar para onde vai a água.	Operador do Circ. Secund.	Nível do tanque diminuindo, há risco de <i>trip</i> .	A água que sai do tanque pode danificar outros componentes.	-----		X	X	
3. Enviar operador de área ao local.	Operador do Circ. Secund.	Nível do tanque diminuindo, há risco de <i>trip</i> .	Se possível auxiliar na identificação e correção do problema.	-----		X	X	
Treinamento em simulador								
Decisão	Operador	Pistas/indicações	Implicações	Opções Disponíveis	Uso proc.		Tipo	
					S	N	R	C
1 Baixar ou não a pressão do primário para 80 bar.	Supervisor e Encarregado.	Procedimento pede para que condição seja atingida, mas nesse caso haveria risco de saturação do primário (segundo o Instrutor).	Seguir procedimento, evitando eventuais penalidades administrativas. Não seguir procedimento, mantendo a planta numa condição mais segura.	Seguir regras às cegas. Analisar situação para seguir ou não regras.	X		X	

A seguir apresentamos o detalhamento da modelagem das decisões explicitando as regras usadas em cada uma delas.

Micro incidente Caldeira: A primeira referência a Caldeira ocorre na passagem de turno entre Supervisores: “... dos equipamentos que estavam inoperáveis de manhã ... a Caldeira 1 está sendo testada agora ...” informa o Supervisor que se retira. Na passagem de turno entre Encarregados, com a participação do Operador do Circuito Secundário é feita nova menção ao estado da Caldeira 1 pelo Encarregado que se retira: “Caldeira 1 está substituindo a sonda ... Entregou, está em teste”. O operador do Circuito Secundário complementa: “Está em teste. O Operador (de área) vai acabar...” A primeira decisão foi tomada durante a passagem de turno entre o Operador do Circuito Secundário e o Operador de Painel. Este último recebe a incumbência de partir a Caldeira 1 e, não tendo uma garantia a respeito do estado desta caldeira, resolve partir a caldeira redundante: “Vou partir a 2.” Para tomar esta decisão o operador precisaria de pelo menos uma informação: o estado da Caldeira 1. Informação esta que não estava disponível neste momento e não era fácil de ser obtida, uma vez que o operador optou por partir um sistema redundante em vez de procurar obtê-la. As regras SE ... ENTÃO usadas como base para esta decisão podem ser escritas como:

SE a Caldeira 1 está encerrada

ENTÃO posso aquecê-la.

SE não disponho de informações conclusivas sobre o estado da Caldeira 1

ENTÃO vou partir a Caldeira 2.

Cabe ressaltar neste micro incidente o fato de que o Operador de Painel preferiu tentar partir a caldeira redundante (que não partiu), a obter informações sobre o real estado da Caldeira 1. SE não disponho de informações, ENTÃO vou obtê-las; seria a regra mais óbvia numa situação deste tipo. Como vimos na descrição deste micro incidente, a avaliação da situação foi prejudicada por ruídos e ambiguidades na informação, isto é, a presença de um andaime junto à Caldeira, dando a entender que a manutenção não fora encerrada.

Micro incidentes relacionados aos testes: Nas 2 primeiras liberações de testes (sistema de limitação e transdutores), o Supervisor recebe pedidos de instrumentistas

que desejam realizar seus testes logo após a usina ser desligada (queda de barras), obedecendo ao horário estipulado no cronograma de tarefas da parada. Entretanto, o procedimento de ambos os testes indica que os testes devem ser realizados com a usina no estado subcrítico frio, que só seria atingido cerca de 6 horas depois da queda de barras. Para tomar a decisão de autorizar, ou não a realização dos testes naquele momento, o Supervisor precisaria de pelo menos 2 informações: 1) se o teste seria válido na condição operacional da usina e 2) se a realização do teste influiria na operação (processo de resfriamento do reator em andamento). A primeira informação ele obteve dos responsáveis pelo teste, que consideraram que o teste seria válido; já com relação à segunda informação importante (influência de testes na operação) houve pouca discussão, os instrumentistas foram lacônicos no fornecimento de informações e o Supervisor confiou basicamente na sua avaliação da situação para tomar a decisão de liberar os testes. Esta avaliação da situação que gerou a decisão pode ser escrita na forma das seguintes regras:

SE o reator está desligado

*ENTÃO a perturbação na operação não **deve** ser grande.*

SE a perturbação na operação pode ser suportada

ENTÃO se pode realizar o teste.

O grifo é nosso, uma vez que não houve uma análise aprofundada ou discussão com a equipe de operação a respeito. Vemos então, que a decisão do Supervisor foi fortemente influenciada pelo cronograma de atividades (um procedimento administrativo), pela necessidade de executar o maior número possível de atividades em seu turno, conforme ordem recebida de seu superior (ver passagem de turno entre Supervisores e entrevista com o Supervisor no capítulo 5), em detrimento de um procedimento técnico, o procedimento de teste, o qual, embora estabelecendo como requisito a realização de testes com o reator subcrítico frio, não detalha os motivos deste requisito, dando margem a toda esta discussão.

A 1ª suspensão dos testes também obedeceu a uma regra simples, como resultado da reavaliação do curso das ações após a liberação dos testes.

SE os testes perturbam o resfriamento do reator

ENTÃO devo suspender os testes.

A pressão para cumprir o cronograma se evidencia novamente quando, mesmo após os problemas ocorridos quando da 1ª liberação de testes, o Supervisor os libera pela Segunda vez, avaliando que, com o RHR operando, a perturbação dos testes na operação não seria importante.

SE o RHR estiver operando

ENTÃO o resfriamento está garantido e os testes podem liberados.

Ocorre que a partida do RHR não foi tão simples assim, alguns circuitos partiram e outros permaneceram bloqueados. Neste momento os operadores, mais uma vez, pressionaram o Supervisor para suspender os testes que, reavaliando o curso da ação, repetiu a mesma regra usada durante a 1ª suspensão dos testes.

Com base em poucas pistas concretas, como reator desligado, necessidade de realizar os testes, o Supervisor avaliou a situação e se decidiu pela liberação dos testes por 2 vezes, acreditando que eles não trariam os prejuízos que trouxeram para a operação. Essencialmente, a decisão foi baseada em regras condição-ação, no casamento das características da situação com um modelo pré-armazenado do cenário (reator desligado/barras inseridas/operação pode suportar alguns alarmes espúrios).

Micro incidentes bloqueio do JN / compatibilidade de procedimentos: Estes foram os micro incidentes cuja decisão final pudemos caracterizar como baseada no conhecimento. No micro incidente bloqueio do JN consideramos a forma como a decisão foi tomada (a partir de uma reunião entre operadores de 2 turnos de operação) e a análise técnica da causa do problema que resultou em diversas opções, abrir disjuntor, acionar *spray*, ou simplesmente esperar por um resfriamento mais lento, com apenas 2 circuitos de remoção de calor residual. Durante a reunião diversos aspectos técnicos foram abordados para avaliar a situação, desde problemas relacionados a discrepâncias naturais entre canais redundantes da instrumentação, a existência de *setpoints* da Curva de Parada muito próximos das condições operacionais atingidas (a ultrapassagem de um destes *setpoints* foi o motivo do bloqueio), até às alternativas de solução disponíveis. Durante a reunião os operadores contaram com o auxílio de documentos de projeto dos sistemas de instrumentação e do consultor da empresa fornecedora da usina.

No micro incidente que chamamos compatibilidade de procedimentos diversos operadores realizam uma complicada análise da situação (ver protocolo verbal no capítulo 5), com o auxílio de manuais de operação e documentos de projeto, para identificar a real necessidade do requisito estabelecido pelo procedimento de teste de desconectar eletricamente uma bomba, que implicaria na realização de um novo teste e atrasaria o cronograma de tarefas.

Micro incidente operação chave: A decisão de ficar segurando uma chave durante toda a realização de um teste, surpreendeu os operadores que esperavam uma chave com retenção (que se mantém numa posição escolhida). Diversos operadores manipularam a chave esperando, não acreditando que referida chave não tivesse retenção, um padrão esperado para controles usados neste tipo de situação.

SE a chave não é de retenção (ou está com defeito)

ENTÃO é necessário segurá-la na durante toda a duração do teste.

É importante notar que os operadores não dispunham de ajuda de consulta imediata para indicar o modo de operação da chave.

Micro incidente oscilação de parâmetro do Sistema de Limitação: Neste micro incidente o Operador do Reator se depara com variações bruscas de um parâmetro no sistema de limitação e suspende a subida de potência. Técnico de manutenção é consultado por telefone e diz que com a potência baixa (12,5%), o fluxo baixo de água é baixo o que pode ser a causa da oscilação. Ele sugere subir um pouco a potência (5%) para ver se a oscilação pára. A regra pode ser escrita como:

SE a potência é baixa

ENTÃO o fluxo é baixo.

SE o fluxo é baixo

ENTÃO ocorrem oscilações.

SE aumentamos a potência

ENTÃO o fluxo aumenta e as oscilações param.

Esta decisão, como a maioria das outras, é claramente baseada em regras simples e fundamentada na identificação de características chaves da situação que foram casadas com respostas pré-planejadas armazenadas em memória, isto é, em regras de condição-ação. Os técnicos envolvidos com sistemas de instrumentação sabem que em determinados momentos, especialmente no início da faixa de operação, os sistemas são sujeitos a ruídos, que podem se transformar em oscilações que se propagam pelo sistema de instrumentação. É interessante notar que a medida preventiva do operador suspendendo a subida de potência no momento da oscilação manteve o parâmetro Sistema de Limitação numa condição instável. Só a subida de potência reverteu a situação. Entretanto, a decisão foi tomada sem que os operadores tivessem a certeza do resultado da operação, “ ... *ele falou pra subir em 5%, pra ver se sai do baixo fluxo de água de alimentação.*” Ou seja, a analogia com outros sistemas, advinda do conhecimento tácito do técnico, permitiu que um curso de ação fosse proposto, curso de ação este que precisou ser monitorado para validar a hipótese inicial. Caso a subida de 5% da potência não houvesse terminado com as oscilações, uma outra avaliação da situação deveria ser iniciada.

Micro incidente abaixamento do nível do tanque MKF: O esvaziamento deste tanque que poderia levar ao desligamento automático da usina proporcionou uma oportunidade para identificarmos as diferentes abordagens para tomadas de decisão entre o Supervisor e o Operador do Circuito Secundário. A tomada de decisão do Supervisor pode ser escrita como:

SE o nível do tanque está baixando e há risco de trip

ENTÃO é preciso encher o tanque e impedir o trip.

Vemos que esta decisão é fortemente balizada pela necessidade de cumprir o cronograma evitando o desligamento, em detrimento de uma avaliação mais completa da situação (porque e para onde vaza o tanque). Já o Operador do Circuito Secundário se preocupa mais com esta avaliação da situação.

Como vimos nos exemplos acima, é possível decompor avaliação de situação e tomada decisão em regras do tipo SE ... ENTÃO. Árvores de decisão podem ser criadas unindo estas regras. A próxima seção descreverá as árvores de decisão de algumas das decisões tomadas nos micro incidentes observados.

6.2.3 Árvores de decisão

As figuras a seguir apresentam as heurísticas envolvidas nos processos de tomada de decisão que caracterizam os micro incidentes respectivos. A figura 6.1 descreve o micro incidente caldeira onde a primeira decisão tomada é partir a Caldeira 2. Após a falha no ventilador da Caldeira 2, o Supervisor ordena a ida ao campo do Operador de Painel para fazer a avaliação da situação e, se possível, partir a Caldeira 1 rapidamente, sob pena do desligamento da usina ter de ser suspenso. O processo de raciocínio é baseado em regras SE ... ENTÃO, sendo que a necessidade de partir uma caldeira e o conhecimento (ou não) do estado da Caldeira 1 são os principais fatores que afetam a decisão. Nas figuras relacionadas a árvores de decisão, como a 6.1, os caminhos em preto apresentam o fluxo real das decisões, enquanto que em cinza são indicadas possíveis alternativas.

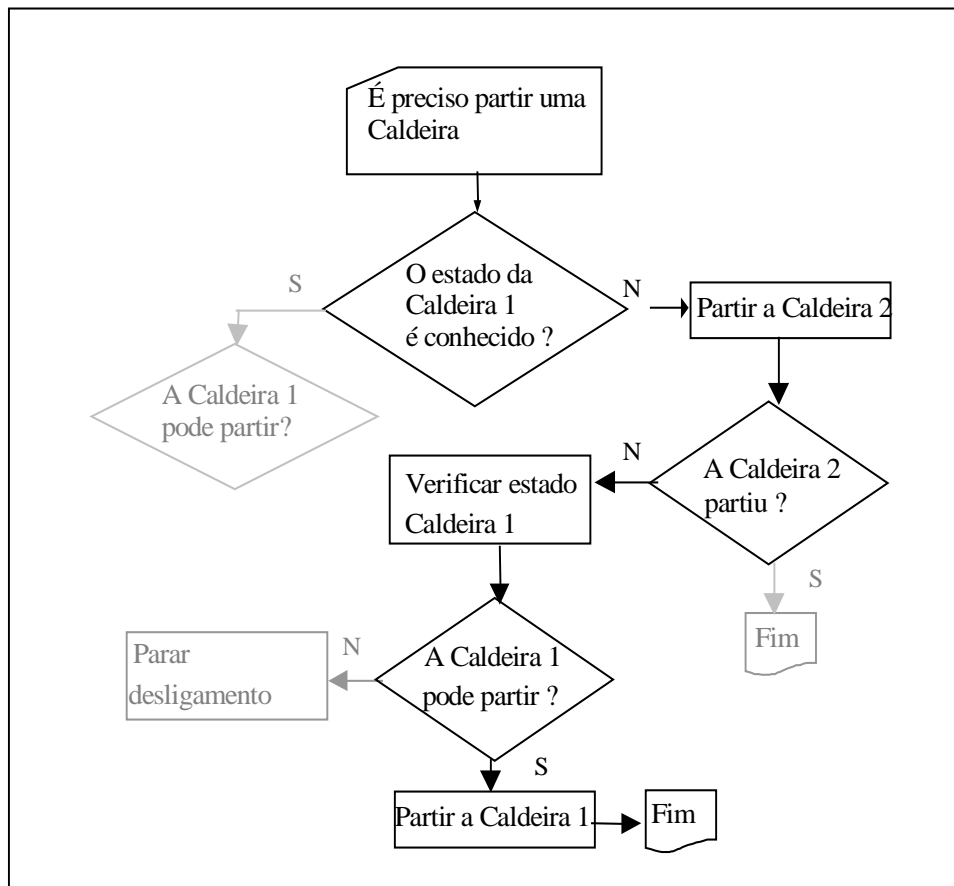


Figura 6.1 Árvore de decisões no micro incidente Caldeira.

Neste micro incidente cabe ressaltar o atalho cognitivo usado pelo operador: antes de saber o estado da Caldeira 1, que estava sendo preparada e testada para partir nesta parada, ele decidiu partir a Caldeira 2, em função da informação de que o andaime usado pela manutenção ainda estava presente na Caldeira 1. A situação sugere que a avaliação do estado de componentes pode ser um processo de elevado custo cognitivo para os operadores, uma vez que a avaliação da situação não pode se basear apenas nas informações escritas (oficiais) como as licenças de trabalho e documentos de passagens de turno, que indicavam o término dos serviços. Esta avaliação só pôde ser completada com a ida do Operador de Painel até a área onde se localizava a caldeira.

A figura 6.2 apresenta a árvore de decisão relacionadas as liberações/suspensões dos testes pelo Supervisor.

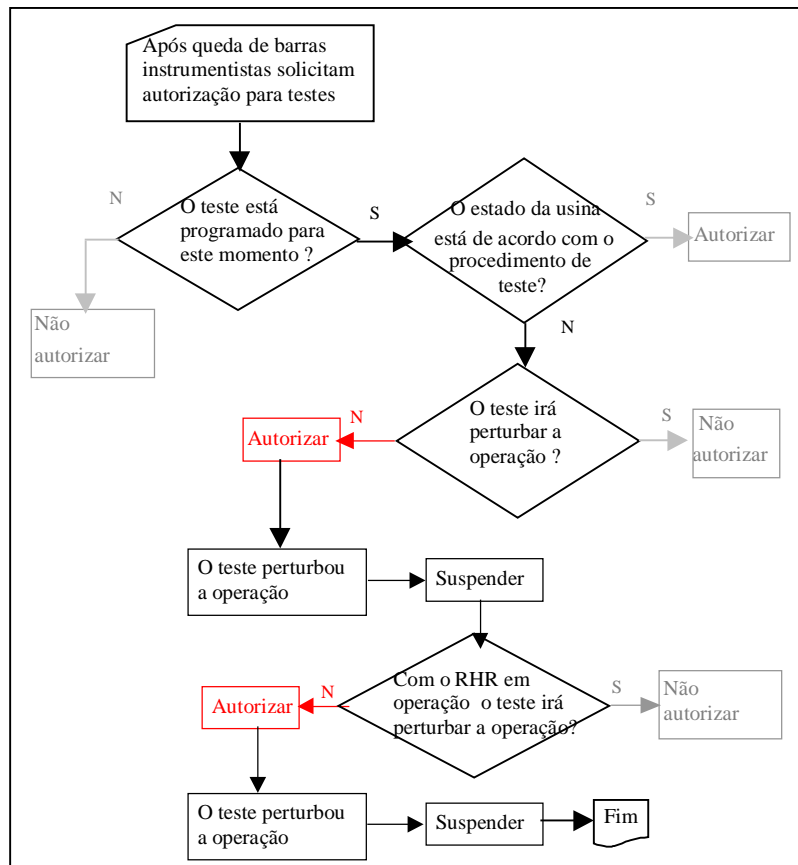


Figura 6.2 Árvore de decisões da liberação/suspensão de testes.

Na raiz de ambas as decisões de liberar testes está a avaliação da situação futura por parte do Supervisor: segundo ele, a realização dos testes não prejudicaria a

operação, apesar do procedimento do teste indicar que o modo de operação da usina para a sua realização deveria ser o subcrítico frio e não o modo corrente, que era subcrítico quente. Entretanto, esse mesmo procedimento de teste não explicava o porquê deste requisito (reator subcrítico frio), deixando margem para os que os operadores o considerassem irrelevante, seguindo o outro procedimento – o planejamento de tarefas – que programava o teste para este momento. Por meio desta árvore de decisões torna-se claro que o Supervisor, submetido a pressão para realizar as tarefas conforme o cronograma, sistematicamente cede a esta pressão, só recuando quando a situação se torna insustentável: *“Deu m... de novo! Pede a ele ... para suspender. Voltar as condições normais. Não tem jeito não!”*

Na figura 6.3, no micro incidente relacionado às oscilações do parâmetro do sistema de limitação, as regras SE ... ENTÃO são novamente usadas, desta vez para testar uma hipótese, levantada por um técnico de manutenção.

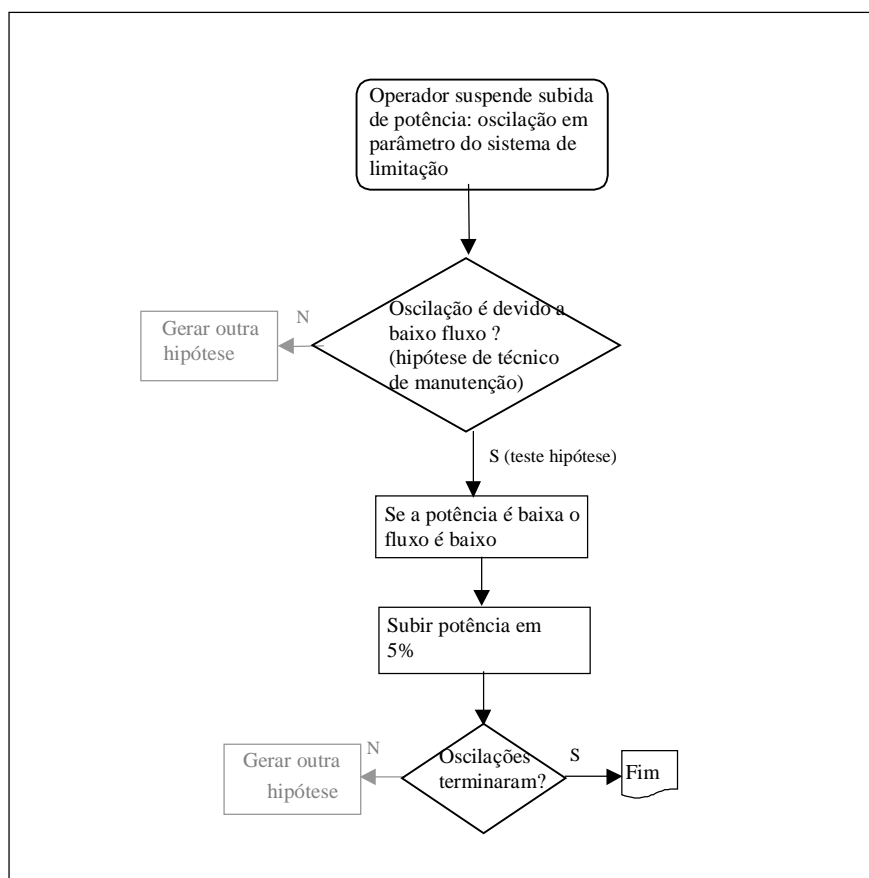


Figura 6.3 Árvore de decisões do micro incidente oscilação de parâmetro.

O uso do aumento de potência em 5% de um reator nuclear, para testar uma hipótese formulada por um técnico de manutenção e transmitida por telefone para o Operador do Circuito Secundário, poderia parecer surpreendente, neste ambiente ultra prescritivo do setor nuclear. Entretanto, ao nosso ver, esta e outras situações semelhantes observadas (o micro incidente operação chave, por exemplo), e os diversos resultados de estudos em TDN apresentados no capítulo 3 indicam que estratégias naturalistas simples para avaliação de situações e resolução de problemas, como teste de hipóteses (tentativa e erro) estão sempre presentes, onde quer que haja seres humanos envolvidos.

A figura 6.4 apresenta as decisões tomadas quando o nível do tanque MKF abaixava, gerando o risco de *trip* durante a partida usina. Por meio desta árvore de decisões é possível observar os 2 cursos de ação seguidos em paralelo, no tempo (durante o micro incidente) e no espaço (ambos procuravam informações nos consoles e painéis de controle), por 2 membros da equipe de operação. Enquanto o Supervisor procurava meios para encher o tanque e evitar o desligamento da usina, o Operador do Circuito Secundário tomava decisões relacionadas a identificação das causas – priorizando as atividades de Operadores de Área e enviando técnicos de manutenção para o local do vazamento – e das consequências do vazamento: “*Para onde vai esta água?*” Este tipo de dicotomia foi observada em diversos micro incidentes e com diversas equipes de operação (ver os micro incidentes relacionados aos testes, por exemplo). Ela reflete os diferentes objetivos dos membros da equipe em função de sua posição: os Supervisores sempre mais preocupados em atingir metas de cumprimento de prazos e tarefas e os operadores mais diretamente envolvidos com os aspectos operacionais propriamente ditos.

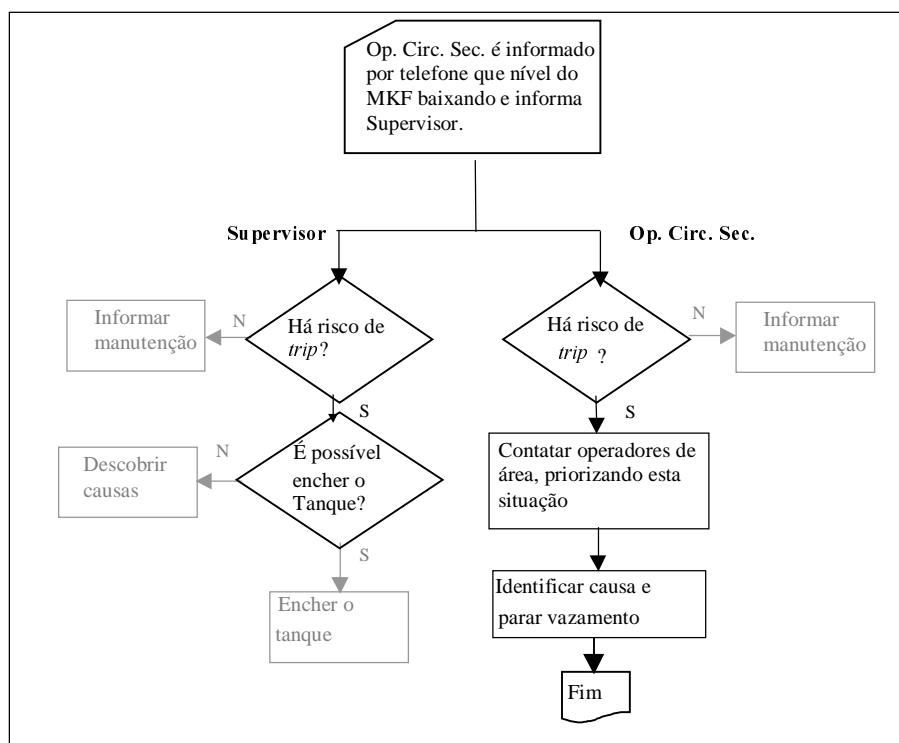


Figura 6.4 Árvore de decisões do micro incidente abaixamento do nível do MKF.

6.2.4 Conclusões do estudo a partir da taxonomia SRK

Os resultados obtidos até o momento nos permitem formular as seguintes hipóteses a respeito das tomadas de decisão dos operadores:

1. As tomadas de decisão são, predominantemente, baseadas em regras.
2. As regras podem ser escritas com uma sintaxe do tipo SE condição ENTÃO ação ou SE condição ENTÃO diagnóstico.
3. Em situações não familiares, que emergem a partir de micro incidentes, há forte tendência para simplificação da situação para adequá-la a uma tomada de decisão ainda baseada em regras: regras implícitas, proceduralizadas *ad hoc* e criadas a partir de estruturas pré-armazenadas na memória.
4. As decisões são geradas em série e o curso da ação avaliado constantemente (fundamental para caracterizar o processo de tomada de decisão como naturalista).

Outra característica do processo de tomada de decisão são as poucas opções geradas no momento da tomada da decisão, uma indicação de que durante a fase de avaliação da situação as opções consideradas menos pertinentes são sumariamente descartadas pelos operadores. Na próxima seção aprofundaremos nossa análise de modo a permitir uma verificação das hipóteses acima.

6.3 Tipos de decisão na operação de usinas nucleares

A constatação de que maior parte das decisões tomadas pelos operadores de salas de controle de usinas nucleares é baseada em regras nos levou a procurar estudar mais profundamente estas regras e sua relação com as habilidades cognitivas dos operadores. Comparação de padrões, analogias/processos de reconhecimento, e o casamento de regras condição-ação conscientemente processadas com a avaliação da situação refletem a taxonomia de controle cognitivo de RASMUSSEN (1983), na qual as tomadas de decisão podem se mover entre os diversos níveis de controle cognitivo, por exemplo do nível de conhecimento até um nível de habilidades, passando pelo nível de regras e vice-versa. Vimos ainda que simbolicamente a maioria das decisões pode ser escrita com uma sintaxe SE ... ENTÃO.

Os resultados indicam ainda que o processo de tomada de decisão é marcado por um número limitado de opções, de pistas significativas (às vezes pistas contraditórias), de metas nem sempre muito claras (realizar as tarefas planejadas, ou conforme os requisitos de procedimentos técnicos), e sujeito às restrições impostas pelo contexto à atividade dos operadores (interface analógica e alto nível de automação, fluxo de informações, troca de turnos, pressões gerenciais etc.).

Estas considerações formam a base para a continuação do estudo, onde pretendemos classificar e descrever de modo mais detalhado os tipos de decisão tomados pelos operadores de sala de controle de usinas nucleares, de modo a discutirmos as hipóteses apresentadas na seção anterior.

Apesar do foco nas decisões tomadas a partir da emergência de micro incidentes, nosso estudo de caso também permitiu constatar que as decisões rotineiras baseadas nos procedimentos operacionais, administrativos e listas de checagem, constituem a grande maioria das decisões tomadas pelos operadores que, deste modo, não poderiam ser excluídas de um modelo mais abrangente de tomadas de decisão que pretendemos apresentar nesta seção.

A análise das comunicações (ver capítulo 5) nos dá uma idéia da quantidade dessas decisões. Por exemplo, durante o início do desligamento do reator, num período de cerca de 2 horas, o Encarregado, que é o responsável pela condução da operação a partir dos procedimentos e respectivos *checklists*, se comunica verbalmente com os Operadores do Circuito Secundário e Reator 67 vezes. A maior parte desta comunicação é o resultado de decisões baseadas em instruções contidas no procedimento de partida e respectivos *checklists*. Não procuramos aprofundar a análise destas decisões de ação (partir/parar, intervir/não intervir etc.) e de comunicação (informar a outros setores o estado de componentes, sistemas, ou mesmo da própria usina) instigadas por procedimentos, uma vez que elas são a consequência natural da execução bem sucedida destes procedimentos. Entretanto, elas irão aparecer na classificação dos tipos de decisão observados na usina nuclear.

Para interpretar de modo mais detalhado os dados relativos às regras condição-ação usadas nas tomadas de decisão e com o objetivo de ilustrar melhor a natureza das decisões tomadas, indicamos como pistas específicas são ligadas às ações de resposta geradas. As regras condição-ação podem fornecer a estrutura, ou mesmo a base da programação, para ferramentas de ajuda a tomadas de decisão e pesquisas deste tipo podem servir para identificar se as tomadas de decisão na operação nas usinas nucleares são substancialmente diferentes, ou contém um número suficiente de características similares, que permitam o desenvolvimento de ferramentas deste tipo.

Como resultado da análise, estaremos identificando ainda áreas de subproblemas, isto é, quais problemas foram encontrados pelos operadores para lidar com os micro incidentes. Com isto poderemos observar como os diversos subproblemas se conectam, auxiliando na definição das margens para uma operação mais segura da usina. A análise dos dados compreendeu as fases indicadas no quadro 6.8.

Os dados para esta fase do estudo são os mesmos protocolos verbais relativos usados nas seções anteriores e apresentados no capítulo 5. Procuramos reduzir a complexidade dos protocolos de modo a precisar melhor as descrições das decisões por meio de um esquema de codificação formalizado, que permitisse uma classificação das decisões de um modo mais acurado em relação do que o obtido nas seções anteriores.

O esquema de codificação foi desenvolvido por meio da análise sistemática dos protocolos para caracterizar os componentes críticos relacionados às tomadas de decisão. Primeiro, cada comentário foi segmentado em declarações e listado (uma

declaração por linha). Cada declaração representa um único conceito, isto é, trata de aspectos como busca de informação, tomada de decisão e execução de ação.

Quadro 6.8 Fases da análise.

Fase	Descrição
Preparação dos dados	Transcrever as gravações de áudio e vídeo em protocolos.
Codificação	Desenvolver um esquema de codificação, codificar o protocolo e descrever os componentes.
Identificação de tipo de decisão	Identificar o tipo de decisão a partir dos resultados da análise.
Regras de condição-ação	Descrever as regras usadas pelos operadores.
Categorização de problema	Identificar as áreas de problema, e categorizar as decisões por área.

O desenvolvimento do esquema de codificação foi um processo interativo (iniciado com as análises apresentadas nas seções anteriores deste capítulo), cujo foco foi o eliciar o comportamento dos operadores durante os micro incidentes observados, por meio de um processo exploratório. O resultado é um esquema de codificação que procura abranger todos os fatores pertinentes ao contexto das tomadas de decisão em salas de controle de usinas nucleares (ver quadro 6.9).

Quadro 6.9. Esquema de codificação.

Categoria	Definição
Decisão	A decisão que gerou um curso de ação (CuA), ou de não fazer nada, ou de esperar. Por exemplo, parar um processo ou esperar para ver como o micro incidente evolui.
Entrada	Informação que conduz a uma avaliação alterada que requer uma decisão. Identificação de <u>quando</u> o tópico relativo à decisão foi introduzido e que fatores novos causaram a mudança.
Instigado por	Quem identificou a necessidade de tentar resolver um problema.
Envolvidos	Pessoal envolvido desde a identificação do problema/ auxílio na resolução até a tomada de decisão.
Meta	O objetivo da decisão. Verbalmente declarado ou deduzido pelo investigador. Metas incluem parar um processo, partir um sistema, realizar testes etc.
Razão	Baseada na meta. Por exemplo, a meta pode ser a parada de um processo, a razão era minimizar o dano potencial da evolução do micro incidente. Pode ser declarado mas freqüentemente teve que ser deduzido.

Opções e conseqüências	Opções disponíveis como meios alternativos de solucionar o problema identificado. Dentre essas opções podem estar não fazer nada ou esperar. As conseqüências se referem ao que aconteceria se estas opções fossem selecionadas em vez do CuA escolhido. Mais uma vez, opções e conseqüências podem ser declaradas, mas algumas vezes precisam ser deduzidas.
Tempo	O tempo decorrido desde de quando o problema foi identificado até a tomada de decisão.

Meta, razão, opções e conseqüências tiveram de ser deduzidos algumas vezes, mas a presença dos ergonomistas no momento dos micro incidentes permitiu, em muitos casos, a indução e conseqüente verbalização de declarações dos operadores. Isto exigiu um considerável conhecimento do processo de parada e partida pelos ergonomistas, razão pelas quais, como já informamos no capítulo sobre metodologia, dois deles (dentre os quais o autor deste trabalho de tese) eram oriundos da área nuclear. Opções e conseqüências foram reunidas em uma categoria, uma vez que as conseqüências se referem às opções mencionadas.

6.3.1 Resultados e discussão

Os quadros a seguir apresentam a codificação das decisões nos diversos micro incidentes observados. Para ilustrar o modo como os esquemas de codificação foram elaborados, repetimos o protocolo verbal da primeira decisão do micro incidente Caldeira, já segmentado em declarações e acrescentando o tempo decorrido.

0:00 Operador de painel: “*A Caldeira 1, foi encerrada a ...*”

0:05 Operador que entra: “*Tá.*”

0:10 Encarregado que entra: “*Então, teoricamente, está disponível.*”

0:20 Operador que entra: “*Mas está quente, ela?*”

0:25 Operador de painel: “*Tá ... Eu vou aquecer.*”

0:35 Operador que entra: “*Porque de repente vai precisar hoje.*”

0:45 Operador de painel: “*Vou partir a 2.*”

Quadro 6.10 Codificação das decisões no micro incidente Caldeira.

Micro incidente Caldeira: primeira decisão	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Partir a Caldeira 2. Operador de Painel.
Entrada	Necessidade de partir uma Caldeira. Dúvida sobre o estado da Caldeira 1. Dificuldade de avaliação do estado da Caldeira 1.
Instigado por	Operador do Circuito Secundário.
Envolvidos	Operador do Circuito Secundário, Encarregado, técnicos de manutenção.
Meta	Ter pelo menos uma Caldeira disponível e aquecida no momento necessário.
Razão	Fornecer vapor a usuários (sistemas da planta) após o desligamento (queda de barras) do reator. Durante a operação normal o próprio reator fornece este vapor.
Opções e conseqüências	Identificar o estado da Caldeira 1. Se possível partir a Caldeira 1.
Tempo	25 segundos.
Micro incidente Caldeira: Segunda decisão	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Partir a Caldeira 1. Supervisor/Operador de Painel/ Operadores de Área.
Entrada	Caldeira 2 não partiu. Estado da Caldeira 1 avaliado, Caldeira 1 disponível.
Instigado por	Operador de Painel (que foi ao campo).
Envolvidos	Operador de Painel, Operador do Circuito Secundário, Encarregado, Operadores de Área, técnicos de manutenção (na área).
Meta	Ter pelo menos uma Caldeira disponível e aquecida no momento necessário.
Razão	Fornecer vapor a usuários (sistemas da planta) após o desligamento (queda de barras) do reator. Durante a operação normal o próprio reator fornece este vapor.
Opções e conseqüências	Suspender o resfriamento até que 1 caldeira estivesse disponível. Atraso no cronograma previsto.
Tempo	30 minutos.

As duas decisões tomadas neste micro incidente foram descritas por regras do tipo condição-ação na seção anterior. Por meio do quadro acima podemos constatar que a primeira decisão foi praticamente instantânea – 25s, a partir do momento em que uma nova situação foi introduzida na fala: “*Mas está quente ela?*” Como vimos, o Operador de Painel compreendeu a interrogação como uma ordem para disponibilizar uma caldeira – e baseado na sua experiência prévia – considerou que mais fácil partir a Caldeira 2, do que avaliar a real situação da Caldeira 1. Estas duas características são típicas de decisões preparadas por reconhecimento. Podemos então classificar este tipo

de decisão como baseada em regras condição-ação definidas, ou preparadas, por processos de reconhecimento.

A Segunda decisão, de partir a Caldeira 1, é a única opção que resta ao Supervisor antes de paralisar o resfriamento. Ele envia o Operador de Painel ao campo para avaliar o estado dessa caldeira. Na realidade, esta Segunda decisão foi tomada no campo como ilustra o trecho do protocolo:

Supervisor: *“Então manda partir a caldeira!”*

Operador de Painel: *“Não... Já tá em cima!”*

Esta última frase indica que a decisão de partir a Caldeira 1 já havia sido tomada na área, por outros membros da equipe, como uma resposta a demanda da Sala de Controle, repassada pelo Operador de Painel, enviado pelo Supervisor até o local da Caldeira. Assim sendo ela não pode ser classificada como uma decisão do Supervisor baseada em regras condição-ação. Se trata de um novo tipo de decisão que pode ser classificado como de resposta a demanda.

O quadro 6.11 é relativa aos micro incidentes relacionados aos testes. Mais uma vez decisões que podem ser descritas por regras condição-ação, tomadas pelo Supervisor para liberar ou suspender a realização de testes da instrumentação.

Quadro 6.11 Codificação das decisões dos micro incidentes sobre testes.

Micro incidente liberação de testes do Sistema de Limitação	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Liberar teste do Sistema de Limitação. Supervisor.
Entrada	Planejamento da parada indicando horário previsto do teste (ver figura 6.30). Procedimento do teste indicando que o estado da usina não era adequado para realização do teste.
Instigado por	Instrumentistas.
Envolvidos	Operador do Circuito Secundário, Encarregado, instrumentistas.
Meta	Realizar teste do Sistema de Limitação.
Razão	Sistemas de segurança são periodicamente testados durante paradas da usina. Necessidade de executar as tarefas previstas no planejamento da parada.
Opções e Conseqüências	Aguardar que a usina atingisse o estado previsto no procedimento de teste (subcrítico frio) Atrasar o cronograma de tarefas planejado.
Tempo	10 minutos (início 23:35 horas).
Micro incidente liberação de testes de transdutores de pressão	
Categoria	Definição

Decisão e Operador	Liberar teste de transdutores de pressão. Supervisor.
Entrada	Planejamento da parada indicando horário previsto do teste. Procedimento do teste indicando que o estado da usina não era adequado para realização do teste.
Instigado por	Instrumentistas.
Envolvidos	Supervisor, Encarregado, Instrumentistas (2).
Meta	Realizar teste de transdutores.
Razão	Sistemas de segurança são periodicamente testados durante paradas da usina. Necessidade de executar as tarefas previstas no planejamento da parada.
Opções e Conseqüências	Aguardar que a usina atingisse o estado previsto no procedimento de teste (subcrítico frio) Atrasar o cronograma de tarefas planejado.
Tempo	15 minutos (início 24:05 horas).
Primeira suspensão de testes	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Suspender teste de transdutores de pressão. Supervisor.
Entrada	Operador do Reator perde a indicação de pressão. Surgem alarmes que dificultam a operação: operadores não conseguem discernir se alarmes são devido a testes ou a problemas reais da usina.
Instigado por	Operador do Reator..
Envolvidos	Supervisor, Operador do Reator, Encarregado, Instrumentista.
Meta	Evitar problemas para a operação, resfriar conforme o planejado.
Razão	Apesar de desligado, os operadores ainda precisam resfriar o reator. Processo de resfriamento prejudicado pela realização do testes.
Opções e Conseqüências	Prosseguir os testes. Atrasar resfriamento, não acatar reclamações dos operadores.
Tempo	1:20 horas (início 24:30 horas quando começam a ocorrer problemas até 01:50 Quando Supervisor decide interromper os testes).
Liberação de testes após usina em RHR	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Liberar novamente os testes. Supervisor.
Entrada	Supervisor avalia que a partir da entrada em operação do circuito de remoção de calor residual RHR, os testes poderiam ser executados sem problemas para a operação.
Instigado por	Instrumentistas, necessidade de cumprir planejamento de parada.
Envolvidos	Supervisor.
Meta	Liberar testes.
Razão	Executar as tarefas previstas no planejamento da parada.
Opções e Conseqüências	Aguardar que a usina atingisse o estado previsto no procedimento de teste (subcrítico frio). Atrasar o cronograma de tarefas planejado.
Tempo	1:14 horas (início 03:30 horas quando o primeiro teste é liberado até 04:34 quando Supervisor decide liberar demais testes).

Segunda suspensão de testes	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Suspender todos os testes. Supervisor.
Entrada	Alarmes espúrios e bloqueio do RHR, atrasando resfriamento da usina.
Instigado por	Encarregado, Operador do Reator.
Envolvidos	Supervisor, Operador do Reator, Encarregado, Instrumentistas.
Meta	Evitar bloqueios espúrios, permitir o resfriamento como planejado.
Razão	Apesar de desligado, os operadores ainda precisam resfriar o reator. Processo de resfriamento prejudicado pelo bloqueio da injeção de água.
Opções e Conseqüências	Prosseguir os testes. Atrasar resfriamento, não acatar reclamações dos operadores.
Tempo	45 minutos (início 04:48 horas quando soa o alarme do KBA até 05:33 Quando Supervisor decide interromper os testes pela Segunda vez).

As decisões do Supervisor de liberar os testes são orientadas de modo a resolver um problema: realizar os testes conforme planejado, por um lado, e por outro, evitar que estes testes causem problemas para a operação, ou seja é uma decisão que pode ser descrita por regras condição – ação, mas orientada por problema: o tomador de decisão busca a partir de uma combinação de pistas avaliar a situação e gerar um curso de ação.

As decisões de suspender os testes são praticamente impostas pela equipe de operação, isto é, o curso da ação é fornecido por outros membros da equipe, caracterizando uma decisão do tipo ação fornecida.

Nesta mesma classificação consideramos a decisão do Supervisor de intervir no armário da automação, descrita no quadro 6.12. No momento da tomada da decisão, o Supervisor justifica a necessidade de intervir com a frase: “*O (nome-op.-circuito-secundário) tá falando aqui que com ele já aconteceu isso direto e reto.*”

Quadro 6.12 Codificação da decisão de intervir no armário da automação.

Intervenção no armário da automação	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	“Resetar” alarme no armário da automação. Supervisor.
Entrada	Alarme considerado espúrio: perturba operadores e bloqueia injeção de água.

Instigado por	Operador do Circuito Secundário (já observou o problema anteriormente ver).
Envolvidos	Supervisor, Operador do Reator, Operador do Circuito Secundário, Encarregado.
Meta	Evitar alarmes e bloqueios considerados espúrios permitindo que o resfriamento siga como planejado.
Razão	Alarmes espúrios e bloqueios de sistemas perturbam os operadores atrasam o processo de resfriamento.
Opções e Conseqüências	Aprofundar avaliação da situação (não havia certeza da razão do bloqueio). Evitar problemas caso os alarmes/bloqueios não fossem espúrios, mas sim devido a problemas reais da planta.
Tempo	5 minutos.

Já as decisões de acionar o *spray* visando abaixar a pressão do pressurizador e de não desconectar eletricamente a bomba, contrariando o procedimento de teste, descritas no quadros 6.13 e 6.14, respectivamente, são decisões de cunho analítico, baseadas em conhecimento, onde pelo menos duas opções legítimas são avaliadas, a luz dos objetivos da tarefa e restrições impostas pela situação.

Quadro 6.13 Codificação da decisão sobre bloqueio do JN.

Bloqueio do JN após desligamento da BRR	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Abaixar a pressão do PZR via <i>spray</i> . Equipes de operação (reunião entre 2 equipes na troca de turno).
Entrada	Bloqueio do JN por pressão alta, quando BRR foi desligada.
Instigado por	Diversos operadores.
Envolvidos	Supervisor, Operador do Reator, Operador do Circuito Secundário, Encarregado.
Meta	Acelerar o processo de resfriamento com mais circuitos de remoção de calor.
Razão	Sistema automático recebe parâmetros de pressão, temperatura etc. para habilitar partida de sistemas de remoção de calor residual. Neste caso, a pressão do PZR subiu além do limite estabelecido, após o desligamento da BRR e bloqueou o circuito.
Opções e Conseqüências	(1) Intervir eletricamente (bloquear automatismo no armário), (2) Não intervir para evitar bloqueio, refrigerar a planta mais lentamente (1) Deve ser sempre a última opção, segurança envolvida. (2) Atrasar o resfriamento..
Tempo	10 minutos.

Quadro 6.14 Codificação de decisão relacionada ao micro incidente compatibilidade entre procedimentos.

Micro incidente compatibilidade entre procedimentos	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Não desconectar bomba eletricamente, contrariando o procedimento de teste. Equipe de operação.
Entrada	Procedimento de teste, Planejamento de parada, Manual de Operação. 3 procedimentos impondo requisitos incompatíveis entre si.
Instigado por	Equipe de operação.
Envolvidos	Operadores do reator, Encarregado, Supervisor, Instrumentista, Consultor alemão.
Meta	Realizar testes sem desconectar bomba eletricamente.
Razão	Desconectar eletricamente implica na realização de novo teste específico para a bomba, o que atrasaria em cerca de 8 horas o cronograma de tarefas.
Opções e Conseqüências	Seguir procedimento de teste e desconectar eletricamente. Atraso no cronograma, não cumprimento do planejamento de parada.
Tempo	1 hora.

O micro incidente problema com válvulas (quadro 6.15) foi obtido retrospectivamente, a partir do protocolo verbal da troca de turno, de modo que o quadro não pôde ser completamente preenchido. Ainda assim, podemos classificar a decisão como baseada em regras e orientada por problema. O operador analisa pistas e as compara com regras pré-armazenadas na memória partir de problemas semelhantes com outras válvulas. O resultado desta comparação sugere que há uma falha na chave de fim de curso.

Quadro 6.15 Codificação da decisão relacionada a problemas com válvulas.

Micro incidente problemas com válvulas	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Chave de fim de curso de válvula com defeito. Operador do Reator.
Entrada	Válvula não apresentou indicação de válvula fechada (pode estar aberta, ou a chave de fim de curso que indica seu estado estar com defeito).
Instigado por	----
Envolvidos	Operador do Reator.

Meta	Identificar problema com válvula.
Razão	Válvulas que não fecham completamente podem significar vazamento de refrigerante. A identificação destas válvulas e do seu sistema de indicação de posição é de suma importância para uma operação segura.
Opções e	Válvula dando passagem (com defeito).
Conseqüências	Manutenção na válvula (e não na sua indicação de fim de curso)
Tempo	-----

O micro incidente que denominamos operação chave (quadro 6.16) cobre um conjunto de micro decisões, praticamente idênticas, tomadas por diversos operadores, os quais, manipulando a chave procuram descobrir seu modo de funcionamento. Conforme os padrões armazenados na memória, uma chave de 2 posições, que deve permanecer por um tempo relativamente longo em determinada posição, deveria possuir uma retenção mecânica, para sua fixação nessa posição. O comportamento da chave, diferente do padrão imaginado pelos operadores, gerou as diversas tentativas de manipulação da chave e a decisão de segurar a chave na posição, durante toda a realização do teste, resultando numa tomada de decisão baseada em regras preparada por reconhecimento.

Quadro 6.16 Codificação de decisão relacionada a operação de chave.

Micro incidente operação chave	
Categoria	Definição
Decisão e	Segurar chave localizada no console de controle durante todo o período de realização de teste.
Operador	Equipe de operação.
Entrada	Necessidade de manter chave em determinada posição durante realização do teste de estanqueidade.
Instigado por	Equipe de operação.
Envolvidos	Operadores do reator, Encarregado, Supervisor, Téc. Manutenção.
Meta	Posicionar chave conforme necessidade do teste de estanqueidade.
Razão	Se a chave fosse de retenção, não haveria necessidade do operador mante-la pressionada durante todo o período do teste (cerca de 1 hora).
Opções e	Descobrir qual a especificação da chave.
Conseqüências	Substituí-la (se estiver especificada como retenção); alertar no procedimento do teste de estanqueidade, se ela não for de retenção.
Tempo	10 minutos.

A autorização dada pelo Supervisor ao Operador do Circuito Secundário para subir a potência em 5% no micro incidente oscilação de parâmetro do sistema de limitação é baseada em regras condição-ação, foi tomada na Sala de Controle, mas a partir de uma ação fornecida pelo instrumentista que, em comunicação telefônica sugeriu ao Operador do Reator que subisse a potência em 5% “*para ver se a oscilação terminava*”. Este curso de ação foi sugerido ao Supervisor que tomou a decisão final de autorizar o Operador do Reator a executar a ação. Assim sendo consideramos que esta foi uma decisão baseada em regras condição – ação do tipo ação fornecida, onde o operador de sala de controle identificou a condição, mas falhou em obter um plano de ação. A ação selecionada foi fornecida por outro membro da equipe.

Quadro 6.17 Codificação de decisão relacionada a oscilação no sistema de limitação.

Oscilação de parâmetro	
Categoria	Definição
Decisão e	Aumentar potência em 5%, para ver se oscilação termina.
Operador	Supervisor/Operador do Reator.
Entrada	Oscilação de parâmetro do sistema de limitação.
Instigado por	Instrumentista.
Envolvidos	Supervisor, Operador do Circuito Secundário, Instrumentista.
Meta	Impedir a oscilação do parâmetro do sistema de limitação retomando subida de potência.
Razão	A subida de potência foi suspensa em função desta oscilação, uma vez que o sistema de limitação é fundamental para a operação da usina.
Opções e	Aguardar uma avaliação da situação mais detalhada.
Conseqüências	Atraso na partida da usina.
Tempo	15 minutos

Na primeira decisão deste micro incidente o Supervisor, ao procurar imediatamente encher o tanque, reconheceu um padrão que poderia levar ao *trip* da usina e escolheu um curso de ação para lidar com a situação reconhecida, uma típica decisão baseada em regras preparada por reconhecimento.

Já na Segunda decisão, o Operador do Circuito Secundário envia mais um Operador de Área para auxiliar na identificação do vazamento e, se possível, interrompê-lo. Mais uma vez o problema é solucionado na área, de modo que consideramos que esta foi mais uma decisão do tipo resposta a demanda.

Quadro 6.18 Codificação de decisões – abaixamento do nível do tanque MKF.

Micro incidente abaixamento do nível do tanque MKF – dec. 1	
Categoria	Definição
Decisão e	Completar o nível do tanque.
Operador	Supervisor.
Entrada	Nível do tanque MKF abaixando, risco de <i>trip</i> .
Instigado por	Operador do Circuito Secundário/Operador de Área
Envolvidos	Supervisor, Operador do Circuito Secundário, Encarregado, Operador de Área.
Meta	Restaurar nível do tanque, impedindo desligamento automático da usina (<i>trip</i>).
Razão	O desligamento automático atrasaria em várias horas a partida da usina e acarretaria no preenchimento de diversos documentos.
Opções e	Identificar o problema e interromper o vazamento.
Conseqüências	Evitar <i>trip</i> , impedir que a água que saía do tanque pudesse, eventualmente danificar outros equipamentos.
Tempo	1 minuto.
Micro incidente abaixamento do nível do tanque MKF – dec. 2	
Categoria	Definição
Decisão e	Identificar o problema.
Operador	Operador do Circuito Secundário/ Operador de Área.
Entrada	Nível do tanque MKF abaixando, risco de <i>trip</i> .
Instigado por	Operador de Área.
Envolvidos	Supervisor, Operador do Circuito Secundário, Encarregado, Operador de Área, técnicos de manutenção (na área).
Meta	Impedir que tanque continue vazando, evitando risco de <i>trip</i> .
Razão	Se o vazamento for descoberto e estancado rapidamente, o <i>trip</i> seria evitado.
Opções e	Ver decisão acima (completar o nível do tanque).
Conseqüências	Se não fosse identificado o vazamento a água poderia danificar outros equipamentos.
Tempo	20 minutos.

No treinamento em simulador todas as decisões tomadas foram baseadas em regras contidas nos procedimentos e *checklists*, mesmo quando, segundo o Instrutor, o procedimento estaria fornecendo instruções que não deveriam ter sido seguidas em função do estado geral da usina. O quadro 6.19 apresenta a codificação da decisão que gerou a discussão a respeito do uso de procedimentos entre o Instrutor e os operadores.

Quadro 6.19 Codificação de decisão durante treinamento no Simulador.

Treinamento no Simulador	
Categoria	Definição
Decisão e Operador	Baixar pressão do primário para 80 bar. Encarregado e Supervisor.
Entrada	Instrução contida no procedimento de emergência.
Instigado por	-----
Envolvidos	Encarregado, Supervisor, Operador do Reator, Operador do Circuito Secundário.
Meta	Levar a usina para uma condição segura (subcrítico frio), após acidente do tipo SGTR.
Razão	O resfriamento do reator é conseguido abaixando-se de forma controlada a temperatura e pressão do primário.
Opções e	Não baixar a pressão do primário para 80 bar (opção recomendada pelo instrutor).
Conseqüências	Evitar risco de saturação do circuito primário.
Tempo	11 minutos (da leitura do procedimento até a intervenção do Instrutor).

O quadro 6.20 consolida os resultados obtidos e propõe um modelo para classificação dos tipos de tomadas de decisões de operadores de sala de controle de reatores nucleares. Esta análise funcional foi usada para desenvolver as regras de condição-ação, criando as diversas subcategorias apresentadas no quadro 6.20. Estas regras são interpretações simbólicas das diversas fases do processo de tomada de decisão compreendendo: entrada, meta, razão e decisão. O propósito desta análise foi contextualizar a estrutura do processo de decisão nos diversos micro incidentes.

Quadro 6.20 Classificação dos tipos de decisão de operadores de usinas nucleares.

Tipos de tomadas de decisão	
Baseada em regras	Descrição
Procedimentos operacionais (operação normal e emergência).	Definidos no Manual de Operação da usina. Na forma de fluxogramas, as respostas dos operadores dependem de regras SE ... ENTÃO. Os procedimentos são prescritivos no domínio, isto é, são concebidos de modo a não dependerem da experiência passada do tomador de decisão em casos similares. Eles se baseiam em respostas prescritas pelos projetistas, pela organização, pelo setor industrial respectivo etc.

<i>Listas de checagem (Checklists)</i>	Lista de condições, na forma do estado de variáveis, usadas pelos operadores para assegurar que todos os aspectos da situação, seja numa mudança de estado ou num incidente, sejam cobertos, por exemplo, checagem dos parâmetros de segurança após um desligamento automático, checagem dos alarmes ativados etc. Estas listas podem envolver alguns elementos pró-ativos, isto é, elas podem ser usadas para instigar ações, antes que uma completa avaliação da situação seja feita (a checagem das funções críticas e de segurança logo após o desligamento automático é um exemplo). <i>Checklists</i> também podem conter indicadores temporais, por exemplo, quando comunicar a ocorrência de um micro incidente. Da mesma forma que no caso acima elas são prescritivas no domínio e fazem parte dos procedimentos operacionais e de emergência.
Condição-ação	Comportamento baseado em regras caracterizado pela geração ações controladas, derivadas de ações pré-planejadas ou sub-rotinas armazenadas na memória. O controle do comportamento neste nível é orientado por objetivos e estruturado num modo antecipativo (controle <i>feed-forward</i>), por meio da regra armazenada. Não envolve geração de opções concorrentes (e obviamente, nem sua avaliação/otimização). As regras armazenadas são do tipo SE (estado) ENTÃO (diagnóstico), ou SE (estado) ENTÃO (ação corretiva). A identificação da condição pode ser baseada em 3 formas de raciocínio: <u>Orientada por problema:</u> a combinação de pistas de modo a estabelecer o significado da condição que, então, gera uma ação apropriada em resposta. Envolve processamento consciente e, quase sempre, discussão pela equipe; <u>Preparada por reconhecimento:</u> decisão instantânea baseada na experiência prévia; <u>Ação fornecida:</u> envolve a identificação da condição, mas falha em obter um plano de ação. A ação selecionada é fornecida por outro membro da equipe.
Resposta a demanda	<u>Decisões tomadas por outros membros</u> da equipe (operadores de área, técnicos de manutenção etc.) a partir de demanda da sala de controle. Consistem na verificação de estado de equipamentos ou resposta a demandas relacionadas a decisões tomadas na instalação. Estas decisões podem ser orientadas por objetivos ou do tipo partir/parar.
Baseada em conhecimento	Descrição
Analítica	Seleção de problemas. Várias opções legítimas para diversos cursos de ação existentes, das quais apenas 1 deve ser selecionado. As opções precisam ser avaliadas a luz dos objetivos da tarefa e restrições da situação, regras simples não são aplicáveis.

Pode haver alguma discussão com relação a se a categoria ação fornecida é pertinente a categoria baseada em regras ou conhecimento. A decisão tomada nesta categoria pode refletir a falta de conhecimento específico do operador que recebe a ação de outro membro da equipe que possui maior conhecimento sobre os detalhes do

funcionamento de um sistema ou componente. Ainda assim, nas decisões estudadas não houve sinal de geração de múltiplas opções e comparação entre elas. A subida em 5% da potência para evitar a oscilação do parâmetro do sistema de limitação, por exemplo, foi um caso típico de identificação de condição, onde o CuA associado era desconhecido do operador, devido a falta de conhecimento/experiência, sendo foi provida subsequente por outra pessoa. Este tipo de decisão foi colocada na categoria baseada em regras, compartilhando a tipologia da regra condição-ação, pois não envolveu uma resolução analítica de problema por parte do tomador final da decisão de subir a potência.

O quadro 6.21 quantifica os resultados das análises contidas nos quadros 6.10 a 6.19 apresentando a distribuição por classes, das decisões tomadas durante os micro incidentes, num total de 15 decisões.

Quadro 6.21 Distribuição das decisões nos micro incidentes.

Baseada em regras: 86,6%			
Reconhecimento	Orientada por problema	Ação fornecida	Resposta a demanda
3 decisões: 20%	4 decisões:26,6%	4 decisões: 26,6%	2 decisões: 13,3%
Baseada em conhecimento: 13,3% (2 decisões)			

Responder a sugestões de outros membros da equipe (ação fornecida) e resposta a demanda representam, juntos, 39% das decisões tomadas na sala de controle para lidar com os micro incidentes. Este é um indicador de que as tomadas decisão são uma tarefa distribuída (BREHMER, 1992). Mesmo nas demais decisões, como indicam os quadros, a participação de outros operadores é uma constante.

6.4 As hipóteses sobre as tomadas de decisão

As decisões identificadas nos micro incidentes ou micro incidentes e descritas com base nas diversas análises dos protocolos verbais são predominantemente fundadas em regras condição-ação (86,7%, conforme o quadro 6.21), confirmando a hipótese de que as tomadas de decisão de decisão dos operadores são predominantemente baseadas em regras (hipótese 1). Esta constatação vai ao encontro das pesquisas de tomadas de

decisão naturalistas em diversos campos da atividade humana, como mostramos no capítulo 3.

A maioria das decisões pode ser descrita em termos de regras SE ... ENTÃO, conforme as diversas descrições apresentadas nas seções 6.2 e 6.3, confirmando a hipótese 2.

Nas diversas decisões durante os micro incidentes observados, onde procedimentos específicos não estão disponíveis, regras são proceduralizadas *ad hoc* (regras condição-ação criadas a partir da situação baseadas na experiência do tomador da decisão), como demonstra o fato de que apenas 13% das decisões nestas situações ter sido baseada em conhecimento, confirmando a hipótese 3.

Planos ou cursos de ação identificados como apropriados são executados e monitorados continuamente. Se o plano falhar, um novo plano será imediatamente recuperado (a partir das situações pré planejadas armazenadas na memória) e implementado, caracterizando uma geração consecutiva de decisões, (ver por exemplo os micro incidentes relacionados aos testes) confirmando hipótese 4 e a característica naturalista do processo.

Consideramos que esta heurística forma a base da estratégica para tomada de decisão de operadores, uma vez que este pareceu ser um processo comum, apresentado em praticamente todos os micro incidentes e pelas diversas equipes de operação. A eficácia deste tipo de abordagem estratégica depende do conhecimento da instalação, da experiência, do tipo de treinamento e das pressões as quais o operador está submetido, para que a avaliação da situação seja condizente com a situação real e decisões inadequadas (como a liberação dos testes) sejam evitadas.

Como vimos nos micro incidentes sobre liberação de testes, a experiência do Supervisor não forneceu um enquadramento, em termos de protótipos ou analogias, que permitisse uma avaliação adequada da situação, isto é, de que os testes, se realizados naquele momento, perturbariam a operação e, portanto, não deveriam ser autorizados. Nestes casos, onde a experiência do operador não fornece, em termos de protótipos ou analogias, os meios mais adequados para a resolução do problema, uma nova solução deveria ser construída a partir das ajudas disponibilizadas pelo sistema cognitivo conjunto, ajudas estas que se mostraram insuficientes.

Neste momento, retornamos à questão, apresentada no capítulo 1, segundo a qual em situações novas, nas quais os operadores não podem contar com o suporte de procedimentos escritos, eles mudam o nível de controle cognitivo e passam a trabalhar

ao nível de conhecimento (VICENTE & RASMUSSEN, 1992). Podemos concluir que esta questão não foi corroborada pelos resultados obtidos e requer novas pesquisas. Apesar dos diversos micro incidentes que, embora não sendo situações totalmente novas, emergiram a partir de situações que não eram previstas (tanto que não havia procedimento específico), em apenas 2 ocasiões, decisões ao nível de conhecimento foram tomadas.

A confirmação da hipótese 3 de que mesmo em situações de micro incidentes (não familiares), a grande maioria das decisões continua sendo baseada em regras, demonstrando que a inexistência de procedimentos (regras claras) para lidar com uma situação, não acarreta, necessariamente, numa mudança do nível de controle de controle cognitivo: de regras para conhecimento, uma vez que os operadores criam novas regras para lidar com estas situações.

AMALBERTI (1996) procura responder a esta questão sugerindo que este tipo de fenômeno está relacionado ao custo/risco de perda de controle cognitivo que a mudança do nível de abstração (regras para conhecimento, por exemplo) acarreta para os operadores. Atividades ao nível do conhecimento exigem muito mais das habilidades cognitivas, envolvendo raciocínio indutivo e dedutivo, interpretação e compreensão da informação disponível, identificação de meta, resolução de problema, identificação e seleção do curso da ação. Ao envolverem um alto custo cognitivo estas atividades são evitadas pelos operadores, que se preocupam em otimizar sua capacidade cognitiva, resguardando forças para lidar com situações mais complexas, e não as utilizando para a resolução de problemas menores, como os micro incidentes são considerados pelos operadores.

Nosso estudo forneceu indicações de mais 3 aspectos que parecem dificultar uma mudança do nível de abstração, ou de controle cognitivo:

1. Treinamento. Os operadores são treinados e habituados a trabalhar ao nível de regras, seguindo procedimentos, e continuam procurando soluções neste nível mesmo em situações novas, simplificando a situação e adequando-a a algum tipo de decisão baseada em regras criadas *ad hoc*.
2. Intensificação de tarefas: No período correspondente às primeiras decisões sobre liberação de testes (das 21:00 às 01:00 horas), o Supervisor efetuou 120 trocas verbais e realizou 179 deslocamentos (ver quadros 6.4, 6.5 e 6.7), um nível de atividade elevado que não deixa margem para a execução de tarefas mais complicadas do ponto de vista cognitivo.

3. Falta de suporte adequado para tomadas de decisão, especialmente face à opacidade do automatismo. Para resolver o problema de liberar ou não os testes, o Supervisor deveria avaliar como os sinais dos diversos testes afetariam o complicado sistema automático da usina, os possíveis bloqueios em sistemas necessários ao resfriamento, além de prover meios para evitar estes bloqueios e informar aos operadores sobre alarmes espúrios.

Em função da falta de suporte adequado para avaliar e responder a questão colocada acima, o Supervisor, envolvido pelas pressões organizacionais para realizar as tarefas planejadas e pelas diversas atividades paralelas durante o início do desligamento, simplificou a situação, considerando que com o reator desligado (após a queda de barras), a operação poderia conviver com os testes.

Por outro lado, no micro incidente do bloqueio do JN após a partida da BRR, com duas equipes operação presentes e o resfriamento praticamente concluído, foi possível um processo de tomada de uma decisão baseado em conhecimento, a partir de uma reunião entre as equipes, onde as diversas opções para solucionar o problema foram discutidas e a melhor selecionada.

Observamos ainda que nos micro incidentes, os operadores e, até mesmo os Supervisores (ver micro incidente MKF) dirigem seu foco de atenção para a resolução de um problema específico em vez de lidar com uma estratégia global. O foco do se move da figura abrangente relacionada a uma estratégia de alto nível exposta pela organização (por exemplo, Cultura de Segurança) para dentro do problema específico, onde os valores assumidos (evitar o *trip*) pelo grupo prevalecem. Por exemplo, se tanque está vazando água (ver micro incidente MKF) a atenção do Supervisor está voltada para descobrir meios de como encher o tanque e evitar o *trip*, e não para medidas relacionadas a lidar com o vazamento e suas implicações na planta. Na mesma linha, podemos citar o treinamento no simulador no qual a equipe de operação, comandada pelo Supervisor/Encarregado, procurava levar a pressão para 80 bar (induzida pela idéia de que procedimentos devem ser seguidos à risca), mas não considerando as condições globais da planta.

Finalmente observamos que demandas táticas, necessárias para cumprir objetivos de curto prazo, como realizar o maior número possível de tarefas durante a parada, prevaleceram em nosso estudo de caso.

6.5 Decisões e categorias de problemas

A análise final da pesquisa relaciona decisões à categorias de problemas. O propósito desta análise é colocar as decisões no contexto dinâmico do processo de resposta aos micro incidentes (micro incidentes), identificando, a partir dos resultados do estudo de caso, algumas áreas de problemas que configuram um sistema de causas raízes, ligadas à emergência de micro incidentes. Esta fase do estudo nos permite ligar mais diretamente o processo de tomadas de decisão com os precursores de micro incidentes, com o objetivo de colaborar para o desenvolvimento de um sistema de gestão de riscos pró-ativo.

Os problemas foram categorizados de acordo com o foco da atenção dos operadores durante a evolução dos micro incidentes, quer dizer, que área de problema restringe as tomadas de decisão. As categorias encontradas foram:

1. Interface H/M, restrições da interface, problemas instrumentos, indicadores e sistemas da interface homem/máquina.
2. Opacidade da automação, sistema automático complexo, sujeito a bloqueios em diversos níveis dependendo da condição da operação, (por exemplo, realização de testes, calibração de instrumentos etc.) e fornecendo pouca informação de seu estado global aos operadores, dificultando processos de identificação de micro incidentes e a atuação sobre os sistemas/equipamentos do processo.
3. Procedimentos, adequação, completeza, compatibilidade entre procedimentos, idioma (estão escritos em inglês), até que ponto um determinado procedimento deve ser seguido a risca, em que situação ele pode (deve) ser modificado;
4. Planejamento de parada, o cronograma de tarefas que devem ser realizadas durante o período no qual o reator estiver desligado algumas vezes era incompatível com outros procedimentos;
5. Passagem de turno, possibilidade de perda de informações repassadas diretamente da memória dos operadores que saem do turno para a memória dos operadores que entram e que precisam ser novamente repassadas ao próximo turno.

6. Recursos de comunicação, os bloqueios de comunicação com as áreas associados aos diversos sistemas de comunicação.
7. Busca/obtenção de informação, a necessidade de buscar informações ao mesmo tempo e em diversas fontes tais como, indicadores, registradores gráficos, documentos escritos, informações verbais de outros operadores, memória etc. para a avaliação da situação. Necessidade de busca cíclica da informação para avaliar causas raízes de micro incidentes
8. Avaliação da situação, avaliar adequadamente a situação a partir de informações nem sempre congruentes entre si, e as vezes inteiramente divergentes.

A figura 6.5 apresenta a interdependência entre os problemas identificados e a evolução temporal dos eventos. Os micro incidentes observados emergiram a partir de eventos ocorridos dentro do processo físico (por exemplo, o micro incidente vazamento do MKF ou da oscilação de parâmetro); ou da combinação de situações que emergiram a partir das áreas de problemas identificadas (micro incidentes sobre testes, caldeira). É importante frisar que as áreas de problemas relacionadas ao contexto organizacional podem gerar eventos que evoluem e migram até o processo de produção, aparecendo como micro incidentes. Por exemplo, a existência de um planejamento de parada incompatível com procedimentos de testes, aliado às pressões organizacionais, levaram a decisão de liberação de testes. Esta decisão provocou alarmes e bloqueios dificultando a operação.

No micro incidente caldeira ocorre situação semelhante. Desde a passagem de turno, os operadores não têm informação concreta sobre o estado dos reparos da Caldeira 1 (há um andaime na Caldeira). Este fato, associado a dificuldade de obtenção da informação do estado dessa Caldeira, fez com que o operador decidisse partir a Caldeira 2 (que não partiu), fazendo com que o operador auxiliar fosse enviado ao campo para resolver a situação, gerando tensão no seio da equipe, conforme as palavras do Supervisor e: “... *roda a sua baiana...*” Estes exemplos confirmam a existência de sistemas de causas raízes, conforme estatuído por VIDAL e seus colegas (2001), que podem fazer emergir micro incidentes no sistema produtivo, que independem até mesmo de falhas técnicas, isto é falhas de equipamentos ou sistemas: tanto no caso da liberação dos testes, quanto no caso da Caldeira 1 não havia falhas de equipamentos.

Da figura 6.5, vemos que o surgimento de eventos no processo produtivo leva os operadores a buscar informações para avaliar a situação, usando os indicadores e displays dos consoles e painéis da sala de controle e/ou os recursos de comunicação disponíveis, de modo a complementar a busca, com informações de operadores de área ou outros setores da usina.

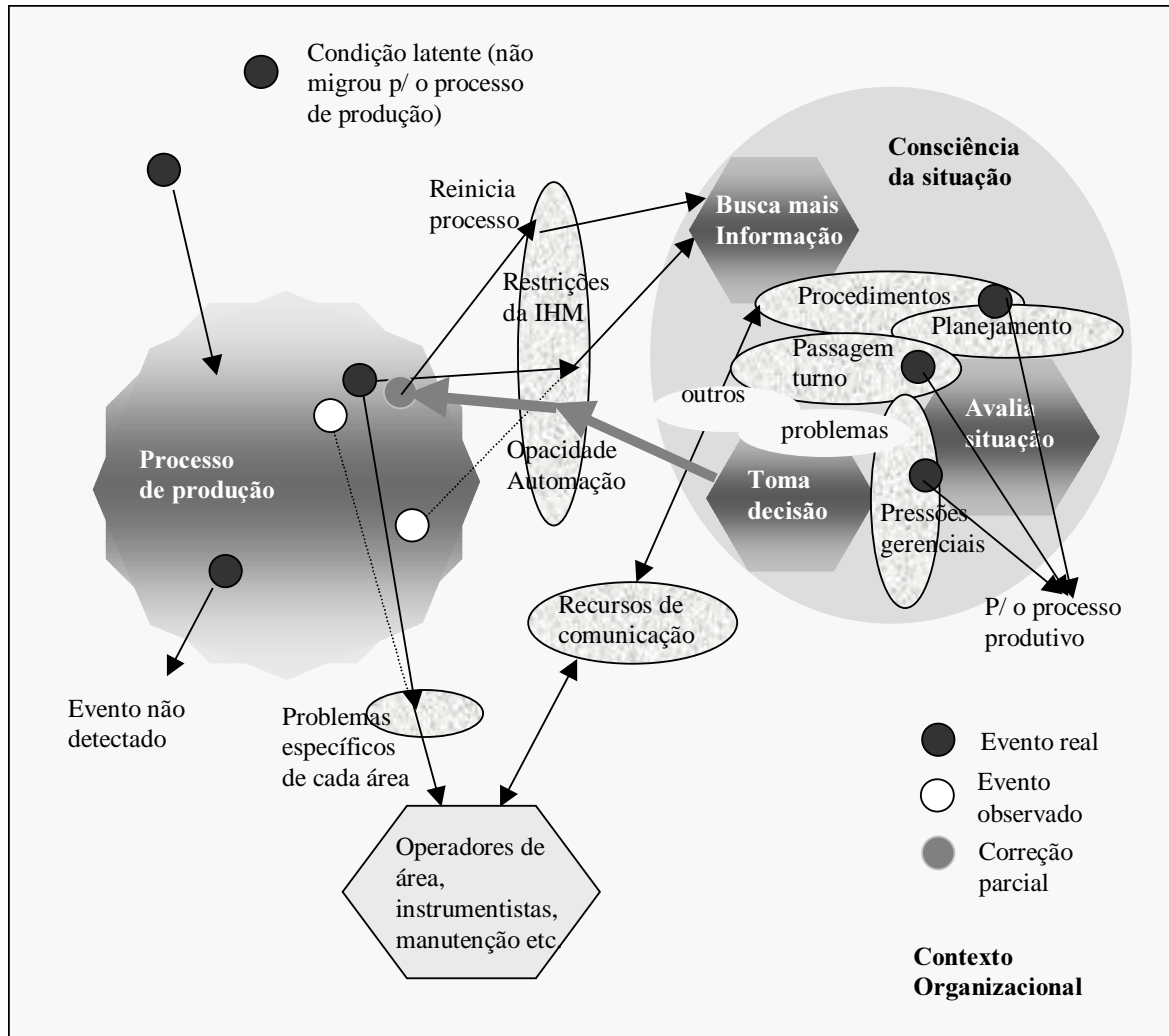


Figura 6.5 Interdependência entre os problemas chave identificados e a evolução temporal dos micro incidentes.

As áreas de problemas identificadas nos sistemas de comunicação funcionam como filtros, bloqueando a informação, e na interface H/M, como lentes que podem produzir um refração da informação: a informação da interface não possui uma correspondência direta com o evento real. O operador obtém da interface apenas valores de variáveis de processo, que precisam ser integrados com outros tipos de informação

para a identificação/diagnóstico do micro incidente. Diversos ciclos de realimentação, usando diferentes fontes de informação, são necessários para identificar as causas dos micro incidentes. No caso do vazamento do tanque MKF, por exemplo, os operadores obtinham da interface apenas a informação do vazamento. Somente a ida do operador de área ao local, num segundo ciclo de busca da informação, pôde identificar a situação.

Barreiras no fluxo da informação também podem gerar micro incidentes. Por exemplo, 20 minutos após o Supervisor ter solicitado a suspensão dos testes, ainda havia equipes realizando testes, por não terem recebido a informação, sem que a Sala de Controle tivesse conhecimento de que havia testes ainda em andamento.

Nem sempre, a causa geradora do evento que pode se transformar em micro incidente é o objeto da correção, como ilustra a figura 6.5 (micro incidente cinza). No micro incidente oscilação de parâmetro do sistema de limitação, por exemplo, a causa raiz da oscilação do parâmetro no âmbito do sistema de instrumentação, permanece desconhecida. Inferiu-se que a oscilação ocorreu por causa do fluxo baixo (lembramos que a subida em 5% da potência fez parar a oscilação), mas há algum problema na instrumentação, pois esta é uma condição de operação normal e este parâmetro não pode oscilar sempre que a potência chegar perto de 9%. Outro exemplo é o micro incidente do tanque MKF, no qual antes de saber a causa do vazamento, o Supervisor se preocupa em encher o tanque, na tentativa de corrigir a consequência para o sistema e não a causa do vazamento.

Este tipo de situação é ilustrada também pelas simulações de sinais feitas pelos operadores para fornecer critérios que permitam a partida de grupos automáticos, no caso de instrumentos defeituosos, e nas intervenções para bloquear alarmes considerados espúrios; nestes casos, nem sempre a causa do problema está completamente identificada.

Vimos também que os operadores têm a capacidade de detectar eventos antes que eles surjam no processo produtivo e sejam indicados pela interface H/M. O micro incidente Caldeira é um exemplo da pro-atividade dos operadores. Mesmo considerando que, neste caso, não havia problema com a Caldeira 1 (tanto que ela partiu), a presença do andaime poderia indicar que a manutenção não tivesse sido concluída. Entretanto, este suposto problema com a Caldeira 1, afetou o processo produtivo, fazendo com que o operador decidisse partir a Caldeira 2.

Completamos a descrição da figura 6.5 indicando que outras áreas de problemas, não identificadas nesta pesquisa podem existir, assim como eventos que evoluem dentro

do processo produtivo, mas numa direção diferente daquela que permitiria a sua detecção pela interface (a oscilação do parâmetro do sistema de limitação é um exemplo onde apenas numa condição especial de operação ele pôde ser detectado). Existem ainda as condições potenciais de micro incidentes que permanecem latentes, tanto no processo de produção de energia, quanto no contexto organizacional.

6.6 Consciência da situação

É importante ressaltarmos que os resultados obtidos no estudo de caso mostram que a busca constante de uma consciência da situação descreve muito melhor as tarefas de operação do que a monitoração do estado da planta, como descrita no capítulo 2 (BOVELL et al., 1997), pelas fontes do setor nuclear. A monitoração do estado da planta é feita basicamente a partir das informações da interface H/M, que como vimos acima, fornece apenas parte dos elementos necessários à formação da consciência da situação. Por este motivo achamos importante aprofundar algumas questões relativas à formação da consciência da situação pelos operadores e sua implicação na segurança organizacional.

Na figura 6.5 englobamos tarefas de operação, como busca da informação, avaliação da situação e tomadas de decisão e as áreas de problemas relacionadas na categoria consciência da situação. A falta de uma adequada consciência de situação tem sido repetidamente considerada o fator causal principal em acidentes aéreos atribuídos a erros humanos – 88% de acordo com o *National Transportation Safety Board* – NTSB (ENDSLEY, 1995a; ORASANU & FISCHER, 1997). Nestes acidentes, o erro foi atribuído a uma avaliação da situação errônea que levou a escolha de uma opção incorreta (ENDSLEY, 1995a). Daí decorre a importância de sabermos como os operadores constroem sua consciência da situação para a gestão de risco da instalação.

Foge ao escopo desta tese uma análise aprofundada da consciência da situação, mas as nossas observações a respeito de como os operadores mantêm rastreadas as situações variáveis e dinâmicas de um micro incidente, identificando os fatores críticos envolvidos na avaliação de situação, nos permitem tecer algumas considerações sobre como os operadores constroem sua consciência da situação. Para isso é necessária uma melhor definição deste conceito.

O termo consciência da situação está relacionado a como as pessoas constroem uma representação mental de uma situação específica. Esta representação mental da

situação tem recebido diversas denominações, como modelo mental (JONSON-LAIRD, 1983) e consciência da situação (PRINCE & SALAS, 1997). Alguns pesquisadores enfatizaram os processos cognitivos como atenção, memória e percepção (ver modelo de ENDSLEY (1995b) no capítulo 3). O debate a respeito do que seja consciência da situação continua em aberto, mas para efeito desta tese, consideramos consciência da situação o processo de construção da representação mental de uma situação específica. Assim, a avaliação da situação se refere ao conjunto de processos pelos quais o estado de consciência (da situação) é atingido, como sugerem SARTER & WOODS (1991).

A consciência de situação, segundo (ENDSLEY, 1997), envolve a percepção de fatores críticos no ambiente, a compreensão do que esses fatores significam em relação à meta do indivíduo, e uma compreensão do que acontecerá com o sistema no futuro próximo. A consciência da situação fornece a contribuição primária para o processo de tomada de decisão e forma a base para seleção do curso da ação.

Assim sendo, a consciência de situação pode ser definida enfatizando o estado presente:

“A acessibilidade a uma representação da situação coerente e abrangente a qual está sendo atualizada continuamente conforme os resultados de uma avaliação de situação recorrente” (SARTER & WOODS, 1991).

Ou ainda, acrescentando expectativas de desenvolvimentos futuros:

“A percepção dos elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão do seu significado e a projeção do seu estado no próximo futuro” (ENDSLEY, 1988).

Para os operadores é necessário assumir que a consciência de situação inclui uma habilidade para se antecipar mudanças na situação, condição essencial para que os riscos sejam minimizados por meio de estratégias pró-ativas.

A formação da consciência da situação pelos operadores: Nossas observações do trabalho dos operadores mostraram que, para a tomada de decisões durante os micro incidentes, a maior parte do tempo era gasta para monitorar os processos (não só por meio da interface H/M), receber *feedback* a respeito das ações implementadas, e discutir

no âmbito da equipe aspectos específicos a serem tratados, isto é, para construir uma consciência da situação.

Vimos que esta construção se inicia a partir do momento que os operadores entram na sala de controle e iniciam os procedimentos de passagem de turno. É a partir das passagem de turno que os operadores recebem as primeiras informações para iniciar sua avaliação da situação. Nosso estudo de caso apontou para diversas limitações neste processo: 1) nem todas as informações estão nos documentos de passagem de turno; 2) a maioria da informações está armazenada na memória da parte humana do sistema (operadores, instrumentistas, pessoal de manutenção) e é repassada verbalmente; 3) os procedimentos de passagem de turno ocorrem em paralelo à operação da usina; 4) cada operador recebe informação do operador do posto correspondente, fazendo com que cada um tenha acesso a conjunto diferente de informações. Estas características implicam numa troca de informações com diversas limitações (limitada capacidade da memória de trabalho, atividades em paralelo, representações parciais), podendo fazer com que determinados pacotes de informação, perdidos na entropia do sistema, dificultem a avaliação da situação e, conseqüentemente prejudiquem a formação de uma consciência adequada da situação.

6.7 Resumo do capítulo

Nos apropriamos de dois modelos usados na TDN para descrever e modelar as tomadas de decisão de operadores de usinas nucleares: o modelo RPD e a taxonomia SRK. O modelo RPD se mostrou adequado para descrever as decisões, mas limitado em relação aos mecanismos cognitivos envolvidos e aos aportes que a modelagem pode proporcionar para o contexto analisado. A taxonomia SRK se mostrou mais adequada e permitiu modelar a maioria das tomadas de decisão a partir de regras condição-ação, que sugerem importantes indicações para novas pesquisas na área de ferramentas de auxílio à tomadas de decisão. A dificuldade da passagem do nível de regras para o nível de conhecimento também foi constatada: face às restrições do contexto e dificuldades de suporte ao nível de conhecimento, os operadores procuram se manter no nível de regras, criando regras *ad hoc*, baseadas em sua experiência. Apresentamos ainda as áreas de problemas encontrados e suas relações com o processo de tomada de decisão e a formação da consciência da situação dos operadores.

7 CONCLUSÕES

O objetivo específico desta tese foi examinar a cognição dos operadores de sala de controle na sua tomada de decisão durante micro incidentes, determinando se eles usam uma estratégia de tomada de decisão naturalista ou normativa. Quer dizer, se eles reconhecem a situação como familiar e baseiam suas decisões em reconhecimento ou regras condição-ação geradas em série (naturalista), ou eles compararam concorrentemente e contrastam opções, interpretam a situação e o curso de ação, antes de selecionar o melhor possível (normativo). A ênfase foi na compreensão da situação pelas equipes observadas (consciência da situação), a partir dos diversos tipos de informação disponíveis e restrições do contexto. Dada a sua posição hierárquica, o Supervisor de turno foi aquele que teve o maior número de decisões analisadas. No estudo de caso numa usina nuclear, a metodologia empregada para a obtenção de dados foi uma análise do trabalho dos operadores a partir de uma abordagem sócio-técnica, baseada em aportes da ergonomia, etnologia e teoria dos sistemas complexos. A análise dos dados obtidos foi baseada em modelos de tomadas de decisão naturalistas.

Este capítulo apresenta as conclusões sobre a tomada de decisão dos operadores, baseado na pesquisa conduzida durante o desenvolvimento desta tese, procura discutir como a ergonomia pode auxiliar na gestão de risco, avalia os métodos empregados e aponta para novas pesquisas necessárias para esclarecer diversos pontos levantados por este trabalho, que pode ser visto como exploratório, deixando, conseqüentemente, uma série de questões em aberto.

7.1 As tomadas de decisão dos operadores de usinas nucleares

As conclusões principais sobre as tomadas de decisão e uso de procedimentos pelos operadores de salas de controle de usinas nucleares durante micro incidentes derivadas das diversas observações (capítulo 5) e dos resultados (capítulo 6) desta tese são:

1. As tomadas de decisão dos operadores durante os micro incidentes ou eventos ocorridos durante a operação da usina são baseadas principalmente em regras de condição-ação.

2. Em situações não familiares (micro incidentes), os operadores flexibilizam os procedimentos, construindo novas regras *ad hoc* e tomando decisões baseadas em reconhecimento de padrões, na sua experiência e no seu conhecimento geral do processo.
3. Operadores têm dificuldades para determinar quando os procedimentos que eles, supostamente, devem seguir a risca, não são mais apropriados para lidar com uma situação nova.
4. Operadores não têm a ajuda suficiente para saber se (e quando) procedimentos poderiam ser modificados *ad hoc*, momentaneamente e sem afetar a segurança.
5. Decisões são predominantemente baseadas em opções geradas em série e monitoração do curso da ação escolhido. Há pouca evidência de uma efetiva comparação de opções antes da escolha do curso da ação.
6. O ambiente, ou contexto sócio-técnico limita fortemente o número de opções disponíveis.
7. Grande parte das decisões são compartilhadas entre os diversos componentes da equipe de operação e entre estes e pessoal de outros setores (manutenção, instrumentação, engenharia etc.).
8. A maior parte do tempo gasto numa tomada de decisão durante micro incidentes se refere ao período de construção da consciência da situação.
9. A construção da consciência da situação é dificultada por informações incompletas, difusas e distribuídas pela memória do sistema cognitivo compartilhado.
10. A necessidade de cumprir cronogramas (pressão organizacional) emoldura as tomadas de decisão de Supervisores de turno.

11. Restrições para tomadas de decisão foram identificadas nas seguintes áreas de problemas: procedimentos, planejamento, passagem de turno, busca da informação, avaliação da situação, recursos de comunicação, opacidade da automação, interface H/M.

7.2 Ergonomia, gestão de risco e organização

O que é evidente a partir dos resultados obtidos nesta tese é que os padrões de competência ou excelência no desempenho humano das organizações que lidam com tecnologias perigosas usados para avaliação de desempenho, treinamento de operadores, enfim da concepção da organização do trabalho de um modo geral, diferem do que é requerido para um desempenho efetivo de suas atividades. As mais recentes descrições destes padrões (ver capítulo 2), que delineiam os critérios para um desempenho efetivo, sugerem um modelo de tomada de decisão, baseado numa busca rápida de informação e sua interpretação a partir de todas as fontes disponíveis, utilização apropriada de recursos, e seleção de um curso de ação válido baseado nestas informações. Além disso, uma revisão de conseqüências potenciais e respectivas probabilidades de sucesso das ações de resposta e o desenvolvimento de um plano de ação são requeridos. Essencialmente esta é a descrição de um processo normativo de tomada de decisão. Esta abordagem normativa descrita pela indústria, contrasta com as conclusões desta tese.

Nossas conclusões mostraram que as tomadas de decisão dos operadores de sala de controle de usinas nucleares têm um viés predominantemente naturalista. Especialmente a indústria nuclear precisa reconhecer este fato, para assegurar a utilização de padrões de excelência no desempenho operacional que levem em consideração as formas de tomadas de decisão realmente empregadas pelos operadores das usinas e não aquelas que as organizações supõem que eles estejam usando.

No capítulo 1 vimos que o sistema de gestão de risco de uma organização que lida com tecnologias perigosas parte de um conjunto de estratégias organizacionais que visam a minimizar o risco de acidentes. A análise do trabalho dos operadores, a partir dos aportes da ergonomia, permitiu que áreas de problemas relacionadas aos micro incidentes fossem identificadas (ver capítulo 6 e figura 6.5) e caracterizadas como restrições para as tomadas de decisão dos operadores. Considerando que as tomadas de decisão são o resultado final da cognição em um sistema sócio-técnico, estas áreas de

problemas foram agrupadas de acordo com suas características em 3 áreas estratégicas, conforme o quadro 7.1.

Quadro 7.1 Agrupamento das áreas de problemas.

Áreas identificadas	Áreas estratégicas
Procedimento, planejamento, regras formais e informais	Uso de procedimentos
Busca da informação, avaliação da situação, passagem de turno	Consciência da situação
Opacidade da automação, falhas em equipamentos, interface H/M, recursos de comunicação	<i>Hardware</i> ou ambiente físico

A seguir discutiremos os problemas que constatamos em cada uma das áreas estratégicas do quadro 7.1.

7.2.1 O uso de procedimentos

Os procedimentos, de diversos tipos, são a principal fonte de auxílio com que contam os operadores das usinas para realizar as tarefas de operação. Entretanto, os inúmeros problemas relacionados ao uso de procedimentos com os quais nos deparamos em nosso estudo de caso (em praticamente todos os micro incidentes descritos no capítulo 5 há discussões a respeito de procedimentos), sugerem uma compreensão inadequada a respeito da concepção do trabalho real dos operadores, e conseqüentemente, da forma como os procedimentos devem ser utilizados, elaborados, modificados, validados.

No capítulo 1, observamos que a concepção procedural do trabalho dos operadores, baseada em instruções detalhadas que se supõe sejam seguidas à risca, possui limitações em função da dificuldade dos projetistas dos sistemas de preverem as ações que serão efetivamente necessárias em situações novas e devido as restrições impostas pelo contexto de trabalho. Consideramos que esta questão foi didaticamente demonstrada a partir das discussões entre operadores e instrutor no treinamento em simulador. O EOP que manda reduzir a pressão até 80 bar não considera as variabilidades do processo (no caso, o modelo matemático do simulador, mas pode muito bem ser remetida para variabilidades dos instrumentos de medida). A limitação da

concepção procedural do trabalho dos operadores aparece quando eles procuram seguir o procedimento a risca, e perdem de vista o estado geral do processo, fazendo com que o instrutor interrompa o treinamento e os alerte para a situação.

A segunda questão levantada indica que, face à limitação acima, os operadores das usinas nucleares têm dificuldades para determinar quando os procedimentos que eles, supostamente, devem seguir a risca, não são mais apropriados para lidar com a situação. Além do treinamento em simulador, diversos micro incidentes analisados comprovaram situações deste tipo. No evento compatibilidade de procedimentos, por exemplo, os operadores procuram descobrir se o procedimento de teste considera a situação operacional da planta, para decidir se devem ou não segui-lo; o Supervisor se depara com procedimentos de testes, com requisitos (realizar testes com o reator sub crítico frio) incompatíveis com outro procedimento, o planejamento de parada, e toma a decisão de não seguir os requisitos do procedimento de teste. Ou seja, dependendo da situação, metas, pressões, metacoscienza, os operadores flexibilizam procedimentos face a dificuldades inerentes às postulações e incongruências neles contidas.

As modificações *ad hoc* de procedimentos (não cumprimento de requisitos escritos) durante a operação, como no exemplo dos micro incidentes de liberação/suspensão de testes, compatibilidade de procedimentos; o uso de estratégias baseadas em analogias (“*subir a potência em 5% para ver se para a oscilação*”), ou tentativa e erro (evento operação chave), além da discussão no treinamento em simulador, nos remetem a terceira questão que levantamos no capítulo 1, que estabelece que os operadores não têm a ajuda necessária para saber se (e quando) procedimentos poderiam ser modificados, momentaneamente e sem afetar a segurança, para lidar com micro incidentes de modo eficiente e seguro.

Finalmente a última questão colocada no capítulo 1, de que em situações novas, nas quais os operadores não podem contar com o suporte de procedimentos escritos, eles mudam o nível de controle cognitivo e passam a trabalhar ao nível de conhecimento, não foi corroborada mediante as informações disponíveis, como vimos no capítulo 6.

Nos protocolos verbais os operadores constantemente discutiam a pertinência, completude, compatibilidade, temporalidade, coerência, adequação ou correção de procedimentos, antes e durante sua utilização. A relação dos operadores com as prescrições esteve presente em diversas dimensões do seu trabalho, desde sua interação com a tecnologia (procedimentos X automatismo) até as relações de poder na

organização (responsabilidades e sanções por não cumprimento de procedimentos), que constatamos durante o treinamento no simulador.

O suporte insuficiente propiciado por um sistema sócio-técnico regido por regras rígidas para lidar com situações novas (ver itens 2, 3 e 4 das conclusões sobre as tomadas de decisão) é também uma decorrência do fato de que as pessoas que conceberam os projetos que resultaram nos sistemas técnicos utilizados, e aquelas pessoas que conceberam a organização do trabalho e controlam os recursos e/ou informações necessárias à realização das tarefas dos operadores, não tenham conseguido disponibilizar todas as informações necessárias para que a atividade dos operadores fosse executada de modo simples, a partir do conjunto de regras formais bem definidas, contidas nos procedimentos da usina.

Entretanto, a forma punitiva que o não cumprimento de procedimentos é tratada (ver discussões no treinamento em simulador) sugere que os níveis hierárquicos mais elevados da organização, que concebem o sistema de trabalho, supõem que estas informações estão disponíveis para que o trabalho possa ser executado a partir dos procedimentos seguidos à risca, remetendo os operadores ao uso de estratégias de contorno a estas prescrições.

Esta é uma das principais contribuições deste trabalho para auxiliar no desenvolvimento de estratégias efetivas de gestão de risco. Vimos em nosso estudo de caso que as regras formais, dotadas de uma capacidade de ajuste infinitamente menor do que as práticas, são constantemente transcendidas pelos atores de modo que eles possam atingir seus objetivos operacionais. Esta (quase) obrigação de infração às regras estabelecidas enseja aos operadores a criação de margens de autonomia, de nichos de informação privados, de grupos de poder (alguns sabem as maneiras de realizar tarefas com menos custo/risco cognitivo). Por exemplo, em nosso estudo de caso vimos, em diversas ocasiões, operadores passando informações sobre como operar determinados sistemas de forma quase clandestina, Chefes de Usina pressionando Supervisores a executar o maior número possível de tarefas no menor prazo disponível, levando a que procedimentos não fossem cumpridos, causando evidentes tensões na equipe de operação.

Neste sentido, torna-se difícil reconhecer se, quando um operador descobre “*um bizu*” (ver micro incidente problemas com válvulas, no capítulo 5), isto é, uma nova maneira de operar um sistema para *bypassar* algum tipo de restrição, se trata de um erro humano (segundo REASON (1990), uma violação) que pode gerar um acidente, ou se

trata de uma inovação do operador, que gera uma melhoria no desempenho operacional. Em outras palavras, operar de forma diferente aos padrões de competência estabelecidos (mesmo considerando que estes padrões não descrevem o comportamento real), é considerado critério de atribuição de culpa, o que dificulta a discussão e a incorporação das práticas informais utilizadas (algumas com sucesso, como vimos) nos procedimentos formais. Muitos operadores expressaram esta preocupação em entrevistas informais (e até mesmo no protocolo verbal, ver capítulo 6, treinamento no simulador): em caso de incidentes, independentemente se ações estivessem corretas ou não sob um ponto de vista pessoal/lógico/contextual, elas serão sempre criticadas pelos investigadores de acidentes, caso não estejam de acordo com os procedimentos.

7.2.2 A consciência da situação

Durante o seu trabalho os operadores buscam constantemente informações: 1) dos consoles e painéis de controle; 2) dos operadores de área; 3) de instrumentistas, engenheiros e pessoal de manutenção; e 4) de documentos como procedimentos, *checklists*, fluxogramas de engenharia, de modo a construir continuamente uma consciência da situação adequada ao estado presente e futuro da usina. Esta busca de informações sofre as restrições das áreas de problemas descritas na seção 6.5.

Em relação a consciência da situação, achamos importante nesta conclusão realçar que sendo ligada às metas dos operadores e a uma prospeção do estado futuro da situação, a consciência da situação está sujeita aos aspectos individuais e, conseqüentemente, a posição do operador na organização. Durante nosso estudo de caso, a tensão que se criou entre o Supervisor e os demais membros da equipe, nos eventos relacionados a liberação/suspensão de testes, pode ser considerado como o resultado de consciências da situação diferentes dentro da equipe: enquanto o Supervisor, pressionado pela Chefia da Usina para cumprir tarefas, considerava que os testes deveriam ser feitos, pois sua influência na operação poderia ser controlada, os operadores, ao contrário, sempre que tinham oportunidade pediam pela suspensão destes testes, em alguns casos sem ter a absoluta certeza se eram realmente os testes que prejudicavam a operação (ver micro incidente bloqueio do JN).

Estas tensões, formadas por consciências da situação diferentes no âmbito da equipe de operação, fazem emergir uma questão fundamental (que depende de mais

pesquisas para uma resposta conclusiva) para a operação e gestão de risco de sistemas complexos, que é a seguinte:

É possível construir uma consciência mútua da situação – uma consciência da situação que possa ser compartilhada por todos os agentes – que esteja de acordo com as estratégias de mais alto nível expostas pela organização, preconizadas pelo seu sistema de gestão de risco (Cultura de Segurança, por exemplo), considerando aspectos como a complexidade do sistema, os diversos agentes envolvidos e seus valores assumidos, isto é, suas diferentes metas e características pessoais e contingenciais?

7.2.3 Hardware ou ambiente físico

Nesta categoria de problemas estão as restrições que os diversos tipos de sistemas que formam o ambiente físico, causam para o trabalho dos operadores. No capítulo 5 foi apresentada uma análise que mostrou algumas destas restrições. Embora o escopo deste trabalho não fosse avaliar estas restrições para propor modificações neste ambiente de trabalho, tornou-se claro que a organização precisa se preocupar em modernizar seus sistemas e introduzir modificações que facilitem a busca de informações pelos operadores. Assim sendo, desde o *layout* da Sala de Controle, o sistema de controle/instrumentação, alarmes e automação, os sistemas de comunicação apresentaram diversos problemas (ver capítulo 5), e devem fazer parte de um programa integrado para melhoria da usina.

Estes problemas são um reflexo das políticas governamentais para o setor nuclear brasileiro. Ao retardar o término do projeto em cerca de 14 anos, alguns componentes e sistemas adquiridos ao longo deste processo já se tornaram obsoletos, em especial os sistemas relacionados a instrumentação, controle e automação, e comunicação que experimentaram recentemente um grande desenvolvimento, se beneficiando não só da tecnologia dos micro processadores, como também dos diversos estudos em ergonomia e fatores humanos já incorporados em sistemas mais modernos.

7.3 Considerações sobre os problemas da metodologia

Neste momento, achamos importante relatar alguns problemas metodológicos encontrados, de modo a auxiliar a realização de novas pesquisas semelhantes. Nossa metodologia (ver capítulos 4 e 5) se escorou na presença dos ergonômistas na situação de trabalho e na análise de protocolos verbais obtidos durante a operação da usina nuclear. Os problemas principais da metodologia utilizada foram:

1. A metodologia é intrusiva. A necessária (ver capítulo 4) presença dos ergonômistas junto aos operadores introduz mais restrições ao já complicado trabalho dos operadores.
2. A complexidade das situações vividas na Sala de Controle e o grande número de pessoas envolvidas tornou difícil distinguir entre decisões individuais, tomadas por um determinado operador e decisões coletivas, tomadas por mais de um operador.
3. Ainda em função da complexidade de um cenário natural, havia muitas variáveis para serem consideradas.
4. Protocolos verbais induzem, eles mesmos, a uma geração em série do pensamento. Pode existir algum tipo de processamento paralelo para o qual a metodologia falha em reconhecer e para o qual há que se fiar nas inferências do analista, que devem se sujeitar a uma confirmação (validação) posterior, nem sempre possível em nosso estudo.
5. A transcrição dos protocolos é um processo que consome um tempo elevado e sua compreensão requer conhecimento do funcionamento dos sistemas da instalação.
6. O esquema de codificação inicial relativo ao modelo RPD se revelou muito complexo para lidar com os protocolos obtidos. Embora os pontos de decisão sejam relativamente fáceis de identificar, a avaliação da situação, avaliação da ação, construção de estórias, e geração de opções eram difíceis de separar em função da natureza desses protocolos.

7. O processo de validação/restituição foi dificultado pelas peculiaridades da instrução da demanda (não havia uma demanda gerencial para esta pesquisa) e pela pouca disponibilidade de tempo dos operadores.

7.4 Implicações para novas pesquisas

Para onde esta pesquisa conduz? Vários temas fundamentais emergiram continuamente ao longo desta tese, elevando o quadro prospectivo de possíveis investigações adicionais. Discutiremos brevemente alguns deles a seguir.

Auxílio às tomadas de decisão: Um tema que já mencionamos nesta tese, é a possibilidade de desenvolver sistemas de suporte a tomadas de decisão para auxiliar os operadores na avaliação das situações e para a tomada de decisões mais efetivas, considerando seu comportamento real durante a operação. O fato de que a maioria das decisões pôde ser escrita a partir de regras de condição-ação simples reforça esta sugestão. A observação de que a maioria destas regras não está contida nos procedimentos escritos, faz com que o estudo e a possibilidade de incorporação destas regras tácitas em sistemas de ajuda computadorizados se torne também numa ferramenta importante para uma reflexão a respeito dessas novas regras, fundamental para a democratização do conhecimento na usina.

Assim sendo, propomos pesquisas para o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão abertos, baseados na realidade do trabalho, que facilitem o tipo de decisão que observamos durante esta pesquisa e que difere dos sistemas de suporte computadorizados, baseados em procedimentos e numa filosofia normativa (para uma revisão de sistemas de suporte computadorizados na área nuclear ver IAEA, 1998). O advento de computadores tipo *palm top*, que podem ler informações escritas à mão livre, pode auxiliar o desenvolvimento deste tipo de sistema. Os operadores poderiam tomar notas a respeito da situação que seriam processadas imediatamente pelo computador, que sugeriria outras perguntas e possíveis decisões. Redes neurais reconheceriam os padrões da situação a partir das informações dos operadores e do sistema de I/C e formariam a base para o processamento das informações. Quer dizer, um sistema aberto baseado em construções imediatas, que discute e sugere ações, em lugar de um sistema fechado que prescreve ações. É claro que o uso deste tipo de ferramenta “não afirmativa” numa usina nuclear, que pode inclusive dar respostas do tipo “não sei”,

implicaria numa completa revisão do sistema de trabalho, envolvendo desde aspectos administrativos, como punições, até mudanças radicais nos processos de treinamento de operadores.

Um problema para o desenvolvimento deste tipo de sistema é a vontade da indústria para investir, e dos Órgãos Licenciadores para aceitar, um tipo de sistema que pressupõe uma operação de forma diversa daquela preconizada pelos padrões de competência, os quais consideram que operadores tomam decisões normativas, a partir de procedimentos seguidos a risca.

Linguística: A comunicação entre os operadores, especialmente entre os SRO (Supervisores e Encarregados) e os RO (operadores do reator e circuito secundário) fornece uma perspectiva interessante sobre os efeitos da dinâmica de grupo nas modificações da linguagem (jargões de trabalho). Embora alguns dos operadores tenham sido observados trabalhando com Supervisores diferentes, vimos que seu uso da terminologia, por vezes se modifica, para se adequar à pessoa no comando.

Adaptações da linguagem foram observadas em diversas ocasiões. Elas obviamente sempre servem a alguma função, sendo a mais provável uma redução de elementos confusos, que podem impactar na interpretação e compreensão da situação. Ela facilita a comunicação, permitindo que orações incompletas se tornem significantes (ver exemplo de diálogos no evento caldeira: “... *vou partir a 2* ...”, capítulo 5). Também minimiza a necessidade dos operadores se expressarem em orações longas, possibilitando uma economia cognitiva que pode ser usada em outras tarefas mais importantes. Porém, às vezes, a simplificação excessiva torna sua decodificação pelo ouvinte muito complexa, como respostas de 1 palavra carregando até 3 mensagens: uma afirmação, uma rejeição e um pedido de esclarecimento para outro membro da equipe. Neste momento, o real significado precisa ser interpretado com base no tom de voz, comportamento não-verbal, ou expressão facial, uma tarefa que pode se tornar difícil em emergências quando alarmes soam, ocorrem comunicações em paralelo por meio dos vários sistemas e os operadores precisam manter a consciência dos diferentes aspectos do desenvolvimento da emergência. Pesquisas futuras poderiam investigar como a linguagem se modifica e se adapta às diferentes situações.

Comunicação: A comunicação poderia ser investigada de diversas formas. A primeira delas é uma decorrência direta da simplificação da linguagem, mencionada acima e, de modo geral, da simplificação da própria informação disponível, incluindo aí a informação escrita. Observamos que desde a passagem de turno, os operadores buscam informações contidas na memória do sistema e que a maior parte dessas informações é passada verbalmente. Observamos ainda que muitas vezes os operadores preenchem os vazios da informação (informação porosa) com suas próprias inferências. Verificar a influência destes buracos de informação na formação da consciência da situação dos operadores é, sem dúvida, uma área interessante para as próximas investigações.

Outro ponto relacionado a comunicação que pode ser pesquisado é a forma de comunicação usada pelos Supervisores e Encarregados para obter informação dos operadores nos períodos de intervalo, isto é, quando não existem micro incidentes. Observamos 2 modos de administrar estes períodos de intervalo. Alguns Supervisores e Encarregados extraíam a informação dos operadores a respeito do estado da situação, perguntando a cada operador, um por vez. Outros Supervisores, expressavam a sua consciência da situação no momento, e pediam para os outros operadores que preenchessem as eventuais lacunas existentes.

O primeiro método proporciona para o Supervisor/Encarregado a mais recente informação disponível. Porém, não ajuda o resto da equipe a obter *insights* sobre como a situação global estava evoluindo. Como resultado, os Supervisores e Encarregados possuíam um quadro mais completo da evolução da situação. Isto pode se tornar um problema, se o Supervisor deixar que o *stress*, durante uma emergência grave, faça com que ele perca do controle cognitivo da situação. Neste caso, como segundo em comando, o Encarregado teria não só que monitorar o comportamento do Supervisor, mas também assinalar quando intervenções impróprias fossem solicitadas, ou quando o Supervisor não reagisse a estímulos específicos.

O segundo método, por outro lado, fornece à equipe um quadro geral mais abrangente da situação, que aumenta a consciência da equipe em relação ao estado presente da situação e sua evolução no futuro próximo. Também permite ao Supervisor verbalizar a sua própria consciência da situação, um modo útil de repassar a memória de trabalho (ver passagens de turno no capítulo 5) e de se lembrar do que exatamente estava acontecendo. De uma perspectiva de treinamento, o segundo método parece preferível e deveria ser encorajado, desde que toda a equipe seja treinada a desafiar

abertamente ou criticar a interpretação do Supervisor (vimos que esta crítica aberta só ocorreu quando a situação se tornou insustentável; ver eventos sobre testes, capítulo 5). Porém, se o estilo de liderança do Supervisor é autocrático, este pode não ser um método satisfatório, uma vez que a equipe pode achar difícil discordar da avaliação da situação do Supervisor.

Comando e controle em situações de (micro) emergências nas usinas depende do trabalho da equipe, assim a melhor equipe é aquela que interage e entende o que acontece.

Treinamento: Há vários aspectos relacionados ao treinamento que podem ser levantados. O treinamento fornecido para os operadores e especialmente para os Supervisores poderia ser fortalecido por componentes que poderiam ser acrescentados aos programas existentes, composto de temas eminentemente técnicos. No momento da realização desta pesquisa, havia apenas 1 treinamento de 1 semana em Performance Humana, fornecido por instrutores do WANO (2000), que procura reforçar os critérios de desempenho nominal e os padrões de competência da indústria. Embora existam palestras no âmbito do programa de Cultura de Segurança da organização que procurem realçar outros aspectos do desempenho, como por exemplo a dinâmica de grupo, muito mais pode ser feito para melhorar o processo de aprendizagem.

Definitivamente os operadores se beneficiam do uso de um simulador de alta-fidelidade. Porém, só são feitos regularmente treinamentos de “manobra”, isto é, como operar a planta durante determinado tipo de acidente. O desenvolvimento de sistemas de treinamento que simulem o dia-a-dia da operação, como já ocorre no setor aeronáutico para disseminar, por exemplo, melhores práticas de comunicação seriam muito bem vindos.

Trabalho em equipe: O trabalho em equipe não recebeu muita atenção durante a fase de análise dos resultados feita nesta tese, mas nossas observações poderiam fornecer bastante material, provavelmente para uma nova tese neste assunto. Os resultados indicaram que a equipe tem um papel fundamental nas respostas aos micro incidentes e conseqüentemente para as situações de emergência. Habilidades de comunicação efetivas, conhecimento das forças e fraquezas de cada membro da equipe, e habilidade para reconhecer reações de tensão, como também a aplicação um estilo de liderança satisfatório que não impacte negativamente a força de coesão da equipe,

dentro do contexto organizacional são todos os tópicos de pesquisas importantes para uma melhoria do gerenciamento de emergências.

7.5 Finalmente

Esta tese descreveu os processos de tomadas de decisão para responder à situações de micro incidentes, e demonstrou que os operadores empregam estratégias naturalistas, mais especificamente, estratégias baseadas em regras de condição-ação geradas em série. Realçou algumas das forças e fraquezas da pesquisa aplicada, por exemplo, que um nível alto de validade ecológica, medido em termos de realismo, fornece baixo nível de generalização, mas também uma grande especificidade na descrição da atividade. De uma perspectiva aplicada, as conclusões que derivaram da análise detalhada das tomadas de decisão de operadores podem ser usadas para o desenvolvimento novas formas de treinamento e outros tipos de sistemas de suporte à tomada de decisão. De uma perspectiva teórica, os resultados de modo geral correspondem às pesquisas anteriores, tanto em ergonomia com relação a diferença entre prescrito e real, quanto em relação aos modos de tomadas de decisão observados em TDN, sugerindo que os tomadores de decisão confiam em regras e reconhecimento de padrões para administrar as situações encontradas. De uma perspectiva organizacional aparecem as contribuições para o desenvolvimento de estratégias para a melhoria do sistema de gestão de risco, a partir de um melhor conhecimento das modalidades de ação dos operadores e das áreas de problemas identificadas.

Nesta pesquisa emergiram questionamentos que propõem uma reflexão a respeito do papel dos trabalhadores e da concepção de sistemas de trabalho e gestão de risco nas organizações que lidam com tecnologias perigosas. Vimos que essas organizações baseiam a concepção de seu sistema de trabalho e gestão de risco em padrões e processos normativos, o que contrasta com as nossas conclusões. Considerando que os padrões não descrevem o comportamento real, o erro humano se torna uma categoria fácil para ser preenchida, especialmente pelos investigadores de acidentes. Talvez seja esta a razão dos resultados de diversos estudos, que persistem em indicar erros humanos como responsáveis pela maior parte dos incidentes/acidentes operacionais.

Situações como a realização de testes fora das condições operacionais especificadas (acidente de *Chernobil*), incerteza a respeito do estado de equipamentos

em manutenção (presente no acidente da plataforma *Piper Alpha*), *bypass* de automatismos (TMI, *Chernobil*), estiveram presentes nos micro incidentes descritos neste trabalho e, certamente, em caso de acidente, seriam criticadas pelos investigadores e consideradas como violações graves, trazendo como resultado a punição de algum operador e o aumento das estatísticas de erros humanos como causas de acidentes; como micro incidentes, sequer apareceram nos registros de turno.

Entretanto, nossa pesquisa, juntamente com as dezenas de estudos em ergonomia e TDN citados sugerem que situações como estas, de “violações”, ou de contorno a um modo nominal (ideal) de trabalho que se supõe existir, estão sempre presentes, nos mais diversos setores industriais, independentemente do nível tecnológico (desde a construção civil, passando por centrais de atendimento até usinas nucleares, aviação, ou comando e controle militar), da cultura do país ou da organização; enfim a condição necessária e suficiente para a sua existência é o trabalho de seres humanos.

Os aportes da psicologia ecológica nos mostram que estratégias naturalistas, que foram forjadas ao longo dos milhares de anos de evolução do nosso sistema nervoso, como percepção seletiva, educação da atenção, reconhecimento de padrões, uso de regras simples, analogias, teste de hipóteses (tentativa e erro) são inerentes ao contínuo processo de sintonia dos seres humanos com seu ambiente.

Negá-las, acreditando que exista uma forma de padronizar o comportamento humano mediante prescrições e punições, não impede seu uso, como os estudos demonstram, mas introduz tensões na organização. Estas tensões dificultam uma reflexão sobre as práticas e a evolução da metacognição, como metaconhecimento, metacsciência, confiança etc., que habilitam os operadores a identificar e corrigir erros, permitindo que eles regulem seus compromissos e riscos cognitivos coerentemente em função da situação, o que se constitui na verdadeira segurança para o desempenho dos operadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMALBERTI, R., 1992, "Safety in process control: an operator centered point of view", *Reliability Engineering and System Safety*, n.38, pp.1-3.
- AMALBERTI, R., 1996, *La Conduite de Systèmes à Risques*. Le travail Humaine, Paris, Presses Universitaires de France - puf.
- BARNES, V., AND HAAGENSEN, B., 2002, *The Human Performance Evaluation Process: A Resource for Reviewing the Identification and Resolution of Human Performance Problems*. NUREG/CR-6751, Nuclear Regulatory Commission, Washington Dc.
- BARTLETT, F. C., 1932, *Remembering: A study of experimental and social psychology*. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- BOVELL, C., CARTER, R., BECK, M., *Nuclear Power Plant Control Room Monitoring Tasks*. ORNL/TM-11726, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- BREHMER, B., 1992, "Dynamic decision making: Human control of complex systems." *Acta Psychologica*, n.81, pp. 211-241.
- BRESSOLLE, M.C., DECORTIS, F., B. PAVARD, B. AND SALEMBIER, P. ,1996, *Traitement cognitif et organisationnel des micro-incidentes dans le domaine du contrôle aérien : analyse des boucles de régulation formelles et informelles*, Toulouse, France, Octarès.
- BRUNSWICK, E., 1956, *Perception and the representative design of experiments*. (2nd ed.). Berkeley, CA: University of California Press.
- CALDERWOOD, R., CRANDALL, B., & KLEIN, G.,1987, *Expert and novice fire ground command decisions*. Dayton, OH, Klein Associates Inc.
- CANNON-BOWERS, J., SALAS, E., AND CONVERSE, S., 1993, "Shared mental models in expert team decision making." In: J. C. Jr (ed.), *Current issues in individual and group decision making*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2000a, "Programa de pesquisa em ergonomia e fatores humanos da Comissão Nacional de Energia Nuclear", Em: *Anais do X Congresso Brasileiro de Ergonomia, (X ABERGO)*, Rio de Janeiro, Brasil, Set.

- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2000b, “Modelagem Cognitiva de Acidentes”, Em: *Anais do X Congresso Brasileiro de Ergonomia, (X ABERGO)*, Rio de Janeiro, Brasil, Set.
- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2001, “A Sociotechnical Review of the REDUC's Oil Pipeline Accident Occurred in 18-01-2000 in Rio de Janeiro”, In: *Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety, (CAES 2001)*, Maui, Hawaii, USA, Aug.
- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2002a, “O Trabalho dos Operadores de Salas de Controle das Usinas Nucleares Brasileiras.” Em: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Ergonomia, (XII ABERGO)*, Recife, Brasil, Set.
- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2002b, “Efeitos das comunicações de operadores na confiabilidade de usinas nucleares”, *Ação Ergonômica: a ergonomia e as interações*, v.1, n.3, pp. 87-102.
- CARVALHO, P. V. R. E VIDAL, M. C. R., 2003, “Ergonomics and reliability of high risk organisations: the nuclear power plant operation under the complexity theory paradigm”, *To be presented on the XVth Triennial Congress of the International Ergonomics Association, (IEA 2003)*, Seoul, Republic of Korea, Aug.
- CHI, M. T. H., GLASER, R., & FARR, M. J. , 1988, *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- CHIDESTER, R. , KANKI, B., FOUSHEE, H., et al., 1990. *Personality factors in flight operations*. NASA - Ames Research Center, Moffett Field, CA.
- CNEN-NE-1.01, 1979, *Licenciamento de Operadores de Reatores Nucleares*. Rio de Janeiro, Brasil, Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- CONNOLLY, T., & WAGNER, W. G. ,1988, “Decision cycles.” In: R. L. Candy, S. M. Pugger, & M. M. Newman (eds.), *Advances in information processing in organizations*, Vol. 3, Greenwich, CT, JAI Press.
- COHEN, M. S., AND FREEMAN, J. T., 1997, “Understanding and enhancing critical thinking in recognition-based decision making.” In: R. Flin, E. Salas, M. Strub, & L. Martin (eds.), *Decision making under stress. Emerging themes and applications*. Aldershot, Ashgate.
- CRANDALL, B., KLEIN, G. A., MILITELLO, L. G., & WOLF, S. P.,1994, *Tools for applied cognitive task analysis*. Dayton, OH, Klein Associates Inc.
- DANIELLOU, F., 1992, *Lo statut de la pratique e des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception*. Toulouse, Université de Toulouse.

- DE TERSAC, G., 1992, *Autonomie dans le travail*. Paris, Presses Universitaires de France – puf.
- DE TERSSAC, G. ET LEPLAT, J., 1990, “La Fiabilité et L`ergonomie: Spécificité et Complémentarité”, *Revue de Psychologie Appliquée*, v. 40, n.3, pp. 377-386.
- DOHERTY, M. E.,1993, “A laboratory scientist's view of naturalistic decision making.” In: G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsombok (eds.), *Decision making in action: Models and methods* . Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.
- DOWELL, J., SMITH, W., & PIDGEON, N.,1997, “Design of the natural: An engineering process for naturalistic decision making.” In: R. Flin, E. Salas, M. Strub, & L. Martin (eds.), *Decision making under stress. Emerging themes and applications*. Aldershot, UK: Ashgate.
- DUARTE, F. C. M., 1994, *A análise ergonômica do trabalho e a determinação de efetivos: estudo da modernização tecnológica de uma refinaria de petróleo no Brasil*. Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Orientação Mario Vidal.
- EBBESSEN, E. B., AND KONECI, V. J.,1980, “On the validity of decision-making research: What do we know about decisions in the real world?” In: T. S. Wallsten (ed.), *Cognitive processes in choice and decision behavior*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- EDWARDS, E., 1954, “The Theory of Decision Making”, *Psychological Bulletin*, n.51, pp. 225-250.
- EDWARDS, W., & NEWMAN, J. R., 1992, *Multiattribute evaluation*. Beverley Hills, CA, Sage.
- EMBREY, D., 1994, *Preventing Human Error in Process Safety*. American Institute of Chemical Engineers, USA.
- EMERSON ROBERT M., FRETZ, RACHEL I. SHAW LINDA L., 1995, *Writing ethnographic field notes*, Chicago, Illinois, The University of Chicago Press.
- ENGESTRON, I., 2000, “Activity Theory as a Framework for Analysing and Redesigning Work”, *Ergonomics*, v.43, n.7, pp. 960-974.
- ENDSLEY, M. R., 1988, “Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT).” Paper presented at the National Aerospace and Electronic Conference (NAECON), Dayton, Ohio.

- ENDSLEY, M. R., 1995a, "Measurement of situation awareness in dynamic systems." *Human Factors*, n.37, pp. 65-84.
- ENDSLEY, M. R., 1995b, "Toward a theory of situation awareness in dynamic systems." *Human Factors*, n. 37, pp. 65-84.
- ENDSLEY, M. R., 1997, "The role of situation awareness in naturalistic decision making." In: C. E. Zsombok & G. A. Klein (eds.), *Naturalistic decision making*. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- FAVERGE, J., 1970, "L'Homme , agent de fiabilité et d'infirmité." *Ergonomics*, n.13, pp. 301-327.
- FAVERGE, J., 1980, "Le travail en tant qu` activité de récupération." *Bulletin de psychologie*, n.33, pp. 203-206.
- FITTS, P. & JONES, R., 1957, "Analysis of Factors Contributing to 460 Pilot Error Experiences in Operating Aircraft Controls" Reprinted in: Sinaiko, H. W. (ed.), *Selected Papers on Human Factors in the Design and Use of Control Systems*, 1961, pp. 332-358, New York, Dover books.
- FLACH, J., 1990, "The Ecology of Human – Machine Systems: I. Introduction", *Ecological Psychology*, v.2, pp. 83-111.
- FLACH, J., HANCOCK, P., CAIRD, J., VICENTE, K.,1995, *Global Perspectives on Ecology of Human – Machine Systems*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- FOUSHEE, J. C., LAUBER, J. K., BAETGE, M. M., AND ACOMB, D. B., 1986, "Crew factors in flight operations: III: The operational significance of exposure to short-haul air transport operations." NASA - Ames Research Center. Moffett Field, CA.
- FULLMANN, C., 1975, *Estudo do trabalho*. Ivan Rossi Editora. São Bernardo do Campo, S. P.
- GABA, D. M.,1992, "Dynamic decision-making in anaesthesiology: Cognitive models and training approaches." In: D. A. Evans & V. L. Patel (eds.), *Advanced models of cognition for medical training and practice* . Berlin, D, Springer-Verlag.
- GENERAL PHYSICS CORP, 1983, *Task Analysis of Nuclear Power Plant Control Room Crews*. NUREG/CR-3371, Nuclear Regulatory Commission, Washington Dc.

- GERTMAN, D., HALBERT, B., PARRISH, M. et al., 2002, *Review of Findings for Human Performance Contribution to Risk in Operating Events*. NUREG/CR-6753, Nuclear Regulatory Commission, Washington Dc.
- GIBSON, J., 1966, *The senses considered as a perceptual system*. Boston, MA: Houghton-Mifflin.
- GIBSON, J., 1979, *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA, Houghton-Mifflin.
- GIRIN, J. & GRONJEAN, M., 1996, *La transgression des règles au travail*. Paris, L'Hamattan.
- GROENEWEG, J., 2000, "Tripod Delta: Managing Human Error by Changing the Organisation." Em: *Anais do X Congresso Brasileiro de Ergonomia, (X ABERGO)*, Rio de Janeiro, Brasil, Set.
- HATCHUEL, A., 1994, "Apprentissages collectifs et activités de conception." *Revue Française de Gestion*, Juin, Juillet, Août, pp. 109-120.
- HIRSHHORN, I., 1993, "Hierachy versus bureaucracy: The case of a nuclear reactor." In: Roberts, K. (ed.), *New Challenges to Understand Organizations*. New Work, NJ, Macmillan Publishing Co.
- HOLLNAGEL, E., 1998, "Measurements and models, models and measurements: You can't have one without the other." Paper presented at the NASA RTA Symposium, Edinburgh, 20-24 April.
- HOLLNAGEL, E. & WOODS, D.D., 1983, "Cognitive Engineering: New Wine on New Bottles," *International Journal of Man-Machine Studies*, v.18, pp. 583-600.
- HUTCHINS, S. G., & KOWALSKI, J., 1993, "Tactical decision making under stress: Preliminary results and lessons learned. Paper presented at the: *Symposium on Command and Control*, Washington DC., June.
- HUTCHINS, E., 1994, *Cognition in the wild*. Cambridge, MA, MIT Press.
- IAEA, 1998, *IAEA database on operator support systems in Nuclear power plants*. Vienna, International Energy Agency.
- IAEA, 2002, *Proceedings of the International Conference on Safety Culture in Nuclear Installations*. International Atomic Energy Agency – IAEA/CN/97, Rio de Janeiro, Brasil, Dec.
- INPO, 1983, *Job and Task Analysis Retrieval Manual*. INPO 83-008, Institute of Nuclear Power Operators, Atlanta, GA.

- INPO, 1997, *Excelência em Performance Humana*. Eletrobrás Termonuclear SA., Rio de Janeiro.
- INSAG/IAEA, 1986, *Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident*. Safety Series n. 75-INSAG-1, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- INSAG/IAEA, 1991, *Safety Culture*. Safety Series n.75-INSAG-4, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- JOHNSON-LAIRD, P. N.,1983, *Mental models*. Cambridge, MA, Cambridge University Press
- JORDAN, N., 1963, "Allocation of functions between man and machines in automated systems," *Journal of Applied Psychology*, n. 47, pp. 161-165.
- KANIGEL, R., 1997, *The one best way: Frederick Taylor and the enigma of efficiency*. New York, Viking.
- KEMENY, 1979, *The need for change: the legacy of TMI, report of the president commission on the accident of TMI*. Government Printing Office. Washington, DC.
- KHÛN, T., 1962, *A estrutura das revoluções científicas e tecnológicas*. Rio de Janeiro, Brasil, Editora Perspectiva (Ed. 1983), Coleção Debates.
- KIRWAN, B., 1994, *A Guide to Practical Human Reliability Assessment*. London, Taylor & Francis.
- KIRWAN, B., AND AINSWORTH, L. K., 1992, *A Guide to Task Analysis*. London, Taylor & Francis.
- KISELYOV, S., 1996, "Inside the beast", *The bulletin of atomic scientists, USA*, May/June pp. 44-51.
- KLEIN, G. A. , 1989, "Recognition-primed decisions". In: W. Rouse (ed.), *Advances in Man-Machine Systems Research*, Greenwich, JAI Press Inc.
- KLEIN, G. A., 1993, "A recognition-primed decision (RPD) model of rapid decision making." In: G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood and C. E. Zsombok (eds.), *Decision Making in Action: Models and Methods*. Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.
- KLEIN, G. A. ,1995, "The role of mental simulation in problem solving and decision making." In: J. M. Flach, P. A. Hancock, J. K. Caird, & K. J. Vicente (eds.), *An*

ecological approach to human-machine systems II: Local applications. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

KLEIN, G. A., CALDERWOOD, R. AND CLINTON-CIROCCO, A., 1986, "Rapid decision making on the fire ground." *Proceedings of the Human Factors Society*, 30th Annual Meeting.

KLEIN, G. A., CALDERWOOD, R. AND MACGREGOR, D., 1989, "Critical decision method for eliciting knowledge." In: *Proceedings of IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, n.19, pp. 462-472.

KLEIN, G. A., ORASANU, J., CALDERWOOD, R. AND ZSAMBOK, C. E., 1993, *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.

KUUTTI, K., 1991, "Activity theory and its applications to information systems research and development." In: H. E. Nissen, H. K. Klein, and R. Hirschheim, (eds.) *Information systems research: contemporary approaches and emergent traditions*. Netherlands, Elsevier Science Publishers.

LA PORTE, T. & THOMAS, C., 1995, "Regulatory Compliance and the Ethos of Quality Enhancement: Surprises in Nuclear Power Plant Operations", *Journal of Public Administration Research and Theory*, n.5, pp. 109-137.

LEPLAT, J., 1989, "Error analysis, instrument and object for task analysis", *Ergonomics*, n.32, pp., 813 -822.

LEPLAT, J., 1990, "Relations between task and activity: Elements for elaborating a framework for error analysis", *Ergonomics*, n.33, pp., 1389-1402.

LEPLAT, J., 1997, *Regards sur l'activité en situation de travail, contribution a psychologie ergonomique*. Le travail Humaine, Paris, Presses Universitaires de France - puf.

LIPSHITZ, R., 1993, "Decision making as argument-driven action." In: G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsombok (eds.), *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.

LIPSHITZ, R., & SHAUL, O. B., 1996, "Schemata and mental models in recognition-primed decision making." In: C. E. Zsombok & G. A. Klein (eds.), *Naturalistic Decision Making*. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.

LIPSHITZ, R., KLEIN, G., ORASANU, J., SALAS, E., 2001, "Focus Article: Taking Stock of Naturalistic Decision Making", *Journal of Behavioral Decision Making*, n. 14, pp. 331-352.

- LOMBARDO, T. J., 1987, *The Reciprocity of Perceiver and Environment: the Evolution of James Gibson's Ecological Psychology*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- MAURINO, D., 2000, "Human Factors in Aviation Safety: what the Industry Has what Industry Needs", *Ergonomics*, v.43, n.7, pp. 952-959.
- MAYER, R. E. ,1983, *Thinking, problem solving, cognition*. New York, Freeman.
- MEISTER, D., 1985, *Behavioral analysis and measurement methods*. New York, Willey & Sons.
- MEISTER, D.,1989, *Conceptual aspects of human factors*. Baltimore, MD, John Hopkins University Press.
- MINSKY, M. A.,1975, "A framework for representing knowledge." In P. Winston (ed.), *The psychology of computer vision*. New York, McGraw-Hill.
- MOSEY, D., 1990, "Reactor Accidents: Nuclear Safety and the Role of Institutional Failure", *Nuclear Engineering International Special Publication*, Quadrant House, Surrey, UK.
- MUMAW, R., SWATZLER, D., ROTH, E. et al., 1994, *Cognitive Skill Training for Nuclear Power Plant Operational Decision Making*. NUREG/CR-6126, Washington Dc., USA, Nuclear Regulatory Commission.
- NEISSER, U. ,1976, *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco, CA, W. H. Freeman & Co.
- NEISSER, U., 1987, "From direct perception to conceptual structure." In U. Neisser (ed.), *Concepts and conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorisation*. Cambridge, Cambridge University Press.
- NOBLE, D., 1993, "A model to support development of situation assessment aids." In: G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsombok (eds.), *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.
- OPITO, 1997, *Approved Standards for Offshore Installation Management*. Offshore Petroleum Industry Training Organisation's, Montrose.
- ORASANU, J., 1994, "Shared problem models and flight crew performance." In N. McDonald, N. Johnstone, & R. Fuller (eds.), *Aviation psychology in practice*. Aldershot, UK, Ashgate.
- ORASANU, J., & CONNOLLY, T.,1993, "The reinvention of decision making." In: G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood, and C. E. Zsombok (eds.), *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ, Ablex Publishing Corp.

- ORASANU, J., FISCHER, U., & TARREL, R., 1993, "A taxonomy of decision problems on the flight deck." Paper presented at the 7th International Symposium on Aviation Psychology, Columbus, OH.
- ORASANU, J., & FISCHER, U., 1997, "Finding decisions in natural environments: Towards a theory of situated decision making." In: C. E. Zsombok & G. A. Klein (eds.), *Naturalistic Decision Making*. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- PASCUAL, R., HENDERSON, S., FERNALL, R. et al., 1994, *Strategic research package (SRP)* (Final Report, Vols 1-3 AS01BW05), Defence Research Agency, UK.
- PAVARD B., DUGDALE J., 1997, "The contribution of complexity theory to the study of socio-technical cooperative systems", *ARAMIS-IRIT*. Toulouse, Université Paul Sabatier.
- PAYNE, J., BETTMAN, J. R. AND JOHNSTON, E. J., 1988, "Adaptive strategy selection in decision making." *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*. n. 14, pp. 534-552.
- PENNINGTON, N., AND HASTIE, R., 1988, "Explanation-based decision making: Effects of memory structure on judgment." *Journal of Experimental Psychology: learning, Memory and Cognition*, n.14, pp. 521-533.
- PERROW, C., 1984a, *Normal accidents. Living with high risk technologies*. New York, USA, Basic Books Pub.
- PERROW, C., 1984b, *Complexity, coupling and catastrophe*. New York, USA, Basic Books Pub.
- PORTO, M. F., 1994, *Trabalho Industrial, Saúde e Ecologia*. Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Orientação Mario Vidal.
- POYET, C., 1990, "L`homme agent de fiabilité dans les systemes informatisés." In: De Tersac & Leplat (eds.), *Le fateurs humains de la fiabilité*. Toulouse, Octares.
- PRINCE, C., & SALAS, E., 1997, "The role of situation assessment in the conduct of flight and in decision making." In: D. Harris (ed.), *Engineering psychology and cognitive ergonomics* (Vol. 1 Transportation Systems). Aldershot, UK, Ashgate Publishing Ltd.

- RASMUSSEN, J.,1983, "Skills, rules and knowledge: signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. n. 13, pp. 257-266.
- RASMUSSEN, J. ,1986, *Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering*. Amsterdam: North-Holland.
- RASMUSSEN, J. ,1997, "Merging paradigms: Decision making, management, and cognitive control." In: R. Flin, E. Salas, M. Strub, & L. Martin (eds.), *Decision making under stress. Emerging themes and applications*. Aldershot, Ashgate.
- RASMUSSEN, J., 1998, "Major accident prevention: What is the basic research issue?" In: *Proceedings of the 1998 ESREL Safety and Reliability Conference*, pp. 739-740, Trondheim, Norway.
- RASMUSSEN, J., & JENSEN, A. ,1974, "Mental procedures in real-life tasks: A case of electronic trouble shooting." *Ergonomics*, n.17, pp. 293-307.
- RASMUSSEN, J., PEJTERSEN, A., GOLDSTEIN, L., 1994, *Cognitive Systems Engineering*. New York, Wiley.
- RASMUSSEN, J. & SVEDUNG, I., 2000, *Proactive Risk Management in a Dynamic Society*. Karlstadt, Sweden, Swedish Rescue Services Pub.
- REASON, J. ,1987a, "Generic error-modelling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms." In: J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (eds.), *New technology and human error*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- REASON, J. ,1987b, "The Chernobyl errors", *Bulletin of British Psychological Society*, n.40, 201-206.
- REASON, J. T., 1990, *Human error*. Cambridge, England, Cambridge University Press.
- REASON, J., 1997, *Managing the Risks of Organizational Accidents*. London, UK, Ashgate.
- REED, E. S., 1996, *Encountering the World: Toward an Ecological Psychology*, New York, Oxford University press.
- REED, E. S., 1997, "The cognitive revolution from an ecological point of view: the failure of the information processing approach to psychology." In: D.M. Johnson & C. Erneling (eds.) *The future of the cognitive revolution*. New York, Oxford University press.

- REYNAULD, J., 1989, *Les règles du jeu. La action coletive e la regulation sociale.* Paris, A. Colin.
- ROGNIN, L., SALEMBIER, P. & ZOUINAR, M., 2000, "Cooperation, reliability of socio-technical systems and allocation of function", *International Journal of Human Computer Studies*, n.52, pp. 357-379.
- ROTH, E. M.,1996, "Analyzing decision-making in process control: Multidisciplinary approaches to understanding and aiding human performance in complex tasks." In: C. E. Zsombok & G. A. Klein (Eds.), *Naturalistic Decision Making.* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- ROUSE, W. B., CANNON-BOWERS, J., & SALAS, E.,1992, "The role of mental models in team performance in complex systems." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, n. 22, pp. 1295-1308.
- RUBINSTEIN, E., 1979, "The Accident that Shouldn't Have Happened." *IEEE Spectrum*, v.16, pp. 33-42.
- RUMELHART, D., 1975, *Notes on a schema for stories.* New York, Academic Press.
- SANTOS, I, 2003, *A Ergonomia no Licenciamento e Avaliação de Salas de Controle de Reatores Nucleares.* Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SARTER, N. B., & WOODS, D., 1991, "Situation awareness: A critical but ill-defined phenomenon." *The International Journal of Aviation Psychology*, n.1, pp. 45-57.
- SCHANK, R. C., & ABELSON, R. P., 1977, *Scripts, plans, goals and understanding.* Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- SCHEIN, E., 1999, *Corporate Culture Survival Guide.* San Francisco, Jossey-Bass Inc.
- SCHMIDT, R. A., 1975, "A schema theory of discrete motor skill learning." *Psychological Review*, n.82, pp. 225-260.
- SCHON, D. A., 1982, *The reflexive practitioner: How professionals think in action.* New York, USA, Basic Books Pub.
- SEAMSTER, T. L., REDDING, R. E., & KAEMPF, G. L.,1997, *Applied cognitive task analysis in aviation.* Avebury, UK, Ashgate Publishing Ltd.
- SHANNON, E. E WEAVER, W. , 1969. *The Mathematical Theory of Communication.* Chicago, University of Illinois press.
- SHERIDAN, T., 1992, *Automation, Telerobotics and Human Supervisory Control.* Massachussets, MIT press.

- SHERIDAN, T., NIVA, I., 2001, "Adding the Operator in Process Control Emergencies." In: *Proceedings of IFAC Analysis Design and Evaluation of Human-Machine Systems*, pp. 481-486, Kassel, Germany.
- SHRIVASTAVA, P., 1987, *Bhopal: Anatomy of a Crisis*. Cambridge, MA, USA, Ballinger.
- SCHMIDT, R., 1975, "A schema theory of discrete motor skill learning." *Psychological Review*, n. 82, pp. 225-260.
- STERNBERG, R., 1995, "Expertise in complex problem solving. A comparison of alternative concepts." In: P.A. Frensch and J. Funke (eds.), *Complex problem solving: The European perspective*. Hillsdale, NJ, LEA.
- STINCHCOMBE, 1990, *Information and Organization*. Berkeley, CA, University of California Press.
- SUCHMAN, L., 1987, *Plans and situated actions: the problem of human-machine communication*. Cambridge, MA, Cambridge University Press.
- SWAIN, A., GUTTMANN, H., 1983, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. NUREG/CR-1278, Sandia National Laboratories, Albuquerque, USA.
- TVERSKY, A. K. & KAHNEMANN, D., 1974, "Judgment under uncertainty: Heuristics and biases." *Science*, n. 185, pp. 1124-1131.
- US MARINE CORPS CONCEPT PAPER.,1994, *Command and control*. US Marine Corps: C41 Division Headquarters, Washington Dc.
- U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION - USNRC, 2000, *Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA)*. NUREG/1624, Nuclear Regulatory Commission, Washington Dc.
- VAUGHAN, D.,1996, *The Challenger Launch Decision*. Chicago, The University of Chicago press.
- VAUGHAN, D., 1997, "The Trickle-down Effect: Policy Decision, Risky Work and the Challenger Tragedy." *California Management Review*, v.39, pp.80-101.
- VICENTE, K. ,1995, "A few implications of an ecological approach to human factors." In: J. M. Flach, P. A. Hancock, J. K. Caird, & K. J. Vicente (eds.), *Global perspectives on the ecology of human-machine systems* (pp. 54-67). Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates.
- VICENTE, K., 1999, *Cognitive Work Analysis*. London, UK, Lawrence Erlbaum Associates.

- VICENTE K., RASMUSSEN J., 1992, "Ecological Interface Design: Theoretical Framework." *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, n. 22, pp. 589-606.
- VICENTE, K., MUMAW R., ROTH, E., 1997, *Cognitive Functioning of Control Room Operators – Final Phase*. AECB 96-175, Atomic Energy Canadian Bureau, Ottawa, Ontario, Canada.
- VIDAL, M. C. R., 1984/1989, "A Evolução Conceitual da Noção de Causa de Acidentes do Trabalho." Em: *Anais do IV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (IV ENEGEP)*, Piracicaba, Brasil, Set. Reimpresso em: *Automação e Trabalho*, Cadernos do DEP/UFSCar, São Carlos.
- VIDAL, M. C. R., 2001, *Ergonomia na empresa: Útil, prática e aplicada*. Rio de Janeiro, Editora virtual científica.
- VIDAL, M. C. R.; BENCHEKROUN, T. H., 1997, *Atividade o ponto de vista da complexidade*. Grupo de Ergonomia e Novas Tecnologias – GENTE/PEP - COPPE/UFRJ, Brasil.
- VIDAL, M.C.V., CARVALHO, P.V.R., SANTOS, I, J., et al., 2001, "Propagação de Eventos em Sistemas Complexos e Automatizados." Em: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Ergonomia, (XI ABERGO)*, Gramado, Brasil, Set.
- VYGOTSKY, L. S., 1925/1982, "Consciousness as a problem in the psychology of behavior." *Collected works: questions of the theory and history of psychology*. Moscow, Pedagogika.
- VON WINTERFELDT, D., & EDWARDS, W., 1986, *Decision analysis and behavioral research*. New York, Cambridge University Press.
- WANO, 2000, *Improving Human Performance – Student Notebook*. Eletrobrás Termonuclear SA, Rio de Janeiro.
- WICKENS, C. D., 1992, *Engineering psychology and human performance*. New York: Harper Collins.
- WOODS, D. ,1995, "The Alarm Problem and Direct Attention in Dynamic Fault Management", *Ergonomics*, v38, n.11, pp. 2371-2393.
- ZAMBERLAN, M., 2000, *A perspectiva ergonômica no projeto de salas de controle na indústria de processo contínuo*. Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ZSAMBOK, C. E. & KLEIN, G. A., 1997, *Naturalistic decision making*. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates

ANEXO 1 – FUNCIONAMENTO, SEGURANÇA E PROCEDIMENTOS DA USINA NUCLEAR

Neste Anexo apresentamos uma descrição resumida do funcionamento da segurança e dos diversos tipos de procedimentos existentes numa usina nuclear do tipo PWR.

1.1 O funcionamento e a segurança dos reatores nucleares

A fissão nuclear é a fonte geradora da energia dos reatores nucleares. A fissão nuclear ocorre quando o átomo de Urânio é bombardeado por um nêutron e se divide em elementos mais leves denominados *produtos de fissão* e novos nêutrons. A energia cinética destes produtos de fissão é rapidamente transformada em energia térmica, que é transferida ao elemento refrigerante, a água, que se aquece, retirando o calor do elemento combustível. Reatores nucleares podem ser sumariamente descritos como máquinas que precisam executar duas funções básicas: 1) Manter a fissão nuclear controlada; 2) Retirar o calor gerado pelos elementos combustíveis de urânio e transformá-lo em energia elétrica.

Manter a reação nuclear controlada, isto é, fazer com que cada fissão gere apenas mais uma nova fissão¹, e retirar o calor dos elementos combustíveis, para evitar que os mesmos se danifiquem, são as duas principais funções de segurança com as quais se ocupa a concepção e o projeto de reatores nucleares.

A figura 1 representa esquematicamente os reatores nucleares do tipo PWR – *Pressurized Water Reactors*, como as usinas nucleares brasileiras. Eles são formados por três circuitos de refrigeração: primário, secundário e de água de refrigeração. A água do circuito primário é aquecida pelo calor decorrente da fissão do urânio no reator, chegando a uma temperatura de cerca de 320°C. Em seguida, a água passa por tubulações até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário sem, no entanto, entrar em contato com ela. O vapor resultante vai acionar a turbina, que movimentará o gerador e produzirá eletricidade. Para que a água do circuito primário não entre em ebulição ao ultrapassar 100°C, a pressão é mantida elevada - 157 atmosferas - daí o sistema denominar-se “água leve pressurizada”.

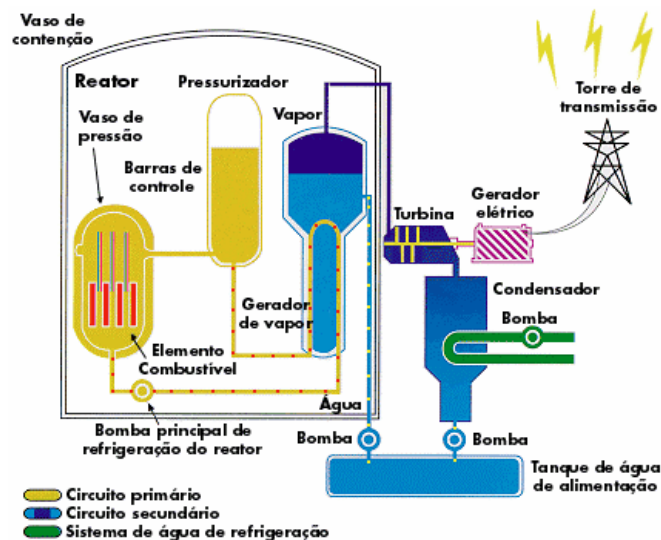


Figura 1 Esquema de funcionamento um reator tipo PWR

A segurança destas instalações é baseada na aplicação do conceito de “Defesa em Profundidade” em seu projeto. A face mais evidente da aplicação deste conceito no projeto de reatores é o conjunto de barreiras que

¹ Em uma fissão nuclear são gerados vários nêutrons. Se este excesso de nêutrons não for absorvidos pelo meio, antes de provocar novas fissões, o sistema perde sua capacidade de controle.

impedem o escape do material radioativo para o meio ambiente, o principal acidente que uma instalação deste tipo poderia gerar. A figura 2 ilustra estas barreiras que são:

1. A própria natureza cerâmica do combustível - dióxido de urânio - que somente se funde em temperatura superior a 2800°C;
2. O revestimento do combustível - uma liga de zircônio que na presença de água resiste à temperatura de 1400°C;
3. O vaso de pressão do reator, cujas paredes de aço têm espessura de cerca de 20 cm;
4. O vaso de contenção de aço, com 3 cm de espessura, cuja função é reter qualquer material radioativo que eventualmente venha a escapar do vaso de pressão em um acidente, impedindo assim que o mesmo atinja o meio ambiente.
5. Externamente, existe uma sexta barreira - o edifício de concreto reforçado, que protege o reator de agentes externos (até queda de aviões) e também contribui para reter o material radioativo.
6. Pressão subatmosférica e sistema de filtragem impede que gases contendo aerossóis radioativos possam deixar a contenção.

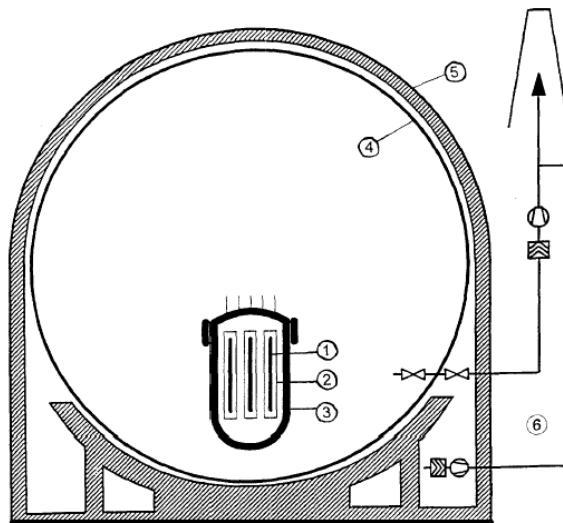


Figura 2 As barreiras de proteção que evitam a liberação de material nuclear.

Fundamentalmente, cabe ao pessoal de operação de uma nuclear manter que o sistema produzindo energia, evitando condições adversas que impeçam o resfriamento do núcleo do reator e se certificando que todas as barreiras concebidas pelos projetistas estejam com sua integridade assegurada. Para realizar estas tarefas eles contam com os diversos procedimentos apresentados a seguir.

1.2 Procedimento de parada ou desligamento

Definições:

- Parada ou Desligamento do Reator: mudança do estado do processo de produção de energia, a partir da operação em potência para o estado subcrítico quente e, posteriormente, para o subcrítico frio, sem pressão, dependendo da necessidade operacional.
- Reator em estado subcrítico: todas as barras de controle estão inseridas integralmente; a concentração de boro seja pelo menos igual a C_R (concentração real, determinada em função da vida do núcleo) até 30 horas depois do desligamento, ou pelo menos C_H (400 ppm acima de C_R) para tempos de paradas superiores 30 horas;
- Estado subcrítico quente: temperatura do refrigerante do reator está estabilizada em torno de 296 °C. A pressão do Sistema de Refrigeração do Reator (SRR) é mantida em 158 bar pelo controle de pressão respectivo;
- Estado subcrítico frio, sem pressão: é atingido quando a temperatura do núcleo chega a 50 °C, com o circuito primário na pressão atmosférica.

A parada para o estado subcrítico frio passa sempre pela parada para subcrítico quente, prosseguindo imediatamente, ou após um tempo de espera arbitrariamente escolhido. A parada pode ser subdividida nas seguintes etapas iniciais:

1. Redução da potência até o disparo manual (desligamento) da turbina (TUSA) e após o desligamento do reator (RESA);
2. Alcance da condição subcrítico, quente. O reator poderá permanecer nesta condição pelo tempo que for desejado.

A continuação da operação de parada, ou seja, para o estado subcrítico frio, sem pressão, pode ser subdividida nas seguintes etapas:

1. Redução da pressão do sistema secundário e, conseqüentemente, da temperatura e pressão do refrigerante do reator, até a colocação do Sistema de Remoção de Calor Residual (RHR – *Reactor Heat Removal* ou sistema JNA) em serviço;
2. Continuação da redução da temperatura do refrigerante do reator pelo Sistema de Remoção de Calor Residual (sistema secundário fora de operação);
3. Abaixamento da pressão do Sistema de Refrigeração do Reator (SRR) e caso necessário também do nível do Pressurizador (PZR) para 3/4 do *loop*;
4. Alcance da condição subcrítico, frio, sem pressão.

O reator poderá permanecer neste estado pelo tempo que for necessário. No caso observado, o reator permaneceu por cerca de 10 dias no estado subcrítico frio. A seguir apresentamos as diversas etapas deste procedimento.

A Condição Inicial: O reator está a 100 % de potência. Todo o vapor produzido nos geradores de vapor é conduzido ao grupo turbogerador. O Sistema de Desvio de Vapor (SDV) e o Sistema de Vapor de Apoio aos aquecedores de alta pressão e ao tanque de água de alimentação estão fora de operação. O condensado produzido é transportado para o tanque de alimentação por 2 bombas de condensado passando pelos aquecedores de baixa pressão e válvulas de controle de nível do poço quente dos condensadores. A água de alimentação é transportada do tanque de água de alimentação aos geradores de vapor passando através dos aquecedores de alta pressão e das válvulas de controle de nível dos geradores de vapor de plena carga. A caldeira auxiliar deverá ser colocada em operação previamente para ter-se vapor disponível quando o Sistema Secundário não mais estiver em operação.

Redução de Potência: Nesta etapa operacional deverão ser retirados de serviço (desligados) o conjunto turbogerador e o reator. O valor de referência da potência do gerador é então colocado em 0 MW e o gradiente de redução do mesmo ajustado de acordo com as especificações técnicas. Assim sendo, a potência do gerador é reduzida de acordo com o gradiente preestabelecido, uma vez que não se pode esfriar muito rapidamente a turbina. Ao diminuir-se a potência do gerador, aumenta a pressão de vapor e com isto a temperatura do refrigerante do reator. O controle de temperatura média intervém então inserindo os bancos D das barras de controle, no sentido de manter tal temperatura dentro dos limites desejados. Desse modo a potência do reator acompanha a redução da potência do gerador.

Algumas ações automáticas ocorrem durante a redução de potência no circuito secundário, até que em cerca de 30 % de potência é alcançado o ponto de carga mínima ocorrendo então a abertura do Sistema de Desvio de Vapor (SDV), sendo a pressão de vapor mantida em 80 bar e a temperatura média do refrigerante em 305 °C.

A partir deste ponto a potência do reator se mantém constante. A potência do gerador continua a ser reduzida pelo controle de carga e em cerca de 100 MW (aproximadamente igual ao consumo próprio), assume o comando o controle de velocidade elétrico. A continuação da redução de potência só será possível, então, pela atuação manual do operador sobre tal controle, o qual, ao ajustar o valor de referência de velocidade para < 1.800 rpm, fará com que as válvulas controladoras da turbina sejam fechadas, ativando o sinal de desligamento da turbina (TUSA) através do relê de potência inversa.

A potência do reator passa, então, a ser reduzida pelo sistema de controle de fluxo de nêutrons, por meio inserção das barras de controle até que as mesmas estejam inseridas até seu limite máximo. Neste momento, se aciona o sinal de queda de barras (RESA), ação que irá desacoplar os bancos de barras dos respectivos

magnetos e permitir sua inserção integral no núcleo. A partir daí o valor da concentração de boro no refrigerante deverá ser ajustada, conforme o tempo previsto de parada da usina. Em paradas longas, como o caso observado, a concentração de boro deve ser de 2.200 ppm. Só neste momento é alcançado o estado subcrítico quente (pressão de vapor = 80 bar e $T_m = 296\text{ }^\circ\text{C}$), podendo ser iniciados os preparativos para levar o reator para condição de subcrítico, frio, sem pressão.

Esfriamento do reator: Nesta fase da parada, a temperatura e a pressão do refrigerante serão baixados para valores que permitam ao Sistema de Remoção de Calor Residual assumir a remoção de calor. As condições para que o Sistema de Remoção de Calor Residual possa ser colocado em operação são:

- pressão do Sistema de Resfriamento do Reator (SRR): 32 bar
- temperatura de entrada do SRR (máx. temp. dos loops): $180\text{ }^\circ\text{C}$

Uma vez alcançadas estas condições será gerado um sinal que permitirá ao operador colocar o Sistema de Remoção de Calor Residual (JNA) em operação. Porém, com o intuito de manter as solicitações ao Sistema JNA no menor nível possível é recomendável proceder-se a sua colocação em operação somente quando a temperatura de saída do reator alcançar $120\text{ }^\circ\text{C}$.

Durante a seqüência de esfriamento até $120\text{ }^\circ\text{C}$, tanto o calor de decaimento, como aquele gerado pelas BRRs em funcionamento e o armazenado no Sistema (água, tubulações, etc.) é retirado via Sistema de Desvio de Vapor (modo de parada, taxa de esfriamento automático = 50 K/h) para os condensadores. Este processo de esfriamento é feito pela contínua abertura das válvulas do SDV de modo a ir baixando a pressão de vapor vivo. Consequentemente, devido ao acoplamento termodinâmico entre o primário e secundário nos Geradores de Vapor (GVs) a temperatura do refrigerante baixa correspondentemente. Durante esta fase o objetivo principal é manter um gradiente de subresfriamento de 50 K/h, evitando um esfriamento muito rápido do sistema.

Durante a seqüência de parada, a concentração de boro no SRR deverá ser verificada ininterruptamente, a fim de se assegurar a subcriticalidade necessária. A concentração de boro no pressurizador será igualada a do SRR mediante a contínua aspersão auxiliar vinda do Sistema KBA. O nível do PZR é mantido em toda a fase de esfriamento em 4,2 m (nível de carga zero).

Operação com o Sistema de Remoção de Calor Residual – JN: Uma vez tendo sido alcançada a pressão do SRR = 32 bar e a temperatura do SRR = $180\text{ }^\circ\text{C}$ (ou ainda melhor $120\text{ }^\circ\text{C}$) os sistemas Sistema de Refrigeração de Componentes de Segurança (KAA) e o Sistema de Refrigeração de Serviço de Segurança (PE) são colocados em funcionamento. No sistema JNA (Circuito de Remoção de Calor Residual – um dos subsistemas do JN) faz-se o teste de estanqueidade (de modo a evitar que a falta de estanqueidade no sistema faça com que uma eventual contaminação no refrigerante que circula no circuito primário seja passada a outros pontos do sistema). Após o teste bem sucedido, o JNA é colocado em operação de remoção de calor residual, sendo necessários pelo menos 2 dos 4 trens para tal fim (sempre que possível devem ser colocados os quatro trens em serviço para o esfriamento do SRR). Se a operação for feita somente com 2 trens, os mesmos deverão ser aqueles que correspondem aos *loops* nos quais as BRRs ainda estejam em serviço (durante fases anteriores do desligamento 2 BRRs já poderiam ter sido desligadas).

Temperaturas abaixo de $50\text{ }^\circ\text{C}$ no SRR somente poderão ser alcançadas a longo prazo. Durante toda a fase de operação de remoção de calor pelo sistema JNA, a pressão do SRR é mantida constante em 31 bar.

Redução de Pressão e Nível do Circuito Primário: Depois de ter sido reduzida a temperatura no SRR para valores iguais ou menores do que $50\text{ }^\circ\text{C}$ e ter sido assegurada uma subcriticalidade adequada ($C = 2.200\text{ ppm}$), a pressão e nível do circuito de refrigeração do primário poderão ser reduzidas. Para isto, as BRRs que ainda estejam funcionando, e o Sistema de Controle de Pressão do SRR (aquecedores) deverão ser desligados. Também será necessário comutar-se da estação redutora de alta pressão para a de baixa pressão o controle de nível do PZR. Com nível de 4,2 m e pressão de N_2 de 5 bar no PZR, ao reduzir-se o nível para $3/4$ de *loop* se terá então 1 bar pressão em todo o SRR. A partir desse ponto, é atingido o estado subcrítico frio, sem pressão.

A descrição acima não pretendeu ser exaustiva, indicando todas as ações dos operadores, mas apenas colocar alguns aspectos da mudança no estado da usina, desde a operação normal até o estado subcrítico frio.

Formatação dos procedimentos: Os procedimentos da usina analisada são em papel, e na sua maioria, ainda (no momento de nossas observações) em inglês. A seguir, apresentamos nas figuras 3 e 4 o formato básico dos procedimentos da usina analisada. Nestes procedimentos as ações que os operadores devem executar são apresentadas de 2 formas: fluxogramas que procuram mapear o curso das principais ações (fig. 3) e *check lists*

(fig. 4), nas quais os operadores devem assinalar no quadro se a variável atingiu a condição esperada, ou se o comando indicado foi acionado. Este tipo de formatação é justificado numa usina com elevado grau de automatismo, por meio da alegação de que ao preencher as listas de checagem os operadores se manteriam mais atentos a situação ou estado da usina.

No fluxograma da figura 3, os retângulos S1 e S2 que são atingidos a partir da condição apresentada na caixa de decisão, indicam um conjunto de ações manuais que, por sua vez, são detalhadas por outros fluxogramas do mesmo procedimento. Esta estrutura explodida faz com que os operadores tenham que folhear continuamente o procedimento, indo do geral para o particular e vice-versa. Como vários dos fluxogramas são muito parecidos na forma, esta troca de páginas pode levar a erros, com o operador seguindo um fluxograma fora da página correta, não correspondendo, portando, ao estado da usina.

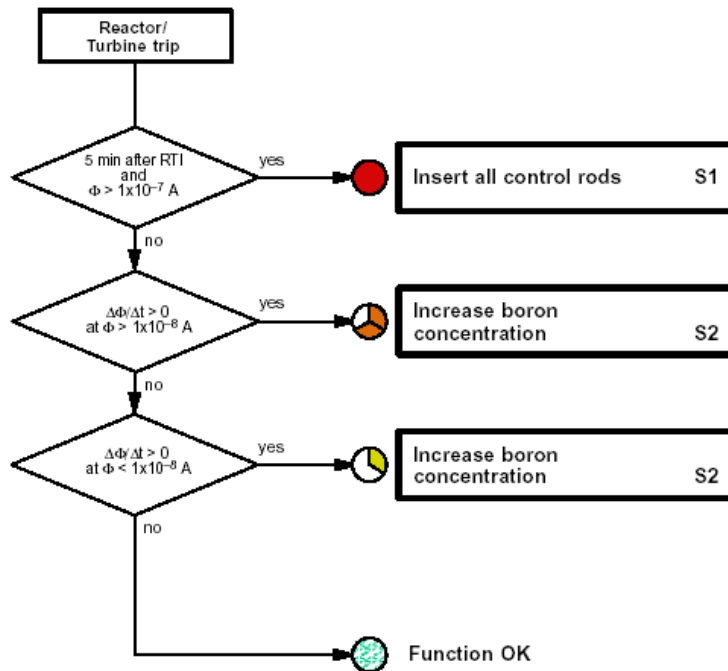


Figura 3 Exemplo de fluxograma usado no procedimento de parada.

		Insert control rods		1.2
(1)	+ RESA (on master control console or reactor protection system panel)	initiate	RESA MANUAL	<input type="checkbox"/>
	or			
	+ Single release on core cross section display	select	JTB 80 EX 111	<input type="checkbox"/>
	or			
	+ Group release on core cross section display	select	JTB 80 EX 111	<input type="checkbox"/>
	+ Affected control rod(s) on core cross section display	select	JTE-H 88 FG ***	<input type="checkbox"/>
	+ STEW single	select	JTB 80 EX 133	<input type="checkbox"/>
	+ On master control console STEW	initiate	JTP 36 EX 036	<input type="checkbox"/>
	Remark: Further information about unmaneuverable or jammed control rods or of uncontrolled moving control rods see OM 2-4.9 and OM 2-4.10.			

Figura 4 Exemplo de Check list do procedimento de partida.

1.3 Procedimento de partida

A seguir apresentamos resumidamente os objetivos principais das diversas fases do procedimento de partida da usina, até o aumento de potência após a criticalidade.

Evacuação do SRR e Início do Aquecimento do 120 °C: No estado subcrítico frio, o nível de água do SRR foi reduzido até 3/4 do *loop*. Assim sendo, os componentes do SRR que estão acima do nível de 3/4 do *loop* estão cheios de ar à pressão atmosférica, ar este que precisa ser evacuado para possibilitar o enchimento destes componentes com o fluido refrigerante (água) do reator.

Enchimento do SRR: Depois de ter sido alcançada a pressão de 270 mbar, o enchimento do SRR poderá ser iniciado. O enchimento é feito com duas bombas de carregamento através das linhas de aspersão auxiliar, diretamente no Pressurizador - PZR. Para o enchimento do SRR os operadores precisam realizar diversas medições de nível no *loop* e no Pressurizador, de modo a acompanhar a evolução do ponto de 3/4 do *loop*, correspondente a 0,56m até 4,0m.

Preparação e Execução do Teste de Estanqueidade: Sempre que é aberto o SRR, quer para troca de elementos combustíveis, quer para inspeções ou manutenção, é conveniente submetê-lo a um teste de estanqueidade depois da fase de enchimento. Para a realização do teste de estanqueidade há que observar-se o perigo da ruptura frágil. Para tanto o mesmo só poderá ser levado a cabo a uma temperatura de refrigerante acima da temperatura de transição dúctil/frágil. A temperatura do refrigerante deverá portanto ser elevada com as BRRs antes do teste de estanqueidade, para uma determinada temperatura, que é função dos anos de operação da usina e obtida por meio de tabelas. Este procedimento é realizado durante a preparação para o teste.

Aquecimento do Pressurizador: É importante observar-se que ao alcançar a temperatura de saturação e por conseguinte começar-se a aumentar a pressão, uma forte redução no nível do PZR ocorrerá devido ao deslocamento da água em direção a parte superior dos tubos U do gerador de vapor. Antes da temperatura no PZR alcançar 90 °C (correspondente a pressão de saturação reinante) o nível deverá, portanto, ser elevado a 7 m a fim de que oscilações de nível sejam absorvidas, de modo a evitar a atuação de desligamento dos aquecedores por baixo nível no PZR. A 120 °C no PZR é adotada a premissa de que a seqüência de enchimento tenha sido encerrada em sua maior parte e de que praticamente os tubos U do gerador de vapor estejam cheios.

O pressurizador somente poderá ser aquecido acima de 170 °C depois de ter sido realizado o ensaio de funcionamento das bombas de injeção de segurança, das válvulas de alívio e o teor de oxigênio na água do PZR for menor de 0,1 ppm (a fim de evitar corrosão nas barras dos aquecedores do PZR).

Aquecimento do SRR: Depois de encerrada a desaeração residual do SRR, é dada a partida em todas as BRRs e iniciado o aquecimento do circuito de refrigerante para 105/110/115 °C. Os trens em operação do Sistema de Remoção de Calor Residual (JNA) são desligados através de seus grupos funcionais.

Realização do Teste de Estanqueidade: Uma vez tendo-se alcançado 105 –115°C no SRR (dependendo do número de anos em operação) é iniciado propriamente o teste de estanqueidade. Para sua realização, 3 das 4 BRR's são desligadas, a fim de que não seja ultrapassada a temperatura máxima de 180°C permitida para o referido teste. Na pressão de operação (158 bar), são feitas as inspeções no SRR para a detecção de vazamentos. Se o teste de estanqueidade teve sucesso, isto é, não houve detecção de vazamentos, prossegue-se então com as manobras de aquecimento das linhas de vapor, caso contrário é necessário esfriar-se o SRR para 50 °C através da colocação do Sistema de Remoção de Calor Residual.

Colocação em Operação do Circuito Água e Vapor e do Conjunto Turbogenerador: Imediatamente após o teste de estanqueidade e antes do aquecimento da central por meio das BRRs serão executadas as seguintes ações no lado secundário:

- Colocação em serviço do circuito água-vapor;
- Colocação do turbogenerador em operação de giro lento;
- Aquecimento de toda Central para 260 °C com as BRRs.

Monitoração da Subcriticalidade até a Temperatura de 260 °C: Ao continuar com o aquecimento do SRR haverá ganho de reatividade devido ao coeficiente positivo de temperatura do moderador. Como a monitoração do reator na região de subcriticalidade e de criticalidade são efetuadas pelos canais de medição de fluxo neutrônico, da faixa de fonte (FF) da instrumentação nuclear externa, estes canais devem ser verificados quanto a sua funcionalidade. Também o aumento da quantidade de nêutrons no núcleo do reator, decorrente da multiplicação subcrítica crescente dos nêutrons da fonte, poderá ser acompanhado pelas indicações de taxa de contagem vindas da instrumentação da faixa de fonte. As seguintes ações diminuem a subcriticalidade e proporcionam uma aproximação ao estado crítico:

- retirada das barras de controle;
- injeção de água desmineralizada;
- aumento da temperatura do refrigerante em caso de coeficiente positivo de temperatura (somente no início do ciclo).

Portanto ao serem desenvolvidas estas ações, deverá ser continuamente observada taxa de contagem e comparada com os valores máximos especificados no Manual de Operação.

Criticalidade: A criticalidade do reator e a passagem de carga zero para a de potência pode ser monitorada pelos canais de fonte e intermediário da instrumentação nuclear externa do núcleo. Os canais de fonte (em número de dois) cobrem o fluxo neutrônico desde o nível de fonte até cerca de 3 % de potência (quando são retirados), enquanto os canais intermediários, excetuando o nível de fonte, cobrem praticamente todos os níveis de fluxo neutrônico até 100 % de potência. Portanto, ambos fornecem todas as informações relativas ao fluxo de nêutrons ao operador em qualquer faixa de potência. Entre os canais de fonte e intermediário há uma sobreposição na medição, ou seja, em uma determinada faixa de potência se obtém informação de ambos os canais.

Aumento da Potência no Reator para 8 %: O Sistema de Controle de Fluxo Neutrônico poderá ser colocado em operação a partir de cerca de 3 % de potência no reator. Para isto deve-se antes igualar o valor de referência manual de fluxo ao real, sendo então o controlador colocado no modo AUTOMÁTICO. Estando em operação toda a cadeia do Sistema de Controle do Reator, aumenta-se gradativamente o valor de referência manual do fluxo neutrônico para 8 %. A potência do reator irá subir através da retirada dos bancos D até a potência desejada e aí se estabilizará.

Aquecimento Nuclear: O aquecimento do primário, dito nuclear, é realizado através de um aumento da pressão de vapor vivo ao longo do tempo, de tal modo que esta venha a corresponder a um aumento da temperatura no circuito de refrigerante do reator a taxa 50 K/h. A potência do reator não será aumentada durante o aquecimento nuclear. O aquecimento nuclear estará terminado quando a pressão de vapor vivo alcançar 80 bar (temperatura no SRR = 294 °C), valores este que caracterizam o ponto de carga zero.

Aquecimento da Turbina: A potência do reator não necessária ao aquecimento nuclear é descarregada através do SDV aos condensadores. Adicionalmente, o excedente de potência no lado secundário é utilizado para aquecer a turbina. Para tal operação é necessário inicialmente abrir-se as válvulas de fechamento rápido da turbina, manobra esta feita pelo Dispositivo de Rearme e Limitador de Carga, desde que todos os sinais de desligamento automático da turbina - TUSA tenham sido previamente rearmados. Através do regulador elétrico de velocidade é que se inicia o aumento de rotação da turbina para 720 rpm onde se espera cerca de meia hora para seu aquecimento.

Elevação da Potência do Reator para 30 % e Sincronização do Turbogenerador: Quando a pressão de vapor vivo alcançar 80 bar, isto é, o valor de referência do SDV estiver em seu valor máximo, o aquecimento nuclear estará encerrado. O valor manual de controle de fluxo neutrônico continuará a ser aumentado lentamente até 30 % e, conseqüentemente, através da retirada dos bancos, a potência do reator subirá em direção ao valor desejado. Com o aumento da potência no reator, aumentará a temperatura média do refrigerante bem como as temperaturas de entrada e saída do reator. Para uma potência do reator de cerca de 30 %, a temperatura média do refrigerante deverá ser de 305 °C, valor este que é o limite mínimo do valor de referência para a temperatura média do refrigerante. Com isto, pode-se comutar do controle de fluxo neutrônico para o de temperatura média. Ao alcançar-se 1.800 rpm serão iniciados então os preparativos para a sincronização do turbogenerador.

Sincronização do Turbogenerador: Diversos preparativos são necessários para que o gerador possa ser sincronizado. No dispositivo de sincronização, quando selecionado para o modo de indicação, serão mostrados os seguintes parâmetros:

- nível de tensão da rede (antes do transformador principal);
- nível de tensão no gerador (antes do disjuntor do gerador);
- frequência da rede;
- frequência (velocidade) do gerador;
- ângulo de fase.

Fecha-se então o disjuntor de excitação e observa-se o nível de tensão da rede e do gerador. Qualquer diferença é anulada através do ajuste manual sobre o regulador de tensão. A seguir ajusta-se frequência do gerador de modo a ser ligeiramente superior a da rede. Isto é conveniente para o início da operação de potência (evitar atuação do relê de potência inversa). Uma vez feitos todos estes ajustes, comuta-se agora o dispositivo de sincronização para AUTO. A partir desse ponto ele próprio assumirá o controle e fechará o disjuntor do gerador no momento apropriado.

1.4 Procedimentos de emergência

O início da parte 3 do Manual de Operação da usina é constituída de procedimentos que seguem esta abordagem de gerenciamento (SFP – *Safety Function Procedures*). Este tipo de procedimento tem prioridade em relação aos procedimentos orientados por evento (EOP – *Event oriented procedures*). Os SFPs devem ser usados durante situações anormais e no caso de acidentes, ou quando as ações manuais previstas no EOP que estiver sendo utilizado não mostrarem sinais de sucesso. Neste momento podemos distinguir claramente 2 fases no tratamento de acidentes pela equipe de operação:

1. A identificação e diagnóstico usando procedimentos do tipo *SFP*;
2. O tratamento do acidente diagnosticado usando procedimentos do tipo *EOP*.

Identificação e diagnóstico: O Guia de Operação em Emergências descreve as primeiras ações dos operadores em caso de acidente, logo após o desligamento automático do reator. O fluxograma apresentado na figura 5, extraído do procedimento tipo SFP correspondente, ilustra essas ações. Como vimos na descrição do sistema de I&C da usina (capítulo 5), o Sistema de Proteção do Reator – SPR, em caso de acidentes, provoca a queda das barras de controle (RESA) e o desligamento da turbina (TUSA). O SPR pode executar ainda outras ações automáticas, sempre com prioridade máxima, de modo a garantir a segurança da usina, que não depende de ações manuais imediatas para que sua integridade seja garantida. Daí surge a regra dos 30 minutos, segundo a qual nos primeiros 30 minutos após a queda das barras não é requerido aos operadores que executem ações manuais de segurança. Esta regra visa fornecer à equipe de operação tempo suficiente para um diagnóstico em profundidade do evento, considerar quais ações deverão ser executadas e realizar os preparativos necessários. Entretanto, ações manuais são permitidas a qualquer tempo, após o diagnóstico ter sido feito, mesmo antes de 30 minutos do desligamento automático.

Pelo fluxograma da figura 5 vemos que a primeira tarefa dos operadores, que já visa a realização do diagnóstico, é a checagem das condições que iniciaram desligamento automático do reator (passo 1 *RTI – Reactor Trip Initiation*). O fluxograma prossegue com a monitoração das funções críticas e de segurança e, se um diagnóstico for conseguido, o passo 6 remete ao uso de procedimento orientado por evento, permitindo que a usina seja transferida a uma condição estável e segura de longo prazo. A verificação das funções de segurança continua sendo feita (passos 7 e 8), mesmo durante o uso do EOP. Os passos do fluxograma são expandidos em estratégias para as ações dos operadores na forma de outros fluxogramas e podem remeter ao uso de outros procedimentos (o passo 2 remete a procedimento específico para monitoração das funções de segurança e o passo 4 à árvore de diagnóstico no procedimento de identificação de acidentes). Ao final do procedimento, cada bloco ou passo é expandido em instruções detalhadas, na forma de *check lists*, como o da figura 6, que apresenta parte das variáveis que devem ser checadas para cumprir o passo 1 – *RTI*.

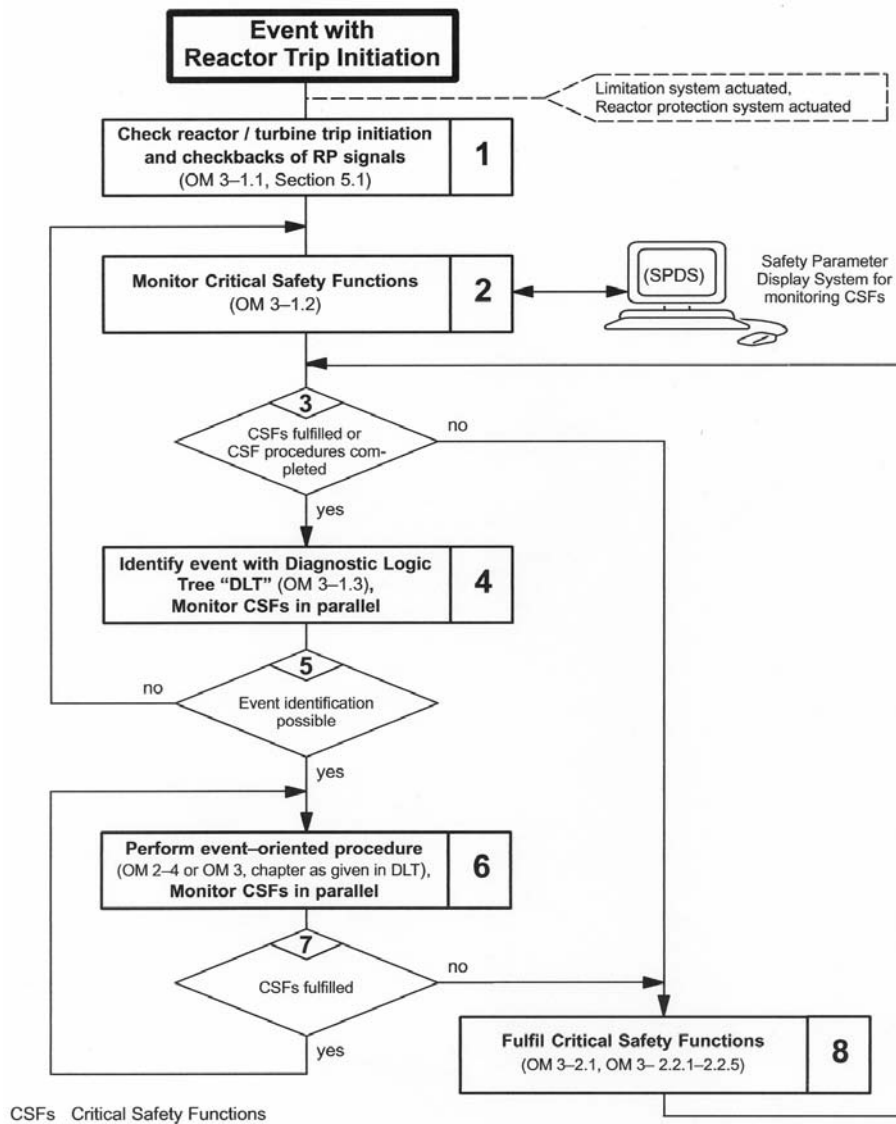


Figura 5 Guia de operação em emergência.

É interessante notar que a estrutura deste procedimento é semelhante a dos procedimentos para operação normal, como os paradas e partidas vistos anteriormente, e a dos procedimentos do tipo EOP, como veremos a seguir, estabelecendo uma estrutura isomorfa para todos os procedimentos da usina.

(1)	+ Reactor trip initiation signal checkbacks (See OM 4-1.16 for actuated components)	check	*JR 11*	<input type="checkbox"/>
	Reactor trip initiation signal JRM 11 ER 100/110			
	+ 6 ct sys *BUB03* K11	lit	BUB 00 CE 021	<input type="checkbox"/>
	+ 6 ct sys *BUC02* K11	lit	BUC 00 CE 021	<input type="checkbox"/>
	+ MADTEB (JTE 51)	lit	JTE 91 EX 511	<input type="checkbox"/>
	+ Bfa* fee drec trc-cd	lit	BTL 21 GR 001	<input type="checkbox"/>
	+ Bfb* fee drec trc-cd	lit	BTL 22 GR 001	<input type="checkbox"/>
	Reactor trip initiation signal JRN 11 ER 200/220			
	+ 6 ct sys *BUB03* K12	lit	BUB 00 CE 022	<input type="checkbox"/>
	+ 6 ct sys *BUB02* K12	lit	BUC 00 CE 022	<input type="checkbox"/>
	+ MADTEB (JTF 51)	lit	JTF 91 EX 511	<input type="checkbox"/>
	+ Bfc* fee drec trc-cd	lit	BTL 31 GR 001	<input type="checkbox"/>
	Reactor trip initiation signal JRP 11 ER 300/ 330			
	+ 6 ct sys *BUB03* K13	lit	BUB 00 CE 023	<input type="checkbox"/>
	+ 6 ct sys *BUC02* K13	lit	BUC 00 CE 023	<input type="checkbox"/>
	+ MADTEB (JTG 51)	lit	JTG 91 EX 511	<input type="checkbox"/>
	+ Bfd* fee drec trc-cd	lit	BTL 32 GR 001	<input type="checkbox"/>
	Reactor trip initiation signal JRQ 11 ER 400/440			
	+ MADTEB (JTH 51)	lit	JTH 91 EX 511	<input type="checkbox"/>
	+ *BUB* inf battery	lit	BTA 21 GR 001	<input type="checkbox"/>
(2)	+ Position L-bank 2nd max	check	JTK 00 FG 101A	<input type="checkbox"/>
	+ Position 1st D-bank	check	JTK 00 FG 501	<input type="checkbox"/>
	+ Position 2nd D-bank	check	JTK 00 FG 502	<input type="checkbox"/>
	+ Position 3rd D-bank	check	JTK 00 FG 503	<input type="checkbox"/>
	+ Position 4th D-bank	check	JTK 00 FG 504	<input type="checkbox"/>
	+ Digital indications for L- and D-banks on core cross section display	check	JTE-H 88 FG ***	<input type="checkbox"/>
	+ Control rods	inserted		
	Position L- and 1st D-bk posi		JTK 00 FG 901	<input type="checkbox"/>
	Position 2nd/3rd/4th D-bk pos		JTK 00 FG 902	<input type="checkbox"/>

Continued ►

Figura 6 Detalhamento das ações manuais.

Tratamento de acidentes usando EOPs: A partir de um diagnóstico válido, os operadores dispõem de procedimentos específicos, para cada acidente postulado. De modo a exemplificar a estrutura destes procedimentos, orientados por evento, descreveremos a seguir o procedimento usado para um acidente tipo LOCA.

Na introdução, há uma descrição do acidente e logo a seguir um fluxograma de diagnóstico (figura 7) que também se inicia a partir dos sinais RESA/TUSA, que indicam o desligamento do reator (queda de barras) e da turbina. O objetivo deste fluxograma de diagnóstico é, além da confirmação do diagnóstico feito na fase anterior, identificar aspectos específicos do acidente, como sua extensão, localização etc., para que a partir daí seja estabelecida uma estratégia de ações manuais. Assim sendo, os fluxogramas de diagnóstico contidos nos EOPs, apresentam as diversas variações possíveis do acidente, em função dos valores das variáveis monitoradas. Conforme a figura 8, vemos que no LOCA, 4 variações são consideradas em função do tamanho da ruptura, volume de vazamento, ou sua localização.

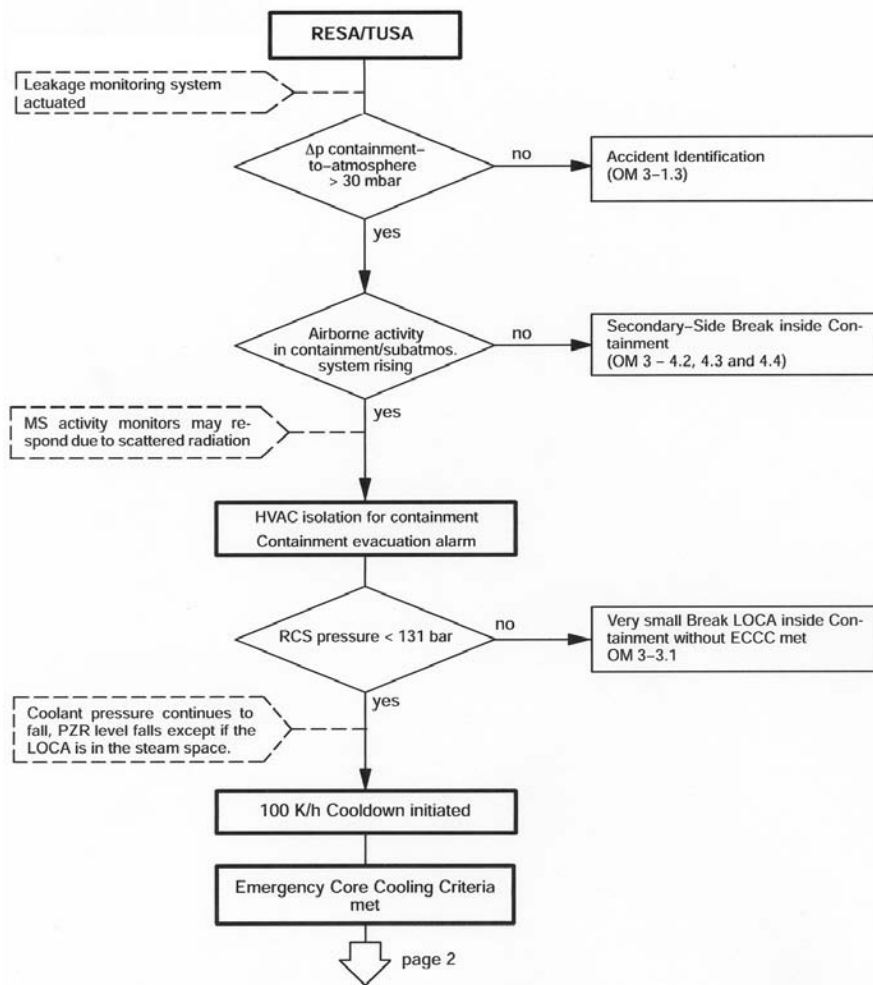


Figura 7 Parte inicial do fluxograma de diagnóstico de um acidente tipo LOCA.

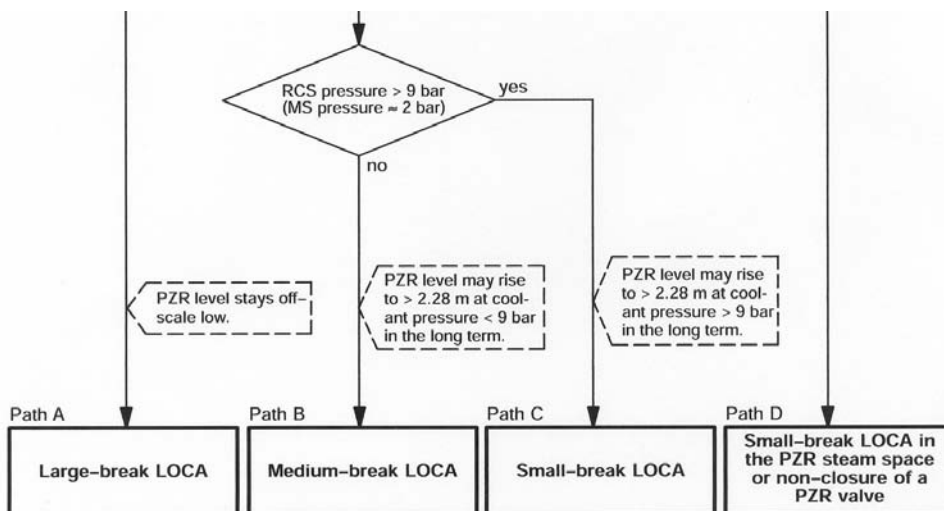


Figura 8 Terminação do fluxograma de diagnóstico.

Após o fluxograma de diagnóstico, os EOPs apresentam as ações automáticas executadas pelo Sistema de Proteção do Reator, desde aquelas que levaram ao desligamento automático (RESA/TUSA), até as diversas ações automáticas usadas para assegurar a refrigeração do núcleo logo após o desligamento, também na forma de fluxograma. A figura 9 apresenta uma folha do procedimento relacionada às ações automáticas. Nela podem ser observados alguns dos critérios que levaram o Sistema de Proteção do Reator a efetuar o desligamento do reator e a iniciar ações automáticas, considerando que um acidente tipo LOCA estaria ocorrendo. A apresentação das ações automáticas ao operador nos EOPs permite que o diagnóstico da equipe de operação seja comparado com aquele já feito pelo SPR, uma vez que as ações automáticas apresentadas já foram executadas no momento em que os operadores iniciam o uso do EOP, pois os operadores só selecionam e, portanto, usam os EOPs após o desligamento automático (RESA/TUSA), e após o diagnóstico do tipo de acidente, muito embora o Sistema de Proteção do Reator já esteja realizando ações automáticas de segurança. Na figura 9 os sinais de RESA/TUSA só aparecem no passo G do fluxograma.

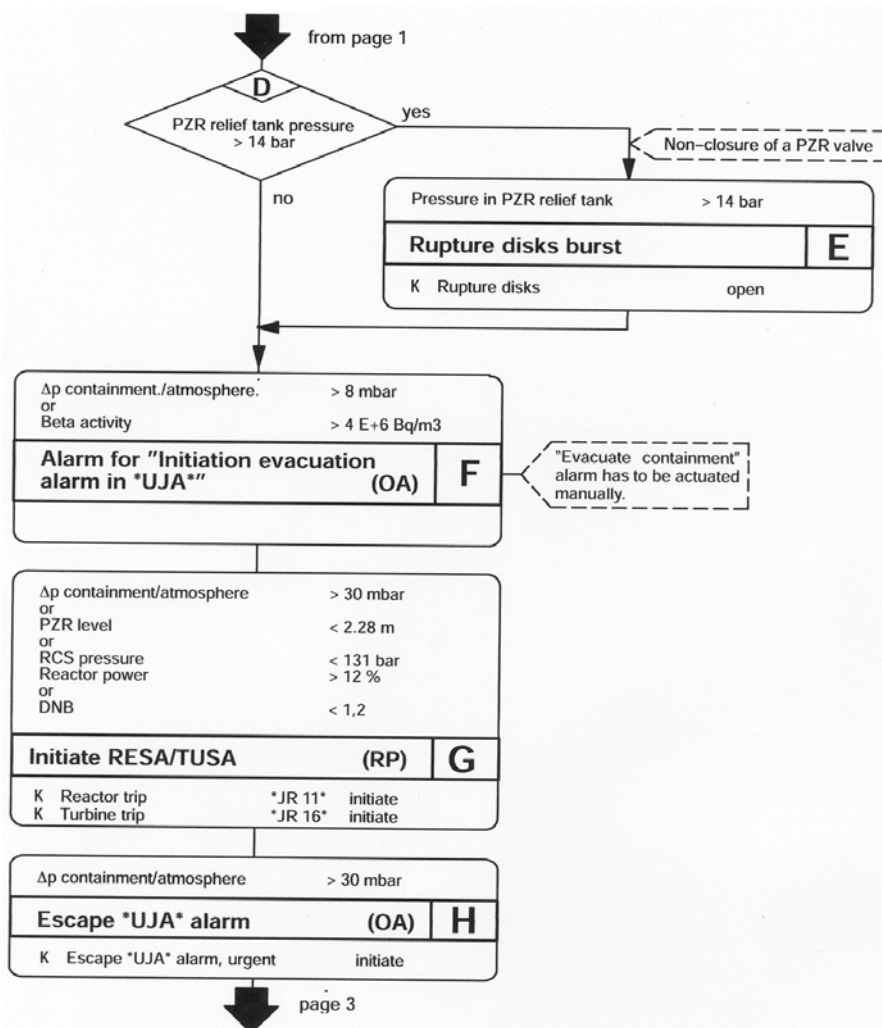


Figura 9 Folha do procedimento com ações automáticas.

A seguir, os EOPs, ainda sob a forma de fluxogramas (figura 10), apresentam a estratégia das ações manuais que devem ser executadas pelos operadores para que determinados objetivos operacionais sejam atingidos. Estas ações se iniciam com a checagem das condições da usina e, em função dessas condições, o procedimento se abre em diversos ramos. Na figura 10, cada retângulo que representa um passo do fluxograma remete a um conjunto de ações manuais que deve ser seguida. Assim, após o fluxograma da estratégia de ações manuais, o procedimento apresenta o detalhamento dessas ações manuais.

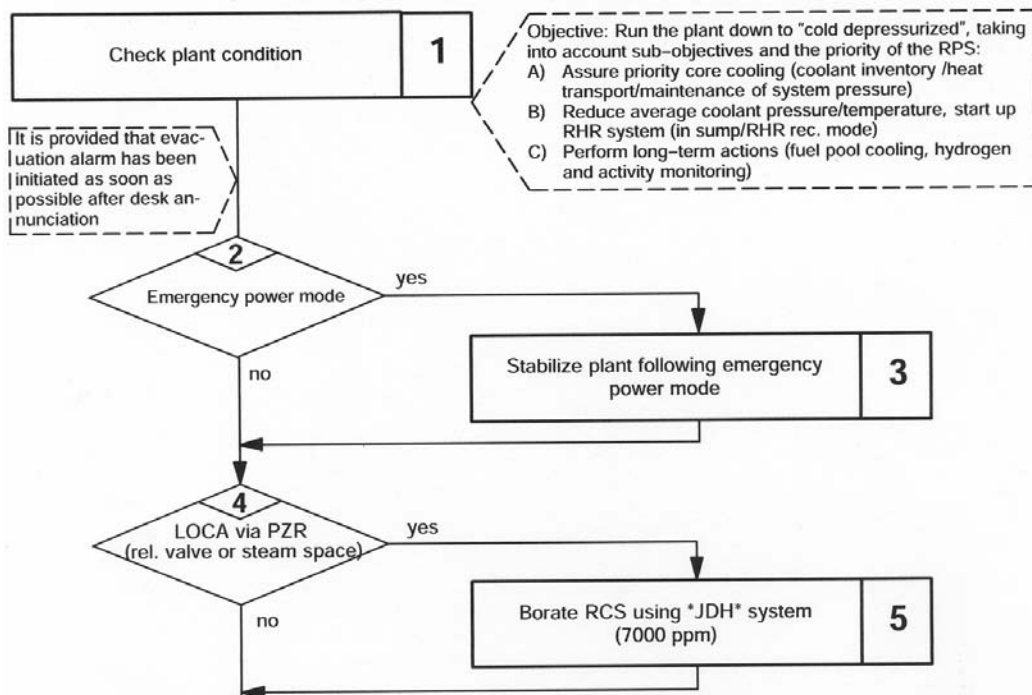


Figura 10 Início do fluxograma com a estratégia de ações manuais.

No EOP que usamos como exemplo, existem 46 passos contendo ações manuais. O passo 1 – *Check plant condition*, por exemplo, remete o operador para a primeira folha da parte do procedimento que trata do detalhamento das ações manuais, basicamente uma lista de verificação de valores de variáveis e posição de comandos, cuja primeira página é apresentada na figura 11. Em caso de *Large break* LOCA (ruptura de tubulação de grandes dimensões), o detalhamento de ações manuais compreende as páginas de 1 a 4 desta seção do procedimento. É importante notar que só para satisfazer a este passo do fluxograma, os operadores devem checar dezenas de variáveis. Estas listas contidas em diversas páginas estão localizadas ao final do procedimento, acarretando em possíveis dificuldades de navegação (do fluxograma para a lista e vice-versa), como já observamos com os procedimentos usados na parada. Um dos objetivos destes extensos *checklists* é obrigar os operadores a uma busca constante de informações sobre o estado da planta, de modo a garantir que os parâmetros estejam seguindo as tendências adequadas para que os critérios de resfriamento da planta sejam atingidos.

		Check plant condition	1
+ Evacuation *UJA* active	initiated	CYC 00 EG 002 ZV01	-
+ Escape *UJA* active		CYC 00 EG 003 ZV01	-
It is provided that evacuation alarm has been initiated as soon as possible after desk annunciation			
<hr/>			
A) Large-break LOCA	→ page 1		
B) Medium-break LOCA	→ page 4		
C) Small-break LOCA	→ page 7		
D) Small-break LOCA in the PZR steam space / non-closure of a PZR valve	→ page 10		
D1) Stuck-open PZR valve closed	→ page 13		
<hr/>			
A) Large-break LOCA			
<u>Remark:</u>			
Monitor in particular the coolant inventory and heat transfer by the residual heat removal pumps operating in the sump recirculation mode.			
Shut down any primary and secondary-side systems that are no longer required.			
Subcriticality			
+ Generator active pow	≈ 0 MW	MKA 02 CE 901E	-
+ Reactor power 2ndmax	≈ 0 %	JTK 00 FX 105	-
+ Control rods	inserted		
Position L- and 1st D-bk posi		JTK 00 FG 901	-
Position 2nd/3rd/4th D-bk pos		JTK 00 FG 902	-
+ Boric acid mon instr	not present	KUA 15 CQ 001	-
Primary-Side Coolant Inventory			
+ Level pressurizer	< 2.28 m	JEF 10 CL 951A	-
+ Level pressurizer	< 2.28 m	JEF 10 CL 001	-
Continued "			

Figura 11 Detalhamento de ações manuais.