

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**METODOLOGIA PARA DIAGNÓSTICO DA INTEGRIDADE E SEGURANÇA DE  
EQUIPAMENTOS ESTÁTICOS: FOCO EM REFINARIA DE PETRÓLEO**

**ALDO LUIS SOLDATE**

**Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de**

**MESTRE PROFISSIONAL EM ENGENHARIA  
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA  
sendo aprovada em sua forma final.**

**Prof. Acires Dias, Dr.Eng. - Orientador**

**Prof. Júlio César Passos, Dr. – Coordenador Acadêmico**

**Prof. José Antônio Bellini da Cunha Neto, Dr. – Coordenador do Programa**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Paulo de Tarso Rocha Mendonça, Ph.D. – (Presidente)**

---

**Prof. Eduardo Alberto Fancello, D.Sc.**

---

**Prof. Nelson Back, Ph.D.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Refinaria Landulpho Alves (RLAM) e à Unidade de Negócios da Bahia (UN-BA), ambas da PETROBRAS, em especial ao Eng. Simon Narbal e Eng. Renato Lustosa pelos seus esforços que possibilitaram a realização deste trabalho. Agradecimentos também à BRASKEM, em especial ao Eng. Amílcar Sales, pela oportunidade que nos proporcionou de realizar o curso de mestrado. Ao Prof. Dr. Júlio Passos, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, que venceu barreiras difíceis para dar continuidade ao curso de mestrado. Ao Prof. Dr. Acires Dias, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, meu orientador, pela dedicação, incentivo e presteza.

## DEDICO

A Deus, por me dar forças para vencer os inúmeros obstáculos  
que se transpuseram.

A meus queridos pais, em memória, que me ensinaram o caminho.

A minhas filhas, Núbia e Lívia, razão maior de todo o esforço e  
dedicação para levar à frente e concluir este trabalho.

# SUMÁRIO

## 1. INTRODUÇÃO

1.1 - Propósitos da indústria de processo .....	1
1.2 – Motivação para o desenvolvimento da metodologia .....	2
1.3 - Objetivos gerais .....	2
1.4 - Objetivos específicos .....	3
1.5 - Objeto desta pesquisa .....	3
1.6 - Conteúdo da dissertação .....	3
1.7 - Refinaria de petróleo .....	4
1.8 - Equipamentos estáticos de processo .....	6
1.9 - Peculiaridades da atividade de manutenção .....	7
1.10 - Estratégias de manutenção dos equipamentos estáticos .....	8
1.11 - Tratamento das peculiaridades da manutenção .....	9
1.12 - Atividade de inspeção dos equipamentos estáticos .....	11
1.13 – Comentários .....	11

## 2. EVENTOS INDESEJÁVEIS NA INDÚSTRIA DE PROCESSO

2.1 – Definição dos eventos indesejáveis .....	13
2.2 – Impacto dos acidentes na indústria de processo .....	15
2.3 – Impacto das falhas na indústria de processo .....	15
2.4 - Sinais de problemas de desempenho operacional na organização .....	17
2.5 – Comentários .....	18

## 3. ESTUDO DOS EVENTOS INDESEJÁVEIS

### 3.1 - Falhas

3.1.1 – Definição de falha .....	19
3.1.2 - Classificação das falhas .....	19
3.1.3 - Relação entre as duas classificações .....	26
3.1.4 - Relação entre falha e acidente/incidente .....	27
3.1.5 – Comentários .....	27

### 3.2 - Acidentes

3.2.1 - Modelos de acidente .....	28
3.2.2 - Críticas ao princípio da causalidade e modelos causais .....	32

3.2.3 - Classificação dos acidentes .....	32
3.2.4 – Comentários .....	34
<b>4. BASE DE CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DE FALHAS E ACIDENTES</b>	
4.1 - Distribuição das falhas na organização.....	35
4.2 - Características das falhas .....	36
4.2.1 - Falhas técnicas .....	36
4.2.2 - Falhas humanas e organizacionais .....	40
4.3 - Qualidade	
4.3.1 - Perspectivas da qualidade .....	44
4.3.2 - Definição de qualidade do produto .....	45
4.3.3 - Controle da qualidade do produto .....	46
4.3.4 - Variabilidade dos processos .....	47
4.3.5 - Desempenho do produto .....	48
4.4 - Integridade	
4.4.1 - Integridade estrutural .....	49
4.4.2 - Integridade física .....	50
4.4.3 - Integridade mecânica .....	54
4.4.4 - Confiabilidade estrutural .....	54
4.5 - Fatores humanos	
4.5.1 - Considerações preliminares .....	55
4.5.2 - Comportamento inseguro .....	56
4.5.3 - Erro humano .....	56
4.5.4 - Modelo recíproco de formação das ações humanas .....	66
4.5.5 - Atitude e comportamento .....	67
4.5.6 - Clima e cultura de segurança .....	68
4.6 - Regulamentação para os equipamentos estáticos .....	68
4.7 – Comentários .....	70
<b>5. METODOLOGIA PARA GESTÃO DE FALHA EM EQUIPAMENTOS ESTÁTICOS</b>	
5.1 - Categorias de falhas e condições .....	72
5.2 - Causas próximas e fundamentais .....	73
5.3 - Caracterização das falhas .....	74
5.3.1 - Falha humana .....	74

5.3.2 - Falha organizacional .....	74
5.3.3 - Falha técnica .....	79
5.4- Metodologia para a gestão de falhas	
5.4.1 - Falhas sistemáticas .....	81
5.4.2 - Objetivo da metodologia .....	82
5.4.3 - Identificação das causas fundamentais .....	82
5.5 - Matriz de falha .....	88
5.6 - Aplicação da metodologia	
5.6.1 - Objeto de aplicação .....	89
5.6.2 - Sujeitos da aplicação .....	89
5.6.3 - Local de aplicação .....	89
5.6.4 - Momento e freqüência de aplicação .....	89
5.6.5 - Objetivo da aplicação .....	89
5.6.6 – Modelo causal geral para falhas e acidentes .....	89
5.6.7 - Procedimento para aplicação .....	90
6. VALIDAÇÃO E CONCLUSÃO	
6.1 - Validação da metodologia .....	94
6.2 – Comentários .....	94
6.3 – Currículo dos avaliadores .....	95
6.4 – Conclusão .....	95
6.4.1 - Vantagens da metodologia .....	99
6.4.2 - Desvantagens e dificuldades de implementação da metodologia .....	99
6.5 – Evolução da metodologia com trabalhos futuros.....	99
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	101
ANEXOS .....	A.1

## LISTA DAS FIGURAS

Fig. 1.1 – Fluxograma geral típico do processo de uma refinaria de petróleo .....	5
Fig. 1.2 – Organograma típico de uma refinaria de petróleo .....	6
Fig. 2.1 - Estrutura de perda na indústria .....	13
Fig. 2.2 – Causas das falhas da indústria de processo .....	16
Fig. 2.3 – Perdas por falhas mecânicas na indústria de processo .....	16
Fig. 3.1 - Relação entre falhas e acidentes .....	27
Fig. 3.2 - Estrutura geral de acidentes no modelo epidemiológico .....	31
Fig. 4.1: Modelos “E” e “F” de curva de taxa de falhas .....	37
Fig. 4.2: Regimes de falha da curva de taxa de falhas .....	38
Fig. 4.3: Efeito das interferências de manutenção na curva de taxa de falhas .....	39
Fig. 4.4: Trajetórias de falhas humanas e organizacionais .....	41
Fig. 4.5: Barreiras em profundidade .....	42
Fig. 4.6: Curva de satisfação do cliente .....	47
Fig. 4.7: Variabilidade dos processos .....	48
Fig. 4.8: Concentração do Risco .....	52
Fig. 4.9: Matriz de Risco .....	53
Fig. 4.10: Crescimento da responsabilidade humana nos acidentes .....	58
Fig. 4.11: Esquema do funcionamento mental .....	60
Fig. 4.12: Modelo da atenção humana .....	61
Fig. 4.13: Níveis de controle de desempenho humano .....	61
Fig. 4.14: Classificação do erro humano .....	64
Fig. 4.15: Modelo recíproco da cultura de segurança .....	67
Fig. 5.1: Cronologia da falha .....	73
Fig. 5.2 – Modelo recíproco de formação das ações humanas .....	75
Fig. 5.3 – Formação dos atos inseguros nas frentes de trabalho .....	76
Fig. 5.4: Fluxo causal das falhas e acidentes proposto .....	77
Fig. 5.5: Ferramentas aplicáveis .....	83
Fig. 5.6: Processo evolutivo da cultura de segurança .....	84
Fig. 5.7: Modelo causal geral para falhas e acidentes .....	90

## LISTA DOS QUADROS

Quadro 1.1: Indústria de processo X manufatura .....	4
Quadro 2.1 - Principais acidentes recentes da indústria de processo .....	15
Quadro 2.2 – Perdas financeiras em grandes acidentes .....	15
Quadro 2.3: Sinais de baixo desempenho das instalações .....	17
Quadro 3.1: Matriz de falhas .....	26
Quadro 3.2: Matriz dos ingredientes causais .....	28
Quadro 4.1: Distribuição das falhas na matriz de relacionamento das falhas .....	36
Quadro 4.2: Importância dos fatores humanos na manutenção .....	40
Quadro 4.3: Visões do erro humano .....	57
Quadro 4.4: Descrição do erro humano .....	65
Quadro 4.5: Regulamentação dos equipamentos estáticos .....	69
Quadro 5.1: Terminologia adotada .....	73
Quadro 5.2: Elementos da cultura de segurança .....	82
Quadro 5.3: Fatos geradores de eventos indesejáveis .....	88
Quadro 5.4: Classificação dos atributos – exemplo de aplicação .....	92
Quadro 5.5: Avaliação dos atributos – exemplo de aplicação .....	92
Quadro 5.6: Identificação da causa fundamental .....	93
Quadro 6.1: Resultado da validação do método .....	94



## LISTA DAS SIGLAS

ANP: Agência Nacional do Petróleo, que regulamenta a legislação do petróleo no Brasil.

API (American Petroleum Institute): Instituto Americano de Petróleo.

ASME (American Society for Mechanical Engineers): sociedade americana dos engenheiros mecânicos.

BBS (behavior based-safety): segurança baseada em mudança de comportamento.

BE (blunt end): tudo que não faz parte do chão-de-fábrica (SE) – gerência, governo, sociedade, etc.

CL: condições latentes.

CLNH: condições latentes de natureza humana.

CLNO: condições latentes de natureza organizacional.

CLNT: condições latentes de natureza técnica.

DDS: diálogo diário de segurança.

E-F: econômico-financeiro.

EH: erro humano.

END: ensaio não-destrutivo.

E&P: especificação e projeto.

EPI: equipamento de proteção pessoal.

FANH: falha ativa de natureza humana.

FANO: falha ativa de natureza organizacional.

FANT: falha ativa de natureza técnica.

FH: falha humana.

FTA (failure tree analysis): análise por árvore de falhas.

F&M: fabricação e montagem.

HRO (high reliability organization): organização de alta confiabilidade.

I&M: inspeção e manutenção.

IBR: inspeção baseada em risco.

ISO (International Standardization for Organization): organismo internacional de padronização da indústria.

LTI (lost time index): índice de perda de tempo com acidentes.

M-A: meio-ambiente.

M-T PTQ – matéria-prima para indústria petroquímica

MCC: manutenção centrada em confiabilidade.

MTBF (mean time between failures): tempo médio entre falhas.

NR-13: Norma Regulamentadora Nº13 para vasos de pressão caldeiras, do Ministério do Trabalho do Brasil.

O&U: operação e uso.

RCA (root cause analysis): análise de causa raiz de falha.

RLAM: Refinaria Landulpho Alves.

SE (sharp end): linha de frente de trabalho, chão-de-fábrica.

SMS: segurança, meio-ambiente e saúde ocupacional.

TPM (Total Productive Manufacturing): manufatura produtiva total.

TQC (total quality control): controle pela qualidade total.

TQM (total quality management): gerenciamento pela qualidade total.

## RESUMO

Grandes perdas decorrentes de falhas e acidentes têm marcado a indústria de processo, particularmente as refinarias de petróleo, tanto por ocorrências de acidentes catastróficos isolados quanto, principalmente, pelo somatório de eventos de pequena magnitude do dia-a-dia. Ocorrências indesejáveis com equipamentos estáticos representam cerca de 70% dessas perdas, sendo a manutenção responsável por quase metade. As causas fundamentais de falhas e acidentes podem ter natureza técnica, humana ou organizacional. As falhas técnicas são tratadas pelo atributo da qualidade do produto para evitar condições latentes de natureza técnica e pelo atributo da integridade física para evitar condições inseguras. As falhas humanas e organizacionais são tratadas pela cultura de segurança, partindo-se das teorias desenvolvidas nos últimos vinte e cinco anos, que distinguem as diversas classes de erro humano envolvidas em falhas e acidentes. Para estudar as falhas organizacionais, adotou-se um modelo de formação do comportamento humano baseado na interação dos domínios psicológico, condições de trabalho e situação organizacional, inserindo-o em um modelo epidemiológico de fluxo causal de acidentes vinculados a falhas, que preconiza que decisões gerenciais e institucionais geram condições latentes que agem sobre tais domínios da organização, proporcionando a constituição de atos inseguros e a degradação das barreiras do sistema, que culminam em falhas ou mesmo acidentes. A metodologia para definir o diagnóstico da integridade e segurança de equipamentos estáticos é constituída por uma série de proposições que sustenta um processo de varredura em cada domínio para identificar as causas fundamentais de falhas e acidentes, de forma a antecipar-se à ocorrência desses eventos indesejáveis ou minimizar as suas conseqüências. Os modelos de acidentes e as classificações das falhas adotadas para compor a metodologia permitem utilizar as mesmas ferramentas de identificação de causas fundamentais para qualquer das naturezas de falha.

Palavras-chave: acidente, cultura de segurança, equipamento estático, erro humano, falha, inspeção, integridade, manutenção, metodologia, qualidade, refinaria.

## **ABSTRACT**

Process industry has been marked by big losses due to failures and accidents, in special petroleum refineries, as from catastrophic accidents or mainly due to small-scale events. These occurrences with static equipments represent 70% of these losses, at which maintenance is responsible for one half of them. The underlying causes of accidents and failures can be technical, human or organizational nature. Technical failures are treated by product quality to avoid latent conditions of technical nature and by physical integrity to avoid unsafe conditions. Human and organizational failures are treated by safety culture, applying theories which classify human error and have been developed at last twenty five years to explain accidents and failures. To study organizational failures, it was adopted a model of conception of human act based on interaction of psychology, job and situational factors, at which it was introduced in a epidemiologic model of causal flux of accidents linked to failures that preconizes institutional and managerial decisions create latent conditions in components of activities of the organization that act over such factors, conducting to generation of unsafe acts and to deterioration of system barriers and safeguards, that results at failures or even accidents. The methodology to diagnostic integrity and safety of static equipments is constituted of several questions to support a scanning process to each factor to identify fundamental causes of failures and accidents, anticipating these undesirable events or minimizing their consequences. Accident models and failure classifications that were adopted to compose the methodology permit to apply the same tools to identify root causes of technical, human and organizational nature.

Key words: accident, failure, human error, inspection, integrity, maintenance, methodology, quality, refinery, safety culture, static equipment.

# INTRODUÇÃO

## 1.1 - Propósitos da indústria de processo

Com a abertura política que varreu o mundo no final dos anos 80 e início dos anos 90, a evolução do modelo econômico de globalização e a desregulamentação do mercado com a desestatização, intensificaram-se as pressões para a redução dos custos de produção e, paralelamente, as organizações não-governamentais ambientalistas exigiam uma postura de proteção ambiental das nações. Tais fatos fizeram emergir uma consciência de segurança, meio-ambiente e saúde ocupacional (SMS). Desta forma, verificou-se que os paradigmas e estratégias existentes não mais atendiam aos valores sociais e corporativos. Tais pressões paralelamente estimularam a criação de filosofias preocupadas com a SMS e a redução de custos (enxugamento do quadro, terceirização, achatamento da estrutura organizacional, etc.), formando a base sócio-política que sustenta as mudanças. Prevalece o conceito do alto desempenho: mínimo custo operacional, alta qualidade dos produtos, alta confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, elevado padrão de segurança para as instalações e pessoas e processos não agressivos ao meio-ambiente. Para a manutenção restaram profundas mudanças estruturais (Rojas, 2002).

As informações são geradas em grande quantidade e de forma acelerada. A estrutura precisa estar preparada para receber e tratar eficientemente (dar agilidade ao fluxo) as informações. É preciso integrar e interagir as atividades para dar mais agilidade às organizações. A interação e a integração requerem uma flexibilidade da estrutura de execução, com o “pé no chão-da-fábrica”, em contato direto com a linha de produção. Os avanços tecnológicos fizeram agravar o problema das falhas e acidentes. Aliado a isto, a intolerância da sociedade em relação a acidentes e agressões ao meio-ambiente e a pressão para reduzir custos exigem da administração um controle mais preciso para possibilitar atingir as metas traçadas pela organização.

Essas mudanças implicam na alteração dos valores e no surgimento de uma nova cultura. Surgem questionamentos para se estabelecer os novos valores:

- Quais são os propósitos? Altas confiabilidade e disponibilidade e excelência em SMS, conciliados com mínimos custos.
- E a questão maior: “o que fazer” para ajudar a atingir tais metas sem falhas ou acidentes? Isto é o que propõe esta dissertação.

## **1.2 – Motivação para o desenvolvimento da metodologia**

Os principais fatores que motivaram a pesquisa para o desenvolvimento de uma metodologia para a gestão de falhas e acidentes em equipamentos estáticos de refinarias de petróleo são:

- A indústria gasta boa parte de seus recursos com ferramentas e métodos para evitar, minimizar as conseqüências ou recuperar-se de acidentes, falhas e outros eventos indesejáveis, muitas vezes sem alcançar o sucesso esperado.
- A sociedade está cada vez menos tolerante a eventos que colocam em risco a segurança das pessoas e/ou instalações e o meio-ambiente.
- A maior parte das perdas em refinarias de petróleo tem relação com a manutenção dos equipamentos estáticos.
- Em indústrias que lidam diariamente com o perigo, como as refinarias de petróleo, ainda ocorrem muitos acidentes, falhas e perdas econômico-financeiras, causando prejuízos consideráveis de toda natureza, com um baixo índice de caracterização de suas causas fundamentais, seja por falta de ferramentas adequadas, conveniência ou desconhecimento da existência de tecnologia capaz de identificá-las e promover a solução.
- Desejo de contribuir para a redução do risco de falhas, acidentes e perdas de natureza econômico-financeira em refinarias de petróleo.

## **1.3 - Objetivos gerais**

O objetivo geral da pesquisa é desenvolver uma metodologia capaz de permitir a coleta de informações para a análise e identificação antecipada de causas fundamentais de problemas de natureza técnica, humana ou organizacional ligadas à atividade de inspeção e manutenção de equipamentos estáticos de refinaria de petróleo, com potencial para produzir direta ou indiretamente falhas do sistema e/ou acidentes, utilizando como ferramentas, auditorias, observações, questionários e entrevistas. Estas diversas ferramentas visam obter informações do comportamento humano por meio de pesquisa de clima e análise de atitudes sobre o que as pessoas percebem e sentem em relação aos aspectos de segurança e comportamentais. Podem ser feitas por meio de observação direta e indireta do que a organização e as pessoas fazem

relativamente à segurança. Tais ferramentas também buscam informações sobre a situação da organização por meio de auditorias para revelar o que as atividades de inspeção e manutenção têm para garantir a integridade e a segurança dos sistemas de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo.

#### **1.4 - Objetivos específicos**

Os objetivos específicos desta dissertação permitem à metodologia:

- Definir o que fazer na atividade ligada a manutenção e inspeção para evitar a ocorrência de falhas e acidentes, ou minimizar as suas conseqüências, por meio dos atributos de qualidade dos produtos, integridade física dos sistemas e segurança das instalações.
- Recomendar a aplicação em equipamentos estáticos de refinarias de petróleo nas atividades de manutenção e inspeção dos equipamentos.
- Chamar a atenção para as ações nas fases de fabricação e montagem, cujos resultados se refletem diretamente no desempenho dos equipamentos estáticos durante as fases do ciclo de vida de operação e manutenção.

#### **1.5 - Objeto desta pesquisa**

O objeto desta pesquisa é desenvolver uma metodologia sistematizada para identificar, de forma antecipada, causas fundamentais de falhas de natureza técnica, humana e organizacional relacionadas às atividades de manutenção e inspeção de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo, visando a sua integridade e segurança a partir da base de conhecimento dos atributos de integridade, qualidade e cultura de segurança.

#### **1.6 - Conteúdo da dissertação**

Esta dissertação tem o seguinte conteúdo:

**Capítulo 1:** Apresenta os objetivos do estudo, define indústria de processo e refinaria de petróleo e descreve as atividades de inspeção e manutenção dos equipamentos estáticos.

**Capítulo 2:** Mostra o impacto financeiro e social das falhas e acidentes com os equipamentos na indústria de processo. Define as classes dos eventos a serem tratados nesta dissertação.

**Capítulo 3:** Faz uma revisão bibliográfica sobre classificações de falhas e modelos de acidentes.

**Capítulo 4:** Faz um levantamento da base de conhecimentos e atributos necessários para compor a metodologia de gestão de falhas e acidentes.

**Capítulo 5:** Apresenta a metodologia de levantamento de diagnóstico com suas ferramentas e o resultado da aplicação do método.

**Capítulo 6:** Apresenta a validação da metodologia e conclusão.

### **Referências Bibliográficas.**

**Anexos:** Apresenta os currículos dos profissionais que avaliaram o método e fornece alguns exemplos de questionamentos para a identificação de causas fundamentais de falhas e acidentes.

## **1.7 - Refinaria de petróleo**

A indústria de processo se caracteriza e se diferencia da indústria de manufaturados por alguns aspectos. O quadro 1.1 sintetiza as diferenças.

Quadro 1.1: Indústria de processo X manufatura

INDÚSTRIA DE PROCESSO	MANUFATURA
Operador opera vários equipamentos (sistema)	Operador opera 01 (ou mais) equipamento
Existe equipe de manutenção definida	Operador tem relação mais direta com a máquina

O processamento pode ser por batelada ou de forma contínua. Insere-se dentro da classe de indústria de processo a indústria de óleo e gás, geração de vapor, metais, energia elétrica, petroquímica, química, farmacêutica, plásticos, alimentos, papel e celulose, etc. Portanto, refinaria de petróleo é uma classe da indústria de processo que utiliza o petróleo e seus derivados como matéria-prima para produzir combustíveis, solventes, lubrificantes, parafinas, enxofre e outros derivados do petróleo, operando continuamente a maioria de seus processos e utilizando processos físicos, químicos e físico-químicos. Anexo a uma refinaria está o parque de armazenamento, as plantas de



geração de energia térmica e elétrica, plantas de tratamento de água de refrigeração e estações de tratamento de efluentes sólidos, líquidos e gasosos, tornando a refinaria uma indústria de grande complexidade, dada à diversidade de processos, tipos de equipamentos, materiais envolvidos e processos de deterioração diversos. Essa ampla gama de equipamentos estáticos, dinâmicos e elétricos, componentes eletrônicos e instrumentos trabalha de forma integrada sob diversas condições de operação, submetidas a uma grande quantidade de modos de falha atuantes e requerendo cuidados especiais com a segurança das pessoas e instalações e com o meio-ambiente, já que utiliza produtos inflamáveis e/ou tóxicos. A figura 1.1 sintetiza o fluxo.

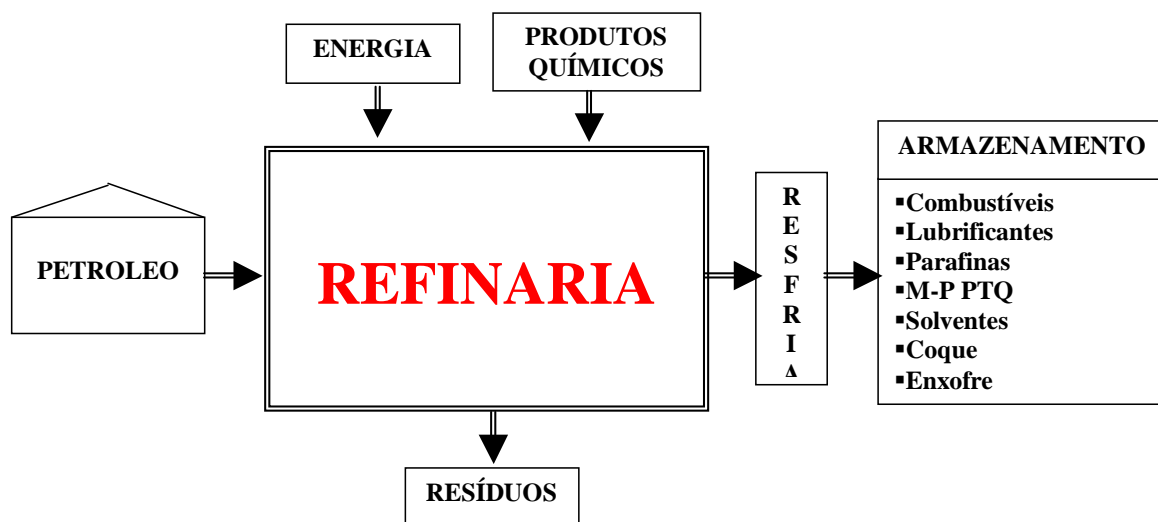


Fig. 1.1 – Fluxograma geral típico do processo de uma refinaria de petróleo

A agressividade dos fluidos, os elevados níveis de pressão e temperatura, a toxidez e inflamabilidade dos fluidos, fatores de projeto e os fatores econômicos definem a extensão de operação ininterrupta até as paradas programadas para manutenção das plantas de processo ou dos equipamentos de forma isolada. Em vista disso, uma complexa interação entre esses fatores pode se estabelecer e levar a falhas de difícil previsibilidade, culminando em paradas emergenciais indesejáveis e onerosas.

A estrutura típica de uma refinaria é organizada por função. Dentro da manutenção prevalece a divisão proposta pela teoria da administração de Taylor, que mantém separadas a produção, o planejamento e o controle de qualidade. A parcela ligada diretamente aos equipamentos de uma estrutura organizacional típica de uma refinaria de petróleo é representada na figura 1.2.

As atividades da estrutura que exercem funções formais de avaliação da confiabilidade, integridade e segurança em equipamentos estáticos estão assinaladas na figura 1.2.

A estrutura da manutenção é composta da seguinte hierarquia: gerência setorial, engenharia, planejamento e fiscalização dos serviços contratados. A execução dos serviços é realizada por empresa contratada, constando de engenharia, supervisão e pessoal de execução das tarefas.

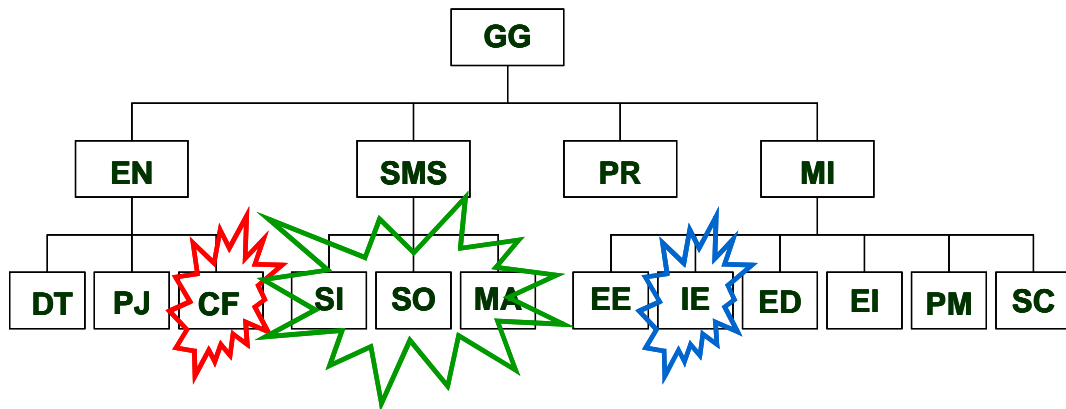


Fig. 1.2 – Organograma típico de uma refinaria de petróleo

Legenda:

- Gerência de topo: GG.
- Gerência intermediária: EN (engenharia), SMS (segurança, meio-ambiente e saúde), PR (produção), MI (manutenção industrial).
- Gerência inferior: DT (documentação técnica), PJ (projetos), CF (confiabilidade), SI (segurança industrial), SO (médico e saúde ocupacional), MA (meio-ambiente), EE (equipamentos estáticos), IE (inspeção de equipamentos), ED (equipamentos dinâmicos), EI (elétrica, instrumentação e controle), PM (planejamento da manutenção), SC (suprimentos e contratação).

## 1.8 - Equipamentos estáticos de processo

Equipamentos estáticos de processo são aqueles em que não há movimento relativo entre as partes que o compõem e entre essas e o solo (estrutura) que o suporta. As classes mais comuns são: vasos de pressão, trocadores de calor, reatores de processo, caldeiras a vapor, fornos de processo, tubulações e tanques de armazenamento, cada qual projetado por um código de construção específico, que busca complementação em uma série de outras normas técnicas e de segurança e procedimentos os mais diversos. Suas principais funções são conter, acumular e conduzir produto, e servir de residência para possibilitar reações físicas e/ou químicas.

Alguns fatores caracterizam os equipamentos estáticos:

- em função de suas dimensões e/ou pressão interna, podem acumular elevada quantidade de energia potencial no fluido contido, tornando o seu controle crítico;
- as grandes dimensões em geral dificultam a determinação de uma taxa de evolução de danos representativa;
- sobre eles podem atuar uma extensa gama de modos de falha;
- apresenta baixa interação entre os componentes, conseqüentemente as causas de falhas e acidentes são relativamente bem determináveis.

Os modos de falha típicos dessa classe de equipamentos são:

▪ Abrasão	▪ Corrosão sob tensão	▪ Fretting
▪ Corrosão	▪ Erosão/impingimento	▪ Instabilidade (elástica / plástica)
▪ Corrosão-erosão	▪ Fadiga mecânica/térmica	▪ Fratura
▪ Corrosão-fadiga	▪ Fluência	▪ Sobrecarga

A atuação de um ou mais modos varia em função da especificação de projeto, condições de serviço, exposição ao meio e artifícios de proteção utilizados.

As fases do ciclo de vida desses equipamentos são: especificação, projeto, fabricação, montagem, operação e manutenção.

- E&P: nesta fase os conceitos do projeto são definidos e políticas administrativas e gerenciais interferem na sua qualidade, refletindo no seu desempenho por todo o seu ciclo de vida.
- F&M, O&U e I&M: fases em que podem ser introduzidas descontinuidades, asseveradas por fatores relacionados a projeto, administração/gestão e fatores humanos, contribuindo para o encurtamento dos intervalos entre paradas ou reduzindo sua vida útil. Esta dissertação estabelece um método aplicável a I&M para evitar a ocorrência de falhas e acidentes.

## 1.9 - Peculiaridades da atividade de manutenção

As muitas interfaces entre as atividades internas e externas à manutenção exigem uma efetiva coordenação na realização das suas tarefas e, para tanto, uma estrutura adequada. Mas este aspecto já complexo vem se agravando ao longo desses últimos anos por força das pressões para redução de custos no curto-prazo em função dos ajustes exigidos pelas rápidas mudanças dos fatores que determinam a concorrência do mercado globalizado. Desta forma, a adoção de políticas mal adaptadas de

enxugamento de quadro, terceirização e redução de estoque tem sido determinante nos aspectos negativos do desempenho da atividade de manutenção em relação à ocorrência de eventos indesejáveis na indústria de processo como um todo. Não obstante a tudo isto, segue as exigências por uma melhor previsibilidade dos serviços de manutenção dos equipamentos estáticos, que deve ser enfatizada na inspeção desses equipamentos.

Um aspecto determinante na formação de atos inseguros em manutenção é que as tarefas de re-instalação, em seqüência ou paralelo, permitem quase sempre uma grande quantidade de combinações diferentes. Reason (1997) explica as razões disto num exemplo simples, considerando como sistema um parafuso com oito porcas conectadas. Como para a maior parte dos sistemas, só há uma ordem para desmontá-lo, entretanto para remontá-lo há 40.320 (8!) opções de ordem de montagem para o sistema considerado, sem levar em conta qualquer erro humano neste processo de remontagem. A probabilidade de erro de montagem cresce significativamente se considerar que muitos possíveis erros humanos e desordenamentos vão ocorrer. Este fato induz concluir que os serviços de manutenção exigem um detalhamento quase sempre inexistente que defina o melhor caminho para obter o êxito e, por sua vez, se associa aos aspectos naturais da falibilidade humana, aumentando a chance de gerar comportamentos inseguros adicionais, ocasionando falhas ou até acidentes.

### **1.10 - Estratégias de manutenção dos equipamentos estáticos**

As estratégias de manutenção predominantes adotadas para atender os equipamentos estáticos são, nas organizações mais evoluídas a preventiva, preditiva, evolutiva e, por análise, a corretiva. Mas há organizações em que prevalece a estratégia corretiva e preventiva sem análise aprofundada para defini-la corretamente.

Há uma prevalência forte da estratégia preventiva para equipamentos estáticos em função da grande quantidade de modos de falha possíveis de atuar e sua extensão, além da dificuldade de medir o grau de deterioração dos componentes internos de equipamentos críticos para a produção. Novas tecnologias de END têm contribuído para o aumento da estratégia preditiva em detrimento da preventiva e corretiva.

Ricketts (1994), em pesquisa realizada em diversas refinarias do mundo, concluiu que aquelas que mais gastam com manutenção apresentam menor confiabilidade (mais

falham), pois os recursos disponibilizados são comprometidos com a manutenção corretiva, entrando num círculo vicioso de reparo, indisponibilizando recursos para estudar as causas das falhas e implementar melhorias contínuas no sistema de forma a reduzir a taxa de falhas e acidentes.

### **1.11 - Tratamento das peculiaridades da manutenção**

Os aspectos peculiares da manutenção merecem cuidados especiais para reduzir a taxa de falhas e acidentes e os custos de manutenção, necessitando ser controlados. Os principais aspectos que merecem controle são discutidos a seguir.

#### *a) Interfaces entre as atividades*

As diversas atividades envolvidas no processo de realização das tarefas de manutenção requerem planejamento detalhado, comunicação efetiva, espírito de equipe aprimorado e coordenação das atividades para garantir o sucesso almejado.

#### *b) Estrutura da manutenção*

Muitas transformações no modelo organizacional ocorreram de 1990 até os dias atuais, reduzindo os níveis gerenciais e tornando a estrutura mais achatada, cujos objetivos foram reduzir os custos e a burocracia, dar agilidade à comunicação e envolver mais os gerentes nas práticas de trabalho (Kettley, 1995). A redução do *staff* foi uma consequência e, particularmente na manutenção, a terceirização foi inevitável. Os supervisores e técnicos tiveram que se distanciar do contato direto com as frentes de trabalho, tornando-se verificadores do cumprimento das cláusulas contratuais (NASA, 2003). Reduziu-se (em alguns casos eliminou-se) o suporte técnico, os responsáveis pelo “como” fazer da maneira mais adequada e incorporação de novas tecnologias de manutenção. A organização define “o que” fazer, ficando a cargo dos contratados o “como” fazer. Surgiu mais uma interface, muitas vezes delicada devido aos conflitos de objetivos entre contratante e contratada. A redundância sobre as tarefas, um dos pilares da teoria das HRO (Weick, 2001), desapareceu. Mas o somatório disto resultou em efeitos negativos para a manutenção, tais como a sobrecarga de trabalho para o *staff* de manutenção da organização, tornando-se o fator organizacional que mais impactou no índice de acidentes (Ward et alli, 2003).

*c) Previsibilidade dos serviços de manutenção*

A previsão dos serviços de manutenção é de extrema importância para possibilitar o planejamento de execução das tarefas de manutenção com a devida antecedência, no nível de detalhamento e análise requeridos. A previsibilidade está diretamente relacionada à capacidade de detecção antecipada de problemas, antes que a falha ocorra, que depende da capacitação e uso de técnicas para gerar os serviços de manutenção ou identificar problemas na organização que conduza a falhas ou acidentes.

*d) Estoque de sobressalentes*

O gerenciamento adequado do estoque de sobressalentes é fundamental para cumprir os prazos e custos planejados de manutenção.

*e) Contratos de serviços*

Contratos adequados de serviços reduzem os problemas de interface e objetivos conflitantes entre contratante e contratada, permitindo que as tarefas sejam adequadamente detalhadas e os serviços realizados com a qualidade requerida.

*f) Condições e local de trabalho*

A arrumação da área de trabalho e as condições gerais de trabalho são aspectos muito importantes para o bom desempenho das atividades de manutenção. O grande número de atividades e variedade de ferramentas envolvidas associado às pressões por baixo custo pode levar a problemas na execução das tarefas, comprometendo a segurança e a qualidade dos serviços executados.

*g) Desempenho humano e qualidade dos serviços de manutenção*

Dos erros humanos, a omissão é a principal categoria, tanto no reparo em si quanto na remoção de objetos estranhos após a manutenção ser realizada, sendo, portanto, o principal fato gerador de falhas prematuras (Dunn, 2003; Reason, 1997). Isto significa que ao mesmo tempo em que procedimentos de manutenção e reparo rigorosos são utilizados, há sinais claros de que os processos e mesmo os procedimentos de manutenção com

reparo dos componentes, incluídos fabricação e montagem, precisam ser melhorados (Dunn, 2003).

### **1.12 - Atividade de inspeção dos equipamentos estáticos**

A atividade de inspeção de equipamentos numa refinaria de petróleo é responsável pela avaliação e garantia de integridade dos equipamentos estáticos, em que aplica conhecimentos de integridade física e mecânica de equipamentos, seleciona e utiliza END para identificar e dimensionar defeitos e monitora e avalia a deterioração dos equipamentos e componentes com base nas variáveis dos processos de produção.

### **1.13 - Comentários**

Quanto aos problemas de falha prematura, a possível solução deve estar em utilizar artifícios que melhorem o controle da variabilidade de seus processos e na redundância dos sistemas e processos. Diante disso, a manutenção e a inspeção de equipamentos estáticos devem investir na qualidade de seus produtos:

- conhecendo o que interfere nos fatores humanos, alterando processos, treinando, melhorando as condições de trabalho, adequando a linguagem dos procedimentos, motivando, melhorando os procedimentos e fazendo cumprir os procedimentos;
- Controlando as tarefas críticas;
- Melhorando a qualidade de seus processos e serviços;
- Automatizando os de processos de trabalho para reduzir a variabilidade.

Alguns outros fatores devem ser observados:

- aplicar novos conhecimentos, ferramentas e metodologias que assegurem adequação ao uso dos equipamentos e que sejam projetados de forma a atender os requisitos de manutenibilidade e custos, baseados no ciclo de vida e não apenas na redução do custo inicial, porém, isso requer uma forte interação entre a engenharia e a manutenção;
- operar dentro dos limites de projeto, requerendo maior disciplina da gerência e pessoal que opera os equipamentos;
- adotar políticas adequadas de enxugamento de quadro e terceirização;

- estruturar o *staff* de modo a definir “o que” e “como” fazer para atingir de forma adequada as metas determinadas pela administração;
- gerenciar adequadamente as mudanças;
- mais atenção aos detalhes e disciplina na execução das tarefas.

Quanto à estratégia de manutenção, é necessário sair do círculo vicioso da manutenção corretiva e evoluir para estratégias elaboradas de definição das intervenções de manutenção, por meio da capacitação adequada das pessoas e melhoria da estrutura de apoio.



## EVENTOS INDESEJÁVEIS NA INDÚSTRIA DE PROCESSO

### 2.1 – Definição dos eventos indesejáveis

O propósito deste capítulo é mostrar a importância do controle das falhas e acidentes na indústria de processo, definindo de forma preliminar e estabelecendo a relação entre falhas e incidentes de acordo com os modelos de acidente adotados pela literatura em geral. Introduce uma terminologia unificada para possibilitar a criação de método padronizado de tratamento de eventos indesejáveis em refinarias de petróleo.

Eventos indesejáveis são os problemas que causam perdas ou uma condição de quase perda para a organização. São as falhas, acidentes, quase-acidentes, atos inseguros e perdas estritamente econômico-financeiras, que são conseqüências de atos ou condições indesejáveis. Groeneweg et alli (2003) relaciona e classifica esses eventos com os desvios de processo da seguinte forma, conforme a figura 2.1:

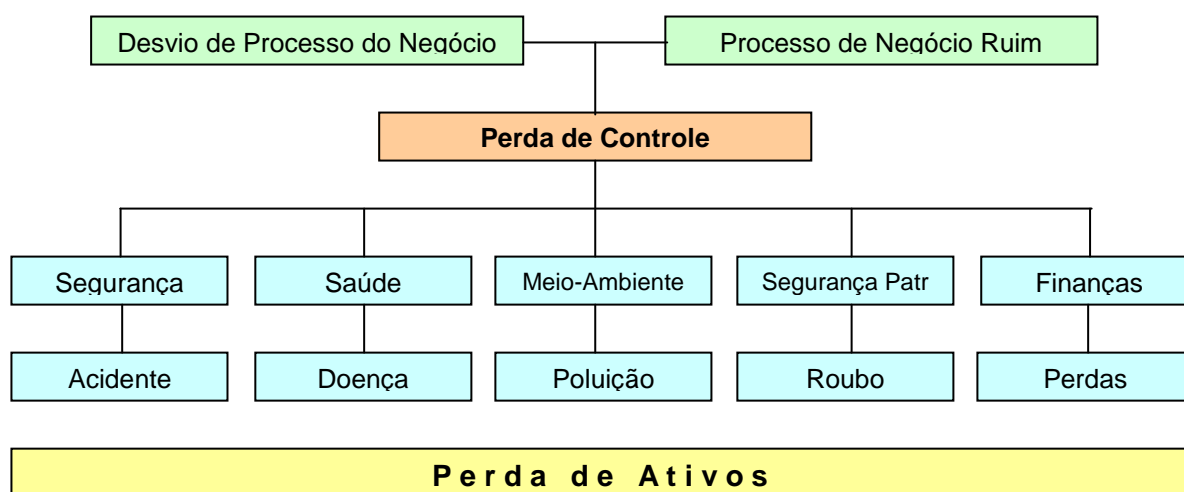


Fig. 2.1: Estrutura de perda na indústria (adaptado de Groeneweg et alli, 2003)

A definição de eventos indesejáveis nesta dissertação abrange:

- **Falha:** incapacidade ou inabilidade de um sistema ou componente exercer suas funções intencionadas (especificadas), por um intervalo de tempo definido, sob condições ambientais especificadas (Leveson, 2003a). São exemplos: falha de um motor; queda de bandeja de uma coluna de fracionamento de produtos (perda da

função especificação de produto), obstrução de tubulação (perda da função de condução), vazamento (perda da função de contenção).

- **Acidente:** evento indesejável ou não planejado que resulta em perda, incluindo perda de vida humana ou lesão corporal, danos à propriedade, agressão ao meio ambiente ou saúde das pessoas, etc. (Leveson, 2002). Podem ser (Reason, 1997):
  - Acidente individual: as perdas incidem sobre os indivíduos diretamente ligados à atividade que o gerou. Ocorrem em grande número (frequência), mas de abrangência limitada, localizada. Tem poucas causas. Em geral, o agente é a própria vítima. Os métodos convencionais são efetivos para combatê-los: foco no erro humano.
  - Acidente organizacional: as perdas incidem sobre as organizações. É raro, mas abrangente e catastrófico. Tem múltiplas causas. As vítimas são populações não diretamente envolvidas, ativos inteiros e extensas agressões ao meio-ambiente. Os métodos convencionais não são efetivos para identificar suas causas e evitá-los: foco nos fatores organizacionais.
- **Incidente:** ocorrência não classificada como acidente, que afeta ou poderia afetar a segurança. Contempla os quase-acidentes e comportamentos inseguros da “pirâmide de acidentes” (ou de Bird) (Wu, 2003).
- **Quase-acidente:** qualquer situação em que uma seqüência de eventos foi impedida de se desenvolver em tempo, impedindo assim que conseqüências (perdas) potencialmente sérias relacionadas a segurança ocorram (van der Schaaf, 2004). Reason (1997) considera incidente e quase-acidente sinônimos, mas não adotaremos nesta dissertação.
- **Perda (estritamente) econômico-financeira:** são as perdas que não envolvem falha, acidentes ou quase-acidentes. Nesta dissertação, limita-se às perdas ligadas estritamente à atividade de manutenção e inspeção dos equipamentos estáticos de refinarias de petróleo. Exemplo: parada forçada de planta por esquecimento da equipe de manutenção de recolocação dos acessórios internos numa coluna de destilação, mas sem ocasionar outros riscos que não econômico-financeiros. Portanto, perda estritamente econômico-financeira fica excluída da definição de acidente.

## 2.2 – Impacto dos acidentes na indústria de processo

A severa condição de trabalho imposta aos equipamentos da indústria de processo e o elevado nível de energia acumulada nesses equipamentos coloca em risco pessoas, instalações e meio-ambiente, exigindo um controle rigoroso das condições físicas e mecânicas das instalações, bem como do preparo satisfatório da organização e pessoas, de forma a forma a minimizar os riscos e perdas. Ainda assim, muitas falhas têm ocorrido na indústria de processo, algumas das quais conduzindo a sérios acidentes. Em termos de fatalidades, grandes acidentes têm marcado o cenário da indústria de processo ao longo dos anos, como mostra o quadro 2.1.

Quadro 2.1 - Principais acidentes recentes da indústria de processo

ACIDENTE	CAUSA BÁSICA	FATALIDADES	Ref.
Bhopal, Índia	Falha em isolamento de sistema	16.000	Lees
Vila Socó, Brasil	Sobrepresão em duto	508	Kletz
San Juanico, México	Sobrepresão em duto	> 500	Kletz
Piper Alpha, GB	Erro humano: falha de comunicação	167	Lafraia
Alexander Kielland, Nor	Defeito em junta soldada	123	Easterling
Flixborough, GB	Falha em projeto de reparo	28	Lees
Tchernobil, Ucrânia	Erro humano: auto-confiança excessiva	ND	Lafraia
Three Miles Island, EUA	Erro humano: erro de diagnóstico	ND	Kletz

ND: dados não disponibilizados

Dois exemplos de falhas na indústria de petróleo, quadro 2.2, mostram a significância dos prejuízos financeiros (Reason, 1997).

Quadro 2.2 – Perdas financeiras em grandes acidentes

EVENTO	PAÍS	PERDA FINANCEIRA
Navio Exxon Valdez (colisão)	EUA	US\$3,5 bilhões
Plataforma Piper Alpha (fogo e explosão)	Inglaterra	US\$2,5 bilhões

## 2.3 – Impacto das falhas na indústria de processo

A repercussão das falhas em termos de perdas financeiras é mostrada na figura 2.2 pela indicação das causas das falhas:

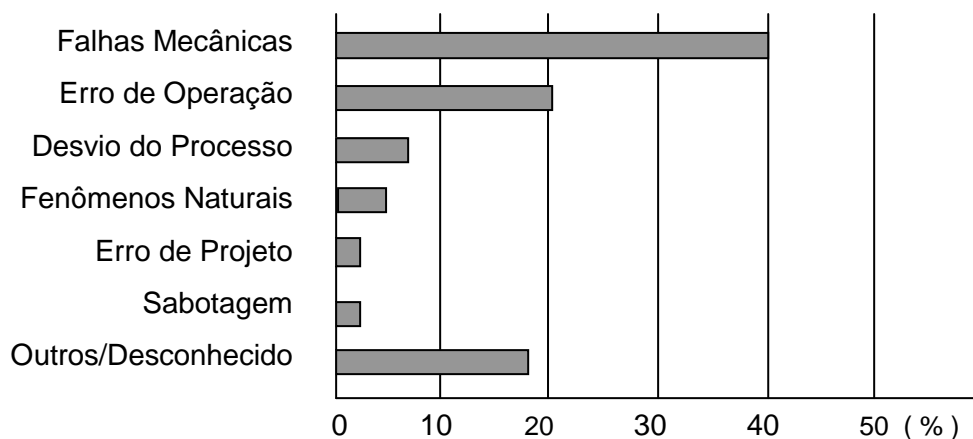


Fig. 2.2 – Causas das falhas da indústria de processo (Krembs et al, 1990)

A figura 2.3 mostra as perdas por classe de equipamento (falhas mecânicas):

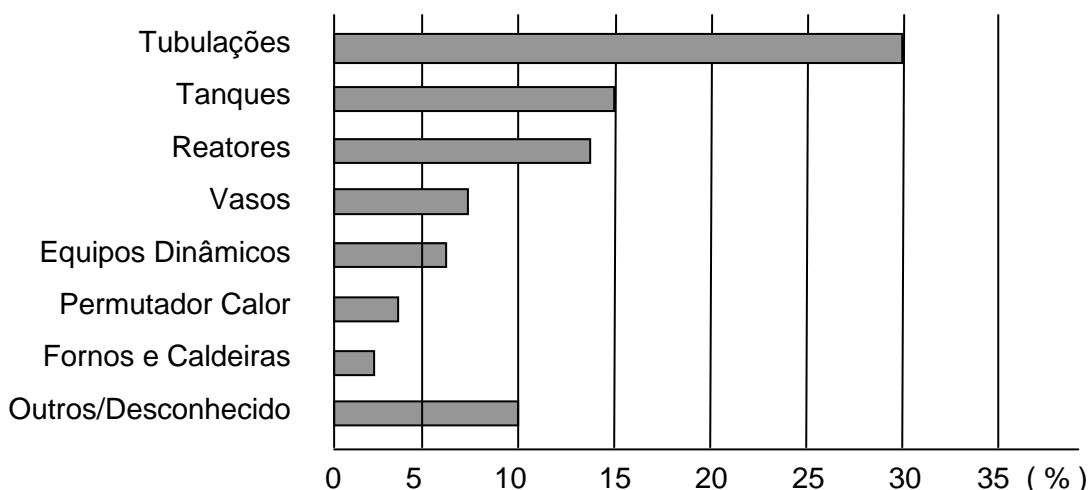


Fig. 2.3 – Perdas por falhas mecânicas na indústria de processo (Krembs et al, 1990)

A figura 2.2 indica que 50% das falhas são mecânicas, 20% são erros de processo (com forte probabilidade de haver falha humana) e 8% é de desvio de processo (o que pode refletir participação humana também). Assim, 78% das falhas se referem a problemas técnicos e humanos. Já figura 2.3 mostra que cerca de 70% das perdas numa indústria de processo são decorrentes de falhas em equipamentos estáticos, revelando a significância do controle das falhas desses equipamentos.

As figuras 2.2 e 2.3 mostram falhas que ocorrem durante a operação, com os equipamentos já em atividade, indicando a manutenção com parcela significativa de responsabilidade em relação a essas falhas. O mesmo pode ser ressaltado para os

acidentes indicados no quadro 2.1, tanto do ponto de vista do erro humano quanto técnico ou ambiental. Portanto, a manutenção desempenha papel importante nas ações que garantem a integridade e segurança das instalações, na perspectiva da não repetição de acidentes como os assinalados.

## 2.4 - Sinais de problemas de desempenho operacional na organização

Birchfield (2000), Durán (2000) e Hopkins (2005) argumentam que as organizações emitem sinais sintomáticos de problemas que conduzem a perdas, de magnitude e variedade diversas, sendo, portanto, importante identificá-los e caracterizá-los. O quadro 2.3 mostra alguns desses sinais, que têm relação direta com as causas fundamentais de falhas, acidentes e perdas.

Quadro 2.3: Sinais de baixo desempenho das instalações (Birchfield, 2000; Duran, 2000)

▪ Elevada taxa de falhas	▪ Perdas significativas	▪ Manutenções emergenciais
▪ Taxa acidentes/incidentes	▪ Tempo extra de produção	▪ Insatisfação generalizada
▪ Baixa produção	▪ Ordens de venda perdidas	▪ Sobressalentes de emergência
▪ Baixa produtividade	▪ Alta taxa de reprocessamento	▪ Insatisfação de gerentes
▪ Baixo desempenho	▪ Baixa eficiência	▪ Alta rotatividade pessoal
▪ Pessoal estressado	▪ Problemas ambientais	▪ Doenças ocupacionais
▪ Pendências legais	▪ Penalidades de clientes	▪ Elevado consumo de energia
▪ Terceirização	▪ Manutenção ruim	▪ Falta de treinamento
▪ Paradas de emergência	▪ Desconfiança generalizada	▪ Pendências de manutenção elevada
▪ Incêndios	▪ Baixo moral dos empregados	▪ Programas de melhoria: ausentes
▪ Problemas comunicação	▪ Foco no custo/resultado	▪ Qualidade ruim da mão-de-obra
▪ Política não efetiva de SMS	▪ Auditorias qualidade: ausente	▪ Pessoal pouco comprometido
▪ Baixo nível da supervisão	▪ Ausência de redundância	▪ Baixa aplicação procedimentos
▪ Fiscalização não efetiva	▪ Procedimentos pouco efetivos	▪ Acompanhamento processo ruim
▪ Não faz análise causa raiz	▪ Frequência de inspeção ruim	▪ Manutenção preventiva ruim
▪ Estoque não otimizado	▪ Planejamento sem disciplina	▪ Controla os processos internos
▪ Monitora os equipamentos	▪ Problemas comportamentais	▪ Atraso na programação da manutenção
▪ Docum. técnica desatualizada	▪ Controla entrada de materiais	▪ Compromisso c/ segurança (epi, dds)
▪ Controla as tarefas críticas	▪ Controle para não-vazamentos	▪ Política efetiva de proteção ao M-A
▪ Ocorrências anormais	▪ Condições gerais de trabalho	▪ Condições ambientais trabalho

Tradicionalmente, entretanto, o estudo das falhas na indústria foca nos aspectos técnicos e o estudo dos acidentes foca nas pessoas das frentes de trabalho. Observando-se o quadro 2.3, verifica-se que tais focos estão incompletos, pois, na realidade, a natureza das causas fundamentais de falhas e acidentes vêm de fontes diversas, tais como comunicação, comportamento dos gerentes, política de treinamento, política de manutenção, política de contratação de pessoal e serviços, condições de trabalho, etc. (Birchfield, 2000 e Duran, 2000).

## 2.5 – Comentários

A magnitude das falhas e acidentes na indústria de processo historicamente mostra que pode até inviabilizar o negócio, portanto, justifica-se a necessidade de um controle para evitar ou minimizar o impacto desses eventos indesejáveis no desempenho da organização. Este, porém, não é o ponto de vista de uma parte dos gestores da indústria de uma forma geral, seja por desconhecimento, incapacidade ou conveniência. O principal propósito desta pesquisa é identificar tais fontes ligadas à manutenção e inspeção dos equipamentos estáticos de refinarias de petróleo, identificando os sinais emitidos pelo sistema para então contribuir com a melhora dos índices de desempenho operacional das instalações, resultados em SMS e redução dos custos de inspeção e manutenção dos equipamentos estáticos.

O modelo de acidentes a ser aplicado nesta dissertação será baseado nos modelos correntes que vinculam acidente a falha. Não serão consideradas as proposições de modelos sem tal vínculo, mas isto será visto em detalhes mais à frente.

Em relação às fases do ciclo de vida dos equipamentos estáticos, a análise e o desenvolvimento da metodologia proposta nesta dissertação se concentrarão na fase de uso desses equipamentos.

## ESTUDO DOS EVENTOS INDESEJÁVEIS

### 3.1 - FALHAS

#### 3.1.1 – Definição de falha

**Falha** é a incapacidade ou inabilidade de um sistema ou componente exercer suas funções intencionadas (especificadas), por um intervalo de tempo definido, sob condições ambientais especificadas (Leveson, 2003a).

As principais funções dos equipamentos estáticos são a contenção, condução, armazenamento, acumulação, reação química, separação de produtos, dentre outras. A definição dada por Kaley (2003) para aplicação da inspeção baseada em risco de equipamentos estáticos, em que falha é vazamento para o meio ambiente ou perda de contenção do fluido, é muito restrita, portanto, não será adotada nesta dissertação.

#### 3.1.2 - Classificação das falhas

Conhecer as causas fundamentais das falhas é condição essencial para identificar os pontos vulneráveis de uma organização e dar a solução antes que as mesmas ocorram, bem como possibilitar a aplicação das ferramentas mais adequadas, de forma a evitar a ocorrência de falhas e acidentes. Para tanto, é necessário classificá-las adequadamente. A seguir serão apresentadas duas classificações distintas para falhas, com o intuito de estabelecer uma relação entre essas classificações.

##### *a) Quanto à Natureza das Falhas*

Quanto à natureza, as falhas são classificadas em seis classes de causas possíveis nas organizações (Johnson, 2003; van der Schaaf, 2004):

## a.1) Técnica

Falhas técnicas são aquelas relacionadas ao projeto ou construção dos sistemas técnicos, instalações, máquinas, ferramentas e equipamentos, ou por simples defeito do componente ou material (Kanase, 2004). Podem ser:

### a.1.1) Falhas de *Hardware* (Johnson, 2003)

As dificuldades de fabricação e instalação impedem de se ter um *hardware* totalmente confiável. Falhas desta natureza são representadas pela taxa de falhas em relação ao tempo na denominada “curva da taxa de falhas”. Portanto, as fontes de falha de *hardware* podem ser sub-classificadas em:

#### ▪ Sistemáticas

As falhas sistemáticas, oriundas de erro na especificação, projeto, fabricação ou manutenção do *hardware*, podem permanecer latentes por longo intervalo de tempo. Essa condição refere-se às condições latentes técnicas. São, portanto, intimamente relacionadas aos procedimentos de controle de qualidade e programas de inspeção ao longo do ciclo de vida. São mais difíceis de combater usando técnicas de registro de falhas. (Johnson, 2003). O primeiro tipo de falha técnica são as falhas prematuras da curva da taxa de falhas, em geral decorrentes de defeitos de fabricação, montagem ou manutenção. O segundo tipo de falha técnica são as falhas devidas aos mecanismos de desgaste atuantes nos componentes ou equipamentos por ação das condições de trabalho.

#### ▪ Aleatórias

Falhas aleatórias são falhas que resultam de uma variedade de mecanismos de degradação no *hardware*, com os componentes agindo com diferentes taxas em diferentes tempos na operação. A experiência prática mostra que:

- A taxa de falhas aumenta com o intervalo de manutenção (a manutenção introduz descontinuidades);
- O custo de manutenção é inversamente proporcional ao intervalo de manutenção;
- O custo esperado total é a soma do custo da manutenção mais o custo da falha esperada.



A teoria clássica da confiabilidade desenvolvida pela engenharia só trata de falhas desta natureza (Embrey, 1992). Não serão tratadas nesta dissertação, pois são peculiares a equipamentos com elevada interação entre os componentes, que não é o caso dos equipamentos estáticos de refinarias de petróleo.

#### a.1.2) Falhas de Software (Johnson, 2003)

A importante diferença entre as falhas de *software* e a de *hardware* é que esta última pode ser representada por uma distribuição que representa a probabilidade de falha (confiabilidade) num dado intervalo de tempo. Por outro lado, falhas de *software* não aceitam técnicas probabilísticas para prever e determinar a taxa de falhas de *hardware*, ou seja, a mesma variedade de instruções deve produzir a mesma variedade de resultados toda vez que eles são executados, em consequência, se um *bug* de *software* é eliminado, então nunca deve haver recorrência.

A interface homem-computador representa uma das áreas-chave em que o *software* contribui para as causas de falha ou agrava suas consequências. Esses problemas de interação criam uma mistura complexa de falhas de projeto, incompatibilidades entre ferramenta e seu contexto de uso, e falhas humanas.

#### a.2) Humana

Falhas humanas ou erros são aquelas falhas cometidas pelas pessoas no nível operacional da organização, sendo sub-classificadas em falhas humanas baseadas na habilidade, regras e conhecimento (Kanse,2004).

##### a.2.1) Falha Individual

Para Hollnagel (2002b), durante o curso de um evento adverso, cada fator de formação de desempenho pode diminuir uma habilidade do indivíduo ao escolher seus recursos perceptivos, cognitivos e fisiológicos, ou seja, estes atributos são importantes na configuração de um evento adverso:

- Fisiológicos refere-se aos atributos físicos do operador (peso, altura, etc.). Falhas fisiológicas podem surgir de barreiras no ambiente de trabalho e condições físicas (calor, barulho, vibração). Problemas fisiológicos podem conduzir indiretamente a

pobre julgamento e decisões errôneas através de mecanismos cognitivos. Problemas de projeto também conduzem a falhas fisiológicas.

- Falhas perceptivas descreve as falhas do operador na detecção correta de sinais no ambiente de trabalho. Problemas de projeto também podem levar a falhas de percepção. Fatores ambientais, como ruído, afetam a percepção. Alocação ineficiente das tarefas, interface ruim de projeto ou interrupções de colegas afetam os recursos de cognição e percepção. Fatores gerenciais ou pressões domésticas têm efeito menor sobre o comportamento do operador.

#### a.2.2) Falhas de equipe (Johnson, 2003)

Os modelos de erro humano em geral concentram nos fenótipos de desempenho individual sem fornecer guias ou ferramentas analíticas para falhas baseadas em equipe, ou seja, muitos problemas são causados não só por falha humana individual, mas por problemas de tomada de decisão de grupo. Alguns desses problemas são organizacionais.

Os problemas relacionados a falhas de equipe são:

- Dificuldade em identificar uma alocação eficiente de tarefas compartilhadas para membros de grupo.
- Dificuldade em identificar indivíduo com a habilidade de liderança necessária.
- Em situações de *stress* pode ser difícil assegurar que membros de um grupo saibam não só as ações correntes de seus colegas, mas também suas metas e intenções futuras.

É um problema de interação da coordenação com outros membros da equipe. As falhas de desempenho de grupo e social podem ter caráter humano e organizacional.

#### a.3) Organizacional

Falhas organizacionais são decorrentes de decisões internas da organização (Kanse, 2004; Reason, 1997; Rosness, 2004). A causa da falha organizacional refere-se àquelas condições latentes não-técnicas cometidas distantes no tempo e no espaço das frentes de execução, em que após um considerável tempo pode desencadear uma

ou múltiplas falhas ativas através da linha de frente da causa da falha (Rosness, 2004; van Vuuren, 1998).

Muitas companhias instalaram sistemas de registro de falhas para identificar fraquezas potenciais nos processo de produção e tem-se notado que muitos eventos adversos surgem de questões gerenciais. Porém, barreiras sociais e gerenciais podem impedir ações corretivas, mesmo se o sistema de registro identifica perigos potenciais. Hollnagel (2002b) considera que o clima de segurança, clima social, procedimentos de registro, linhas de comando e políticas de responsabilidade e controle da qualidade são fatores contribuintes dos eventos que conduzem a falhas.

#### a.4) Institucional ou regulatória

Falhas institucionais são devidas a falhas dos regulamentos externos à organização, conduzindo indiretamente a outras falhas (Johnson, 2003; Rosness, 2004).

A regulamentação e a legislação existem para controlar e intervir no mercado e assegurar objetivos sociais, tais como melhoria da segurança, proteção ambiental e da saúde, proteção da livre competição de mercado, etc., sendo responsável (Johnson, 2003):

- pelos sistemas de registro de incidentes;
- por muitos incidentes, pois os reguladores estão cada dia mais envolvidos na regulamentação das atividades.

Os reguladores precisam capacitar-se para equilibrar a garantia da segurança dos sistemas complexos com os custos necessários à implementação de mudanças dentro da indústria (Johnson, 2003).

Como as falhas institucionais apresentam natureza similar às organizacionais, as ferramentas utilizadas para o tratamento serão as mesmas.

#### a.5) Atos intencionais externos

Atos intencionais externos são atos deliberativos, decorrentes de atos terroristas, sabotagem, ações de grevistas, etc. (Paradies, 2000). Não faz parte do estudo desta dissertação.

## a.6) Desastres naturais

Desastres naturais são decorrentes de fatos naturais, tais como terremotos, maremotos, raios, etc. (Paradies, 2000). Não faz parte do escopo desta dissertação.

### *b) Quanto ao agente causador da insegurança*

Classifica as falhas de acordo com a distância no tempo e no espaço do agente causador da insegurança, ou seja, a proximidade do agente com a falha. Como as pessoas projetam (E&P), fabricam (F&M), operam (O&U) e mantêm (I&M), então as ações e decisões humanas estão implicadas em todos os acidentes organizacionais, podendo contribuir para a quebra dos sistemas em duas situações (Reason, 1997 e 2004):

b.1) Segundo P&I (2005), os controles e defesas podem ser penetrados de duas formas:

b.1.1) Por atos inseguros decorrentes de erros e violações cometidos pela linha de frente do sistema, que impactam as defesas, ou seja, as pessoas que estão em contato direto com o sistema. Portanto, conduzem a falhas ativas de natureza humana. Tais atos inseguros impactam diretamente a segurança do sistema, podendo tomar uma variedade de formas: deslizos, lapsos, enganos, confusão e violações de procedimentos.

b.1.2) Por condições inseguras, pela ação do uso, conduzindo a falha física (técnica) que ocorrem devido à ação de mecanismos de danos tais como sobre carga, corrosão, fadiga, etc. Portanto, não são decorrentes da ação humana, conduzindo a falhas ativas de natureza técnica. Ações humanas podem contribuir para esta forma de falha ativa, mas essas falhas não são em si atos inseguros. P.ex., erro de especificação de um material por um projetista. .

Por causa do imediatismo de seus efeitos adversos, essas condições e atos inseguros são designados de “falhas ativas”.

b.2) É reconhecido hoje que as pessoas trabalhando nos sistemas complexos cometem erros ou violam procedimentos decorrentes de fraquezas ou ausência de defesas geradas por atos de pessoas distantes das frentes de trabalho. Essas fraquezas ou ausência de defesas denominam-se “condições latentes”, que estão para as organizações, como as patogenias estão para o corpo humano. Tais condições podem estar presentes por longos períodos antes de se combinarem com circunstâncias locais e falhas ativas, para penetrarem em várias camadas de defesa do sistema. Todas as decisões estratégicas têm um potencial para introduzir patogenias no sistema. São decisões ou ações governamentais, agências reguladoras, fabricantes, projetistas, elaboradores de procedimentos e gerentes organizacionais, sendo categorizadas em condições latentes (Embrey, 1992):

b.2.1) Operacionais, geradas junto à linha de execução por condições típicas de problemas com qualidade, cujos exemplos são as lacunas na supervisão, descontinuidades de fabricação não detectadas, falhas de manutenção, problemas de procedimentos, etc. Geram, portanto, condições latentes de natureza técnica. As falhas decorrentes são de natureza técnica do *hardware*. São cometidas pelo pessoal da linha de execução (*sharp end*).

b.2.2) Organizacionais, geradas distantes no tempo e no espaço da linha de execução (*blunt end*), cujos exemplos são o projeto de baixa qualidade, erros de gerenciamento, erros de política empresarial, etc., porém, nem sempre são produtos de más decisões. São as condições latentes de natureza organizacional. Falhas desta natureza surgem, p.ex., da distribuição de recursos, que não se dá de forma adequada entre os vários integrantes da organização, pois a decisão que a originou pode ter se embasado em argumentos comerciais, porém criou problemas de qualidade, confiabilidade e segurança em algum ponto do sistema, algum tempo mais tarde. As falhas decorrentes são de natureza organizacional. Em função da natureza similar, Johnson (1999) classifica as falhas organizacionais em:

- Gerencial, que se relaciona aos caminhos em que a companhia organiza e gerencia suas práticas de trabalho. O fato é que nenhum grupo de gerentes é capaz de prever todas as conseqüências de seus atos no futuro, pois é impossível prever todas as situações possíveis.
- Institucional ou regulatória, que se relaciona às decisões governamentais e organizações estatutárias de monitoração das práticas de trabalho das organizações industriais.

Segundo Reason (2004), as condições latentes podem conduzir a dois efeitos adversos:

- elas podem transladar nos erros e criar condições inadequadas dentro dos locais de trabalho, tais como pressão de tempo, falta de supervisão, equipamentos inadequados, fadiga e inexperiência, ou seja, elas podem interagir com os atos inseguros e penetrar nas barreiras através do caminho ativo;
- elas podem criar lacunas ou fraquezas nas barreiras e defesas, tais como alarmes e indicadores inconfiáveis, procedimentos inaplicáveis, deficiência de projeto e construção.

### 3.1.3 - Relação entre as duas classificações

Segundo Reason (2004), quase todos os eventos adversos envolvem uma combinação de agentes inseguros na falha. Desta forma, van Vuuren (1998), em consonância com o exposto por Embrey (1992), Maurino (1995), Johnson (1999), Reason (1997 e 2004) e P&I (2005), apresenta o quadro 3.1, sintetizando a relação entre as classificações da Natureza das Falhas e Natureza da Insegurança.

Quadro 3.1: Matriz de falhas (van Vuuren,1998)

NATUREZA DA FALHA	NATUREZA DA INSEGURANÇA (ações, omissões ou situações)	
	FALHAS ATIVAS (FA)	CONDIÇÕES LATENTES (CL)
TÉCNICA	X	X
HUMANA	X	-----
ORGANIZACIONAL E INSTITUCIONAL	-----	X

### 3.1.4 - Relação entre falha e acidente/incidente

Segundo Leveson (2003b), os modelos de acidente tradicionalmente criados e utilizados vinculam acidente a falha do componente, sistema ou equipamento, como ilustra a figura 3.1 proposta pelo Prof. Tjerk van der Schaaf (1992), da Universidade Técnica de Eindhoven. Isto mostra que as situações perigosas são sempre precedidas por uma certa combinação de falhas técnicas, humanas e/ou organizacionais (van Vuuren, 1998), ou seja, os acidentes são o resultado de deficiências técnica, humana e organizacional (Groeneweg et alli, 2003). Assim, por exemplo, o ferimento com uma ferramenta de trabalho pode ter como causa a quebra de ferramenta (técnica), o uso fora do procedimento recomendado (erro humano), o uso de ferramenta inadequada por pressão no trabalho (organizacional).

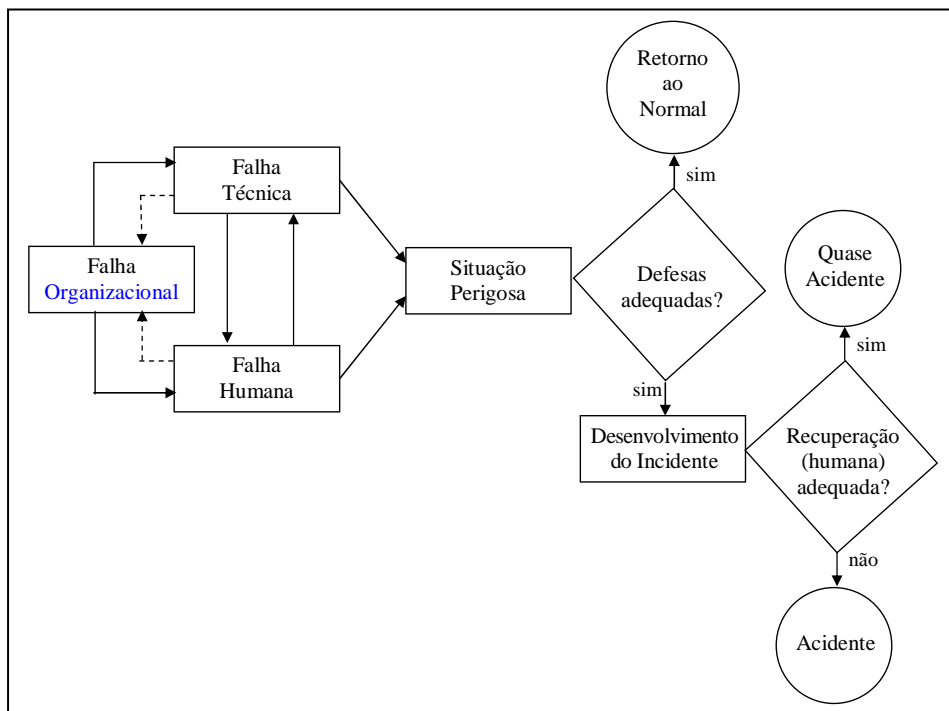


Fig. 3.1: Relação entre falhas e acidentes (van Vuuren, 1998)

### 3.1.5 - Comentários

Cabe notar que a definição de falha deve ser mais ampla do que aquela descrita no início deste capítulo, pois são vinculadas a acidentes, sendo que estes não se limitam a eventos restritos a funções num dado intervalo de tempo sob condições especificadas, podendo tratar qualquer evento que conduz a perda de função.

Cabe enfatizar sobre a definição de “condição latente”: como o próprio termo indica, uma condição pode ou não levar a falha ou acidente. Como esta dissertação procura antecipar-se à ocorrência da falha ou acidente, buscando identificar preventivamente suas causas fundamentais, então a metodologia para a identificação desses dois parâmetros pode ser única.

Do que foi exposto na classificação das falhas, combinando com a matriz proposta por van Vuuren (1998), pode-se compor a seguinte matriz de falhas no quadro 3.2.

Quadro 3.2: Matriz dos ingredientes causais

<b>NATUREZA DA FALHA</b>	<b>NATUREZA DA INSEGURANÇA</b>	
	<b>FALHAS ATIVAS</b>	<b>CONDIÇÕES LATENTES</b>
<b>TÉCNICA</b>	<b>CONDIÇÃO INSEGURA</b>	<b>CONDIÇÃO LATENTE TECNICA</b>
<b>HUMANA</b>	<b>ATO INSEGURO</b>	-----
<b>ORGANIZACIONAL</b>	-----	<b>CONDIÇÃO LATENTE ORGANIZACIONAL</b>

## 3.2 - ACIDENTES

Nos últimos 40 anos uma extensa gama de modelos de acidentes foi proposta pelos pesquisadores da área de segurança, isto devido à importância em compreender os acidentes nos seus detalhes, de forma a possibilitar a determinação das causas e evitar perdas futuras nas organizações industriais.

### 3.2.1 - Modelos de acidente

Os modelos para acidentes são modelos de sistema, cuja função essencial é imaginar como os sistemas podem funcionar mal, ou seja, imaginar os acidentes (Hollnagel, 2002a), tendo como premissa básica que não são simples eventos aleatórios (Leveson, 2002). Há três classes de modelos de acidente, como segue.



### a) Modelos Seqüenciais

A crença de que os acidentes têm causas (*accident causation*) e podem ser evitados torna imperativo estudar os fatores que provavelmente favorecem a sua ocorrência, de forma a isolar as causas raiz dos acidentes e tomar medidas para impedir a sua recorrência, fez nascer uma série de teorias para tentar explicar os acidentes (Raouf, 2005). Inicialmente o foco da prevenção de acidentes era as condições inseguras (equipamentos), mas à medida que as causas mais óbvias de acidentes eram eliminadas, o foco foi mudando para os atos inseguros (erro das pessoas) e os acidentes começavam a ser tratados como falha de alguém e não mais como um evento que poderia ser impedido por alguma mudança na planta ou produto, dando origem ao clássico modelo publicado por Heinrich em 1931, denominado Modelo de Dominó, que podem ser ilustrados com um único evento iniciador: o ambiente social leva a uma falta pessoal que é a próxima razão de ocorrência de um ato ou condição insegura, resultando num acidente, que por sua vez desencadeia uma lesão corporal. Os dominós que caem representam as falhas das ações, enquanto os dominós que permanecem de pé são os eventos normais (Leveson, 2002). O modelo do dominó mostrou-se inadequado para sistemas complexos e outros modelos surgiram com a mesma suposição de que a causa do acidente é única, por falha de componente ou erro humano (Leveson, 2002).

Um dos principais problemas deste modelo é que as cadeias de eventos desenvolvidas para explicar um acidente usualmente se concentram nos eventos próximos imediatamente precedentes à perda, quase sempre ligados às pessoas da linha ou próximas à linha de execução, ou seja, acaba na culpabilidade das pessoas das frentes de trabalho, que é um atrativo para atender às expectativas gerenciais, sendo o sustentáculo deste modelo até os dias atuais (Leveson, 2002). Esse modelo é determinístico, pois é visto como uma consequência de um evento específico determinável (Hollnagel, 2002a). Pesquisa por causas bem definidas e procura estabelecer vínculos bem definidos de causa-efeito. A suposição básica é a de que uma vez encontradas as causas e elos, estas podem ser eliminadas ou dominadas. Por serem simples, são fáceis de entender, por outro lado supersimplificam os acidentes. O princípio de gerenciamento do acidente (resposta ao acidente) é o gerenciamento do erro, já que uma (ou até mais) causa-raiz é possível de ser identificada (Hollnagel, 2002a).

## b) Modelos Epidemiológicos

É também um modelo que sustenta o princípio da causalidade, mono e multicausais. Descrevem o acidente em analogia a uma doença, ou seja, como sendo o resultado de uma combinação de fatores, uns manifestos e outros latentes. O acidente é desencadeado quando um número suficiente de desvios ocorre simultaneamente no tempo e no espaço. Pesquisas por esses desvios, denominados condições latentes ou causas manifestas (ativas ou atos inseguros) conhecidas, vêm sendo realizadas com afinco. A suposição básica é que decisões internas e externas à organização cria condições que podem degradar as defesas e barreiras ou induzir a formação de comportamentos inseguros (Reason, 2003). O princípio de gestão aplicado é o controle dos desvios de performance, portanto reconhece-se que o caminho causal é incerto, conseqüentemente é difícil encontrar causas-raiz específicas, por isto investe-se em pesquisar, identificar e eliminar os desvios (condições latentes) antes que o acidente ocorra. Portanto, o modelo reconhece que as causas existem, mas procura uma alternativa para eliminá-las sem se preocupar em determiná-las.

O exemplo clássico deste modelo foi elaborado pelo Prof. James Reason (Reason, 1997), sendo o mais extensivamente utilizado atualmente. Reason baseou-se na teoria da performance humana de Rasmussen (*Rasmussen's Skill-Rule-Knowledge Model*, 1987) e teoria de Norman (1988), denominado *Reason's Accident Causation Model* ou *Reason's Model of active and latent failure*. São valiosos para fornecer uma base de discussão da complexidade dos acidentes e caracterizar a saúde geral de um sistema, mas são difíceis de especificar os acidentes em maiores detalhes. As teorias tiveram origem nos anos 80 para explicar os grandes acidentes, que passou por uma revisão geral sobre as teorias do erro humano.

Deste modelo pode-se elaborar uma estrutura geral para acidentes, mostrado na Fig. 3.2, em que as causas-raiz dos acidentes podem ser agrupadas como (Raouf, 2005):

- Causas imediatas, que são os atos inseguros dos trabalhadores e as condições de trabalho;
- Causas contribuintes, que podem ser fatores relacionados ao gerenciamento, ao ambiente e à condição física e mental do trabalhador, são patogenias organizacionais residentes no sistema.

Uma combinação de causas deve convergir para resultar num acidente.

Para a Prof<sup>ª</sup>. Nancy Leveson (2002, 2004), este modelo é uma extensão do modelo seqüencial, desenvolvido por cientistas sociais, com importantes contribuições à segurança

por enfatizar os aspectos organizacionais dos acidentes, pois percebeu-se que os fatores organizacionais exercem influência em quase todos os acidentes, mas este modelo supersimplifica os aspectos de engenharia, supervalorizando uma simples redundância do sistema, desconsiderando acidentes sem falha associada, estudando sistemas simples e pouco acoplados (interativos) e tirando conclusões para aplicar aos sistemas de uma forma geral (Leveson, 2004).



Figura 3.2: Estrutura geral de acidentes no modelo epidemiológico (Raouf, 2005)

### c) Modelos Sistêmicos

O modelo sistêmico descarta a existência de causas determináveis de acidentes, pois o sistema é um conjunto de componentes interagindo entre si e cujas interferências em um desses componentes certamente refletirá no desempenho de outros. Portanto, é um modelo interacional (e não causal), que considera a complexidade interativa do sistema. Trata além de acidentes vinculados a falhas, aqueles não vinculados.

### **3.2.2 - Críticas ao princípio da causalidade e modelos causais**

Os modelos anteriores funcionam bem para perdas causadas por falhas de componentes físicos e sistemas relativamente simples (Leveson, 2002). São baseados em eventos, portanto os fatores causais identificados dependem dos eventos ou das condições relacionadas a eles (Leveson, 2002). Não há critério objetivo para distinguir um fator de outro fator que contribui para um acidente (Leveson, 2002). A seleção dos eventos a incluir numa cadeia de eventos é dependente da regra adotada para avançar de volta na seqüência dos eventos explanatórios, portanto a seleção de um evento iniciador ou causa raiz é arbitrária, pois eventos e condições prévias poderiam ser sempre adicionados, carregando elevada subjetividade na escolha dos eventos (Leveson, 2002). Os principais fatores que determinam a condução do processo de determinação da(s) causa(s) de acidentes são (Leveson, 2002):

- Tendência em culpar a linha de frente;
- Raramente as causas de acidentes são percebidas igualmente por engenheiros, operadores, gerentes, supervisores, políticos, advogados, imprensa, vítimas, familiares, etc., pois envolve ética, política e normas, gerando conflito de visões e interesses;
- Características da vítima e do analista (hierarquia, grau de envolvimento, satisfação no trabalho, etc.);
- Incidentes tendem a ter como atribuição causal com desvios técnicos, enquanto os acidentes (perdas) tendem a culpar o erro humano;
- Métodos de coleta de dados, que tendem a se concentrar nas condições óbvias;
- Pressões diversas por tomar um caminho ou outro na identificação causal do evento.

### **3.2.3 - Classificação dos acidentes**

Os acidentes (e quase-acidentes) podem ser classificados em pequenos e grandes acidentes (Reason, 1997, Rosness et alli, 2004). Os pequenos eventos são responsáveis por cerca de 90% das perdas da indústria de processo, sendo portanto eventos de alta freqüência (e baixa conseqüência), cujas características estão mais ligadas ao comportamento inseguro dos trabalhadores da linha de execução das tarefas (Ylipää, 2000; Latino, 2002; Paradies, 2000), tendendo a ocasionar falhas individuais (ativas humanas). Os grandes eventos parecem surgir de processos de longo-prazo, em que o

agente está distante da linha de execução e o dano é abrangente, podendo ocasionar falhas de alta conseqüência (e baixa probabilidade), tendo a natureza organizacional, com múltiplas causas e decorrentes de ações distantes no tempo e espaço do chão-da-fábrica. O estudo dos grandes eventos tem sido o foco dos estudos desde 1980, dando ênfase aos fatores humanos dos acidentes. Para Koornneef (2000), a peculiaridade dos grandes acidentes é que os erros decorrem de problemas sistêmicos e não de erros individuais isolados. As causas dos grandes eventos (desastres) são múltiplas, mas a característica predominante das causas dependerá do tipo de sistema, em função de uma maior ou menor dependência das ações da linha de execução (Maurino et alli; 1995). Para Dunn (2004) e Rosness et alli (2004), os modelos existentes para tratar pequenos eventos não são efetivos para tratar as falhas de alta conseqüência e baixa probabilidade (grandes eventos).

Mas recentemente tem-se admitido que os acidentes de qualquer magnitude têm uma multiplicidade de causas, mesmo os mais simples (Hopkins, 2005). Um dos mais importantes cientistas de segurança e análise de risco, o Prof. Jens Rasmussen (1997), escreve:

O estágio para um curso accidental de eventos é muito provavelmente preparado através do tempo pelos esforços normais de muitos atores em seus respectivos contextos do trabalho diário, como resposta às cobranças para ser cada vez mais produtivo e menos custoso. Finalmente, uma variação normal no comportamento de alguém pode gerar um acidente. Se esta causa-raiz tivesse sido evitada por alguma medida adicional de segurança, o acidente muito provavelmente teria ocorrido por uma outra causa, num outro instante no tempo. Em outras palavras, uma explicação do acidente em termos de eventos, atos e erros não são muito úteis para desenhar sistemas melhores.

Portanto, tanto os pequenos quanto os grandes eventos têm múltiplas causas, logo, podem ser tratados por um mesmo modelo de acidente. Uma segunda conclusão é que a magnitude do evento nada diz se o mesmo tem natureza humana (ativa) ou organizacional. Na verdade a natureza da falha depende do tipo de sistema (Maurino et alli, 1995). Por exemplo:

- sistemas de transporte, em função da curtas escalas de tempo para ocorrer um evento, têm uma maior vulnerabilidade a falhas ativas, como o citado exemplo do navio Exxon Valdez.

- as plantas de processo, por outro lado, submetem-se a grandes intervalos entre o início de um evento e a probabilidade de ocorrer algum dano, devido parcialmente à dinâmica do processo e parcialmente à combinação das defesas do projeto, tais como a diversidade e redundância de componentes críticos de segurança, assim como às sucessivas camadas de barreiras e salvaguardas. Estas características, associadas à complexidade e opacidade, dão às plantas de processo uma tendência especial ao acúmulo de patologias organizacionais (condições latentes), tornando-as mais suscetíveis a falhas organizacionais.

### **3.2.4 - Comentários**

Se há um vínculo entre falha e acidente, fig. 3.1, infere-se que os acidentes e quase-acidentes têm as mesmas causas básicas das falhas, logo, os modelos de acidente podem ser usados para se chegar e tratar falhas.

Os modelos de acidente só tratam de causas de falhas humanas e organizacionais. Os modelos interacionais de acidentes são os mais completos, mas são ainda incipientes, sendo uma promessa futura. Então, a idéia central é ter o modelo epidemiológico de acidentes proposto por Reason como pivô da metodologia a ser proposta nesta dissertação, pois é capaz de tratar causas individuais (ativas) e sistêmicas (organizacionais).

A metodologia, porém, deve ajustar o modelo epidemiológico de Reason, agregando novos conceitos para tratar também as falhas de natureza técnica (ativas e latentes) e maximizar a análise com a interação entre os componentes do sistema.

O termo “epidemiológico” é adotado pela literatura devido à similaridade entre o termo “patogenia” utilizado na área da saúde e a existência das “condições latentes” na organização.

## BASE DE CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DE FALHAS E ACIDENTES

### 4.1 - Distribuição das falhas na organização

Segundo Lardner et alli (2001), nos últimos 150 anos a melhoria da segurança e confiabilidade tem focado nos aspectos técnicos dos sistemas de engenharia, tendo alcançado baixa taxa de acidentes na maioria das atividades industriais. Como a freqüência das falhas de natureza técnica na indústria tem diminuído, a taxa de erro humano tem-se tornado mais aparente, a ponto de os especialistas estimarem que de 80 a 90% de todos os acidentes industriais sejam atribuídos a fatores humanos. E, entretanto, os caminhos mais efetivos para reduzir a taxa de acidentes são os focados nos aspectos organizacionais e sociais.

Para Lardner et al (1999), 80% dos acidentes têm causas humanas e organizacionais e 20% causas técnicas. Krause (1990) afirma que de 80-95% de todos os acidentes são deflagrados por atos inseguros do pessoal das frentes de trabalho, mas as organizações atentas, por sua vez, vêem esses atos inseguros como um sintoma ou conseqüência, não como o fato gerador, ou seja, as pessoas cometem erros ou violam procedimentos por razões que estão além do seu controle e não por vontade própria. Para o Prof. John Overveit (1998), 85% dos incidentes são devidos a falhas organizacionais e 15% por falhas individuais (ou humanas).

Deming (1982), Snee (1990) e Wieringa (1999) concordam que 85% dos problemas de uma organização são devidos a defeitos no sistema, em que somente os gerentes podem mudar. Portanto, apenas 15% são de caráter local.

Segundo van Vuuren (1998), de 80 a 100% das falhas ativas são de natureza humana e as falhas ativas remanescentes são de natureza técnica. Esta afirmação é corroborada por P&I (2005): o erro humano está implicado em quatro de cada cinco falhas ativas.

Fazendo uma composição das afirmações acima, a distribuição das falhas quanto à natureza da falha e da insegurança, pode ser representada como mostrado no quadro 4.1.

Quadro 4.1: Distribuição das falhas na matriz de relacionamento das falhas  
(adaptado de Deming, 1982; Krause, 1990; Lardner, 1999 e 2001;  
Overveit, 1998; Snee, 1990; van Vuuren, 1998; Wieringa, 1999)

<b>NATUREZA DA FALHA</b>	<b>NATUREZA DA INSEGURANÇA</b>		<b>Total (%)</b>
	<b>FALHAS ATIVAS (%)</b>	<b>CONDIÇÕES LATENTES (%)</b>	
<b>TÉCNICA</b>	<b>3</b> (20x0,15=15-12)	<b>17</b> (20x0,85=20-3=85-68)	<b>20</b>
<b>HUMANA</b>	<b>12</b> (80x0,15)	-----	<b>12</b>
<b>ORGANIZACIONAL</b>	-----	<b>68</b> (80x0,85)	<b>68</b>
<b>Total (%)</b>	<b>15</b>	<b>85</b>	<b>100</b>

Observações:

- A classificação pela natureza da insegurança é feita em função do agente causador da falha. O termo “natureza da insegurança” é utilizado nesta dissertação porque não há na literatura uma terminologia para designá-la, por adotar um modelo de acidente vinculado a falha (Leveson, 2004; van Vuuren, 1998) e porque as falhas ativas decorrem de condição insegura ou ato inseguro.
- As duas células vazias da matriz de falhas estão vazias em razão das discussões apresentadas na literatura corrente. Isto indica que não existe condição latente para falha humana e que a falha organizacional não é ativa.
- Condição latente, como o próprio nome diz, não é falha, mas é a condição existente no equipamento ou organização que pode conduzir a falha.

## 4.2 - Características das falhas

É necessário fazer a caracterização das falhas para definir os atributos vinculados a elas e estudá-las, de forma a possibilitar a retirada dos conhecimentos necessários para compor a metodologia proposta.



#### 4.2.1) Falhas técnicas

As falhas técnicas são aquelas que ocorrem devido a condições inseguras desenvolvidas ao longo do uso ou inseridas no equipamento ou componentes durante os processos de fabricação, montagem ou manutenção (van Vuuren, 1998). Do início dos estudos da confiabilidade, passando pelo levantamento da curva da taxa de falhas, até o fechamento dos estudos de Nowlan & Heap, em 1978, a grande ênfase se deu ao estudo das falhas de natureza técnica.

##### a) Taxa de falhas e curva da taxa de falhas

Nos anos 50, o AGREE (Group on Reliability of Electronics Equipment, unificado pelo Departamento de Defesa dos EUA) descobriu que a taxa de falhas dos equipamentos eletrônicos e sistemas em função do tempo apresentava um modelo similar ao da mortalidade das pessoas numa comunidade fechada, uma clássica curva da taxa de falhas, também conhecida como “curva da banheira” (Bazovsky, 1961). Nowlan & Heap, em seus estudos desenvolvidos nas décadas de 60 e 70, descobriram que há seis modelos de curvas para descrever a frequência de falhas ao longo da vida dos componentes do setor aéreo (Moubray, 1997; Reason, 2003; Rojas, 2002). Os sistemas complexos industriais encaixam-se nos modelos “E” e “F” (Dias, 2003; Lafraia, 2001), mostrados na figura 4.1.

A incorporação de novas tecnologias, automação, redundâncias técnicas e equipamentos de segurança, pontos de maior fragilidade (interfaces e conexões – parafusos, flanges, soldas, roscas, rebites, conexões elétricas, plugues, etc.) diminui a previsibilidade e aumenta a incerteza e a probabilidade de falhas, portanto a sua aleatoriedade da falhas (Lafraia, 2001), pois aumenta a complexidade pela interação dos componentes do sistema.

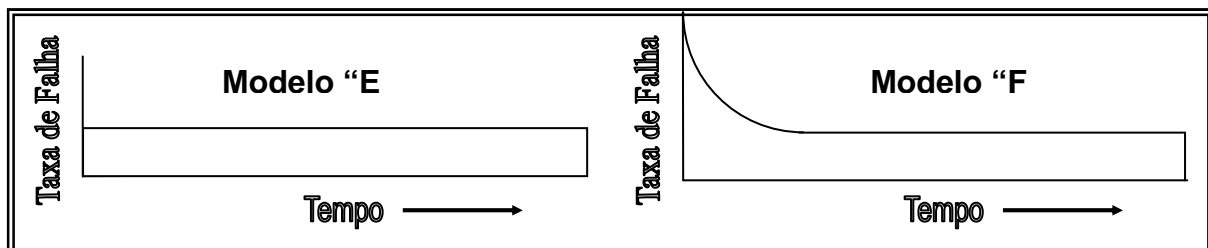


Fig. 4.1: Modelos “E” e “F” de curva de taxa de falhas (Moubray, 1997)

## b) Fases do ciclo de vida

Conhecendo-se a taxa de falhas torna-se simples definir a probabilidade de falha. Alguns fatores, porém, dificultam a sua determinação a partir da taxa de falhas. A curva da taxa de falhas pode ser decomposta em três fases distintas do ciclo de vida do equipamento (Reason, 2003; Sinnadurai, 2000; Wilkins, 2002), conforme mostrado na figura 4.2.

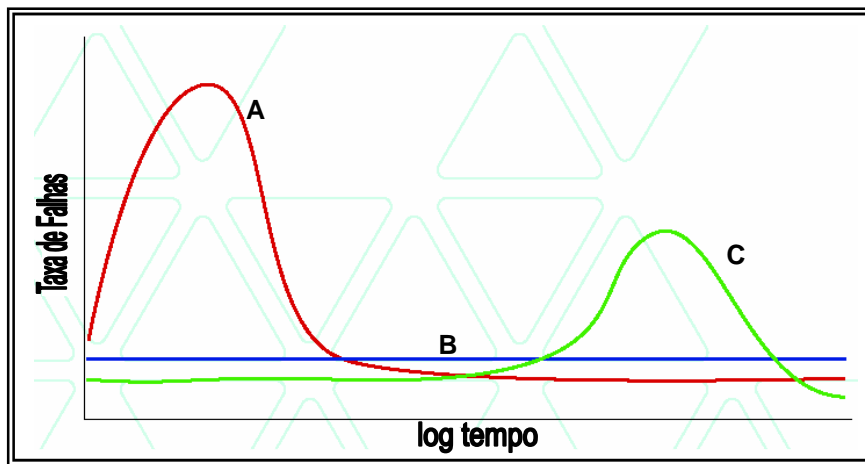


Fig. 4.2: Regimes de falha da curva de taxa de falhas (Sinnadurai, 2000)

A parte sinuosa da curva “A” é denominada “mortalidade infantil”, período que tende a ter relativamente alto risco de falhas devido a defeitos de fabricação. A probabilidade de falha não pode ser quantificada com precisão razoável devido à natureza dos defeitos (causas), pois são tipicamente oriundos da perda de controle da variabilidade dos processos de fabricação, montagem ou manutenção. Dois fatores podem interferir na mortalidade infantil:

- As substituições e intervenções programadas de manutenção podem não aumentar a confiabilidade (Lafraia, 2001). Interferências na curva da taxa de falhas podem se suceder e mostrar tendências não relacionadas às fases do ciclo de vida do equipamento ou componente, mas ao baixo nível de desempenho em conhecimento ou habilidade do pessoal de manutenção (Reason, 2003). As intervenções de manutenção introduzem novos defeitos nos equipamentos, aumentando a taxa de falhas, re-introduzindo o regime de “mortalidade infantil” na curva da taxa de falhas (Dias, 1996; Doyle & Barry, 2001; Rojas, 2002), como representado na Figura 4.3. É um predomínio de falhas por problemas de qualidade do produto nos períodos de

início de operação ou intermediários pós-manutenção ou pós-modificações de projeto (Dias, 2005), em que taxas de falha constantes não são representativas, ou seja, as falhas são não-aleatórias ou sistemáticas. As taxas de falha decrescem à medida que tais defeitos nos componentes ou equipamentos vão sendo corrigidos, fato que pode ser observado na figura 4.3. Embrey (1992) denomina esses defeitos de “condições latentes de natureza técnica” (CLNT), que decorrem de falhas na supervisão dos serviços, defeitos de fabricação não detectados, falhas decorrentes de falhas de processo de manutenção, etc. Tais defeitos são cometidos pelo pessoal da linha de execução (*sharp end*), que estão distantes no tempo, por isso não podem ser falhas ativas.

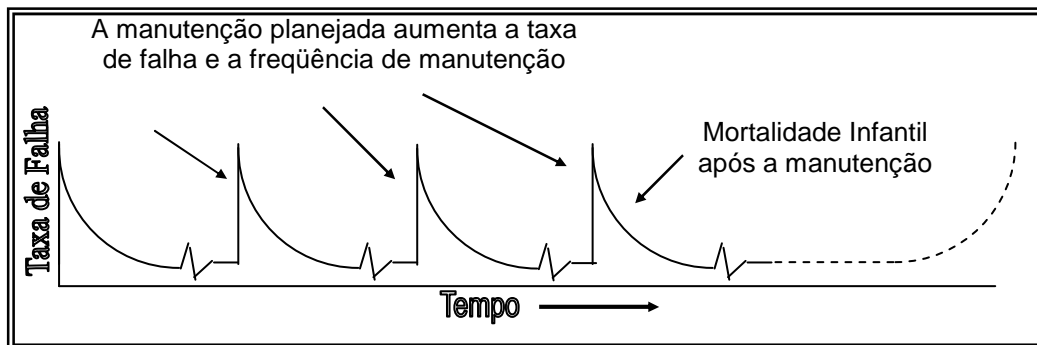


Fig. 4.3: Efeito das interferências de manutenção na curva de taxa de falhas (Doyle & Barry, 2001)

- A complexidade também agrega aspectos de mortalidade infantil, basta que haja variações significativas dos processos no período pré-operacional, como por exemplo, na fabricação, o que é comum.

O regime de mortalidade infantil, porém, não chega a entrar no período de desgaste.

A curva “B” representa a taxa de falhas aleatórias, predominando no período após cessar a mortalidade infantil. As falhas resultam da atuação dos possíveis mecanismos de degradação em diversas taxas nos diferentes componentes. As falhas dos equipamentos com muitos componentes ocorrem em taxas previsíveis, mas em tempos não previsíveis. Portanto, quanto maior for a interação entre os componentes, maior é a aleatoriedade e mais bem definida será a taxa de falhas. É o período intermediário da curva da taxa de falhas, cujas taxas de falhas podem quantificar a probabilidade de falha com razoável precisão, denominando-se período de vida útil. Neste caso, a confiabilidade é um atributo importante para o seu acompanhamento e as falhas decorrentes deste período são denominadas de aleatórias. São falhas ativas de natureza técnica.

A curva “C” caracteriza a taxa de falhas decorrentes dos mecanismos de desgaste, observando-se um acentuado aumento no final da curva, isto porque as partes críticas já desgastadas pelo uso requerem menos esforço para levar à falha. É o período que se aproxima do final da vida do projeto. É neste período que os mecanismos de falha se manifestam e muitos deles são representados por uma lei física dependente do tempo.

São falhas ativas de natureza técnica. Esse tipo de falha é fortemente influenciado pela qualidade do projeto, materiais e tecnologia aplicada, ocorrendo sistematicamente. A monitoração dos mecanismos de falha previstos é importante no controle do desgaste. A integridade é o atributo aplicado para prever e evitar essas falhas.

Como os equipamentos estáticos têm baixa interação entre os componentes, prevalece o mecanismo de desgaste por componente.

#### c) Importância da manutenção dos equipamentos estáticos

Desastres históricos na indústria tiveram como causas fundamentais deficiências no processo de manutenção das respectivas organizações (Reason, 2003). A experiência revela que mais de 50% dos componentes dos equipamentos estáticos experimentam falhas prematuras. Como a cada manutenção se re-introduz o regime de mortalidade infantil na curva de taxa de falhas dos equipamentos, conforme figura 4.3, isto significa dizer que há mais de 50% de chance de o componente falhar prematuramente durante o período de vida útil (Dunn, 2003). Resultados de estudos conduzidos em centrais nucleares dos EUA e Japão mostram que o fator humano é a natureza das causas responsável pela grande maioria das falhas e acidentes. Estes resultados revelam ainda que mais de 50% desses problemas de desempenho está relacionado à manutenção, quando comparado com o desempenho humano de outras atividades, como pode ser visto no quadro 4.2 (Reason, 2003).

Quadro 4.2: Importância dos fatores humanos na manutenção (Reason, 2003)

<b>ATIVIDADE</b>	<b>Problema relacionado a desempenho humano (%)</b>
▪ Manutenção, calibração e teste	42 – 65
▪ Operação normal	8 – 30
▪ Operação anormal	1 – 8

#### 4.2.2) Falhas humanas e organizacionais

Como já foi registrado neste texto, o acidente da central nuclear Three Miles Island e outros grandes acidentes ocorridos no início dos anos 80 despertaram o interesse de cientistas sociais, que notaram imediatamente a necessidade de conhecer mais profundamente os aspectos humanos da falha (Woods & Cook, 2003).

Os sistemas complexos operam em condições de perigo e funcionam através dos diversos processos organizacionais e suas culturas associadas, como p.ex., planejamento & programação, gerenciamento de operação, manutenção, projeto, segurança e mudanças, comunicação, vendas, auditorias, inspeção, controladoria, etc. (Maurino et alli, 1995). Quando pessoas estão envolvidas nos sistemas complexos, as falhas podem ocorrer tanto no local de trabalho ou em relação às defesas do sistema. As falhas que surgem desse funcionamento desenvolvem-se por dois caminhos, conforme mostrado na figura 4.4 (Maurino et alli, 1995).

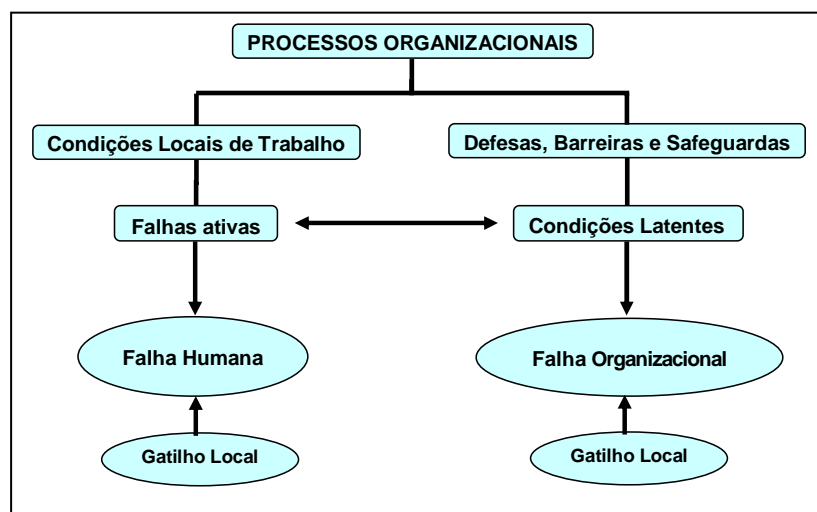


Fig. 4.4: Trajetórias de falhas humanas e organizacionais (Maurino et alli, 1995)

Vários locais diferentes de trabalho com várias condições locais criam várias condições locais de trabalho, influenciando a eficiência e a confiabilidade do desempenho humano num contexto particular de trabalho. As conseqüências negativas das decisões gerenciais permeiam pela organização, atingindo diferentes locais de trabalho, criando as condições locais para a criação de atos inseguros (erros e violações) que incorrerão nas denominadas “falhas ativas de natureza humana”, distinguindo-se por duas características:

- intervalo de tempo curto, imediato, para revelar seus efeitos adversos sobre a integridade do sistema;
- o sujeito que comete a falha ativa tem contato direto com o sistema;
- tendem a ocorrer individualmente.

Portanto, o chão-de-fábrica é quem tem competência para evitá-las. A maioria das falhas ativas é captada pelas defesas, impedindo sua penetração e o conseqüente dano ao sistema. Podem combinar com as condições latentes (lacunas nas barreiras) e criar uma oportunidade de acidente.

Defesas, barreiras e salvaguardas projetadas para proteger as pessoas, instalações e o ambiente dos efeitos adversos dos perigos locais. Defesas, barreiras e salvaguardas são medidas utilizadas nos sistemas para remover, mitigar ou proteger as pessoas e instalações contra os perigos operacionais. O Modelo de acidente de Reason considera um modelo de defesas em profundidade, representado por sucessivas barreiras de proteção, como mostrado na figura 4.5. Essas medidas são tão diversificadas e amplas, que é difícil fazer a distinção clara entre elas e as partes não defensivas do sistema. Às fraquezas ou ausência de defesas denominam-se “condições latentes”, que nada mais são que lacunas criadas nas defesas do sistema, conduzindo a “falhas organizacionais do sistema”.

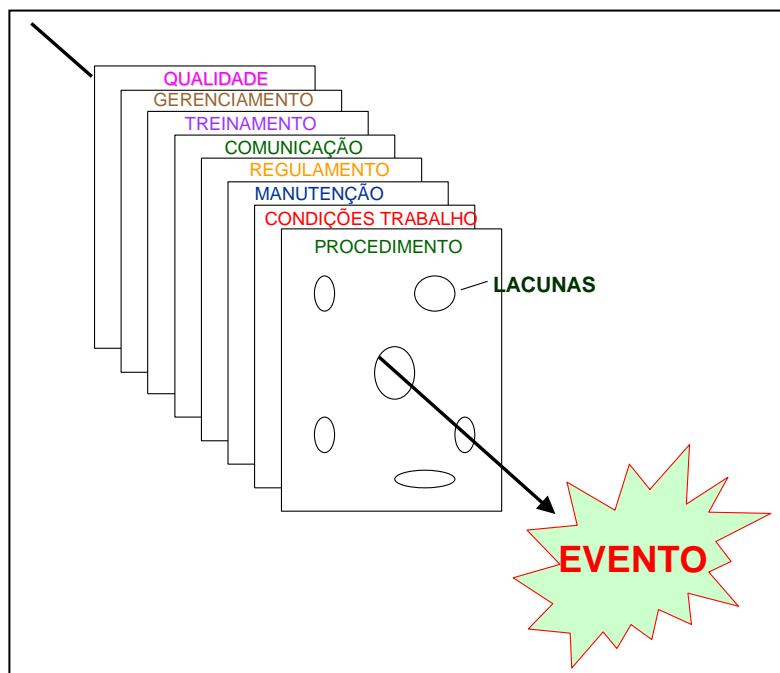


Fig. 4.5: Barreiras em profundidade (Paradies, 2000)

As condições latentes distinguem-se por três características (Reason, 1997):

- intervalo de tempo longo antes de combinar-se com falhas ativas e gatilhos locais, criando lacunas nas defesas do sistema;
- os sujeitos que criam essas lacunas são pessoas distantes no tempo e no espaço da interface homem-sistema, ou seja, deriva de decisões tomadas na esfera gerencial e organizacional, portanto têm caráter exclusivamente organizacional;
- uma mesma condição latente pode contribuir para várias falhas ativas.

As condições latentes permanecem ocultas no sistema independentemente se a falha ocorre ou não e só são descobertas após falhar as defesas e barreiras (Reason, 1997). Há, porém, formas de avaliar e remediar com antecedência o potencial para um sistema desenvolver condições latentes (Reason, 2004). O entendimento destas formas de avaliação leva à gestão antecipada do risco (Reason, 2004), que é um dos objetivos desta dissertação. As condições latentes, pelo caráter gerencial e organizacional, são descritas em termos sistêmicos. Exemplos típicos de acidentes caracterizados pelos efeitos das condições latentes são a explosão da espaçonave Challenger e o incêndio da plataforma petrolífera Piper Alpha (Maurino et alli, 1995).

Os processos organizacionais (decisões tomadas nos níveis gerenciais e institucionais) geram patogenias organizacionais residentes no sistema como um todo, que tomam formas diversas, como políticas mal definidas, falta de previsão de risco das decisões, orçamento inadequado, projeto ruim, gerenciamento deficiente da manutenção, corte excessivo de custos, ferramentas e equipamentos de trabalho inadequados, pressões comerciais, defeitos nas defesas, etc. (Reason, 1997, 2003 e 2004). As conseqüências adversas destas patogenias são transportadas através de dois caminhos para os vários locais de trabalho, onde eles agem sobre:

- as defesas, barreiras e salvaguardas para criar condições latentes;
- as condições locais de trabalho para promover falhas ativas de natureza humana (erros e violações) e técnica.

Portanto, falha organizacional pode ser definida como falha latente não-técnica, cujos agentes são pessoas distantes no tempo e no espaço do chão-de-fábrica, em que, após um considerável intervalo de tempo pode desencadear uma ou múltiplas falhas ativas.

## 4.3 - Qualidade

### 4.3.1 - Perspectivas da qualidade

O foco da qualidade está na satisfação do cliente por meio da obtenção de produto ou serviço que satisfaça às suas necessidades, ou seja, grosso modo, qualquer produto ou serviço gerado deve estar sem “defeitos” que agridam a expectativa do cliente. Assim, de maneira ampla, Deming (1982) deu duas perspectivas à qualidade: atributo de produto e ferramenta de gerenciamento.

#### a) Qualidade como atributo de produto

Uma visão mais restritiva, denominada pequeno “q” (Paradies et al, 2000), foca o produto, nas atividades de inspeção e testes de qualidade do produto, fundamentada no controle estatístico desenvolvido nos anos 20 por Walter A. Shewhart (Juran, 1989; Wieringa, 1999). Para Reason (1997), com a adoção do sistema Taylor de gerenciamento, a qualidade só é verificada no final do processo pelo controle de qualidade, método contestado veementemente pela filosofia de Deming, que advoga a qualidade como parte de todas as etapas do processo produtivo.

#### b) Qualidade como ferramenta de gerenciamento

A segunda dimensão é como ferramenta ou filosofia de gerenciamento, denominada grande “Q”, que foca na garantia da qualidade em todos os processos de trabalho da organização para otimizar seus processos de gestão (Paradies et al, 2000). Calca-se na teoria da administração orientada para pessoas, proposta por Peter Drucker nos anos 40, que se contrapõe à teoria da administração mecanicista, cartesiana e científica de Taylor voltada para resultados, de 1911 (O’Connor, 1995). Ao longo dos anos, vários modelos de gerenciamento baseados na qualidade total foram desenvolvidos, tais como TQC, TQM, TPM e ISO-9000, mas muitas vezes apresentam uma baixa efetividade nos resultados pelos seguintes motivos:

- Deming propôs catorze princípios de gestão da qualidade, mas gastou pouco tempo para explicar como implementar mudanças tão extensas numa organização



complexa, pois imaginava que definindo “o que” fazer seria suficiente para atingi-las (Dalgleish, 2004);

- Por acreditar excessivamente que os acontecimentos diversos podem ser previstos em procedimentos e rotinas-padrão, proporcionando um despreparo ao inesperado (Weick, 2001);
- Falta de infra-estrutura necessária para a identificar e resolver os problemas de diversas naturezas, ou seja, identificar o que deve ser feito para proporcionar as melhorias no sistema (Weick, 2001);
- As organizações não ajustam suas práticas de controle de qualidade rotineiras para tratar problemas emergentes e mais complexos (Weick, 2001);
- Foi concebida numa época em que o erro humano não era bem entendido, portanto, deixa de contemplar um tratamento dirigido relativo aos fatores humanos, responsáveis por cerca de 80% das falhas e acidentes numa organização (Reason, 2003);
- As organizações tentam mudar as atitudes, sem considerar os fatores comportamentais e as características organizacionais (Cooper, 2000), ou seja, dá um tratamento equivocado aos aspectos humanos.

#### 4.3.2 - Definição de qualidade do produto

As diferentes conotações dadas à qualidade mostram que a qualidade de um produto não é uma característica simples identificável, distinguindo-se oito dimensões, devendo ser atendidas aquelas que se fizerem necessárias (Wieringa 1999):

- a) Performance (desempenho) é uma medida tradicional de qualidade, referindo-se ao funcionamento básico de um produto. Por exemplo, para um automóvel, aceleração e conforto.
- b) Características adicionadas à função básica de um produto para agregar qualidade. P.ex., produto em conformidade com os requisitos de segurança, saúde e meio-ambiente.
- c) Confiabilidade é outra medida tradicional da qualidade. Um produto confiável raramente falha, pois está “livre” de defeitos. Qualidade garantida por um intervalo previsto de uso do produto.
- d) Conformidade, que está relacionado à ausência de falha. É o grau em que um produto encontra os requisitos pré-estabelecidos. Importante para sistemas multicomponentes

cumprir a função de projeto, em que especificação de tolerância para ajuste entre componentes é essencial.

- e) Durabilidade é uma medida da vida do produto, no aspecto econômico (alto custo de reparo) ou físico (o reparo é impossível). Um produto durável, usualmente tem mais alta qualidade.
- f) Serviceabilidade relaciona-se ao tempo e esforço necessários para reparar o produto. A quebra de um produto é vista em geral como um aborrecimento, mas a facilidade de reparo alivia a irritação.
- g) Estética é uma dimensão subjetiva da qualidade. Refere-se ao aspecto visual, sensação ao tato, ruído, sabor ou cheiro de um produto.
- h) Percepção da qualidade é outra dimensão subjetiva. Na falta de informações sobre um produto, toma-se por base sua imagem de qualidade em experiências passadas, reputação do fabricante, e sua linha de produtos ou o nome do produto.

#### 4.3.3 - Controle da qualidade do produto

Para a referência TLF (2005), a Qualidade tradicionalmente é vista como uma função descontínua de insatisfação do cliente, figura 4.6 ( a ), ou seja, o produto é bom ou ruim. Esta função assume um produto uniformemente bom entre um limite inferior (LS) e um limite superior (US). O eixo vertical mostra o grau de insatisfação do cliente com o desempenho do produto (projeto). As curvas “A” e “B” representam as freqüências de desempenho de dois produtos (projetos) num dado intervalo de tempo. Percebe-se que “A” tem uma menor fração de desempenho ruim relativamente a “B”, logo, “A” é o produto de melhor performance. Taguchi chamou a porção de desempenho ruim de “função de perda”.

Segundo a TLF (2005), Taguchi propôs uma função contínua quadrática para representar a insatisfação do cliente com o desempenho do produto, figura 4.6 ( b ). O ponto de máxima satisfação é o ponto de mínimo da curva (insatisfação), devendo ser o alvo para o desempenho, portanto a centralização da curva quadrática, que terá um limite inferior de tolerância (LCT) e um limite superior (UCT), determinados pelos clientes, não por especificação de engenheiros. A tolerância dos clientes é definida em 50% dos clientes insatisfeitos.

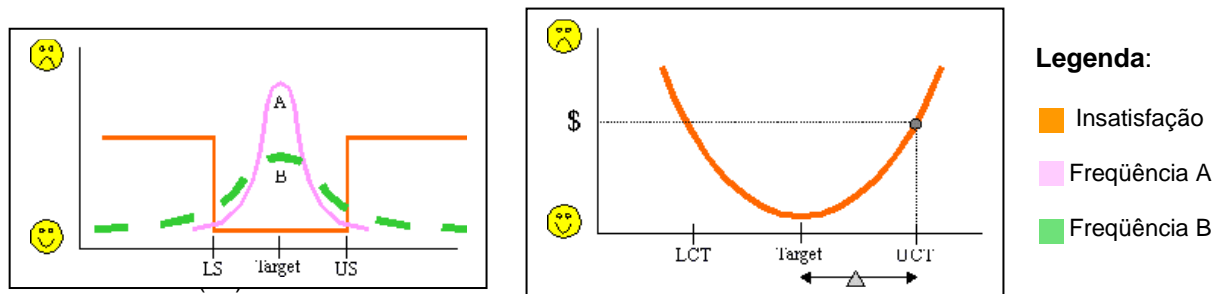


Fig. 4.6: Curva de satisfação do cliente (TLF, 2005)

A qualidade de produto diz respeito à ausência de defeito. Defeito é uma condição latente no produto. Condição latente significa maior probabilidade de falha, portanto menor é a probabilidade de falhas e acidentes. Portanto, minimizar a evolução de defeitos de fabricação reduz a presença de CLNT (melhora a qualidade do produto) e a sua probabilidade de falhas e risco de acidentes.



#### 4.3.4 - Variabilidade dos processos

A qualidade dos produtos é regida por dois parâmetros estocásticos (TLF, 2005): a média e a variância em torno da média (alvo). Sobrepondo curvas de freqüência de desempenho de dois produtos à curva de satisfação dos clientes, figura 4.7, verifica-se duas situações:

- Produtos com mesma variância, mas com médias diferentes: o produto "A" tem menor fração de desempenho ruim que o produto "B". Figura 4.7 (a), logo, tem menor função de perda, conseqüentemente melhor qualidade.
- Produtos com mesma média, mas com variâncias diferentes: o produto "A" tem menor fração de desempenho ruim que o produto "B". Figura 4.7 (b).

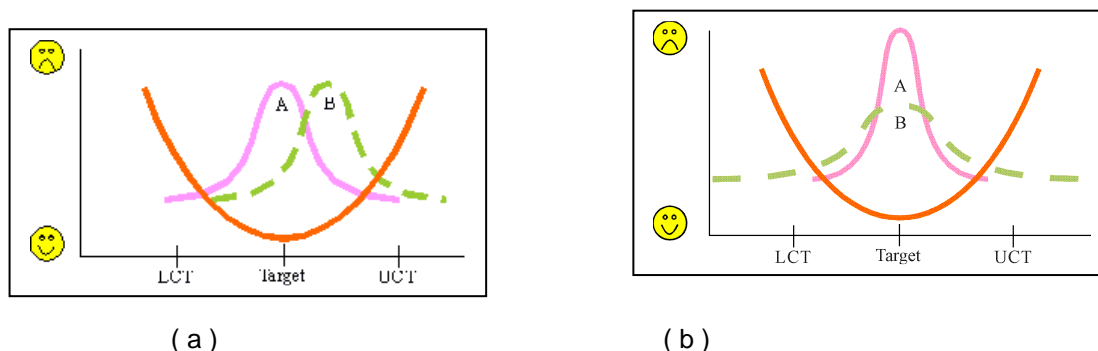


Fig. 4.7: Variabilidade dos processos (TLF, 2005)

O objetivo então é produzir “zero defeito”, ou seja, estar dentro dos limites especificados. Dentro desta linha moderna de pensamento, há duas definições para qualidade (Wieringa, 1999):

*Qualidade é a uniformidade em torno de um alvo (valor). (Sullivan)*

*Qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. (Montgomery, 1996)*

#### 4.3.5 - Desempenho do produto

Qualidade de produto diz respeito à ausência de defeitos ([www.atomica.com](http://www.atomica.com)) oriundos dos processos de fabricação, montagem ou manutenção. Como esse tipo de defeito é uma condição latente no produto e condição latente significa maior probabilidade de falhas e acidentes, então, minimizar a evolução de defeitos nos processos de manutenção reduz a presença de CLNT e, conseqüentemente, a probabilidade de falhas e risco de acidentes.



Foi visto que, em função da variabilidade dos processos de manutenção, não existe equipamento com “zero” defeito. Além disso, o conjunto de variações oriundo desses processos confere aos equipamentos um caráter probabilístico no seu desempenho (Rojas, 2002). Isso quer dizer que a probabilidade de falhas não é a mesma para todos os equipamentos similares em serviço, pois falham primeiro os equipamentos que apresentam a pior combinação do tripé da integridade estrutural: defeitos mais significativos, maior solicitação mecânica e a pior condição de material para o meio determinado. Portanto, para uma mesma condição, falham primeiro os equipamentos com defeitos mais significativos oriundos dos processos de manutenção.

#### 4.4 - Integridade

O objetivo é mostrar o atributo da integridade dos equipamentos estáticos, seus recentes avanços em metodologias e a perspectiva de contribuição destas metodologias para evitar falhas de natureza técnica. Todo equipamento contém

descontinuidades estruturais, a maioria é inócua, alguns podem levar a vazamentos e muito raramente algum defeito pode conduzir a falha catastrófica (Reynolds, 1995). O desafio é identificar, localizar e tratar aquelas descontinuidades que podem levar a falha (Reynolds, 1995). Mas para Reynolds (2002) a integridade dos equipamentos estáticos da indústria de processo que trabalham sob pressão pode ser garantida pelo cumprimento de procedimentos, treinamento e disciplina da força de trabalho.

#### 4.4.1 - Integridade estrutural

Integridade é um estado do equipamento, que garante estar em condições de ser submetido a uma solicitação nas condições especificadas, sem que a falha ocorra.

Os equipamentos estáticos, não raro, acumulam grande quantidade de energia no fluido que armazenam ou conduzem, que podem provocar eventos indesejáveis de magnitudes diversas, requerendo cuidados para mantê-los em níveis de risco de falha aceitáveis. Para garantir isto, alguns países criaram instituições regulamentadoras para estabelecer as exigências mínimas de segurança para os equipamentos que trabalham sob condições pressurizadas (Reynolds, 1993).

Os códigos, padrões, normas e práticas recomendadas de projeto, inspeção e manutenção são baseados em boas práticas da engenharia geralmente aceitos e reconhecidos, mas são genéricos e necessitam de uma adaptação para serem aplicados, além de pessoal especificamente treinado nesses padrões (Reynolds, 1993). Os métodos de avaliação têm, portanto, natureza essencialmente técnica. Tais guias são genéricos, portanto o efeito das peculiaridades de cada planta e equipamento deve ser considerado separadamente e por isto apresentam duas lacunas importantes (Reynolds, 1993):

- não apresentam critérios detalhados de aceitação de descontinuidades nos equipamentos, pois é uma tarefa complexa, que envolve conhecimentos específicos multidisciplinares, devendo ser tratado especificamente pela confiabilidade estrutural. Este problema está sendo resolvido pela elaboração do guia API 579 (2002);
- não apresentam ferramentas e métodos sistematizados de determinação da frequência em função dos modos de falha atuantes e métodos e extensão da inspeção realizada. Esta lacuna está sendo preenchida pela elaboração de uma metodologia baseada no risco, API 581 (2002).

As exigências legais e das seguradoras são definidas em função da aplicação das normas e sistemáticas de definição de planos de inspeção. Os métodos se aplicam principalmente a equipamentos pressurizados (de processo), dispositivos de emergência e controle ou estruturas. Não se aplicam p.ex. a ferramentas de trabalho (Reynolds, 1993).

Em função da racionalização dos recursos escassos de inspeção e manutenção e de dirigir maiores cuidados aos equipamentos com mais alto potencial de perigo se a falha ocorrer, cada vez mais os métodos baseados no risco vêm sendo implementados para as diversas classes de equipamentos estáticos (Reynolds, 1993; API 581, 2002).

Segundo Reynolds (1995), o grande desafio da indústria em melhorar a integridade dos equipamentos esbarra em onde focar os recursos limitados, através da priorização em função do impacto no SMS.

#### 4.4.2 - Integridade física

A integridade física é definida pela ausência de defeitos na estrutura. Isto pode ser medido pela aplicação de ensaios não-destrutivos, sem considerar a aplicação de forças na estrutura, e tomando padrões de comparação universais e/ou específicos, como p.ex., espessura de mínima de parede do equipamento. Para avaliar a integridade física é necessário localizar, identificar e dimensionar as descontinuidades. Isto é definido pela atividade de controle de qualidade, na fase de F&M, ou inspeção de equipamentos, na fase de manutenção.

Existem alguns documentos que dão orientação:

- Códigos de projeto.
- O American Petroleum Institute (API) disponibiliza vários códigos de inspeção para equipamentos estáticos.
- Reynolds (2002) fornece uma listagem que denominou de “101 elementos essenciais para o gerenciamento da integridade de equipamentos”. Tais elementos referem-se a aspectos técnicos e argumenta que procedimento, treinamento e disciplina são os pontos necessários para garantir integridade das instalações.
- O documento API 581 define a metodologia de Inspeção Baseada no Risco, IBR, uma ferramenta para garantia de integridade física com base no risco de falha de equipamentos de processo, que só trata os aspectos técnicos ligados à falha, logo,

não abrange os fatores humanos e organizacionais do modelo epidemiológico, nem equipamentos auxiliares de trabalho.

### *Metodologia da inspeção baseada em risco (IBR)*

A metodologia de inspeção baseada em risco (IBR) foca na integridade física do equipamento e na racionalização do uso de recursos de inspeção e manutenção de equipamentos pressurizados (Eckstein, 2003). A determinação do risco de falha é feita por classe de equipamentos, considerando-se as condições de trabalho através das variáveis operacionais, os modos de falha prováveis e os ensaios aplicados na detecção de defeitos gerados pelos modos de falha atuantes. É uma metodologia de engenharia, portanto seu foco é essencialmente técnico. A Inspeção Baseada em Risco é uma metodologia recente, adaptada de documentos do ASME Risk-Based Inspection Guidelines para centrais termelétricas nucleares e de combustíveis fósseis, publicados em 1991, modificada pela empresa DNV e posteriormente pelo API na segunda metade da década de 90 (Drosjack, 2001).

A metodologia calcula o risco da ocorrência de uma falha estrutural em equipamentos de processo, portanto, mede a integridade física, permitindo o gerenciamento do risco global de falha da unidade através do estabelecimento de planos de inspeção projetados especificamente para as características de acúmulo de danos de cada equipamento, e ainda permitindo o uso do histórico operacional para atualizar o risco de acordo com o cenário operacional futuro (Eckstein, 2003).

Requer pessoal especializado para sua aplicação, envolvendo os seguintes profissionais (Kaley, 2003): engenheiro mecânico, engenheiro de corrosão/materiais, especialistas em END e profissionais de inspeção de equipamentos.

Diversos fatores motivaram o desenvolvimento da metodologia de IBR. Dentre estes, estão:

- Os códigos que regulamentam os aspectos de integridade mecânica são muito flexíveis e muitas opções relativas ao escopo e extensão da inspeção. O método sistematizado de IBR corrige isto, guiando o usuário na seleção de opções de inspeção que otimize o programa de inspeção para o propósito de reduzir o risco (Reynolds, 1995);
- Reduzir o risco de eventos catastróficos resultantes de falhas de equipamentos pressurizados (Reynolds, 1995);

- A maioria dos códigos e padrões baseava-se apenas na probabilidade de falhas e não na consequência das falhas: a IBR integra os dois parâmetros (Kaley, 2003);
- Melhorar a efetividade-custo dos recursos de inspeção e manutenção, possibilitando também uma redução de cerca de 15% nos custos de inspeção e manutenção dos equipamentos (Kaley, 2003);
- Fornecer uma base para transferir recursos de mais baixo risco para mais alto risco (Kaley, 2003);
- Medir e entender os riscos associados com os programas de inspeção usuais. É uma medida da integridade (Kaley, 2003);
- Medir e indicar caminhos para reduzir o risco como um resultado das práticas de inspeção (Kaley, 2003);
- Vem se mostrando bastante versátil na aplicação a diversas classes de equipamentos pressurizados (Drosjack, 2001).

A IBR se baseia no fato de que poucos equipamentos em uma instalação industrial concentram a maior parte do risco relativo a uma falha estrutural, conforme a figura 4.8. Sendo assim, a determinação do risco que cada equipamento representa, permite a priorização do uso dos recursos de inspeção para aqueles de maior risco, concentrando esforços para reduzir os riscos daqueles equipamentos identificados como críticos (Eckstein, 2003). É o princípio de Pareto dos 80/20.

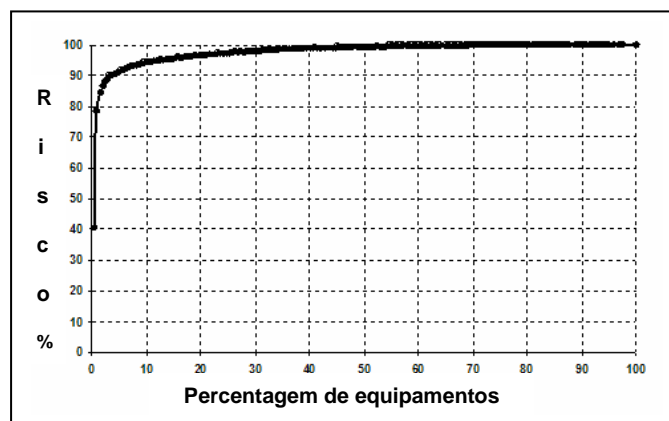


Fig. 4.8: Concentração do Risco (API 581, 2002)

A base do IBR está no cálculo do risco de falha dos equipamentos da planta. O risco pode ser interpretado de diversas maneiras, sendo as mais freqüentes como sendo a probabilidade ou a possibilidade de ocorrer alguma falha. Mas, alternativamente, o risco



pode ser considerado como a magnitude de uma possível perda, que é exatamente o que é utilizado pelo API. Desta forma, o risco de falha é calculado pelo produto,

$$\text{Risco de falha} = \text{Probabilidade de falha} \times \text{Conseqüência da falha}$$

Sendo uma integração de dois parâmetros, o Risco de falha é representado na Matriz de Risco, conforme a figura 4.9. A Probabilidade cresce de 1 a 5. A Conseqüência cresce de A a E.

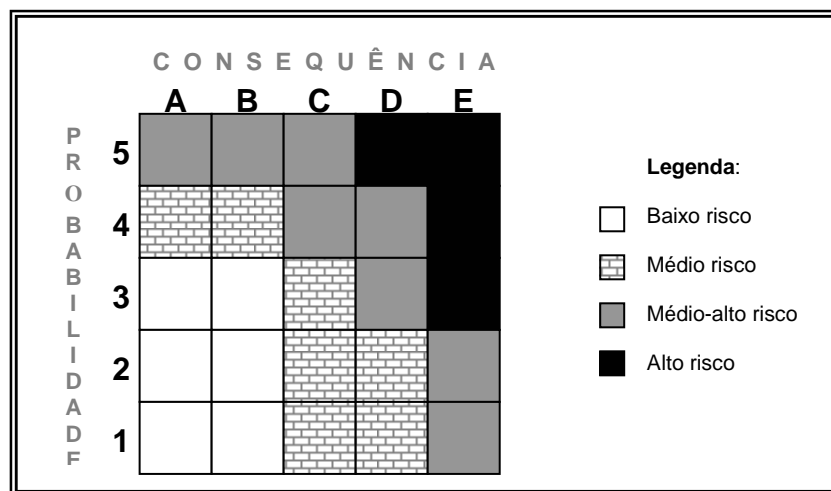


Fig. 4.9: Matriz de Risco (API 581, 2002)

A IBR apresenta algumas limitações:

- As causas fundamentais de grandes eventos (catastróficos) são múltiplas, com forte tendência organizacional. Como o método de IBR considera fatores essencialmente técnicos na avaliação, com pouca chance de identificar causas de falha de outra natureza que não seja técnica. Reason (1997, 2004);
- Não cuida de efeitos secundários de unidades próximas (Kaley, 2003);
- Não trata de risco inerente ao manuseio de materiais perigosos (Kaley, 2003);
- Não aborda erros de projeto (Kaley, 2003);
- Fica limitado pelo métodos de inspeção (Kaley, 2003);
- Não aborda mecanismos desconhecidos ou não identificados de deterioração (Kaley, 2003);
- Para evitar excesso de tarefas, aplica-se o “princípio” dos 80/20, em que os “pequenos eventos”, responsáveis pela maioria das perdas, ficam de fora (Koornneef, 2000).

#### 4.4.3 - Integridade mecânica

A integridade mecânica avalia descontinuidades na estrutura a partir de métodos de engenharia, considerando a aplicação de uma força (solicitação mecânica) na região onde a descontinuidade se localiza. A solicitação pode ser a aplicação de uma pressão interna no equipamento avaliado. As metodologias foram desenvolvidas a partir da verificação de que a maioria das falhas pode ser expressa por um processo genérico de falha (Lafraia, 2001).

A metodologia da mecânica da fratura vem se desenvolvendo desde a ocorrência de fraturas nos navios Liberty, na década de 40. Nos EUA, o primeiro documento na forma de código foi o ASME Seção XI. Na Inglaterra, o primeiro documento formal foi o CEGB R6, seguido da norma BS PD6493. Todos esses documentos limitam-se a apresentar a metodologia da mecânica da fratura.

Mais recentemente o API lançou o documento API 579, na forma de norma, abrangendo métodos determinísticos para a avaliação de uma gama extensa de descontinuidades. A estimativa da integridade mecânica do equipamento é definida aplicando-se o método para o respectivo tipo de descontinuidade em função de três fatores (Anderson, 1995; da Rosa, 2003; Ruggieri, 2000):

- descontinuidades: integridade física ou ausência de defeitos, portanto está ligado a qualidade na fabricação, montagem e manutenção;
- tensão aplicada: resistência à solicitação mecânica (aplicação de uma força), química (ação do meio) e física;
- material: condição e comportamento metalúrgico às ações externas.

#### 4.4.4 - Confiabilidade estrutural

Na confiabilidade clássica, o tempo para a falha é determinado através dos dados de falha passados do componente, tratados por alguma distribuição de probabilidade (Lafraia, 2001). É economicamente impraticável realizar um número relevante de ensaios de falha em equipamentos estáticos de forma a viabilizar o uso das técnicas de confiabilidade, portanto, a confiabilidade clássica tem limitações de aplicação a equipamentos estáticos (Lafraia, 2001).

Um outro aspecto é o fato de que as variáveis que governam os fenômenos de danos nem sempre são precisamente determináveis. Lança-se então mão de vários métodos estatísticos para acomodar as incertezas: método da regressão linear, métodos de simulação (Monte Carlo e Markov), etc. (Lafraia, 2001).

Para estimar a probabilidade de falha de natureza técnica dos equipamentos estáticos, utiliza-se o método da “Confiabilidade Estrutural”, definida em função de três fatores e suas incertezas (Anderson, 1995; da Rosa, 2003; Ruggieri, 2000):

- descontinuidades: integridade física ou ausência de defeitos, portanto está ligado a qualidade na fabricação, montagem e manutenção;
- tensão aplicada: resistência à solicitação mecânica (aplicação de uma força), química (ação do meio) e física;
- material: condição e comportamento metalúrgico às ações externas.

O estudo de confiabilidade estrutural é quantitativo, sendo realizado para cada equipamento específico, por meio de análise probabilística de danos no equipamento (da Rosa, 2003; Lafraia, 2001; Viswanathan, 1989), porém limita-se a tratar os aspectos técnicos e muitas vezes requer uma quantidade de ensaios não disponíveis para elaborar as análises (Anderson, 1995; Ruggieri, 2000). Não é objeto de estudo desta dissertação.

## **4.5 - Fatores humanos**

### **4.5.1 - Considerações preliminares**

Para o cientista francês René Amalberti (1998a), o assunto “fator humano” trata das atividades humanas no trabalho, procurando compreender, controlar e, se possível, reduzir a variabilidade do ser humano, para que este componente do sistema possa ser tratado como um domínio não-aleatório, compatível com as teorias técnicas e organizacionais do mundo industrial.

A moderna teoria dos fatores humanos baseia-se no resultado de análise de tarefas e modelagem cognitiva, cujo foco foi definido pelas escolas européias e americanas nos anos 80. Mas a mudança de orientação da indústria tem sido difícil, talvez pela ênfase mais qualitativa do que quantitativa, com uma carga forte de elementos da psicologia. (Amalberti, 1998b).

#### 4.5.2 - Comportamento inseguro

Comportamentos são atos ou ações dos indivíduos que podem ser observáveis por outros (Kam, 2003). De 80 a 90% de todos os acidentes é o resultado de atos (comportamentos) inseguros e não devido a condições ambientais, ou seja, acidentes são causados – eles não acontecem por acaso. GAIN (2004) afirma que há quatro tipos de comportamento que podem resultar em atos inseguros:

- Erro Humano: o indivíduo deveria ter feito uma tarefa diferente da que foi feita, em que eles inadvertidamente causaram um resultado indesejável. Reason (2003) destaca a importância do erro humano, afirmando que 90% dos atos inseguros se revelam como erro humano.
- Conduta negligente: aquela que cai abaixo do padrão normal aceita pela sociedade. Falha por ação ou omissão do que poderia ter sido previsto em causar danos à propriedade ou pessoas. A pessoa falha em reconhecer um risco que poderia ter sido reconhecido. Uma pessoa prudente teria previsto e evitado a ação insegura.
- Conduta imprudente: é mais culpável que a negligência. A pessoa age sob um risco óbvio e consciente, de forma deliberada e injustificável.
- Violações intencionais: a pessoa sabe ou prevê o resultado da ação, mas vai em frente e executa a tarefa de qualquer maneira.

#### 4.5.3 - Erro humano

##### a) Definição

Erro humano é usualmente definido como qualquer desvio da performance de uma seqüência de ações especificadas ou prescritas (Leveson, 2004). Erro humano é o desvio de uma prática desejável ou aceitável de um indivíduo, em que o efeito pode ser um resultado inaceitável ou indesejável (Contra Costa, 1999).

O conceito de erro humano é muito elusivo, difícil de definir, pois as causas acidentais de erro humano parecem ser subjetivas e guiadas pela vontade do analista, já que não há um marco objetivo para encerrar a busca na trilha da causa raiz, sendo que a pesquisa pára quando um evento encontrado se associa a uma causa conhecida pelo

analista (Rasmussen, 1999). Seguindo um acidente, é fácil encontrar alguém que tenha violado uma regra formal e especificada por uma prática estabelecida, logo, não é difícil confirmar o erro humano como causa de 70 – 80% dos acidentes (Leveson, 2004). Isso torna comum atribuir erro após a ocorrência do fato como um processo de julgamento social e não de conclusão científica (Cook & Woods, 1994).

#### b) Nova visão sobre o erro humano

A falha do reator na usina nuclear americana Three Mile Island em 1979 foi o ponto de partida para muitas pesquisas sobre o erro humano, desenvolvendo-se novos meios de enxergar como os sistemas falham e como as pessoas em suas várias funções contribuem tanto para o sucesso quanto para a falha (Woods & Cook, 2003). As pesquisas, coletivamente conhecidas como “Nova Visão”, foram movidas por pesquisadores de diferentes disciplinas, tais como ciência cognitiva, teoria organizacional e engenharia cognitiva, mas principalmente focado em estudos empíricos de pessoas no trabalho, cujos resultados desses esforços desafiam suposições populares sobre a relação entre o erro e a falha (Woods & Cook, 2003). O quadro 4.3 resume as diferentes visões.

Quadro 4.3: Visões do erro humano (Dekker, 2002)

VISÃO TRADICIONAL	NOVA VISÃO
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Causa da falha</li> <li>▪ Achar um culpado: punição</li> <li>▪ O sistema é seguro: a não-confiabilidade é das pessoas</li> <li>▪ Proteger-se dos humanos: seleção, procedimentos, automação, treinamento e disciplina</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sintoma de falha (do sistema): “errar é humano”</li> <li>▪ Aprender com a falha: incentivar fluxo informação</li> <li>▪ O sistema não é seguro: pessoas devem criar segurança</li> <li>▪ O erro conecta-se às ferramentas, tarefas e ambiente operacional: a organização comete erros</li> </ul>

Ações errôneas humanas não são tipos de causa de falha, mas sim sintomas de problemas no sistema, exprimidos pelas condições de trabalho e pelas demandas das organizações e usuários finais (Hollnagel, 2002b; Cook & Woods, 1994), passando a ter o caráter de consequência de vulnerabilidades organizacionais. Sendo um sintoma, o “erro humano” deve então servir como o ponto de partida para investigar como o sistema falha e não o ponto de chegada, fazendo gerar recomendações como introduzir práticas-padrão e regras de trabalho, substituir o homem por automação, etc., pois ações desta natureza, sem a definição da causa fundamental, em geral não são efetivas em aumentar a confiabilidade dos sistemas complexos (Cook & Woods, 1998).

Para Reason (2003), 90% dos erros não ocorrem porque os indivíduos são incompetentes ou sem cuidado, ou seja, apenas 10% são por estes motivos, portanto enquadradas na visão antiga, passíveis de culpabilidade.

### c) Importância do erro humano

Os acidentes mais significativos dos sistemas industriais complexos nos últimos 50 anos, tais como a explosão na central nuclear de Chernobyl (1986) e a multiplicidade de problemas na estação espacial russa MIR (1998), têm como parte das causas falhas da ação e julgamento humano e num crescente número de acidentes, em que a principal causa tem sido atribuída especificamente a erro humano (Hollnagel, 2002b). Nos anos 60, o número girava em torno de 30%, mas cresceu durante as décadas seguintes, estando hoje entre 70 e 90% do total dos acidentes ocorridos, conforme mostrado na figura 4.10, cujas razões são diversas (Hollnagel, 2002b):

- Os sistemas tecnológicos tornaram-se mais complexos, dificultando o seu controle;
- Métodos e modelos melhores de análise de erro humano facilitaram sua identificação;
- Os sistemas tecnológicos se tornaram mais confiáveis, aumentando o número relativo de outras causas;
- Algumas vezes é mais barato e conveniente colocar a culpa em um humano do que na organização ou reprojeter um sistema inteiro.

Falhas induzidas pelo humano respondem por 50% das paradas de sistemas (Brown, 1999).

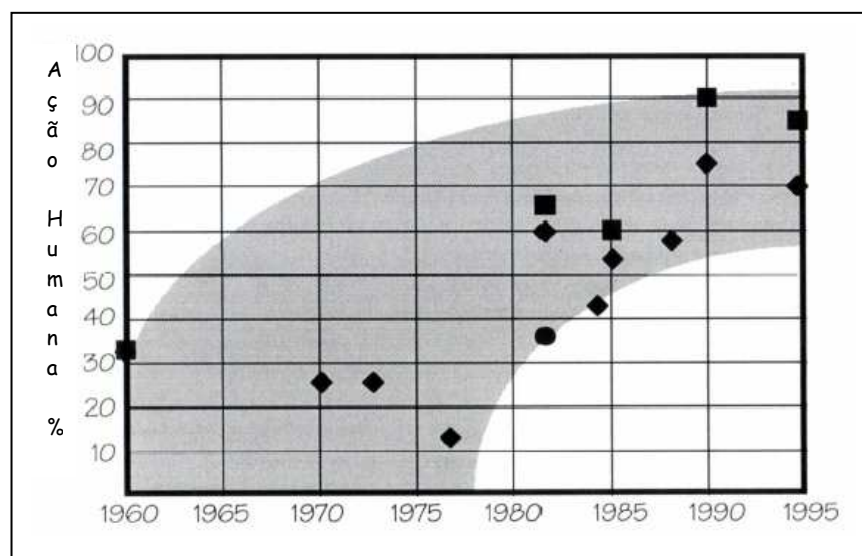


Fig. 4.10: Crescimento da responsabilidade humana nos acidentes (Zeiger, 2005)

#### d) Fundamentos da performance humana

O desempenho humano é formado por fatores sistemáticos e os estudos científicos querem entender como esses fatores formam a cognição, colaboração e o comportamento das pessoas no domínio do trabalho (Woods & Cook, 2002). Com boa margem de precisão, é possível saber como alguns fatores induzem certas espécies de ações errôneas, auxiliando na sua predição: esta é a parte sistemática, portanto gerenciável. A dificuldade, entretanto, está em prever o número dessas ações errôneas e o instante de sua ocorrência: esta é a parte aleatória, ligada aos aspectos da falibilidade humana, bem mais difícil de gerenciar e que não será tratada nesta dissertação.

Nas frentes de trabalho, as pessoas perseguem objetivos, ajustam os procedimentos às situações, resolvem conflitos, antecipam-se aos perigos, acomodam variações e mudanças, deparam-se com surpresas, contornam problemas, ajustam os planos de trabalho à realidade, detectam e recuperam-se de falhas de comunicação e mau funcionamento, bloqueando a trajetória de falhas potenciais, ou seja, contribuem para a confiabilidade quando realizam suas funções com sucesso. O desafio então está em como os mesmos processos tornam-se sucesso algumas vezes e fracasso em outras. (Woods & Cook, 2002). A seguir são apresentadas as características do erro humano.

##### *d.1) Processamento das informações*

Como pode ser visto de forma esquemática na figura 4.11, o processamento das informações no cérebro se dá da seguinte forma: as informações entram pelas funções de entrada através dos sentidos humanos e passam por um filtro, que as projeta no espaço consciente de trabalho das informações (Reason, 2003). Neste espaço, o cérebro realiza todo o processamento, buscando inclusive as informações que estão armazenadas numa biblioteca de informações, a memória de longo prazo (Reason, 2003). Concluído o processo, o cérebro manda a informação processada para o espaço de saída de funções, que comandará as ações sobre os órgãos de resposta, como pés, mãos, fala, etc. (Reason, 2003).

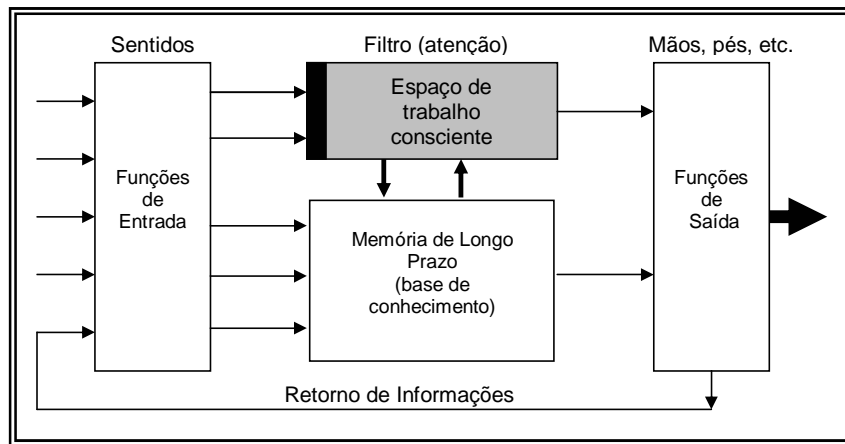


Fig. 4.11: Esquema do Funcionamento Mental (Reason, 2003)

#### d.2) Susceptibilidade ao erro humano

A atenção humana apresenta as seguintes características (Reason, 2003):

- A atenção é uma *commodity* limitada, sendo portanto seletiva e disputada;
- Fatores fora do contexto podem capturá-la;
- O foco da atenção é difícil de ser mantido por mais que alguns segundos;
- A habilidade para concentrar depende do interesse pelo objeto da atenção;
- Quanto mais habilidade ou mais habitual nossas ações, menos atenção será demandada;
- O desempenho correto da atenção só exige um balanceamento correto da atenção.

Estas características podem ser sumarizadas por analogia a um modelo de feixe de luz de uma lanterna, em que o feixe representa a atenção, como bem sinaliza Reason (2003). Os objetos potenciais de atenção do espaço de tarefa podem ser focados pela luz. A lanterna só consegue iluminar uma área pequena do espaço de tarefas, portanto, o foco do feixe representa parte da tarefa que tem o foco corrente da atenção. Mas a lanterna pode dirigir seu feixe de luz para diferentes áreas do espaço de tarefas. Um número de fatores competidores, entretanto, disputam os movimentos da lanterna. O mais importante, porém, é a intenção do indivíduo, mas esta atenção não pode ser sustentada por pouco mais que alguns segundos antes de ser capturada ou redirecionada para outro foco. Se assim não fosse, teríamos uma visão focada e limitada do mundo. Muitas coisas podem chamar a nossa atenção - as preocupações internas e as distrações externas – e conduzir à perda de concentração num ponto crítico da tarefa e então produzir um erro. A figura 4.12 mostra



a importância da atenção no momento em que caminhos diferentes podem ser tomados, com uma tendência de seguir o caminho dos hábitos mais fortes (Reason, 2003).

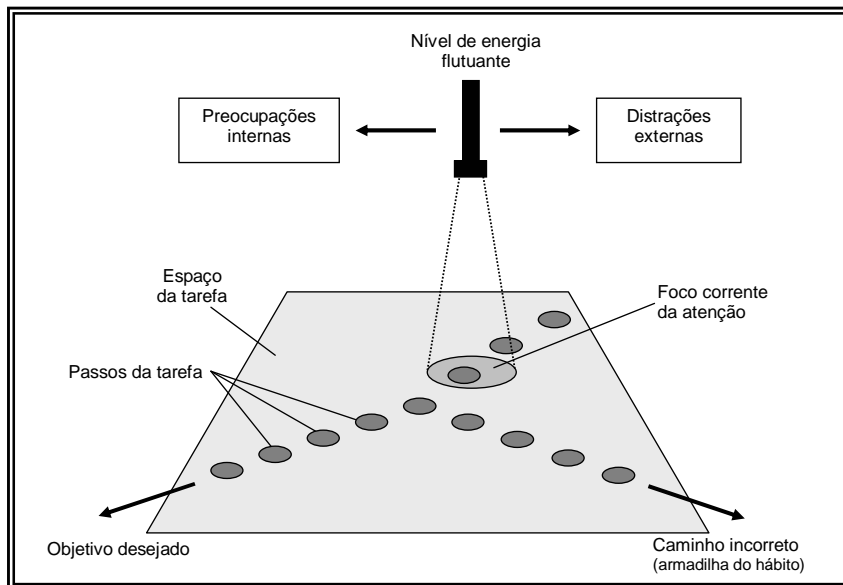


Fig. 4.12: Modelo da atenção humana (Reason, 2003)

### d.3) Níveis de desempenho

Nosso comportamento é uma função complexa de dois fatores: o que se passa entre nossos ouvidos e o que acontece em torno de nós. Muito da psicologia cognitiva está relacionada em tentar entender como estas duas influências primárias se interagem para formar as ações. Os seres humanos guiam suas ações por uma variedade de modos de controle, do consciente ao automático. As situações que vivenciamos variam de um extremo, as rotineiras ou não-problemáticas, a outro, as inteiramente novas, que se apresentam como problemas difíceis e freqüentemente potencialmente perigosos.

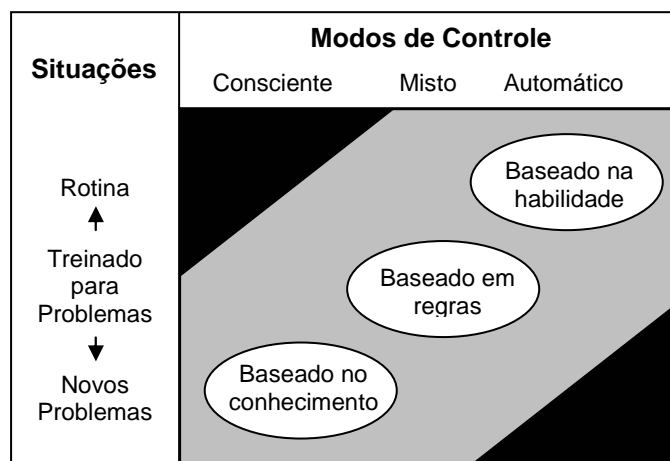


Fig. 4.13: Níveis de controle de desempenho humano (Reason, 2003)

Combinando os modos de controle com as situações, define-se o “espaço da atividade” humana, que determina os três níveis da performance humana, conforme esboçado na figura 4.13 (Reason, 2003).

#### *d.4) Fatores de desvio de performance*

Segundo Reason (2003), pesquisas na área da aviação civil revelaram que há mais de 300 fatores locais com potencial de influência no desempenho humano, porém, os principais são (Reason, 2003; Sian & Watson, 2005):

- fadiga, que tem influência direta do estresse, sono, drogas, trabalho de turno, dessincronização ou ritmo circadiano, tempo de ocupação, carga de trabalho, demanda de processamento de informações, fatores físicos de cunho ergonômico, idade, desnutrição, saúde em geral, fatores situacionais do ambiente de trabalho, hábitos alimentares e muitos outros fatores.
- Deficiências de equipamentos e ferramentas de trabalho;
- Pressões de tempo no trabalho;
- Treinamento inadequado;
- Supervisão inadequada e deficiente;
- Coordenação inadequada;
- Problemas com procedimentos.

A conclusão da ciência é que o erro humano é visto ainda hoje como sistematicamente conectado às características das tarefas e ferramentas das pessoas. Esses são aspectos positivos, pois tornam possível o gerenciamento. Mais recentemente reconheceu-se também a sua conexão ao ambiente organizacional e operacional. Desta forma, os erros resultam de limitações fisiológicas e psicológicas dos humanos. (Dekker, 2002)

#### *d.5) Mudanças para evitar o erro humano*

Mudança de comportamento freqüentemente conduz a uma mudança automática de atitude, isto porque as pessoas não gostam que seus comportamentos e atitudes entrem em conflito. Este fenômeno é denominado “dissonância cognitiva”. Tendemos a buscar uma coerência racional em tudo o que fazemos. Havendo incoerência entre nossos comportamentos e nossas atitudes, tensões internas são geradas. É um processo

intrínseco. Se não houver coerência, não haverá paz em nossa consciência e buscaremos um estado de equilíbrio que poderá passar pelo auto-engano ou pela dissonância cognitiva.

Atitude é a percepção que se tem em relação a objetos, pessoas ou eventos; é um fator psicológico, interno das pessoas.

Comportamento, por outro lado, é ato do indivíduo que pode ser observado por outras pessoas, portanto, é uma manifestação externada. Relaciona-se à intenção de comportar-se de determinada maneira com relação a alguém, alguma coisa ou evento (Marot, 2003).

Mas há problemas em relação à atitude (P&I, 2005; Cooper, 2000):

- Mudar atitude não é fácil.
- Métodos como disciplina e punição de atos inseguros não são efetivos para mudar a atitude.
- Fatores situacionais exercem forte influência sobre o comportamento (atos: o que se externa). Isto quer dizer que, mesmo se conseguirmos mudar as atitudes, o comportamento pode não mudar, devido às pressões situacionais, ou seja, há uma ligação tênue entre o comportamento e a atitude, quebrável facilmente por pressões situacionais.
- Frequentemente não notamos as mensagens. Se as notamos, nem sempre as entendemos.
- Medir atitudes não é fácil: o que não é medido não é gerenciado.

Desta forma, deve-se focar diretamente na mudança de comportamento e não passar por mudança de atitudes. Portanto, os comportamentos das pessoas que provocam atos inseguros precisam ser identificados e mudados. Mas tais comportamentos são **sintomas** e não a causa raiz dos problemas. A premissa básica é que o controle desses comportamentos está nas mãos dos gerentes e trabalhadores. O poder dos gerentes está em fornecer treinamento e condições adequadas para, então, exigir os comportamentos mais apropriados. Aos trabalhadores cabe agir de forma profissional e segura.

#### e) Classificação do erro humano

Os erros humanos (incluindo a violação) são classificados conforme a figura 4.14 (P&I, 2005).

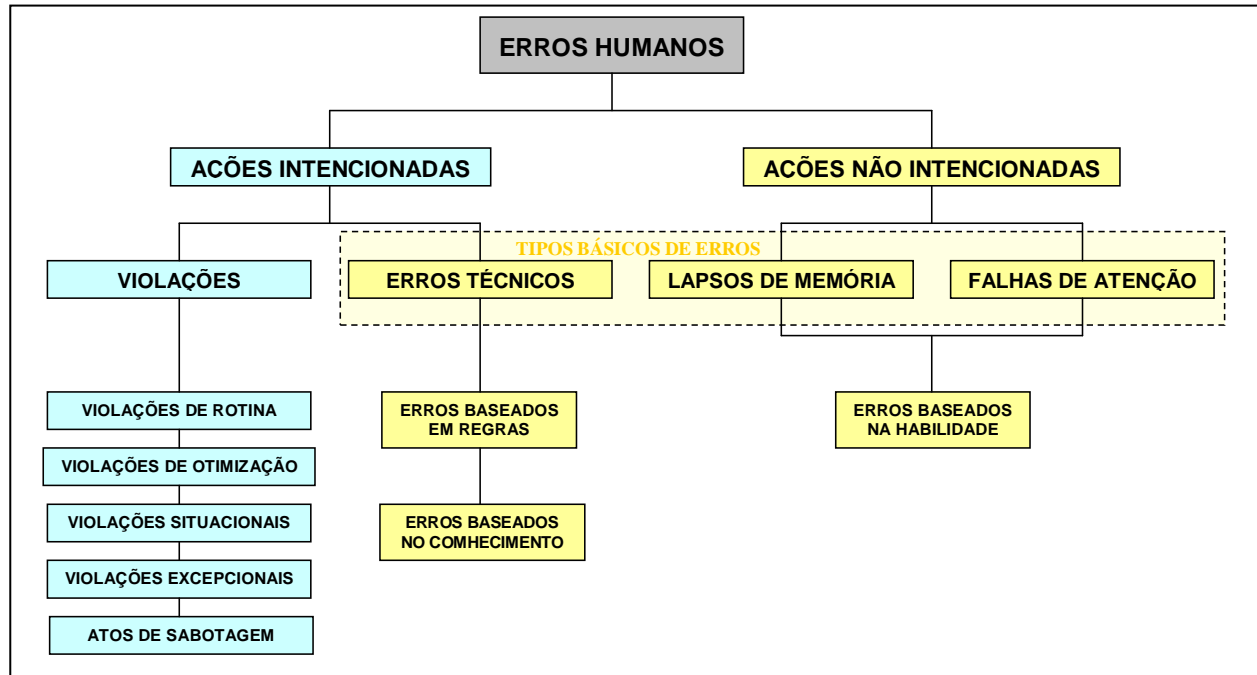


Fig. 4.14: Classificação do erro humano

O quadro 4.4 faz a definição de cada classe de erro humano (P&I, 2005).

#### f) Características do erro humano

Pesquisas mostram que os erros humanos não são eventos aleatórios, que ocorrem por acaso, ao sabor da sorte, pois a grande maioria dos erros (deslizes, lapsos e erros técnicos) cai em modelos recorrentes e sistemáticos, cuja evidência é que diferentes pessoas em diferentes organizações cometem os mesmos erros e não certas situações ou pressões no trabalho que conduzem as pessoas a cometer os mesmos erros (Reason, 2003). Existem de alguma maneira armadilhas para cometer erros, indicando que se está tratando principalmente com tarefas que provocam erros e situações indutoras de erros e não pessoas propensas a cometer erros (Reason, 2003). O autor ainda afirma que o fato de os erros terem característica sistemática (e não aleatória) é um sinal positivo para a sua eliminação, pois:

- Mostram que os erros podem ser gerenciados, da mesma forma que pode ser qualquer risco de um negócio. Este é o melhor caminho para limitar e conter o erro humano;

- Como a maioria dos erros ocorre por tipos reconhecíveis e recorrentes, recursos limitados podem ser direcionados para obter o máximo efeito.

Desta forma, as contra-medidas para gerenciamento do erro humano devem ser direcionadas em diferentes níveis no sistema para os seguintes elementos: individual, equipe, tarefas, locais de trabalho e o sistema (organização) como um todo (Reason, 2003).

Quadro 4.4: Descrição do erro humano (P&I, 2005)

<b>ERROS</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Depende de fatores <b>informacionais</b>: sua probabilidade é reduzida melhorando-se a informação</li> <li>▪ São sempre <b>não-intencionais</b></li> <li>▪ Podem ser re-explicados por referências a <b>indivíduos</b></li> <li>▪ Erros ocorrem em qualquer situação</li> </ul>	
<b>ERRO BASEADO NA HABILIDADE</b>	As tarefas são altamente práticas e rotineiras, realizadas de forma automática, exceto para exames ocasionais no curso da realização. Denota grande preparo da pessoa.	<b>LAPSO DE MEMÓRIA</b>	Omissão ou repetição de uma ação intencionada ou planejada. Pode ser devido a mudança na natureza da tarefa ou no ambiente da tarefa.
		<b>PERDA DE ATENÇÃO</b>	Desvio não intencional de um plano correto de ação. Pode ser devido a distração da tarefa ou preocupação com outras coisas.
<b>ENGANO</b> ( <i>mistake</i> )	<b>ERROS BASEADOS EM REGRAS</b>	Ação intencional ou inapropriada a circunstâncias. Regras corretas aplicadas circunstâncias inapropriadas. Aplicação de regras incorretas	Solução pré-pronta para um determinado problema: encontrada esta situação, então realize estas ações.
	<b>ERRO BASEADO NO CONHECIMENTO</b>	Julgamento errôneo em situações não cobertas por regra. Conhecimento insuficiente ou inexperiência – imaturidade. Pressões emocionais ou de tempo.	Casos em que a solução conhecida não existe. É lento e exige esforço. Pode ser perigosa em situações emergenciais.

<b>VIOLAÇÕES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Depende principalmente de fatores <b>motivacionais</b></li> <li>▪ Só podem ser entendidos num <b>contexto social</b></li> <li>▪ Podem ser reduzidos, mudando-se a <b>cultura</b> ou <b>atitudes</b></li> <li>▪ As violações levam os praticantes para as áreas de maior risco</li> </ul>
<b>VIOLAÇÕES DE ROTINA</b>	Desvio <b>habitual</b> de uma prática requerida. Quase invisível até ocorrer um acidente. Tendência da natureza humana de tomar o caminho do menor esforço: “Nós sempre fizemos assim”.
<b>VIOLAÇÕES DE OTIMIZAÇÃO</b>	Freqüentemente envolve o desejo entusiasmado ou satisfação de instintos agressivos. Algumas vezes é cometido para aliviar aborrecimentos, muito comum em homens jovens. “Eu conheço um caminho melhor de fazer isto”.
<b>VIOLAÇÕES SITUACIONAIS</b>	Solução aparente para problemas padrão que não estão especificamente cobertos nos procedimentos. “Nós não podemos fazer isto por qualquer outra maneira”.
<b>VIOLAÇÕES EXCEPCIONAIS</b>	Violação de prática regulamentada em situações não previstas ou não definidas. Geralmente é ditada pelas condições locais. “Agora isto é para o que nós fomos treinados”.
<b>ATOS DE SABOTAGEM</b>	Violação deliberada por razões maliciosas. É quase impossível reagir pró-ativamente.

#### g) Agentes do erro humano

Reason define duas figuras distintas para o termo “humano” referido na expressão “erro humano” (Cook & Woods, 1994):

- “Sharp end” do sistema: aquele profissional individual ou equipe de profissionais que trabalha na linha de execução do sistema, interagindo diretamente com perigo. São pilotos, controladores de voo, enfermeiros, cirurgiões, operadores de sistema, soldadores, caldeireiros, etc.
- “Blunt end” do sistema: aquele profissional que controla os recursos e restrições deparadas pelos profissionais na linha de execução, portanto, afeta a segurança e a confiabilidade por meio do efeito de suas ações sobre os recursos e restrições da frente de trabalho. Em geral, estão distantes no tempo e no espaço da linha de execução. São os gerentes, projetistas, fornecedores de tecnologia, regulamentadores, etc. São, portanto, suas ações que criam as condições no sistema necessárias ao cometimento de 85% dos erros humanos nas frentes de execução (Reason, 2003).

#### 4.5.4 - Modelo recíproco de formação das ações humanas

Já foi enfatizado no texto desta dissertação que de 80 a 100% dos acidentes são devidos a comportamento inseguro (Brown, 1999; Krause, 1990; Leveson, 2004), justificando a necessidade de melhoria da ação das pessoas perante a segurança, de forma a ter controle sobre o comportamento das pessoas. Para tanto, o modelo recíproco de comportamento proposto por Cooper (2000) é escolhido. Tal modelo é derivado da Teoria Cognitiva Social (Bandura, 1986), com a pretensão de ter aplicação universal, cujo objetivo é fornecer uma base teórica e prática para medir e analisar a cultura de segurança. Segundo Cooper (2000), a formação das ações humanas depende de fatores (facetas ou dimensões):

- Psicológico, interno, subjetivo ou pessoal: valores, crenças, atitudes, percepções, suposições, filosofias, motivação interna das pessoas. Representa “quem e o que somos”, o que nós achamos importante.
- Comportamentos relacionados a segurança continuada observável ou fatores de trabalho (*job factor*): competências, modelos de comportamento, normas, rituais, símbolos. São fatores observáveis, portanto externos.
- Situacionais objetivas ou restrições situacionais (organizacional): sistemas organizacional, sub-sistemas, faltas do sistema.

Então, cultura organizacional é o produto das interações múltiplas entre pessoas (psicológico), condições de trabalho e a situação da organização.

Os modelos causais de acidentes reconhecem a presença de uma relação recíproca e interativa entre estes três fatores na formação dos atos (Cooper, 2000).

#### 4.5.5 - Atitude e comportamento

Pesquisas com as vítimas de acidentes revelam que 2/3 desses eventos poderiam ter sido evitados (P&I, 2005). Isto quer dizer que é necessário eliminar os atos (comportamentos) inseguros para evitar acidentes. Como a dissonância cognitiva prevê que o comportamento e as atitudes devem estar em harmonia, espera-se mudar a atitude por meio da mudança do comportamento.

Atitude é a percepção que se tem em relação a objetos, pessoas ou eventos. É um fator psicológico, interno das pessoas, não-exógeno. Atitudes, como os valores, são adquiridas a partir de algumas predisposições genéticas (inteligência) e muita carga fenotípica, oriunda do meio (conhecimento) em que vivemos. Moldamos nossas atitudes a partir daqueles com quem convivemos, admiramos, respeitamos e até tememos. Assim, reproduzimos muitas atitudes de nossos pais, amigos, pessoas de nosso círculo de relacionamento. E as atitudes são bastante voláteis, motivo pelo qual a mídia costuma influenciar, ainda que subliminarmente, as pessoas no que tange a hábitos de consumo.

Comportamento, por outro lado, é ato do indivíduo que pode ser observado por outras pessoas, portanto, é uma manifestação externada.

Há uma clara interligação entre os três fatores, que pode ser representada nas figuras 4.15.

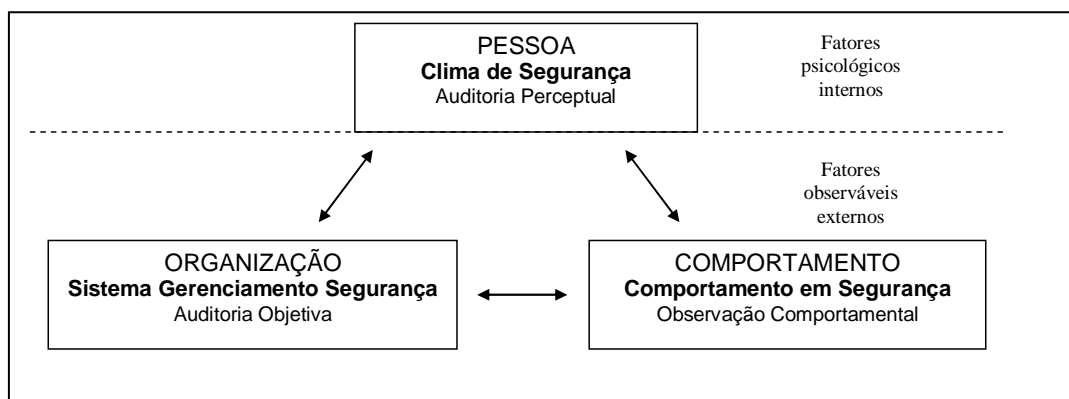


Fig. 4.15: Modelo recíproco da cultura de segurança (Cooper, 2000)

#### 4.5.6 - Clima e cultura de segurança (Cooper, 2000; Flannery, 2001; Yule, 2003)

Cultura: abrange, além das percepções dos empregados, os comportamentos e os sistemas de gerenciamento da organização. Desta forma, clima de segurança é um elemento da cultura de segurança. Cultura é o entendimento dos valores fundamentais das pessoas com relação ao risco e a segurança. Determina quem nós somos e porque nos comportamos de certa maneira. A ocorrência de grandes acidentes no final dos anos 70 e início dos anos 80 na indústria de processo mostrou a ineficácia dos atributos e metodologias de gestão disponíveis para evitar falhas e acidentes, suscitando o interesse de cientistas sociais da área de segurança principalmente dos EUA, Inglaterra, França, Suécia e Holanda, que iniciaram estudos sobre o erro humano, cujo objetivo específico era o de evitar acidentes, baseando-se em modelos de acidente vinculados a falha. Toda a base de conhecimento formada ao longo desses anos culminou numa estrutura para evitar acidentes de qualquer magnitude, que se aplica também a evitar falhas em função do modelo vinculado adotado. A essa base de conhecimento denomina-se cultura de segurança, que se preocupa com os fatores humano e organizacional, envolvendo um modelo que interage os domínios psicológico, fatores relacionados às condições de trabalho e situação organizacional para formar o comportamento humano e, em conseqüência, mostrar a verdadeira origem do erro humano.

Clima: é o reflexo das atitudes de segurança num dado instante. Clima abrange as percepções dos empregados sobre o gerenciamento da segurança da organização. É a parte tangível e observável da cultura. É menos abstrato que a cultura, sendo mais fácil ser medida. Reflete o que nós somos e o que nós fazemos. Reflete os valores do gerenciamento, comunicação de segurança, práticas de segurança, treinamento em segurança e os equipamentos de segurança. Para Yule (2003), medir o clima levanta elementos da cultura numa certa extensão.

#### **4.6 - Regulamentação para os equipamentos estáticos**

O quadro 4.5 mostra a abrangência de atuação das regulamentações externas à organização disponíveis para que, direta ou indiretamente, afetem a ocorrência de falhas e/ou acidentes em equipamentos estáticos.



Quadro 4.5: Regulamentação dos equipamentos estáticos

NATUREZA DA FALHA	NATUREZA DA INSEGURANÇA	
	FALHAS ATIVAS	CONDIÇÕES LATENTES
TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ISO-9000</li> <li>▪ Normas de técnicas de inspeção e integridade</li> <li>▪ Reguladoras (ANP)</li> <li>▪ Regulamentadora (NR-13)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ISO-9000</li> <li>▪ Normas técnicas de manutenção</li> <li>▪ Normas técnicas de fabricação e montagem</li> <li>▪ Códigos de projeto e de manutenção</li> </ul>
HUMANA	OSHA, API e BBS (*)	-----
ORGANIZACIONAL	-----	Qualidade (**)

(\*) O atendimento é voltado para pessoas, sendo bastante limitado nos aspectos humanos.

(\*\*) Os programas de qualidade “Q” são limitados em relação aos aspectos humanos.

O que diferencia a área das FANT das CLNT é que para as primeiras existe uma legislação bem estabelecida e efetivamente bem aplicada, e isto força uma estruturação adequada nas organizações das atividades de inspeção de equipamentos, cujo reflexo está no número bem reduzido dessas falhas. Por outro lado, para a CLNT, há todo um conjunto de regras, também bem estabelecido, porém, sem uma legislação efetiva que obrigue aplicá-la, provocando um relaxamento no seu cumprimento, tornando-se assim uma das alternativas gerenciais imediatistas de mais fácil alcance para reduzir os custos de manutenção no curto prazo. Para os aspectos humanos, há alguns regulamentos, ainda incipientes na abrangência, baseados no comportamento das pessoas, que são razoavelmente cumpridas, mas com resultados pouco animadores, mesmo com os altos recursos disponibilizados. Percebe-se que as organizações têm boa vontade em querer resolver os problemas, mas há uma falta de norte e uma crença exacerbada em ferramentas baseadas no comportamento das pessoas. Para os aspectos organizacionais, não há regulamentação específica. A diferença entre a qualidade “Q” e a cultura de segurança é que esta última vem sendo orientada especificamente para evitar falhas humanas e organizacionais na indústria que lida com o perigo, como refinarias de petróleo, enquanto a qualidade não tem esse objetivo específico.

Desta forma, comparando-se o quadro 4.5 com os percentuais do quadro 4.1, é possível perceber que, para os equipamentos estáticos de refinarias de petróleo, não se pode evitar a maior parte dos eventos indesejáveis por meio dos instrumentos reguladores existentes e normalmente aplicados durante o seu ciclo de vida. Isto

certamente está ligado ao fato de que historicamente a atenção esteve voltada quase exclusivamente para resolver problemas de natureza técnica.

#### **4.7 - Comentários**

Em relação às falhas técnicas, observa-se a necessidade de abordar os atributos da qualidade do produto e integridade dos equipamentos para estabelecer uma solução que será introduzida na metodologia.

A qualidade apresenta dupla face: técnica, representada pela qualidade do produto, e a organizacional, representada pela qualidade “Q”. Em função das deficiências percebidas com a aplicação de programas de qualidade “Q”, principalmente no que diz respeito aos aspectos humanos, apenas alguns conceitos e práticas desta perspectiva da qualidade serão adotados na composição da metodologia de gestão de falhas e acidentes proposta nesta dissertação.

A integridade física é o atributo base para o controle das condições inseguras dos equipamentos estáticos, de forma a evitar falhas ativas de natureza técnica (FANT) nesses equipamentos. Será recomendado e adotado para compor a metodologia o método de inspeção baseado no risco proposto pelo API, no documento API-581.

Até bem pouco tempo as falhas organizacionais, conseqüentemente as condições latentes, não eram reconhecidas, sendo enquadradas como erro humano. Hoje se sabe que o erro humano é sintoma de problemas na organização, pois é responsável apenas por uma parcela do total de falhas. Mas para separar as falhas humanas das organizacionais é necessário fazer um estudo sobre os fatores humanos.

Várias definições serão oportunamente ajustadas para possibilitar a interação entre teorias de autores diversos. Um exemplo é a definição de condição latente.

É importante ter em mente que o erro humano tem duas componentes:

- Aleatória, difícil de ser tratado, como a atenção, aspecto importante da falibilidade humana;
- Sistemática, de mais fácil gerenciamento, em que está ligada às condições sob as quais o homem trabalha, podendo ser tratadas na metodologia adotada por esta dissertação.

Medidas dirigidas a pessoas e equipes, ou seja, para alterações dos fatores psicológicos são de eficácia limitada, a menos que elas sejam acompanhadas por intervenções no gerenciamento do erro direcionadas aos locais de trabalho, tarefas e sistema como um todo.

Conhecer as características das tarefas a desempenhar é conhecer os tipos possíveis de erro, conseqüentemente os tratamentos possíveis, sendo uma questão crucial na preparação adequada da condição humana para a realização das tarefas.

Pode-se concluir que o comportamento depende das ações gerenciais e da interação entre as percepções e crenças, condições do local de trabalho e do meio. Como esta é uma visão bastante ampla do entendimento da formação das ações humanas e organizacionais, será adotado o modelo recíproco para compor a metodologia a ser proposta nesta dissertação. Portanto, a teoria da cultura de segurança para a gestão de falhas e acidentes substitui com vantagens as teorias baseadas na qualidade "Q", como o TPM, pois a teoria que trata a cultura de segurança obrigatoriamente passa pela compreensão da atitude e do comportamento humano. Os programas mais efetivos de melhoria da segurança envolvem mudanças de comportamento. As pessoas da linha de execução precisam perceber, por exemplo, que a gerência de topo está envolvida e realmente interessada em melhorar a segurança. Estabelecer um programa de melhorias apenas por meio de mudanças das condições de trabalho sem melhorar a condição das pessoas, como prega alguns importantes cientistas, não parece lógico, pois sem uma boa e ampla percepção dos aspectos da segurança não seria possível agir de forma plenamente consciente. Por outro lado, sem uma percepção positiva da segurança não seria possível tomar ações seguras. O fato de o clima (percepção das pessoas) de segurança pesar mais do que os demais fatores na formação da cultura de segurança da organização, também reforça a tese de que os aspectos humanos precisam ser trabalhados. A assertiva desses cientistas inclusive fere a teoria do modelo recíproco adotado aqui, em que, sob influência do contexto, os fatores psicológico, condições de trabalho e situação organizacional se interagem para formar as ações humanas. Portanto, crescer em cultura de segurança implica em evoluir nestes três domínios simultaneamente. Para tanto, esta dissertação se propõe a identificar os pontos fracos e fortes das atividades relacionadas com a inspeção e manutenção a partir de uma investigação sobre tais fatores na organização.

## METODOLOGIA PARA A GESTÃO DE FALHA EM EQUIPAMENTOS ESTÁTICOS

### 5.1 - Categorias de falhas e condições

Até o início dos anos 80, as falhas eram tidas como essencialmente técnicas ou causadas por erro humano. Os conceitos desenvolvidos e introduzidos pela ciência da segurança nos anos 80 e 90 contribuíram para melhorar o entendimento do processo do erro humano sobre as falhas e acidentes, refletindo na redução de falhas e acidentes dos equipamentos estáticos de refinarias de petróleo.

Os vínculos estabelecidos entre falhas e acidentes pelos modelos clássicos de acidentes conduziram a uma classificação dupla para os eventos indesejáveis: uma ligada à natureza da falha e outra ligada à segurança. Isto possibilita estabelecer um elo entre as falhas e as atividades que as tratam. O quadro 5.1 uniformiza a terminologia para um melhor entendimento do desenvolvimento do texto que segue:

- Cruzamento da falha ativa com falha técnica: será denominada de falha ativa de natureza técnica (FANT). FANT são as falhas causadas pela ação direta do meio, degradando o equipamento, portanto, é a ação física direta dos modos de falha decorrentes do uso sobre o equipamento, conduzindo a uma condição insegura evoluída do processo de operação e uso do equipamento.
- Cruzamento da condição latente com falha técnica, que denominaremos de condição latente de natureza técnica (CLNT). CLNT são defeitos presentes no equipamento, gerados pelos processos de fabricação, montagem ou manutenção do equipamento, que permanecem por certo período latentes ou adormecidas durante o uso, podendo conduzir a uma falha em decorrência da interação das solicitações de operação com esses defeitos, portanto, são condições inseguras latentes no equipamento.
- Cruzamento da falha ativa com falha humana: vamos denominar de falha ativa de natureza humana (FANH). FANH: são falhas causadas por atos (comportamentos) inseguros (erros humanos) pelos trabalhadores da linha de frente dos equipamentos.

- Cruzamento da condição latente com falha organizacional, que denominaremos de condição latente de natureza organizacional (CLNO). CLNO: são condições presentes na estrutura da organização, geradas por decisões gerenciais, que perturbam a formação das ações humanas, possibilitando a geração atos inseguros que podem conduzir a falhas e acidentes.

Quadro 5.1: Terminologia adotada

NATUREZA DA FALHA	NATUREZA DA INSEGURANÇA	
	FALHAS ATIVAS	CONDIÇÕES LATENTES
TÉCNICA	FALHA ATIVA DE NATUREZA TÉCNICA F A N T	CONDIÇÕES LATENTES DE NATUREZA TÉCNICA C L N T
HUMANA	FALHA ATIVA DE NATUREZA HUMANA F A N H	-----
ORGANIZACIONAL	-----	CONDIÇÕES LATENTES DE NATUREZA ORGANIZACIONAL C L N O

## 5.2 - Causas próximas e fundamentais

O objetivo da estratificação de diversas definições de causa é uniformizar a terminologia, estabelecer o elo de ligação entre a causa imediata e a causa fundamental e possibilitar o tratamento simultâneo das causas de falha e condições latentes. Cronologicamente as causas podem ser como representadas na figura 5.1:

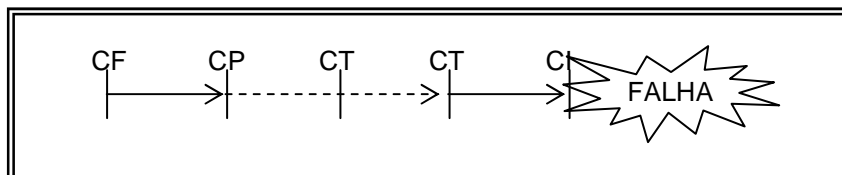


Fig. 5.1: Cronologia da falha

Causas fundamentais (CF) são os fatores responsáveis pelo desencadeamento do processo de falha ou pela formação das condições latentes.

Causas próximas (CP) são aquelas que estão o mais próximo possível das causas fundamentais. É a consequência imediata da causa fundamental. O termo “causa

imediate” (CI) não foi utilizado para este caso porque esta é tradicionalmente ligada ao agente final da falha.

Causa imediata é aquela que primeiro se apresenta como causa por estar junto da falha. Causa intermediária (CT) é qualquer causa ocorrida entre a CP e a CI.

### 5.3 - Caracterização das falhas

#### 5.3.1 - Falha humana

Conforme foi apresentado no quadro 4.1, cerca de 12% das falhas e acidentes têm o erro humano (ato inseguro) das pessoas nas frentes trabalho como causa imediata e fundamental.

A falha humana é um tipo de falha ativa e cuja causa fundamental é o erro humano decorrente da condição humana cometido pelas pessoas responsáveis pela execução das frentes de trabalho, sem a interferência de atos externos na formação da ação humana. Portanto, a causa imediata coincide com a causa fundamental. Esta categoria de erro humano decorre de:

- erro não-intencional:
  - decorrente de limitação física e cognitiva, como fadiga, erro de avaliação por desconhecimento ou uso de drogas, que são relativamente fáceis de serem identificados e controlados;
  - relativo à condição inerente da falibilidade da natureza da constituição da mente humana, tais como lapso de memória e falta de atenção por perda de atenção, sendo difícil de ser alterada e controlada por ser aleatória, cujo tratamento **não** será dado nesta dissertação;
- erro intencional, que são as violações, tais como o não uso de procedimento.

À exceção dos erros inerentes à falibilidade humana, os demais tipos de erro são sistemáticos, sendo a imagem clara de sintomas de problemas com as pessoas que executam as tarefas da linha de frente, mas que podem ser gerenciados, eliminados e controlados.

### 5.3.2 - Falha organizacional

As falhas organizacionais representam 68% de todas as falhas e acidentes, mostrando a importância do seu controle.

Falha organizacional é aquela que tem como causas fundamentais as condições latentes (de natureza organizacional) geradas pelas decisões institucionais ou gerenciais na organização. Portanto, neste caso o ato gerencial, que na realidade é a causa fundamental, não é considerado como tal, pois decisões são tomadas a todo instante nas diversas esferas e atividades da organização, e muitas vezes não é possível prever o surgimento dessas condições latentes, tornando-se impraticável o controle das decisões. O objetivo, então, passa a ser a identificação da consequência negativa mais imediata das decisões, ou seja, o objetivo neste caso é a identificação das condições latentes de natureza organizacional (CLNO). Desta forma, não será objetivo da metodologia proposta questionar a qualidade das decisões dos gerentes ou a capacitação deles. Assim, considera-se que a causa fundamental das falhas organizacionais não chega ao ato gerencial.

As consequências das decisões institucionais e gerenciais refletem:

- na formação da ação humana;
- sobre as barreiras do sistema.

Portanto, essas decisões podem degradar a ação humana e a integridade das barreiras pelas CLNO, fazendo-se necessário estabelecer os critérios para identificá-las e controlá-las.

#### *a ) Processo de degradação das ações humanas pelo sistema*

O modelo de formação de comportamento humano proposto nesta dissertação pressupõe que a formação da ação humana se dá pela interação dos três fatores que constituem o sistema, denominados aqui de “domínios”:

- psicológico (crenças e percepções, condição das pessoas, ligado a pessoas: o que “é”);
- comportamental (demonstração das ações, condição de trabalho: o que “faz”);
- situacional (estrutura da organização, condição da organização: o que “tem”).

A interação se dá sob a influência do contexto onde a pessoa que gera o ato está inserida, como por exemplo, uma condição de emergência. A figura 5.2 ilustra o modelo adotado, podendo-se visualizar que a intensidade da ligação entre os três domínios não

é uniformemente distribuída. O comportamento é fortemente influenciado pelos fatores situacionais (organizacionais), mas a ligação no sentido da influência do psicológico sobre o comportamento é tênue. Portanto, o comportamento exerce maior efeito sobre o aspecto psicológico, sendo capaz de exercer influência e mudar as percepções e crenças mais facilmente do que uma atuação direta sobre as atitudes. Isto quer dizer que mudar atitude significa mudar a natureza do indivíduo, ou seja, o seu perfil de propensão à falibilidade, que não faz parte do escopo desta dissertação. Desta forma, alterar os aspectos sob as quais o trabalho é realizado e o comportamento são as formas aqui aplicadas e também mais efetivas. Mudar as condições humanas só é efetivo para aquelas condições que dependem da capacitação humana.

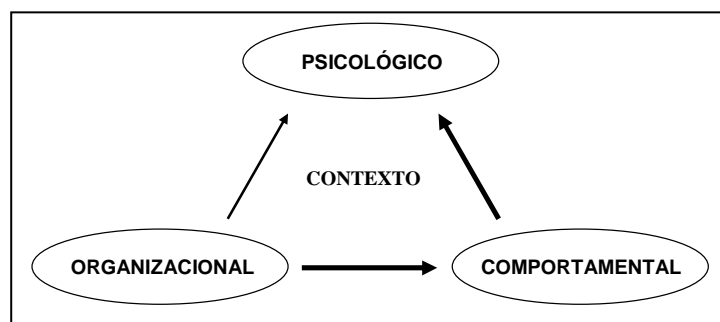


Fig. 5.2 – Modelo recíproco de formação das ações humanas

Como foi visto, as decisões gerenciais e institucionais a todo instante transladam pela organização e criam condições que interferem nas atividades do sistema. Algumas dessas condições causam conseqüências negativas, degradando os domínios do modelo recíproco que constituem o sistema: são as denominadas “condições latentes” de natureza organizacional. Portanto, condições latentes organizacionais são as conseqüências negativas (lacunas) sobre os domínios do modelo recíproco, oriundas das ações gerenciais ou institucionais, afetando diretamente a formação das ações humanas, que suscetibilizam os agentes formadores das ações (*sharp end*) a constituir atos errôneos ou inseguros, constituindo em erro humano. Este erro, porém, diferentemente do erro que causa falha humana, é causa apenas imediata, sendo a causa fundamental as CLNO. Isto significa que, neste caso, o erro é indicativo de sintoma de problema no **sistema**, enquanto o erro que constitui em falha humana é sintoma de deficiência do condicionamento das **pessoas** da linha de execução.

A figura 5.3 mostra a ação das decisões gerenciais degradando os domínios do sistema pela criação de condições latentes, que vulnerabilizam o processo e induzem as



peças das frentes de trabalho a formar atos inseguros, errôneos ou imperfeitos, sob a influência do contexto.

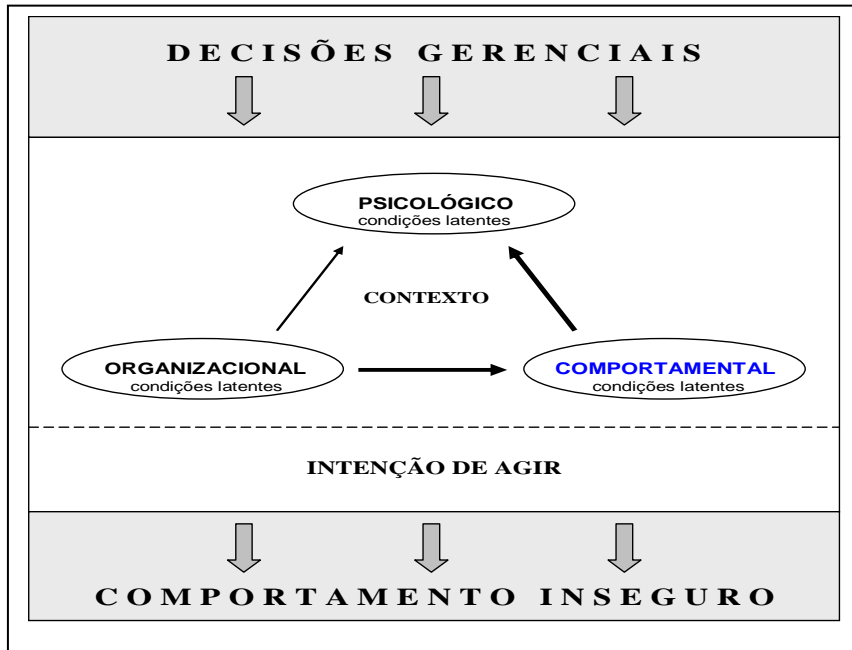


Fig. 5.3 – Formação dos atos inseguros nas frentes de trabalho

Tomemos os seguintes exemplos ilustrativos de geração de condições latentes que interferem diretamente na degradação do comportamento humano:

DOMÍNIO	DECISÃO GERENCIAL	CONDIÇÃO LATENTE
Psicológico	⇒ Não treinar as pessoas da linha de frente	⇒ Falta de capacitação adequada do pessoal
Situacional	⇒ Desleixo com o processo de comunicação	⇒ Processo de comunicação deficiente
Condições trabalho	⇒ Decisão de não adquirir ferramentas	⇒ Ferramentas inadequadas para realizar tarefas

*b) Deterioração das barreiras do sistema*

As barreiras do sistema podem ser físicas, como alarmes e estrutura dos equipamentos, e não-físicas, como procedimentos operacionais. Essas barreiras são degradadas por condições latentes que agem diretamente sobre as barreiras do sistema. Um exemplo é a decisão de protelar a manutenção do sistema sem respaldo técnico.

A degradação das barreiras cria lacunas. Desta forma, o erro humano pode penetrar por essas lacunas e transpassar as barreiras, conduzindo a falha. O mesmo processo

ocorre em relação às barreiras para evitar acidentes (p.ex., sistemas de combate a incêndio, procedimentos de segurança) que, estando degradadas, são penetradas pelas falhas, transpondo-as e causando acidentes.

c) *Modelo de fluxo causal para falhas organizacionais*

O modelo de fluxo causal de falha organizacional adotado nesta dissertação é uma composição do modelo epidemiológico de acidentes de Reason com o modelo recíproco de formação do comportamento humano de Cooper.

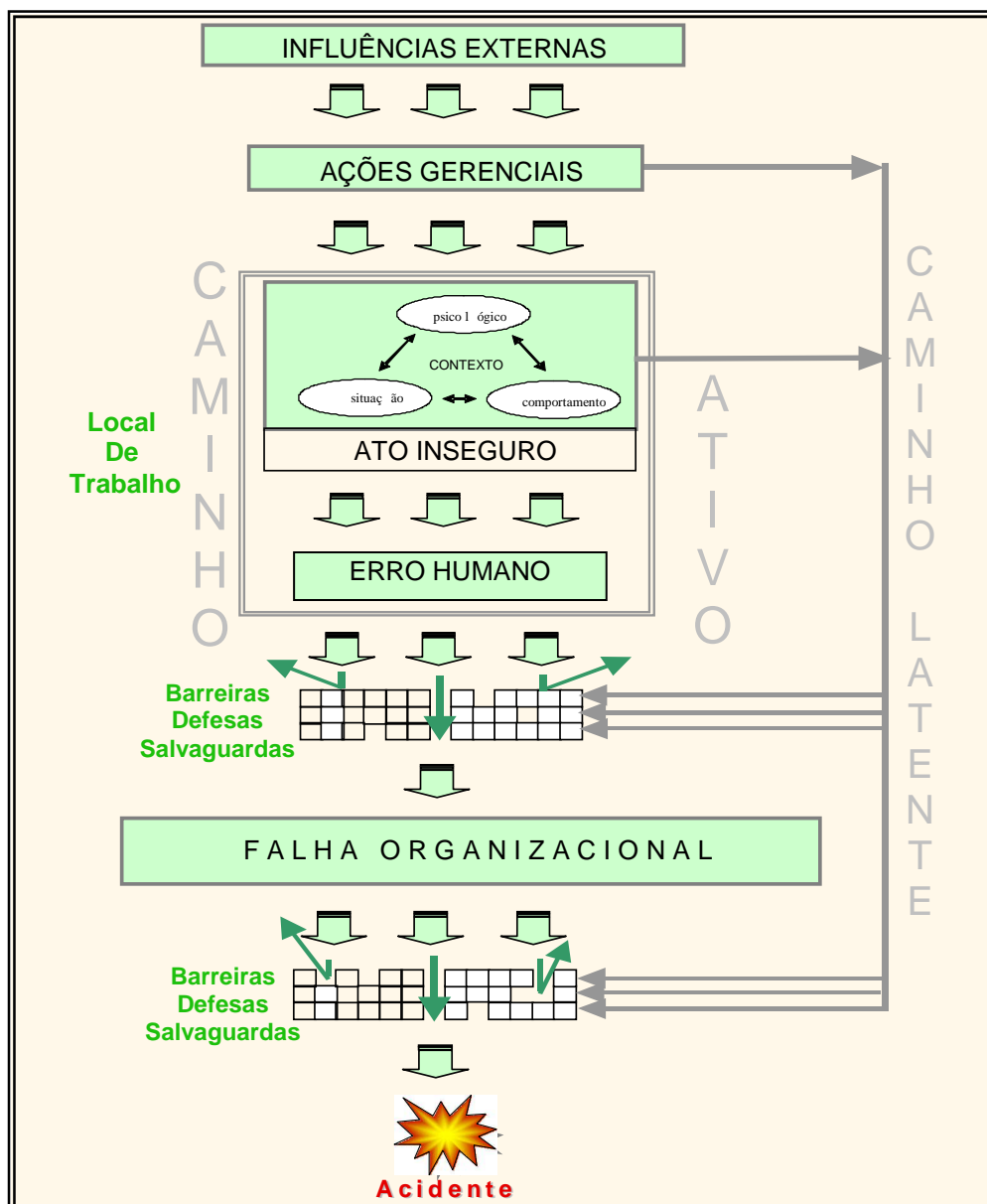


Fig. 5.4: Fluxo causal proposto para falhas organizacionais

Esse modelo de fluxo causal apresenta dois caminhos possíveis de percurso para as condições latentes, conforme mostrado na figura 5.4:

- caminho latente, que cria condições latentes (lacunas) nas barreiras, defesas e salvaguardas do sistema, geradas pelas interferências formais de decisões externas e da estrutura organizacional;
- caminho ativo, cujas decisões criam condições para a formação de atos inseguros pelos trabalhadores da linha de frente.

As influências externas, como os atos institucionais, geram condições latentes ou interferem nas decisões gerenciais, criando condições latentes que transladam através do caminho latente, deteriorando as barreiras, ou pelo caminho ativo, provocando a geração de atos inseguros (erros humanos). Da mesma forma, a criação de condições latentes pode partir de atos gerenciais, seguindo os mesmos percursos.

Cabe notar que o modelo não faz distinção entre as CLNO que degradam o comportamento e aquelas que deterioram as barreiras, estabelecendo um processo de varredura para identificá-las.

### 5.3.3 - Falha técnica

#### a) Condições latentes de natureza técnica (CLNT)

Qualidade é a ausência de defeitos ([www.atomica.com](http://www.atomica.com)), gerados durante o processo de fabricação, montagem ou manutenção do produto. Foi visto que, em função da variabilidade dos processos, é impossível obter um produto com “zero” defeito, mas a engenharia criou critérios para conviver com isso: são os códigos de projeto e construção e manutenção e normas complementares criadas para padronizar tanto os processos quanto a qualidade do produto final, calcados no conhecimento científico e práticas adquiridas e desenvolvidas ao longo dos anos. Um exemplo é o código de projeto da ASME. Desta forma, o defeito pode existir, só não pode ultrapassar limites estabelecidos.

A quantidade e dimensão dos defeitos dependem das variações dos processos de fabricação e a qualidade é garantida por medidas limite de defeitos estabelecidos em códigos de projeto. Acima dos limites padrões, esses defeitos tornam-se CLNT, que

são as causas próximas das falhas. Estas podem levar à falha após a entrada do equipamento em operação. O defeito pode ser identificado no controle de qualidade da fabricação ou evoluir em operação, após permanecer latente por um certo período, caracterizando o período de mortalidade infantil na curva de taxa de falhas. Métodos de identificação e dimensionamento dos defeitos aplicados no processo de controle de qualidade de fabricação do produto: END, que compara diretamente com as dimensões limite dos códigos de projeto e normas.

O quadro 4.1 mostra que 17% das falhas e acidentes são devidas a problemas de qualidade do projeto e de controle dos processos de fabricação, montagem e manutenção, decorrentes da presença das CLNT. Viu-se que as CLNT têm característica sistemática. Isto quer que as CLNT podem ser gerenciadas e o controle dessas condições pode ser feito por meio de padronização dos processos de manutenção. Desta forma, todos os fatores que fogem do padrão, ou seja, aumentam a variabilidade dos processos interferem negativamente na qualidade dos produtos, pois inserem defeitos mais significativos, aumentando como consequência a sua probabilidade de falhas e acidentes. Portanto, pode-se inferir que padronizações como a capacitação da mão-de-obra, a aplicação efetiva de procedimentos, o uso de ferramentas adequadas, a definição de padrões gerenciais, etc. reduzem a variabilidade dos processos de manutenção. Cuidar dessa qualidade do processo de fabricação do produto é de responsabilidade da atividade de equipamentos estáticos, mostrado no organograma típico da figura 1.2.

#### b) Falhas ativas de natureza técnica (FANT)

Integridade de um produto é a ausência de defeito ([www.atmica.com](http://www.atmica.com)). Esses defeitos são gerados pela ação direta do meio degradando o equipamento, por meio dos diversos modos de falha atuantes, sem a ação humana direta, dando característica estritamente técnica. O estado do produto é medido por métodos de avaliação próprios, geralmente aplicados após um período de uso, portanto o controle deve ficar acima das variáveis de operação e a falha ocasionada é do tipo sistemática. Ou seja, é uma condição insegura que evolui durante a operação e uso do produto por algum mecanismo de desgaste com o tempo de uso, correspondendo ao período de desgaste da curva de taxa de falhas.

Na verdade admite-se um processo de desgaste, que pode interferir na função, mas que não ultrapasse limites estabelecidos durante o projeto, para o período de operação, ou “campanha”. Limites superiores ao permitido se constitui na condição insegura, a causa próxima da FANT. Métodos de detecção e dimensionamento dos defeitos: os mesmos END aplicados na garantia da qualidade do produto, associados a metodologias específicas de dimensionamento de defeitos limite nos códigos de inspeção e manutenção.

## **5.4- Metodologia para a gestão de falhas**

### 5.4.1 - Falhas sistemáticas

Como foi descrito ao longo do texto desta dissertação, as falhas técnicas, humanas e organizacionais de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo relacionadas às atividades de inspeção e manutenção têm a predominância do caráter sistemático.

Em relação às FANT, os equipamentos estáticos apresentam alto grau de sistematicidade dos eventos indesejáveis de natureza técnica oriundos de condições inseguras, pois esses equipamentos têm uma peculiaridade determinante, que é o baixo nível de interferência de um componente nos demais que compõem o sistema, permitindo quase sempre que cada componente seja avaliado de forma isolada, obtendo-se uma definição clara das causas fundamentais das FANT (condições inseguras originárias da ação das variáveis de processo e/ou projeto que agem sobre os equipamentos). As CLNT, defeitos introduzidos durante a fabricação, montagem e intervenções de manutenção, também são introduzidos na estrutura de forma sistemática e recorrente.

Em relação às falhas humanas, alguns tipos de erros humanos apresentam característica aleatória, porém a maior parte desses erros é do tipo sistemático.

O fato dos eventos indesejáveis terem a característica sistemática é extremamente positivo, pois são eventos recorrentes, relacionados a problemas no sistema ou com o condicionamento das pessoas, permitindo que tais eventos possam ser previstos com antecedência por meio do controle dos processos nos âmbitos técnico, humano e organizacional e, conseqüentemente, evitando a ocorrência ou minimizando a conseqüência dos eventos indesejáveis oriundos dessas atividades e o controle dessas

condições pode ser feito por meio de padronização dos processos de manutenção. Aqueles eventos cujas causas são aleatórias são de difícil previsibilidade e gerenciamento, não sendo abordados nesta dissertação.

#### 5.4.2 - Objetivo da metodologia

Com base no modelo do fluxo causal de falhas, o objetivo da metodologia é identificar e diagnosticar:

- as condições latentes de natureza organizacional (CLNO) em cada um dos domínios que constituem o sistema,
- as condições latentes de natureza organizacional (CLNO) geradas nas barreiras, defesas e salvaguardas,
- as causas fundamentais de falha de natureza humana (FANH), que são os aspectos da capacitação dos trabalhadores da linha de frente,
- as causas fundamentais das condições latentes de natureza técnica (CLNT); e
- as causas fundamentais das falhas ativas de natureza técnica (FANT).

Essa identificação deve ocorrer antes que culminem em falhas e acidentes, objetivando conter essas causas ou minimizar as suas conseqüências.

#### 5.4.3 - Identificação das causas fundamentais

##### a) De FANH e CLNO

É objetivo da metodologia identificar as CLNO e as limitações e deficiências humanas do pessoal da linha de frente que conduzem ao erro humano. Para isto, é preciso verificar a integridade dos atributos do sistema responsáveis pela constituição das ações humanas e barreiras.

##### *a.1) Domínios e elementos de controle*

A formação das ações humanas pelo modelo recíproco se dá pela interação de três domínios (psicológico, comportamental e organizacional). Portanto, propõe-se que esses domínios sejam subdivididos em diversos elementos, conforme o quadro 5.2.

Quadro 5.2: Elementos da cultura de segurança

DOMÍNIO DE SEGURANÇA	ELEMENTOS DE AVALIAÇÃO E CONTROLE DOS DOMÍNIOS	
PSICOLÓGICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liderança</li> <li>• Grau de consciência (moralidade)</li> <li>• Clima de confiança</li> <li>• Constância de propósitos da organização</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacitação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fisiológica</li> <li>• psíquica</li> <li>• conhecimento</li> <li>• habilidades</li> <li>• experiência</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motivação</li> </ul>	
COMPORTAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado de prontidão</li> <li>• Postura gerencial e da supervisão</li> <li>• Constância de propósitos</li> <li>• Arrumação do local de trabalho</li> <li>• Clima de confiança e relação interpessoal</li> <li>• Registro de ocorrências</li> <li>• Práticas de trabalho</li> <li>• Cultura justa</li> </ul>	
SITUAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicação interna</li> <li>• Gerenciamento de mudanças</li> <li>• Condições gerais de trabalho</li> <li>• Manutenção</li> <li>• Qualidade (controle) dos processos</li> <li>• Integridade das instalações</li> <li>• Cultura de aprendizado</li> <li>• Contratação e capacitação</li> <li>• Estrutura e prontidão</li> </ul>	

*a.2) Atributos dos elementos e ferramentas para identificação*

Para se estabelecer um processo adequado de varredura no sistema, de forma a identificar as CLNO, propõe-se que cada elemento dos domínios se constitua de uma série de proposições, denominadas de atributos do sistema. Por exemplo, dentro do domínio comportamental, no elemento “local de trabalho”, um dos atributos que constitui este elemento é “ferramenta de trabalho”. Portanto, é preciso verificar se as ferramentas de trabalho estão adequadas para realizar as tarefas previstas. Caso não estejam adequadas, fica caracterizada uma CLNO: a não existência de ferramentas adequadas. No modelo proposto, esta verificação dos atributos é feita por meio de questões (proposições), porém, em função da tridimensionalidade (psicológico, comportamento, situação) da cultura de segurança das organizações, cada dimensão com suas características distintas, não há ferramenta única de questionamentos capaz de identificar e diagnosticar todos os aspectos tangíveis e intangíveis que afetam a formação das ações humanas. Na dimensão psicológica, por envolver aspectos subjetivos, de percepções e crenças das pessoas, as principais ferramentas aplicáveis para coletar informações são questionários e entrevistas. No domínio comportamental,

de caráter observacional, as principais ferramentas são questionários e observações diretas ou indiretas dos locais de trabalho e ações das pessoas da linha de frente. No domínio organizacional, de caráter objetivo, as principais ferramentas são auditorias e observações sobre como a organização é constituída, ou seja, o que as organizações têm. A figura 5.5 mostra as ferramentas adequadas para aplicar em cada domínio.



Fig. 5.5: Ferramentas aplicáveis

### a.3) Avaliação das proposições

Portanto, as questões (proposições) desses questionários, entrevistas, listas de verificação de auditorias e observações de campo são elaboradas de modo a verificar a integridade dos atributos que constituem os elementos de cada domínio. O anexo 2 apresenta exemplos de questões das diversas ferramentas aplicadas para identificar as CLNO. As proposições para a verificação dos atributos de cada um dos elementos dos domínios do sistema devem receber uma avaliação 0 a 100, cujo objetivo é identificar as CLNO, dar tratamento adequado a cada atributo e possibilitar a visualização do estágio em que se



encontra cada um dos elementos e domínios. A figura 5.6 mostra a classificação dos atributos em cinco níveis: como o método é qualitativo, quanto mais baixa for a pontuação da proposição, mais o atributo correspondente se caracteriza como CLNO.

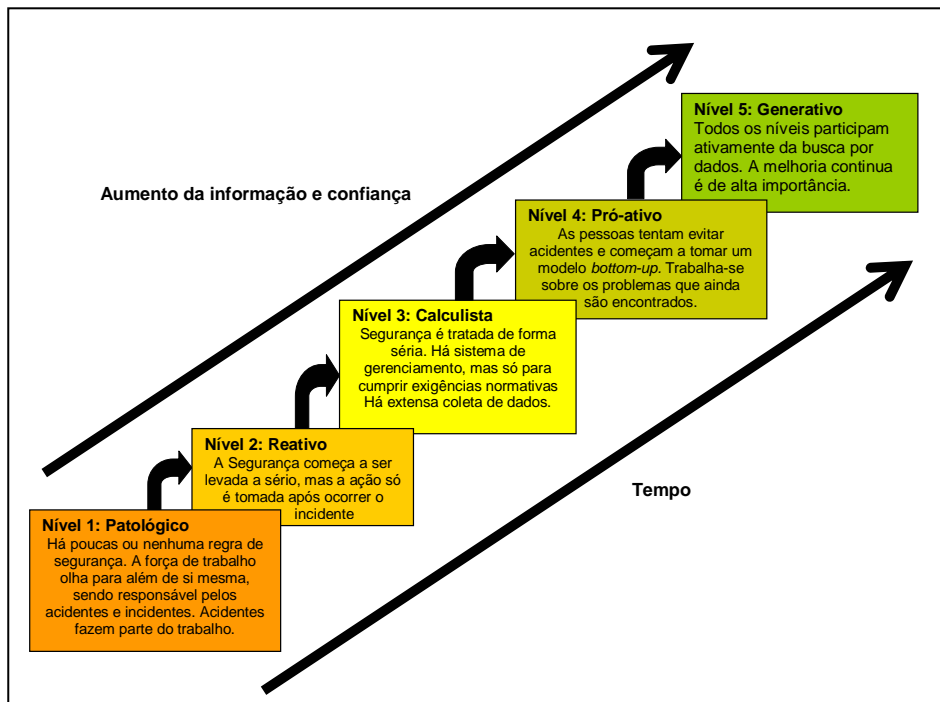


Fig. 5.6: Processo evolutivo da cultura de segurança

#### a.4) Ferramentas e experiência

As proposições são colocadas numa listagem seqüencial para avaliação dos atributos dos elementos de cada um dos domínios. No que se refere a evitar as FANH, a atividade de SMS dentro do organograma típico de uma refinaria é a responsável, porém, apenas alguns aspectos são avaliados por meio de ferramentas como os BBS, com uma tendência em culpar as pessoas pelas falhas e acidentes. Em relação às CLNO, não há na indústria uma atividade para tratá-las, mesmo sendo atualmente o maior responsável pelas falhas e acidentes: 68%, conforme o quadro 4.1.

#### a.5) Dificuldades na implementação

Alguns aspectos dificultam a implementação de uma metodologia para identificar as causas de FANH e CLNO antes da ocorrência de falhas e acidentes:

- Desconhecimento sobre o assunto e conveniência dos gerentes e legisladores, já que a responsabilidade das CLNO recai sobre eles;
- O desenvolvimento das teorias e ferramentas sobre o assunto são muito recentes, ainda com pouca difusão dos conhecimentos até então adquiridos.

No Brasil esses aspectos são mais pronunciados, pois há poucos centros de pesquisas sobre o tema.

## b) De falhas técnicas

### *b.1) CLNT*

O objetivo da metodologia é chegar à causa fundamental. Para tanto, deve-se identificar e controlar os fatores que geram as condições latentes de natureza técnica. Os códigos de projeto e construção e manutenção e normas complementares contêm todos os requisitos para a execução adequada dos serviços de manutenção dos equipamentos estáticos de refinarias de processo. Para obter os padrões de qualidade requeridos, o próprio código de projeto e manutenção e normas complementares estabelecem os quesitos importantes para controle do processo de elaboração do produto, estabelecendo as variações aceitáveis. É possível então estabelecer um processo de medição para garantir um padrão de qualidade por meio do estabelecimento de um alvo (exigências código) e dos limites aceitáveis de variação em relação a esse alvo. Isso pode ser feito por meio de uma lista de verificação dos quesitos necessários, que deverá ser aplicada ao longo da elaboração do produto para identificar as causas fundamentais das CLNT.

Cabe ressaltar que não se aplica a equipamentos já existentes, pois a verificação é feita ao longo do processo de execução das tarefas de fabricação, montagem e manutenção.

#### b.1.1) Dificuldades na implementação de padrões

Em virtude da conjuntura que rege o mercado da indústria de refino de petróleo nos últimos 30 anos, decorrentes principalmente das sucessivas crises de preços do petróleo e a conseqüente redução da margem de lucro nesta atividade da cadeia produtiva do petróleo, alguns fatores têm impedido a implementação dos padrões de qualidade do produto no processo de manutenção dos equipamentos estáticos:

- pressão por redução de prazos e lucros cessantes das plantas em decorrência das paradas para manutenção dos equipamentos estáticos;
- busca constante por redução de custos de manutenção, com resposta apenas no curto prazo.

Dois outros fatores também têm contribuído:

- desconhecimento do corpo técnico e gerencial da importância das CLNT na contribuição para as perdas em refinarias e indústria de processo em geral;
- ausência de uma legislação que efetivamente exija a aplicação e o cumprimento adequado dos padrões de qualidade.

#### b.1.2) Experiência com a ferramenta proposta

Na Petrobras/RLAM já se utilizou listas de verificação para identificar causas fundamentais de CLNT, criadas a partir das recomendações e exigências dos códigos e normas complementares e da experiência, particularmente aplicadas por meio de auditorias a juntas soldadas, ligações flangeadas e ligações mandriladas, que são pontos muito suscetíveis a defeitos de fabricação, montagem e manutenção. É perceptível que quando houve controle do processo de manutenção nesses pontos, o número de falhas caiu sensivelmente. Portanto, essas listas de verificação podem ser agregadas à metodologia como elementos do domínio situacional e avaliadas de forma similar à proposta de identificação de causas fundamentais de falhas humanas e organizacionais.

#### *b.2) FANT*

O objetivo é chegar à causa fundamental. Para tanto, é preciso identificar os fatores que geram condições inseguras nos equipamentos estáticos.

As recomendações dos códigos, normas complementares e boas práticas de engenharia estabelecidas como padrões sistematizados em métodos para aplicação à fase de uso dos equipamentos estáticos já vêm sendo comparados à situação real dos equipamentos estáticos de refinarias de petróleo por meio de listas de verificação para comparações aos padrões, como é o caso do documento API 581. Isto, porém, não é suficiente para garantir uma aplicação a níveis adequados, que avaliam se as práticas de controle dos processos de degradação dos equipamentos e componentes estão sendo aplicadas.

Há inúmeros registros de perdas por problemas de FANT em que o controle dos processos de falha apresentou problemas. Atualmente, porém, a integridade física e mecânica de equipamentos estáticos de refinaria apresenta-se num patamar de controle satisfatório, conforme mostrado no quadro 4.1, devido principalmente a três fatores:

- desenvolvimento de técnicas (física: IBR; mecânica: análise de defeitos) que, além de sistematizar adequadamente os métodos de controle de FANT, são atrativas às organizações por reduzir os custos de inspeção e manutenção desses equipamentos;
- existência de uma legislação efetiva no controle e garantia da integridade física e mecânica desses equipamentos;
- as organizações, em função da energia acumulada nestes equipamentos e os riscos que uma falha oferece, são tradicionalmente bem estruturadas na inspeção para garantir a integridade desses equipamentos.

Os métodos acima descritos têm apresentado bons resultados na prática, resultando em aumento da integridade simultaneamente com redução dos custos em inspeção e manutenção de equipamentos em cerca de 15%.

### 5.5 - Matriz de falha

O quadro 5.3 mostra um resumo geral do que foi discutido sobre as quatro categorias possíveis de falhas e condições que podem culminar na falha.

Quadro 5.3: Fatos geradores de eventos indesejáveis

NATUREZA DA FALHA	NATUREZA DA INSEGURANÇA	
	FALHAS ATIVAS	CONDIÇÕES LATENTES
<b>TÉCNICA</b>	<p style="text-align: center;"><b>FANT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disciplina: Integridade</li> <li>▪ Atividade: Inspeção Equipamentos</li> <li>▪ Causa próxima: Condição insegura</li> <li>▪ Causa fundamental: fatores que levam a CI</li> <li>▪ Tipo de falha: Sistemática</li> <li>▪ Ferramenta: LV auditoria – API-581</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>CLNT</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disciplina: Qualidade produto (q)</li> <li>▪ Atividade: Manutenção de E.E.</li> <li>▪ Causa próxima: Condição insegura latente</li> <li>▪ Causa fundamental: fatores que levam a CLNT</li> <li>▪ Tipo de falha: Sistemática</li> <li>▪ Ferramenta: LV de códigos, normas e experiência</li> </ul>
<b>HUMANA</b>	<p style="text-align: center;"><b>FANH</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disciplina: Cultura de segurança</li> <li>▪ Atividade: SMS (parcial)</li> <li>▪ Causa próxima: Condição humana/trabalho</li> <li>▪ Causa fundamental: fatores que levam a AI</li> <li>▪ Tipo de falha: Sistemática</li> <li>▪ Ferramenta: questionários e entrevistas</li> </ul>	-----
<b>ORGANIZACIONAL</b>	-----	<p style="text-align: center;"><b>CLNO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Disciplina: Cultura de segurança</li> <li>▪ Atividade: não há</li> <li>▪ Causa próxima: Condição latente organizacional</li> <li>▪ Causa fundamental: CLNO (não AG*)</li> <li>▪ Tipo de falha: Sistemática</li> <li>▪ Ferramenta: questionários, entrevistas, auditorias, observações, etc.</li> </ul>

Legenda: AI: ato inseguro; CI – condição insegura; LV – lista de verificação; AG – ato gerencial ou institucional

## **5.6 - Aplicação da metodologia**

### **5.6.1 - Objeto de aplicação**

Os objetos de aplicação da metodologia são os equipamentos estáticos de refinarias de petróleo.

### **5.6.2 - Sujeitos da aplicação**

Os sujeitos da aplicação são as atividades de inspeção de equipamentos e manutenção de equipamentos estáticos.

### **5.6.3 - Local de aplicação**

As ferramentas devem ser aplicadas diretamente nas frentes de execução dos trabalhos avaliados.

### **5.6.4 - Momento e frequência de aplicação**

A frequência de aplicação deve ser periódica em função dos resultados obtidos com a aplicação da metodologia. A avaliação dos pontos mais vulneráveis identificados de ter uma frequência maior.

### **5.6.5 - Objetivo da aplicação**

Identificar as causas fundamentais de falhas e acidentes de equipamentos estáticos de refinarias, antes que essas causas se concretizem em falhas e acidentes.

### **5.6.6 – Modelo causal geral para falhas e acidentes**

Um modelo causal geral abrangendo todas as modalidades de causas fundamentais de falha é proposto na figura 5.7. As causas fundamentais (causas de CLNT, causas das condições inseguras, erro humano ativo ou ato institucional/gerencial) existentes criam ingredientes causais (respectivamente CLNT, condições inseguras, comportamento inseguro humana ou CLNO). Caso as primeiras barreiras estejam degradadas, esses ingredientes podem penetrar e transpassá-las, levando a falha técnica, humana ou organizacional. Mais uma vez, se as segundas barreiras estiverem deterioradas, então a falha pode penetrar e causar um acidente.

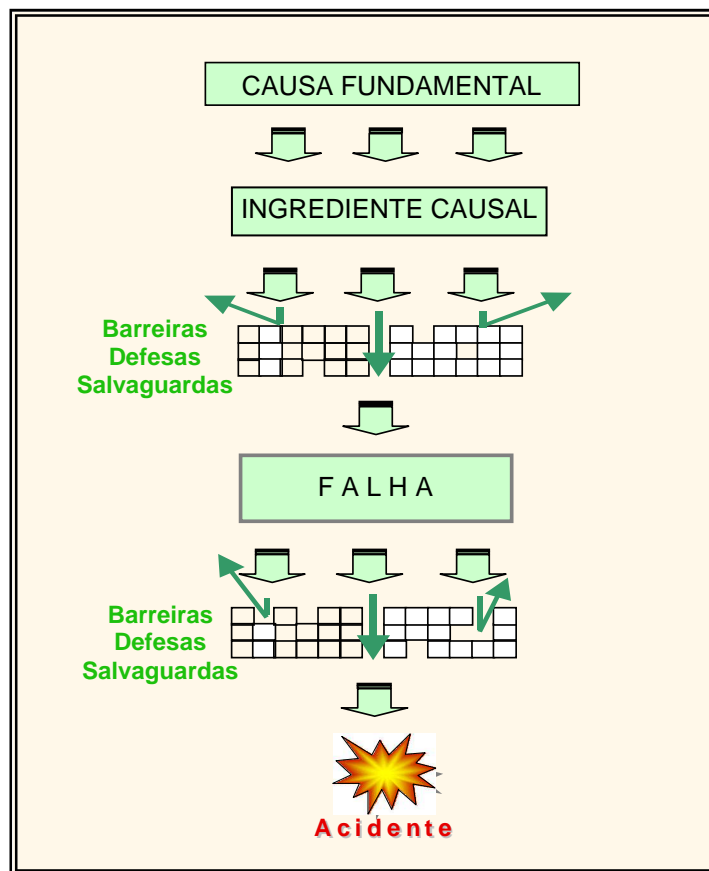


Fig. 5.7: Modelo causal geral para falhas e acidentes

#### 5.6.7 - Procedimento para aplicação

Os seguintes passos e seqüência devem ser seguidos para a aplicação da metodologia:

##### **Passo 1: Formação de grupo de trabalho**

Um grupo de trabalho para aplicação das ferramentas e avaliação das atividades de inspeção de equipamentos e manutenção de equipamentos estáticos, nos seus aspectos

técnico, humano e organizacional deve ser constituído de psicólogo organizacional, engenheiros e técnicos de inspeção ou manutenção experientes.

### **Passo 2 : Seleção das proposições de avaliação**

Todos os elementos de cada um dos domínios já são definidos como padrão (quadro 5.2), com as respectivas proposições que avaliam a integridade dos atributos que constituem cada um dos elementos. Cabe notar que os atributos, e mesmo os elementos, com as respectivas proposições podem ser alterados em função da estrutura existente e fatores que determinam causas fundamentais de falhas e acidentes. Para entendimento, tomemos como exemplo as proposições abaixo para avaliar alguns atributos. Essas proposições devem ser avaliadas por pessoas previamente selecionadas.

### **Passo 3: Seleção do pessoal questionado e aplicação das proposições**

Todos os níveis hierárquicos e todas as atividades envolvidas na manutenção de equipamentos estáticos de refinaria de petróleo no desempenho em segurança do sistema deverão ser avaliados. Para responder às proposições para avaliação dos atributos de cada uma das ferramentas selecionadas, os profissionais analistas devem ser selecionados em função dos domínios:

- Psicológico: um psicólogo organizacional deve elaborar e aplicar os questionários numa amostra correspondente a 50% da força de trabalho, envolvendo operadores, engenheiros, técnicos das diversas atividades (operação, manutenção, inspeção e planejamento), supervisores de empresas contratadas e executantes das tarefas, bem como realizar as entrevistas com 10% da mesma força de trabalho.
- Fatores relacionados ao trabalho: engenheiro ou técnico com experiência nas atividades de inspeção de equipamentos e manutenção de equipamentos estáticos deve aplicar os questionários de registro das observações diretas e indiretas das condições gerais de trabalho e comportamento das pessoas nas frentes de execução dos serviços.
- Situacional: engenheiro ou técnico com experiência nas atividades de inspeção de equipamentos e manutenção de equipamentos estáticos deve aplicar os questionários de observação e listas de verificação para avaliar o que constitui o sistema de responsabilidade das atividades de inspeção de equipamentos e manutenção de equipamentos estáticos.

Técnicas apropriadas para evitar e detectar informações conflitantes e inconsistentes devem ser utilizadas na aplicação das proposições que avaliam os atributos dos elementos de cada um dos domínios, como por exemplo: matriz multicritério, processo de voto, intercalação de questões negativas com afirmativas, entre outros. É recomendável sempre procurar o consenso. Dá maior robustez à decisão, aumenta a crença no trabalho de equipe e facilita o senso cultura para a segurança.

Tomando como exemplo ilustrativo a avaliação do atributo “teste de pressão” do elemento integridade, as características observadas para este atributo estão no quadro 5.4.

Quadro 5.4: Classificação dos atributos – exemplo de aplicação

Classificação (quadro 5.2)		Atributo do elemento (Anexo 2C)	Conseqüência (quadro 5.3)	Ferramenta a ser utilizada (quadro 5.3)
Domínio avaliado	Elemento avaliado			
Situacional	Integridade	Teste de pressão	FANT	Lista de verificação de auditoria

As proposições que avaliam este atributo encontram-se na lista de verificação do anexo 2C, item M.4, conforme quadro 5.5.

Quadro 5.5: Avaliação dos atributos – exemplo de aplicação

Atributo do elemento (Anexo 2C)	Proposição para o atributo	Avaliação do atributo (%)	Classificação (fig. 5.6)
Teste de pressão	Teste Hidrostático: aplica-se em todas as juntas soldadas e reparos com solda realizados ?	80	Pró-ativo
	O procedimento contempla os cuidados necessários para evitar acidentes ?	60	
	Média aritmética	70	

É possível, portanto, avaliar cada uma das proposições que constituem o elemento “integridade”, identificando os pontos fracos e fortes deste elemento. Os pontos fracos deverão obviamente ser objeto de controle dos gerentes, em função da prioridade dada.

#### **Passo 4: Análise das proposições respondidas**

De posse das proposições respondidas, o grupo de trabalho deve analisar as respostas quanto à consistência em relação às diversas ferramentas aplicadas, ou seja, é feito um cruzamento das informações coletadas. As inconsistências constatadas devem ser verificadas com a reaplicação das ferramentas e proposições.

A análise das respostas deverá ser feita:



- por pessoa devidamente capacitada, a partir de critérios definidos e aceitos pelo grupo de análise;
- de forma estratificada por elemento, observando a coerência entre as respostas presentes em cada uma das diferentes ferramentas aplicadas, segundo critério previamente estabelecido.

O resultado da análise é a construção de uma matriz de identificação das causas fundamentais de falhas e de acidentes existentes no sistema.

O quadro 5.6 apresenta o resultado da análise da resposta do atributo avaliado, identificando a causa fundamental, caso .

Quadro 5.6: Identificação da causa fundamental

Atributo do elemento	Avaliação do atributo (%)	Classificação do atributo	Análise da avaliação do atributo
Teste de pressão	70	Pró-ativo	Baixo risco de gerar condição insegura

### **Passo 5: Emissão de relatório e apresentação dos resultados**

Vários relatórios de avaliação podem ser obtidos a partir da análise das respostas para identificar e enfatizar a integridade dos atributos dos elementos dos domínios das atividades avaliadas.

O relatório deve conter o parecer final e outras informações complementares para cada atributo avaliado. No exemplo a avaliação satisfatória do atributo “teste de pressão” indica que, sob este aspecto, a integridade das instalações está sob controle.

O anexo 2 apresenta vários exemplos de proposições do domínio psicológico, comportamental e situacional (e técnico) destinados a identificar condições que propícias à ocorrência de falhas e acidentes.

## VALIDAÇÃO E CONCLUSÃO

### 6.1 - Validação da metodologia

O processo de validação da metodologia consistiu de uma pesquisa envolvendo engenheiros com experiência na área de manutenção e/ou inspeção de equipamentos estáticos de refinaria de petróleo, a partir de uma apresentação da metodologia e subsequente resposta a uma série de questões sobre a aplicabilidade do método na visão desses profissionais, variando o espectro de respostas entre insuficiente, regular, médio, bom e muito bom. O resultado está no quadro 6.1.

Quadro 6.1: Resultado da validação do método

QUESITO AVALIADO	NÍVEL DE AVALIAÇÃO OBSERVADO				
	Insuficiente	Regular	Médio	Bom	Muito bom
Inovação					X
Nível de profundidade				X	
Clareza para atingir seus objetivos			X		
Compreensão do método				X	
Adaptabilidade às pessoas				X	
Confiança nos seus resultados				X	
Facilidade de aplicação				X	

E quanto à possibilidade de aplicar na planta de cada participante, cuja escolha entre as opções “não é possível”, “possivelmente” e “totalmente”, a resposta de todos os profissionais que participaram da validação foi “totalmente” possível aplicar.

### 6.2 - Comentários

A despeito da total possibilidade de aplicação da metodologia, vários comentários foram feitos quanto à dificuldade de aplicação da metodologia pelos engenheiros que participaram da validação:

- Em função da grande quantidade de informações, é necessário que sejam adequadamente estruturadas para não haver perda de conteúdo ou equívoco de avaliação das informações coletadas na pesquisa;

- Falta uma amarração entre as ferramentas para possibilitar a captação objetiva e clara por meio do cruzamento das informações obtidas, tanto no aspecto de identificar informações conflitantes quanto de informações semelhantes para um mesmo quesito pesquisado;
- É necessário utilizar também o questionário como ferramenta para captar informações sobre os aspectos organizacionais;
- Dificuldade em visualizar a implementação do método e a utilização das informações obtidas por meio de questionários e entrevistas;
- As informações de clima e atitudes apresentam alto grau de subjetividade, necessitando de método de análise de informações específico para torná-la o menos subjetiva possível;
- Apesar de acharem o método factível, não há no ambiente de trabalho atual das atividades estudadas pessoal com o nível de capacitação requerido para aplicação da metodologia, especialmente no que se refere aos aspectos humanos e organizacionais.

### **6.3 – Currículo dos avaliadores**

O anexo 1 apresenta os currículos dos profissionais consultados para avaliar e validar a metodologia.

### **6.4 - Conclusão**

Viu-se que os elevados custos das falhas e acidentes podem inviabilizar o negócio, fazendo-se necessário um processo de gestão efetivo desses eventos na indústria que lida com o perigo. Grandes acidentes suscitaram estudos, em que se constatou que as falhas podem ser de três naturezas distintas, técnica, humana e organizacional, e observou-se a existência de quatro ingredientes causais (causas próximas), as condições inseguras, CLNT, atos inseguros e CLNO, cujas causas fundamentais devem ser identificadas para efetivamente eliminar os eventos indesejáveis. A questão principal é que 80% das falhas, aquelas de natureza humana e organizacional, eram

tratadas de forma equivocada como tendo a causa fundamental o erro humano, não atingindo a real causa fundamental.

Os equipamentos estáticos em refinarias respondem por cerca de 70% das perdas. Felizmente, observa-se que a grande maioria dessas causas de falha em equipamentos estáticos de refinarias de petróleo é do tipo sistemática, facilitando enormemente a identificação da causa fundamental individualmente. Isso se deve, para as falhas técnicas, principalmente ao fato da baixa interação entre os componentes desses equipamentos. Para as falhas humanas e organizacionais é uma constatação prática. Um segundo aspecto positivo é que apenas uma pequena parte das falhas humanas está vinculada à natureza da falibilidade humana, que é do tipo aleatória, de difícil previsão, tanto do agente causador, quanto do momento da ocorrência, portanto, difíceis de serem controladas.

Portanto, não é possível atingir plenamente a excelência em segurança sem que sejam abordados de forma efetiva os aspectos humanos e organizacionais. Para isto, é preciso ter conhecimento sobre erro humano, ou seja, pleno conhecimento da formação do comportamento humano, cuja disciplina mais apropriada para isto é a cultura de segurança. O erro humano pode promover dois tipos de falha: humana, cuja causa fundamental é o erro humano, e organizacional, em que o erro humano é apenas causa imediata e cuja causa fundamental são as CLNO. Neste último caso, o ato (comportamento) humano é constituído inseguro devido à interação complexa entre o domínio psicológico, condições de trabalho e situacional, sob influência do contexto e das ações gerenciais e institucionais.

Verificou-se que é viável a utilização dos modelos de acidente para atingir os objetivos propostos, com a vantagem de poder agregar o aspecto técnico (qualidade e integridade). Isto é importante, pois para ser efetivo e atingir o objetivo de elaborar uma metodologia para a gestão de falhas e acidentes de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo, é preciso focar nos aspectos técnicos, humanos e organizacionais e relacioná-los aos seguintes atributos:

- Integridade física e mecânica, que se encontra num patamar de controle satisfatório, em função do desenvolvimento de técnicas que, além de sistematizar adequadamente os métodos de controle de FANT, reduzem os custos com a inspeção e a manutenção dos equipamentos estáticos, aliado à existência de uma

legislação efetiva no controle da integridade física e mecânica desses equipamentos.

- Qualidade do produto, com efetividade de controle apenas razoável, em que as principais dificuldades estão na contenção de recursos destinados ao controle de qualidade da manutenção, interesse em retornar logo com os equipamentos à produção e à inexistência de um sistema legal orientado para o cumprimento das exigências de um controle de qualidade adequado dos processos de fabricação na manutenção, dificultando o controle de incidência das CLNT (defeitos) nos equipamentos. Os mesmos cuidados devem ser tomados nas fases projeto, fabricação e montagem para evitar CLNT.
- Cultura de segurança, que estuda o comportamento humano, foi desenvolvida para controlar a ocorrência de CLNO e FANH, ou seja, falhas humanas e organizacionais, mas, apesar de representarem 80% das falhas e acidentes nas organizações, o ainda baixo interesse pela aplicação dos conhecimentos desta disciplina está associado à falta de divulgação do entendimento e controle do processo de formação dos atos inseguros no ambiente industrial, desenvolvimento muito recente de metodologias para controlar o erro humano (atos ou comportamentos inseguros) e à resistência que os gerentes têm de admitir que suas decisões geram condições propícias para a formação da maioria dos atos inseguros cometidos pelas pessoas ligadas às frentes de trabalho, mesmo que as ações gerenciais não tenham esta intenção.

Alinhado com o principal propósito deste estudo, que é identificar “o que fazer” para garantir segurança ao sistema, a metodologia para a gestão de falhas e acidentes aplica um processo de varredura nas diversas atividades relacionadas à inspeção e manutenção, utilizando ferramentas diversas, formatadas numa série de proposições estratificadas por elementos que constituem os diversos domínios da organização nas atividades de inspeção de equipamentos e manutenção.

Há muitas ferramentas que auxiliam essa gestão, mas muitas são reativas e outras limitadas em relação aos aspectos humanos e organizacionais, tais como TPM, TQM, ISO-9000, MCC e IBR. Cabe ressaltar que os programas de segurança baseados na mudança do comportamento humano (BBS comerciais) são ferramentas vendidas como capazes de conduzir a organização à excelência em segurança, quando na verdade é uma ferramenta bastante limitada. Esta imagem de excelência, em lugar de

causar impacto positivo, acaba gerando frustração e medo nas organizações de adotar outros métodos, estigmatizando alternativas que obviamente não resolvem todos os problemas, mas que são necessárias para compor o rol de ferramentas e métodos essenciais para alcançar os padrões desejáveis em segurança, qualidade e integridade.

Com o que foi exposto nesta dissertação, a estruturação do conhecimento adquirido nestes últimos 25 anos sobre os fatores humanos permite visualizar com clareza as ferramentas necessárias para permitir uma avaliação adequada de identificação contínua dos sintomas que possam conduzir a eventos indesejáveis nas organizações. O que falta à indústria para identificar e resolver os problemas que conduzem a falhas e acidentes tratados nesta dissertação é estruturar-se com os recursos adequados. Mas se por um lado é preciso cuidado e conhecer o potencial e também as limitações de uso de cada uma dessas ferramentas e metodologias, por outro lado isto já é possível com o nível de conhecimento atual. Cabe ressaltar, porém, que o conhecimento necessário para avaliar as atividades de uma organização está acentuadamente fragmentado na literatura e isto pode ser notado no anexo 2, cujas proposições foram retiradas de diversas publicações para possibilitar uma avaliação ampla. A metodologia proposta nesta dissertação visa reunir esses conhecimentos fragmentados na literatura.

Os resultados obtidos com a aplicação da metodologia proposta nesta dissertação são satisfatórios, mostrando-se ser mais uma ferramenta técnica e gerencial efetiva e essencial para o controle dos processos de falhas e acidentes. Para eventos de natureza técnica, as proposições para identificação das causas fundamentais apresentam características mais objetivas, portanto garantem uma resposta mais fidedigna das condições reais do sistema, enquanto a identificação de algumas causas fundamentais de falhas organizacionais e humanas são mais subjetivas, requerendo ferramentas e técnicas apropriadas para garantir maior efetividade na coleta das informações sobre o sistema. A grande vantagem do método é a viabilização da identificação estratificada e antecipada de todos os problemas relacionados às atividades de inspeção e manutenção dos equipamentos estáticos que podem conduzir a falhas e acidentes, utilizando uma metodologia estruturada e sistematizada. A metodologia apresentada fornece:

- Uma visão micro e macro das atividades, evidenciando as vulnerabilidades das atividades.
- A metodologia busca fechar lacunas existentes para identificar as causas fundamentais das falhas e acidentes.

#### 6.4.1 - Vantagens da metodologia

- Antecipa-se à falha ou minimiza as suas conseqüências.
- Abre canal de comunicação da base com a gerência de topo.
- Viabiliza alocar adequadamente os recursos.
- Abrange toda a organização, promovendo uma visão amplificada das atividades.
- Utiliza ferramentas simples de aplicar.
- Exige poucos recursos.
- O método é assimilável com facilidade.
- Pode ser aplicado periodicamente, num processo de melhoria contínua.
- Abrange todos os aspectos: técnicos, humanos e organizacionais.
- Pode ser aplicado de forma generalizada para toda a organização.

#### 6.4.2 - Desvantagens e dificuldades de implementação da metodologia

Algumas desvantagens e dificuldades na implementação da metodologia foram também constatadas, tais como:

- O método é qualitativo, sendo subjetivo em alguns aspectos relacionados com a avaliação humana, que pode distorcer a interpretação e os resultados.
- O método pode causar receio de os gerentes se sentirem avaliados.
- Ausência de uma legislação efetiva para tratar CLNT, FANH e CLNO.
- Não considera a interação entre as causas de falhas.

### **6.5 – Evolução da metodologia com trabalhos futuros**

Em função das deficiências do processo de avaliação e novas tendências, trabalhos podem ser desenvolvidos de forma a contribuir para a evolução da base de conhecimentos e na mudança cultural. Algumas sugestões para novos estudos são:

- Estudos complementares podem ser elaborados para facilitar a identificação, o tratamento e a eliminação das causas fundamentais e tornar o processo de gestão de falhas e acidentes mais simples, principalmente trabalhando na informatização do método e conscientização das pessoas dos diversos níveis da organização.

- Estudos complementares para verificar se as duas células vazias na matriz de falha, fig. 4.1, devem ser preenchidas ou permanecer vazias.
- Questionar a mono-causalidade das falhas, de forma a mudar a consciência em relação ao foco na culpabilidade das pessoas da linha de frente de execução.
- Evoluir na interação das causas fundamentais de falhas e acidentes.
- Desenvolver e aplicar novas ferramentas que torne o processo de avaliação dos aspectos humanos mais objetivos, reduzindo a subjetividade das respostas às proposições.
- Realizar estudos para classificar quanto à importância de cada elemento e proposição para análise.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amalberti, R. - *Automation in Aviation : A human factors perspective*, in D.Garland, J.Wise & D. Hopkin (Eds) *Aviation Human Factors*, (pp 173-192, chapter 7), Hillsdale-New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. 1998a.
- Amalberti, R. – *Les Facteurs Humans a l’Aube de l’An 2000* - pp. 5-12, Phoebus, 1998b.
- Anderson, T.L. – *Fracture Mechanics - Fundamentals and Applications* - CRC – 1995.
- API 579 – *Fitness for Service* - American Petroleum Institute, 2002.
- API 581 – *Risk-Based Inspection* - Published by American Petroleum Institute - 2002.
- Bazovsky, I. - *Reliability Theory and Practice* - Prentice Hall (1961).
- Birchfield, G. - *Olefin Plant Reliability* - Aspenworld 2000 - USA.
- Brown, A.B. and Patterson, D.A. – *To Err is Human* - 1999.
- Contra Costa County (California) - *Human Factors Program Guidance* - 1999.
- Cook, R.I. and Woods, D.D. - “*Operating at the Sharp End: The Complexity of Human Error*” in *Human Error in Medicine* - S. Bogner, Ed. - 1994.
- Cook, R.I., Woods, D.D. and Miller, C. - *A Tale of Two Stories: Contrasting Views of Patient Safety* - Report from a Workshop on Assembling the Scientific Basis for Progress on Patient safety – American Medical Association (AMA) - 1998.
- Cooper, M.D. - *Towards a Model of Safety Culture* - *Safety Science*, Vol. 36, pp 111-136, 2000.
- Dalgleish, S. - *Deming’s Vision: Arduous but Advantageous* - *Quality* - Jan/2004.
- da Rosa, E. - *Mecânica da Fratura*, 4 v. - UFSC – 2003
- Davies, F., Spencer, R. and Dooley, K. - *Summary guide to safety climate tools* - *Offshore Technology Report* – 1999/063, HSE Books.
- Dekker, S. - *Punishing People or Learning from Failure? The choice is ours.* – Linköping Institute of Technology, Linköping, Sweden 2002 - Disponível em [www.hufag.nl](http://www.hufag.nl)
- Deming, W. E. - *Out of the Crisis* - University Press, Cambridge, 1982.

Dias, A. - *Introdução a Confiabilidade* - Texto didático: Engenharia Mecânica, UFSC, 2003.

Dias, A. *Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos*. Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Tese de doutorado. 199p. 1996.

Dias, A.; Ogliari, A.; Alonço, A. dos S. *Fatores de influência no projeto de produto para segurança*. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. Curitiba, PR. Anais em CD-ROM. Ago. 2005, 8p.

Doyle, A.J. and Barry, P. - *Maintenance Techniques and Analysis* - CBM Spectrum – 2001.

Drosjack, M.J. and Tanner, G.M. – *Rotating equipment risk-based assessment and benchmarking* - Hydrocarbon Processing – Jan/2001.

Dunn, S. – *Ensuring Asset Integrity – A Risk-Based Approach* - [www.plant-maintenance.com](http://www.plant-maintenance.com) – acesso em Nov/2004.

Dunn, S. - *The Fourth Generation of Maintenance* - [www.plant-maintenance.com](http://www.plant-maintenance.com) - acesso em Dez/2003.

Duran, J. - *What is Operational Reliability?* - [www.tpmonline.com](http://www.tpmonline.com) - acesso em Nov/2000

Easterling, K. - *Introduction to the Physical Metallurgy of Welding* - Butterworths - 1983.

Eckstein, C.B. - *Inspeção Baseada em Risco* – PETROBRAS, 2003.

Embrey, D.E. – *Incorporating management and organisational factors into probabilistic safety assessment* - Reliability Engineering and System Safety 38 (1992).

Flannery, J. A. - *Safety Culture and its measurement in aviation* - Master of Aviation Management Student, University of Newcastle, Australia, November 2001.

GAIN - *A Roadmap to a Just Culture: Enhancing the Safety Environment* - Prepared by: GAIN Working Group E, First Edition, September 2004.

Groeneweg, J., Lancioni, G.E. and Metaal, N. - *Tripod: Managing organizational components of business upsets* - European Safety and Reliability Conference ESREL 2003, June 15- 18, Maastricht, The Netherlands, 22 July 2003.

- Hollnagel, E. - *Accident Models and Accident Analysis* - [www.iav.ikp.liu.se](http://www.iav.ikp.liu.se) - 2002a
- Hollnagel, E. - *Accident Analysis And Human Error* - [www.iav.ikp.liu.se](http://www.iav.ikp.liu.se) - 2002b.
- Hopkins, A. - *What Are We to Make of Safe Behaviour Programs?* - ACTU OHS Conference, Melbourne, May, 2005
- IAEA-Tecdoc-1329 - *Safety culture in nuclear installations - Guidance for use in the enhancement of safety culture* – International Atomic Energy Agency - Dec 2002.
- Johnson, C.W. - *Visualizing the relationship between human error and organizational failure*. - In J. Dixon, editor, Proceedings of the 17th International Systems Safety Conference, pages 101-110, Unionville, Virginia, United States of America, 1999. The Systems Safety Society.
- Johnson, C.W. - *Failure in Safety-Critical System – A Handbook of Incident and Accident Reporting* - Glasgow University Press - 2003.
- Juran, J.M. – *Juran on Leadership for Quality – An Executive Handbook* - Juran Institute, Inc. - 1989.
- Kaley, L. - *Risk Based Inspection, Beyond Implementation to Integration* - The Equity Engineering Group, Inc., 2003.
- Kam, C.C.K. - *Integrating Behaviourism and Cognitivism: A paradigmatic Reconciliation of Occupational Safety* - Technical Seminar on Occupational Safety. The Hong Kong Institution of Engineers, 30 June 2003.
- Kanse, L. - *Recovery uncovered: How people in the chemical process industry recover from failures* - Ph.D. Thesis - Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, 2004.
- Kettley, P. - *Is Flatter Better? Delaying the Management Hierarchy* – IES Report 290, Reports & Publications, 1995.
- Kletz, T.A. - *An Engineer's View of Human Error – Rugby: The Institution of Chemical Engineers*, 1985.
- Kletz, T.A. - *What Went Wrong ? Case Histories of Process Plant Disasters* - 4<sup>th</sup> Edn. – 1998.
- Koornneef, F. – *Organized Learning from Small-scale Incidents*, PhD Thesis, Technische Universiteit Delft, Delft, The Netherlands, 2000.

- Krause, T.R. - *The Behavioural-Based Safety Process*, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- Krembs, J.A. and Connolly, J.M. – *Analysis of Large Property Losses in the Hydrocarbon and Chemical Industries, Refinery and Petrochemical Plant Maintenance Conference*, May 23-25, 1990.
- Lafraia, J.R.B. - *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade - Qualitymark* - 2001.
- Lardner, R., Fleming, M. and Joyner, P. - *Towards a Mature Safety Culture - Symposium Series no. 148*, 2001 IChemE.
- Lardner, R. and Fleming M. - *To Err is Human ... - The chemical Engineer*. 7 October 1999.
- Latino, C.J. – *Tesoro Escondido: Eliminando Fallas Crónicas Puede Reducirse el Costo de Mantenimiento Hasta en un 60%* - [plant-maintenance.com](http://plant-maintenance.com) - 2002
- Lees, F.P. - *Loss Prevention in Process Industries - 2<sup>nd</sup> Edn.* – vol. 1, 2 e 3 - Butterworth-Heinemann, 1996.
- Leveson, N. – *A New Accident Model for Engineering Safer Systems* - *Safety Science*, vol. 42, n. 4, April 2004.
- Leveson, N.G. - *A New Approach To System Safety* (draft book) – Engineering Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2002.
- Leveson, N. – *Safety is not Reliability* – Safeware Engineering, 2003a.
- Leveson, N. – *White Paper on Approaches to Safety Engineering* - Safeware Engineering, 2003b.
- Marot, R.S.V - *A Consistência entre as Atitudes e as Intenções dos Internautas em Relação à Aprovação da Terapia On-line no Brasil* - Programa de Pós-graduação em Psicologia, Departamento de Psicologia, Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro, Agosto de 2003.
- Maurino, D.E, Reason, J., Johnston, N. and Lee, R.B. - *Beyond Aviation Human Factor* - Ashgate. 1995.
- Moubray, J. – *Reliability-Centered Maintenance (RCM)* - 1997.
- NASA (National Aeronautics and Space Administration) – *Columbia Accident Investigation Board* – Report Volume I to VI, Washington, DC, August, 2003.

O'Connor, P.D.T. - *Achieving World Class Quality and Reliability: Science or Art?* - Quality World (IQA) – October 1995

Overveit, J. – *Health Service Quality* - Brunel University - 1998.

Paradies, M. e Unger, L. - *TapRoot™ – The System for Root Cause Analysis, Problem Investigation and Proactive Improvement* - 2000.

P&I - *Getting to Grips with the Human Factor* - an insight - UK P&I Club - [www.executivebookletweb.com.uk](http://www.executivebookletweb.com.uk) - acesso em Jul/2005.

Raouf, A. - *Theory of Accident Causes* - 2005.

Rasmussen, J. - *The concept of human error: is it useful for the design of safe systems?* – Safety Science Monitor, Special Edn., Vol. 3, Article 1, 1999.

Rasmussen, J. – *Risk Management in a Dynamic Society: A Modeling Problem*, Safety Science, vol. 27, n. 2/3, Elsevier Science Ltd., pages 183-213, 1997.

Reason, J. - Human error: models and management - [reason@psy.man.ac.uk](mailto:reason@psy.man.ac.uk) - 2004

Reason, J. - *Managing Maintenance Error - A Practical Guide* - Feb/2003

Reason, J. - *Managing The Risks of Organizational Accidents* - Ashgate Publishing Co, 1997

Reynolds, J. - *101 Essential Elements of Equipment Integrity Management* - NPRA - 2002 Annual Refinery & Petrochemical Plant Maintenance Conference and Exhibition – May 07-10, 2002.

Reynolds, J.T – *Mechanical Integrity of Refinery Equipment*, Maintenance Conference, NPRA, Convention Center, San Diego, California, May, 25-28, 1993.

Reynolds, J.T. - *Risk Based Inspection improves safety of pressure equipment* – Oil and Gas Journal – Jan, 16, 1995.

Ricketts, R. - *Survey points to practices that reduce refinery maintenance spending* - Oil and Gas Journal – July 4, 1994.

Rojas, A. R.-F. - *Reliability Improvement VS Quality? An Integrated Approach* - 2002 - [www.plant-maintenance.com](http://www.plant-maintenance.com)

Rosness, R., Guttormsen, G., Steiro, T., Tinmannsvik, R.K. and Herrera, I.A. - *Organizational Accidents and Resilient Organizations: Five Perspectives* - Rev. 1 - SINTEF REPORT - 2004.

- Ruggieri, C. - *Curso Avançado de Mecânica da Fratura* - PETROBRAS/USP – 2000.
- Sian, B. and Watson, J. - *Study of Fatigue Factors Affecting Human Performance in Aviation Maintenance* – <http://hfskyway.faa.gov> - acesso em Ago/2005.
- Sinnadurai, N. - *What is a Product 's Reliability Strength?* - BLN Associates Ltd. – U.K. - 2000.
- Snee, R. D. - *Statistical thinking and its contribution to total quality*, American Statistician, 44(2) - 1990.
- TLF (*Taguchi's Loss Function*) - <http://www.dnh.mv.net/ipusers/rm/loss.htm> (acesso em Out/2005).
- Van der Schaaf, T.W. - *Near miss reporting in the chemical process industry* – Ph.D. Thesis, Eindhoven University of Technology, 1992.
- Van der Schaaf, T.W. and Kanse, L. - *Biases in incident reporting databases: An empirical study in the chemical process industry*. Safety Science, 42(1), 57-67. 2004.
- Van Vuuren, W. - *Organizational failure: An exploratory study in the steel industry and the medical domain* – Ph.D. Thesis - Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands, 1998.
- Viswanathan, R. - *Damage Mechanisms and Life Assessment of High-Temperature Components* - ASM International, Metals Park, Ohio, 1989.
- Ward, R., Brazier, A. and Lancaster, R. - *Different types of supervision and the impact on safety in the chemical and allied industries*. Literature review - Prepared by Entec UK Ltd. for the Health and Safety Executive, 2003.
- Weick, K. and Sutcliffe, K. M. – *Managing the Unexpected – Assuring High Performance in an Age of Complexity* – 2001.
- Wieringa, J.E. - *Statistical Process Control for Serially Correlated Data* - Ph.D. Thesis – Rijksuniversiteit Groningen – The Netherlands - 1999.
- Wilkins, D.J. - *The Bathtub Curve and Product Failure Behavior - Part One - The Bathtub Curve, Infant Mortality and Burn-in* - The eMagazine for the Reliability Professional – 21 Nov. 2002.
- Woods, D.D. and Cook, R.I. - *Mistaking Error* - in Hatlie, M.J. and B. J. Youngberg, B.J. (Eds.) Patient Safety Handbook, Jones and Bartlett, 2003.

Woods, D.D. and Cook, R.I. - *Nine Steps to Move Forward from Error* - Cognition, Technology & Work - (2002) 4: 137 – 144.

Wu, P. – Incident Reporting Systems in Process Industries in Sweden – M.Sc. Thesis, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, 2003.

Ylipää, T. - *High-Reliability Manufacturing Systems* - Licentiate Thesis, Department of Human Factors Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2000.

Yule, S. - *Safety culture and safety climate: A review of the literature* - Industrial Psychology Research Centre, University of Aberdeen, UK, 2003.

Zeiger, B. - *CREAM: Cognitive Reliability and Error Analysis Method* - University of Paderborn, Department for Computer Science, January 2005.

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

O anexo 1 apresenta o currículo resumido do pessoal consultado para fazer a validação da metodologia.

### **ANEXO 2**

O anexo 2 apresenta exemplos de proposições relativas aos atributos de integridade física dos equipamentos estáticos e aos domínios psicológico e comportamental das atividades de manutenção e inspeção de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo.

#### **Anexo 2A**

Proposições no domínio psicológico: avaliação do clima em relação à segurança.

#### **Anexo 2B**

Proposições no domínio comportamental: avaliação das condições de trabalho.

#### **Anexo 2C**

Proposições no domínio situacional (técnico): avaliação da integridade dos equipamentos estáticos de refinaria de petróleo é feita por classe de equipamentos. Esse anexo apresenta a lista de verificação das proposições que avaliam a integridade dos sistemas de tubulação de refinaria.



## ANEXO 1

### CURRICULO DOS AVALIADORES

A seguir é apresentado um breve currículo dos profissionais das áreas de inspeção e manutenção de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo que foram consultados para avaliar a metodologia.

- 1) Engenheiro metalúrgico com especialização em tecnologia da soldagem e 30 anos de experiência em inspeção e manutenção de equipamentos estáticos de refinarias de petróleo e indústria petroquímica.
- 2) Engenheiro mecânico com especialização em engenharia de equipamentos e 20 anos de experiência em manutenção de equipamentos estáticos de produção e refino de petróleo.
- 3) Engenheiro mecânico, com especialização em engenharia de equipamentos e mestrado em engenharia metalúrgica e 20 anos de experiência em manutenção de equipamentos dinâmicos e inspeção de equipamentos estáticos de produção e refino de petróleo.
- 4) Engenheiro mecânico, com especialização em engenharia de equipamentos e mestrado em engenharia mecânica e 20 anos de experiência em manutenção de equipamentos estáticos de produção e planejamento de parada para inspeção e manutenção de plantas de refinaria de petróleo.

## ANEXO 2

### Anexo 2A – DOMÍNIO PSICOLÓGICO

Neste anexo constam algumas questões que avalia a percepção das pessoas em relação à segurança.

#### Exemplo: Avaliação de tópicos relacionados ao clima de segurança

Fonte: Davies et alli (1999)

ITEM		AVALIAÇÃO
<b>TREINAMENTO E COMPETÊNCIA</b>		
1	Você está esclarecido sobre a suas responsabilidades em relação a segurança?	60
2	Você está plenamente esclarecido sobre os riscos envolvidos com o trabalho de que é responsável?	80
3	Você conhece com a profundidade devida os procedimentos e instruções relacionadas com o seu trabalho?	40
4	Algumas vezes você não está certo do que fazer para garantir segurança no trabalho sob sua responsabilidade?	50
5	O treinamento que você teve cobriu todos os riscos associados com o trabalho de que é responsável?	40
6	O treinamento esclareceu todos os aspectos do seu trabalho que são críticos para segurança?	70
7	As pessoas do seu grupo são consultadas sobre as suas necessidades de treinamento?	20
8	Você se sente preparado para garantir segurança na execução de suas tarefas?	25
		<b>MEDIA</b> 48

#### **GARANTIA DO EMPREGO E SATISFAÇÃO NO TRABALHO**

9	Você sente que está seguro (garantido) no seu emprego?	20
10	Os gerentes tratam dos efeitos negativos que o risco de perder o emprego tem sobre a segurança na execução do trabalho?	70
11	Seu trabalho é maçante e repetitivo?	50
12	A força de trabalho sente desafiada e motivada pelas tarefas que realiza?	40
12	A motivação dos membros da força de trabalho é alta?	90
14	A força de trabalho tem alto nível de satisfação na realização do trabalho?	30
		<b>MÉDIA</b> 50

#### **PRESSÃO PARA MANTER A PRODUÇÃO**

15	Algumas vezes você nota que a produção é considerada mais importante do que a realização	50
----	--	----

	do trabalho com segurança?	
16	Algumas vezes você nota que as regras de segurança são quebradas para manter a segurança?	45
17	Há pressão constante para manter a planta funcionando?	60
18	Sempre há gente suficiente para a realização das tarefas com a segurança requerida?	80
19	Hoje em dia os gerentes estão mais interessados em segurança do que em produção?	20
20	A empresa pararia a produção, mesmo que isso acarretasse em perda de produção ou financeira?	50
21	Os gerentes passam uma mensagem clara e confiável de que as pressões por manter a planta operando só devem ser aceitas até o momento em que não ponha em risco a segurança das pessoas, instalações e meio-ambiente?	65
		<b>MEDIA 53</b>

## COMUNICAÇÃO

22	Você está satisfeito com a maneira com que é informado sobre o que acontece em sua planta?	30
23	A comunicação sobre os assunto de segurança que te afetam é ruim?	70
24	Você é sempre informado sobre os resultados dos encontros realizados em sua planta para discutir segurança?	80
25	Os gerentes imediatos e supervisores <b>nem</b> sempre te informam sobre os assuntos relacionados a segurança?	60
26	As informações de segurança sempre são trazida pra você através dos gerentes imediatos ou supervisores?	55
27	A comunicação entre o operador e o pessoal executante de manutenção contratado é ruim?	50
28	Qual é o nível de satisfação em relação à comunicação entre o operador e o executante das tarefas?	45
29	Qual é o nível de satisfação em relação à comunicação entre o operador e o fiscal?	20
30	Qual é o nível de satisfação em relação à comunicação entre o supervisor de operação e o supervisor de manutenção próprio?	100
31	Há boa comunicação durante a troca de turno?	90
32	Você sempre registra em detalhes os acidentes e incidentes que ocorrem na sua área de trabalho/	50
33	As informações de causas repetidas de acidentes e incidentes são disseminadas para todo o pessoal interessado?	30
		<b>MEDIA 57</b>

## PERCEPÇÕES DE ENVOLVIMENTO DO PESSOAL EM SEGURANÇA

34	Você está imbuído do espírito de informar o gerente sobre as questões importantes de segurança?	30
35	Você influi no desempenho em segurança na sua área de trabalho?	40
36	Você se sente envolvido quando há revisão de procedimentos e instruções de trabalho de sua área?	40
37	Qual é o seu nível de satisfação em relação ao envolvimento da força de trabalho com segurança?	70
38	Que nível de envolvimento você sente quando são tomadas as decisões de segurança que podm afetar você?	60
39	Quanto te é dado de oportunidade para influenciar nas decisões de seus superiores em relação a segurança?	50
40	No planejamento e tomada de decisões sobre suas atividades de trabalho, quanto você se sente envolvido?	60
		<b>MEDIA 50</b>

## COMPROMETIMENTO DOS GERENTES COM A SEGURANÇA

41	O gerente busca rapidamente soluções para as <b>condições inseguras</b> na sua área de trabalho, assim que toma conhecimento delas?	<b>70</b>
42	A empresa realmente cuida da segurança das pessoas que trabalham aqui?	<b>75</b>
43	A planta pararia por questão de segurança, mesmo sabendo que iria perder dinheiro?	<b>80</b>
44	Você sente que o seu gerente está preocupado com o seu bem-estar geral?	<b>60</b>
45	O gerente dá <b>baixa</b> prioridade à questão da segurança no trabalho?	<b>65</b>
46	O gerente age decisivamente quando surge problemas de segurança?	<b>55</b>
47	O gerente confia na sua força de trabalho?	<b>50</b>
48	O gerente corrige rapidamente ao tomar conhecimento da prática de <b>atos inseguros</b> ?	<b>60</b>
49	As melhorias em segurança são implementadas num período de tempo satisfatório?	<b>40</b>
50	Os empregados são encorajados a levantar problemas de segurança?	<b>40</b>
51	Você é encorajado a relatar as <b>condições inseguras</b> na sua área de trabalho?	<b>35</b>
52	A empresa incentiva as sugestões para melhoria da segurança?	<b>70</b>
53	A empresa avalia as sugestões para melhoria da segurança e as implementa quando possível?	<b>80</b>
54	As pessoas estão dispostas a participar das iniciativas de melhoria da segurança?	<b>60</b>
55	Há recursos suficientes para a segurança?	<b>50</b>
56	Você sempre tem disponível o ferramental apropriado que necessita para realizar as tarefas de forma segura?	<b>50</b>
57	O gerente fecha os olhos para as violações de regras, instruções e procedimentos para ter o trabalho concluído rapidamente?	<b>40</b>
58	Os empregados confiam nos gerentes desta empresa?	<b>60</b>
59	O gerente se preocupa com o bem-estar da sua força de trabalho?	<b>70</b>
<b>MEDIA</b>		<b>58</b>

## Anexo 2B - DOMÍNIO COMPORTAMENTAL

Neste anexo constam alguns exemplos de questões que avaliam as condições gerais do local de trabalho de uma refinaria de petróleo.

### Exemplo: Avaliação do local de trabalho

Fonte: IEIA (2002)

ITEM		AVALIAÇÃO
<b>LOCAL DE TRABALHO</b>		
1	Você sabe o que a organização espera de você no trabalho?	30
2	Você tem todo o material, ferramentas e equipamentos que precisa para realizar seu trabalho corretamente?	40
3	No trabalho, você tem oportunidade de fazer o que você faz de melhor?	50
4	Nos últimos sete dias seu trabalho foi reconhecido e você recebeu elogio por isso?	70
5	Seu supervisor (ou outra pessoa no trabalho) cuida de você como pessoa?	55
6	Há alguém no trabalho que encoraja o seu desenvolvimento?	65
7	No trabalho, sua opinião é valorizada?	70
8	A missão (propósito) de sua organização te faz sentir que seu trabalho é importante?	60
9	Seus colaboradores são comprometidos em fazer o trabalho com qualidade?	50
10	Você tem amigos no trabalho?	60
11	Nos últimos seis meses conversou com alguém no trabalho sobre o seu progresso pessoal e profissional?	40
12	Você tem tido no trabalho oportunidades para aprender e crescer?	50
		<b>MEDIA</b> <b>53</b>

### ARRUMAÇÃO E LIMPEZA

1	O local de trabalho encontra-se adequado para a realização do trabalho?	35
2	Há indícios de perigos decorrentes de desmazelo com as instalações ou local de trabalho?	60
3	Os gerentes realizam inspeções para verificação das condições do local de trabalho?	20
4	Os problemas relativos a arrumação são efetivamente corrigidos após as inspeções dos gerentes?	10
		<b>MEDIA</b> <b>31</b>

## Anexo 2C - DOMÍNIO SITUACIONAL (Técnico)

Neste anexo constam as questões que avaliam a existência de situações que possam conduzir a condições inseguras nos sistemas de tubulação de uma refinaria de petróleo. Cada quesito é detalhado da seguinte forma: mostra um exemplo de falha/acidente que teve como causa o referido quesito, faz alguns comentários para orientar a correção, lista normas que orientam o tratamento adequado do assunto e por fim apresenta as questões que devem ser respondidas para avaliar o quesito.

### Exemplo: Avaliação da integridade dos sistemas de tubulação

A seguir são mostrados numa planilha vários quesitos que avaliam a integridade. Os itens da planilha marcados em letra branca (M4, M10, P9, T2, T8, T20, T25, T17, T27, T28, T38 e T42) estão detalhados.

Fontes: API 581 (2002), Kletz (1998), Reynolds (2002).

ITEM	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	AVALIAÇÃO
M.1	Certificação do pessoal próprio de manutenção	80
M.2	Treinamento no Sistema da Qualidade.	70
M.3	Qualidade do CQ contratado	30
<b>M.4</b>	<b>Teste de Pressão</b>	<b>70</b>
M.5	Dispositivos auxiliares de montagem	50
M.6	Selagem de vazamentos em flanges	30
M.7	Isolamento termico de flanges.	20
M.8	Uso de juntas soldadas	60
M.9	Juntas soldadas	80
<b>M.10</b>	<b>Juntas Flangeadas</b>	<b>10</b>
M.11	Instruções de execução de campo.	40
M.12	Treinamento dos contratados	70
M.13	Fiscalização de execução	40
		<b>MEDIA</b> <b>50</b>
<b>PROJETO</b>		
P.1	Adequação do reparo ao estoque disponível	80

P.2	Alterações de projeto	70
P.3	Detalhamento dos projetos	30
P.4	Projeto dos loops	70
P.5	Novos projetos	50
P.6	Ramais	30
P.7	Tubulações de grande diâmetro	20
P.8	Linhas de Inox	60
<b>P.9</b>	<b>Suportes</b>	<b>80</b>
P.10	Pares galvânicos	10
P.11	Cuidados na elaboração dos projetos	40
P.12	Alterações, reclassificações e não-conformidades	70
		<b>MEDIA</b>
		<b>51</b>

### PRÁTICAS DE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO

T1	Trechos submersos	50
<b>T2</b>	<b>Válvulas críticas</b>	<b>60</b>
T3	Válvulas: manutenção e reuso	80
T4	Válvulas de pequeno diâmetro	50
T5	Monitoração da corrosão interna	55
T6	Corrosão/Desgaste Localizado	30
T7	Corrosão e proteção externa	60
<b>T8</b>	<b>Detecção de falhas e vazamentos</b>	<b>20</b>
T9	Práticas de Adequação ao Uso	80
T10	Áreas afetadas por fogo ou explosão	70
T11	Tratamento das Medições de Espessura	30
T12	Pintura de linhas fria	70
T13	Sistema de Flare	50
T14	Linhas de pequeno diâmetro	30
T15	Ligações roscadas	20
T16	Soldas de encaixe	60
<b>T17</b>	<b>Juntas soldadas com penetração parcial</b>	<b>80</b>
T18	Fadiga	10
T19	Linhas enterradas	40
<b>T20</b>	<b>Trechos mortos</b>	<b>70</b>
T21	Pontos quentes	40
T22	Sistema de trace heating	80
T23	Previsibilidade e novos END	70
T24	Plugues	30
<b>T25</b>	<b>Juntas de vedação</b>	<b>70</b>

T26	Passagem de piso	50
<b>T27</b>	<b>Pontos de Injeção</b>	<b>30</b>
<b>T28</b>	<b>Juntas de expansão (bellows)</b>	<b>20</b>
T29	Controle de martelo hidráulico.	60
T30	Problemas crônicos	80
T31	Corrosão sob isolamento	10
T32	Sistemas de Alívio e Esgotamento	40
T33	Suportes de mola	70
T34	Ferramentas de inspeção e manutenção	40
T35	Degradação das Propriedades dos Materiais	80
T36	Estoque de materiais	70
T37	Chapas de reforço	30
<b>T38</b>	<b>Sistemas desativados</b>	<b>70</b>
T39	Ligações a equipamento dinâmico	50
T40	Instrumentos	30
T41	Critérios de inspeção e manutenção.	20
<b>T42</b>	<b>Equipamentos críticos da zona cinzenta</b>	<b>50</b>
		<b>MEDIA</b>
		<b>50</b>



## **Item M4 TESTE DE PRESSÃO EM TUBULAÇÃO**

**UK, 1965, um grande vaso falhou fragilmente durante o TH realizado em baixa temperatura, devido às tensões residuais de um reparo com solda, arremessando fragmentos a 50m de distância.**

**Cuidados devem ser tomados para evitar que tubulações rompam durante o TH.**

**Como a água é incompressível, o TH é considerado seguro: se o equipamento rompe, os fragmentos não voam muito longe.**

**Pneumático: acumula bastante energia, sendo bastante perigoso.**

**Deve ser realizado após o TTAT, mas antes da aplicação da pintura e/ou isolamento térmico.**

**Pode ser aplicado para avaliação da integridade (onde a taxa de corrosão / erosão é elevada).**

Teste Hidrostático: aplica-se em todas as juntas soldadas e reparos com solda realizados ?

O procedimento contempla os cuidados necessários para evitar acidentes ?

## Item M10 FLANGES

Flanges devem ter procedimento para inspeção, caracterização de materiais e plano de fiscalização dos serviços de montagem e manutenção, com critérios definidos:

- Inspeção: faz teste de identificação dos flanges estojo/parafuso e porca; abre quando há presença de produtos de corrosão na fresta; elimina a fresta onde há risco de corrosão; é feita inspeção das faces.
- Manutenção: remove a junta do flange com cuidado para não danificar a face; tem controle de aperto em função da JV utilizada; verifica falta de planicidade, paralelismo e alinhamento; tem controle de aperto em função dos materiais utilizados (JV, flanges, parafusos/porcas, pois o esforço excessivo pode comprometer a estanqueidade da junta e a integridade de componentes frágeis, com p.ex., válvulas de ferro-fundido); os serviços realizados em flanges são rastreáveis (sabe-se quem são os executores do serviço); as dimensões e número de furos do flange estão em conformidade com o ASME 16.5; tem controle do esforço para unir as duas partes na montagem para que não seja excessivo; fiscaliza os serviços de execução com LV.

Parafusos/estojos – são verificados se:

- o aperto é uniforme;
- o material é o mesmo para todos (se diferentes, imprime aperto diferencial);
- usa ferramentas adequadas para aperto (braço de alavanca é estritamente proibido);
- há aperto adequado (se excessivo, pode levar a falha por fadiga pela vibração natural e/ou relaxação).
- o material é compatível com o serviço (p.ex., em serviço com H<sub>2</sub>S, tem dureza adequada).

Normas:

- ASME B16.5: Pipe Flanges and Flanged Fittings, Steel, Nickel Alloy and Other special Alloys
- ASME B16.47: Large Diameter steel Flanges, NPS 26 Through NPS 60
- N-76

- **Especificação do Projeto**
- **API 570: Piping Inspection Code.**
- **API 574: Inspection Practices for Piping System Components.**

Você tem controle de abertura e fechamento de flanges ?

O sistema de controle é rastreável ?

Você identifica os materiais dos componentes do flange ?

Os flanges de instrumentação, submetidos a pressão e/ou temperatura são também rastreáveis ?

## Item P9 SUPORTES

Linhas podem falhar por:

- Flexibilidade excessiva => vibração => falha
- Rigidez excessiva => falta liberdade para expandir

Suportes: devem apoiar-se diretamente sobre vergalhão, calha solidária ou sapata solidária. Nunca deve apoiar-se diretamente sobre o piso para evitar danos por fricção e corrosão por fresta no ponto de apoio.

Calhas coladas reduzem a confiabilidade

Suporte pendurais (pipe-hangers) não devem ser utilizados, pois não suportam aquecimento no caso de fogo, falhando logo no início de um incêndio => a linha deve ser suportada por baixo.

Suportes rígidos que restringem a dilatação da linha devem ser evitados.

Suportes soldados a linhas soldadas devem ser destravados para evitar ruptura, empenamentos e rompimento de JV

Suportes “empilhados” vertical devem ser substituídos por horizontais.

Suportes tubulares devem ser eliminados e substituídos por, p.ex., perfis.

Tem procedimento de inspeção de suportes para verificar distorções, danos em geral, estrutura de apoio, movimentos, vibrações, ancoragens, parafusos, etc. ?

Tem plano para adequação a “boas práticas” e aumento da confiabilidade de suportes ?

## **Item T2 VÁLVULAS DE RETENÇÃO E/OU BLOQUEIO**

Pequenos vazamentos continuados em válvulas contribuem para 57% das emissões fugitivas de uma refinaria.

As válvulas são sujeitas a condições de fluxo mais severas que a própria linha, portanto os processo de corrosão interna, erosão, trincamento por ciclamento térmico, condição física dos internos, gavetas, sedes, hastes, etc. devem ser verificados.

Algumas válvulas devem ter a estanqueidade garantida, sendo requerido o teste de estanqueidade.

Os materiais para estanqueidade de válvulas devem ser compatíveis com as variáveis operacionais: T, p, agressividade do meio, etc.

Normas:

- ASME B16.34: Valves - Flanged, Threaded and Welding end
- API Std 598: Valve Inspection and Testing
- N-76
- Especificação de Projeto
- API 607: Fire test for soft seated valves
- API 570
- API 574

## **MANUTENÇÃO**

Você fiscaliza efetivamente os serviços de manutenção de válvulas ?

Os materiais para estanqueidade são compatíveis com as condições de serviço ?

## **REUTILIZAÇÃO DE VÁLVULAS**

Segue as recomendações do Espec do projeto ou da N-76 ?

São aplicadas as condições prescritas no API 598 ?

É feito teste de estanqueidade quando exigido por norma ?

Os materiais para estanqueidade são compatíveis com as condições de serviço ?

Tem procedimento para inspeção das válvulas a serem instaladas ?

## **Item T8 DETECÇÃO DE FALHAS E VAZAMENTOS**

Você tem um programa sistemático implantado para detecção de falhas e vazamentos nos sistemas de tubulações ?

### **Congelamento**

**O congelamento de água ou soluções aquosas pode causar falha nas linhas, devido à expansão em volume. Isto pode ocorrer em alguns processos ou em regiões que atingem temperaturas subzero. Pontos suscetíveis: pontos baixos, trechos mortos, tomadas de instrumentos.**

**Normas: API 570 e API 574.**

Você tem procedimento para verificação dos sistemas que trabalham com água após serem submetidos a temperaturas subzero ?

## **Item T17 SOLDAS DE PENETRAÇÃO PARCIAL**

**As juntas soldadas de penetração parcial devem ter uma folga na extremidade do tubo (“encosto”) de 1/16” e usar perfil plano.**

**Devem ser evitadas onde há risco de fadiga térmica.**

As juntas soldadas de penetração parcial têm folga na extremidade do tubo ?

### **Hot Tap Welding**

As soldas em operação são realizadas por profissional habilitado e de acordo com a N-2163 ?

## **Item T20 TRECHOS MORTOS**

**01 Abr 1996: uma refinaria da costa Oeste americana sofreu grandes perdas devido a corrosão por hidrossulfeto de amônia (NH<sub>4</sub>HS) altamente localizada, que não foi detectada num trecho morto de uma tubulação de uma unidade de hidrocessamento.**

**Os trechos mortos têm taxas e processos de corrosão diferentes da linha principal, requerendo planejamento de inspeção e métodos de detecção diferentes.**

**Muitos acidentes são provocados por falhas em trechos mortos de pequeno diâmetro. Os íons corrosivos do fluido concentram-se no condensado, além de provocar a evolução de bactérias. A vaporização do condensado provoca explosões e martelos hidráulicos.**

**Normas: API 570 e API 574.**

Você tem todos os trechos mortos identificados ?

O programa de inspeção contempla efetivamente a eliminação ou o controle dos trechos mortos e derivações inutilizáveis ?

## **DERIVAÇÕES**

Se o trecho morto não pode ser evitado, a tomada deve ser na geratriz superior (se o líquido é mais leve que a água).



## Item T25 JUNTAS DE VEDAÇÃO

Uma JV inapropriada rompeu na partida de uma HCU nos EUA, causando uma morte.

Uma junta espiralada numa refinaria da costa do golfo rompeu após seu anel interno ter sofrido fluência, causando fogo intenso.

Uma JV de um header de distribuição de vapor rompeu, derrubando todas as unidades de uma refinaria, causando um prejuízo de US\$2MM.

As juntas de grafite em alta temperatura reagem com o oxigênio e vapor, removendo a grafita.

Para gases liquefeitos inflamáveis deve-se usar espiralada (spiral wound gasket), pois restringem quaisquer vazamentos a um mínimo.

É feita uma seleção e qualificação das juntas de vedação e fornecedores ?

Especifica-se corretamente ?

- compatibilidade química e térmica com o meio ;
- acabamento compatível com a face;
- para LFG's, é usado spiral-wond gasket (reduz o tamanho do vazamento).

**Anel RTJ:**

Como a tensão no flange é muito elevada, alguns cuidados devem ser tomados para que o mesmo não seja danificado por excesso de esforço:

- devem ser confeccionados em aço carbono com  $C < 0,1\%$ ;
  - ser recozido após a usinagem;
  - os cantos da ranhura do flange devem ter raio de concordância adequado, conforme a B16.5.
- 
- A dureza é controlada em  $\leq 90$  HB ?
  - Não deve ser reutilizado: consta no procedimento ?

## Item T27 PONTOS DE INJEÇÃO

05 Mai 1988 ocorreu o maior desastre em refinarias da Shell devido a severa corrosão não detectada a jusante de um ponto de injeção.

O projeto requer envolvimento do processo e operação. O bico deve ser adequadamente especificado e no sentido *downstream*. Todos os pontos de injeção com potencial para corrosão devem ser identificados, inspecionados e acompanhados como partes separadas da tubulação. Deve haver um plano de controle, com inspeção periódica no sentido *downstream*, pois a água pode estabelecer um processo corrosivo e as gotículas de água um processo erosivo. As linhas quentes podem ser submetidas a processo de fadiga térmica.

Normas: API 570 e API 574.

Você sabe onde estão os pontos de injeção potencialmente corrosivos ?

Você tem eles documentados e programados para uma inspeção efetiva ?

## **Item T28 JUNTAS DE EXPANSÃO (bellows)**

**Um dos maiores acidentes na indústria de processo se deu por falha de projeto e suportação de uma junta de expansão, na indústria Flixborough, da Grã Bretanha, que explodiu e matou 28 pessoas.**

**JE em geral têm taxa elevada de falha, a maioria devido a problemas de instalação e algumas devido a especificação incorreta do material.**

**O projeto de tubulações altamente tensionada requer conhecimentos especializados, portanto, instalações provisórias com JE devem ser evitadas.**

**Não devem ser submetidas a esforços transversais (laterais). O aquecimento diferencial pode criar esforços transversais excessivos (principalmente em paradas e partidas).**

**A montagem requer cuidado. Preferencialmente devem ser isoladas para evitar danos por fogo e fadiga térmica.**

**Os tirantes devem estar justos. O trecho adjacente deve estar livre para absorver dilatação.**

**Para produtos perigosos deve ser evitada e substituída por loop.**

Utiliza procedimento de instalação adequado para juntas de expansão ?

Especifica corretamente os materiais para JE ?

## **Item T38 SISTEMAS DESATIVADOS**

**Uma Cia de petróleo desativou uma unidade e, por descuido, não removeu o produto de todas as linhas. Dezoito anos depois, uma linha foi deixada com HF e benzeno, corroeu e rompeu, causando queimaduras em 10 pessoas.**

**Tubulações desativadas são mais suscetíveis a corrosão interna, principalmente nos pontos baixos. O isolamento térmico deve ser removido para evitar taxas elevadas de corrosão externa. O ideal é removê-las da área.**

Você tem um programa de inspeção e manutenção, hibernação ou saneamento de tubulações desativadas aplicado efetivamente ?

## **RAQUETES**

**Raquetes posicionadas há muito tempo apresentam risco de vazamento, portanto, devem ser removidas para inspeção antes de serem utilizadas para bloqueio na manutenção.**

As raquetes têm controle que garanta espessura adequada ?

O Plano de Inspeção contempla o controle e a inspeção periódica das raquetes posicionadas permanentemente ?

Têm espessura compatível com a pressão e a corrosividade do fluido ?

## Item T42 EQUIPAMENTOS DA ZONA CINZENTA

Dois dos mais importantes acidentes da história recente da indústria se deram por falha em instrumentos.

Nem todas as tarefas podem ser automatizadas. Algumas vezes o operador precisa diagnosticar a ação de um alarme ou interpretar a indicação de um instrumento. A indicação incorreta de instrumentos levou ao acidente da Three Mile Island.

03/12/84, Bhopal, India: o vazamento de vapor de metil isocianato de um tanque se espalhou, causando 2.500 fatalidades e outros 25.000 acidentados. A contaminação com água provocou reações exotérmicas, que elevaram a temperatura do produto: o sistema de refrigeração não operou devido (provavelmente) a instrumento inoperante. O alívio liberou o vapor para o sistema do *flare*, que não suportou a vazão.

A instalação de sistema totalmente automático não remove a dependência do operador nem garante confiabilidade: em vez de confiar no operador, cria-se dependência com outros profissionais mais especializados ainda. E eles também erram.

Os componentes considerados críticos devem fazer parte do plano de inspeção programada.

“Zona cinzenta” são as classes de equipamentos e componentes que normalmente não são contemplados em planos de manutenção periódica de nenhuma atividade. Alguns exemplos: poços de termopares, filtros (líquido, gases, ar), válvulas de controle, válvulas de retenção, check-valves, placas de orifício, *sprays* de água, cortinas de vapor, *heating* de derivações (PSV e instrumentos) de sistemas congeláveis, válvulas para emergências, purgadores, drenos de PSV, raquetes, pontos mortos. Alguns desses já foram vistos em outros itens.

Os equipamentos críticos da “zona cinzenta” da planta são monitorados ?