

RODRIGO LISITA RIBERA

**EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA
E IMPLICAÇÕES NOS MODELOS DE PREVENÇÃO E
INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

2007

RODRIGO LISITA RIBERA

**EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA E
IMPLICAÇÕES NOS MODELOS DE PREVENÇÃO E
INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES**

Monografia apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos para obtenção do título de **ESPECIALISTA
EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO
TRABALHO**

Orientador: Prof. Dr. Rennan Billa

UBERLÂNDIA – MG

2007

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Oscar e Vera, pelo apoio incondicional.

Aos meus sogros, Dário e Maísa, pela descontração e alegria.

Ao professor Renan Billa, pela disponibilidade em orientar este trabalho.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Mecânica pelo suporte para realizar este Curso.

À FAU – Fundação de apoio universitário - pelo apoio financeiro

Na prevenção de acidentes, o fator importante é a incerteza: técnica, organizacional e social. É a incerteza que faz a engenharia difícil e desafiadora, e ocasionalmente leva a fracassos (MARAIS et al., 2004).

RIBERA, R. L. Evolução da engenharia de segurança e implicações nos modelos de prevenção e investigação de acidentes.

2007. 43 f. Monografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o de apresentar a evolução histórica da prevenção de acidentes e os modelos de causas de acidentes desenvolvidos. Partindo da apresentação da preocupação, ou pelo menos constatação, dos riscos da atividade laboral e do ambiente de trabalho para o homem no Egito, passando pela revolução industrial e início das legislações mais eficazes, os trabalhos pioneiros que deram início à administração clássica e comportamental, o modelo de Henrich para causas de acidentes e a segunda guerra mundial, que influenciou consideravelmente os modelos adotados atualmente, até o fortalecimento do foco comportamental e das teorias de acidentes organizacionais. Procurou-se demonstrar como estas teorias têm aspectos comuns, na medida em que evoluem de idéias básicas semelhantes e muitas vezes no mesmo período histórico. Ao final, três casos de acidentes são apresentados para ilustrar as idéias que permearam suas investigações.

RIBERA, R. L. **Evolution of the safety engineering and implications over accident's prevention and investigation.**

2007. 43 f., Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia

ABSTRACT

The purpose of this work is to present the historical evolution of the accident prevention and the accident causation models developed. Beginning with the worried, or at least the idea, of the work and environmental risks for humans in Egypt, through the industrial revolution and first efficient laws, the pioneer works which started the classic and behavioral administration, the Henrich model of accident causation and the second world war, which has considerably influenced the models used nowadays, until the growth of the behavioral safety and the organizational accidents theories. It's tried to show how these theories have common aspects, as they developed from similar ideas and, many times, in the same historical period. At the end, three accident cases are presented to illustrate the ideas which influenced their investigation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 ROBERT OWEN	5
FIGURA 2.2 MOINHOS DE ALGODÃO EM NEW LANARK	6
FIGURA 2.3 TEORIA DOS DOMINÓS DE HENRICH (ADAPTADO DE LEVESON, 2001)	11
FIGURA 2.4 A ABORDAGEM “FLY-FIX-FLY” (FONTE: KNOL, 2007)	16
FIGURA 2.5 A PIRÂMIDE DE BIRD	19
FIGURA 2.6 A PIRÂMIDE DA INSURANCE COMPANY OF NORTH AMERICA	20
FIGURA 2.7 MODELO DE PETERSEN DE ACIDENTE/INCIDENTE (ADAPTADO DE WINFIELD, 2003)	23
FIGURA 2.8 PORCENTAGEM DE REDUÇÃO DE DANOS (FONTE: GUASTELLO, 1993, APUDE WATERS E DUNCAN, 2001)	26
FIGURA 2.9 O ICEBERD DOS ACIDENTES E RISCOS (ADAPTADO DE: DOE, 2007B)	27
FIGURA 2.10 MODELO DE REASON (ADAPTADO DE ADAMS, 2006)	29

LISTA DE SÍMBOLOS

Siglas

ATSB: Australian Transport Safety Bureau;

BBS: behavior-based safety (segurança baseada no comportamento);

BST: Behavior Science Technology;

CIT: Critical incident technique (técnica de incidentes críticos);

DoD: Department of Defence (Departamento de defesa dos Estados Unidos);

EUA: Estados Unidos da América;

FAA: Federal Aviation Administration;

ICBM: intercontinental ballistic missiles (mísseis balísticos intercontinentais);

MIC: metil isocianeto;

OSHA: U.S. Occupational Safety and Health Administration;

USAF: United States Air force (força aérea dos Estados Unidos).

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	IV
RESUMO.....	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
CAPITULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
CAPITULO 2.....	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. <i>Riscos no Egito</i>	2
2.2. <i>Os pensadores gregos</i>	2
2.3. <i>Ulrich Ellenbog e Paracelso</i>	3
2.4. <i>Georg Agrícola</i>	3
2.5. <i>Ramazzini</i>	4
2.6. <i>A revolução industrial e as legislações trabalhistas</i>	4
2.7. <i>A abordagem clássica da administração</i>	8
2.8. <i>A abordagem comportamental da administração</i>	9
2.9. <i>O início da prevenção de acidentes</i>	10
2.10. <i>A Segunda guerra mundial</i>	12
2.10.1. A técnica de incidentes críticos (CIT).....	13
2.10.2. A Engenharia de Segurança de Sistemas	15
2.11. <i>Bird e o controle de perdas</i>	18
2.12. <i>Insurance Company of North América</i>	20
2.13. <i>Fletcher e o controle total de perdas</i>	20
2.14. <i>Outros dois modelos de causas de acidentes</i>	21
2.14.1. A teoria dos fatores humanos.....	21
2.14.2. Teoria de acidentes/incidentes de Petersen	22
2.15. <i>A Segurança baseada no comportamento</i>	23
2.16. <i>O modelo de Reason</i>	28
CAPITULO 3.....	30
ESTUDOS DE CASOS	30

3.1. Caso 1.....	30
3.2. Caso 2.....	31
3.3. Caso 3.....	32
CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	38

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é apresentar os modelos de segurança e teorias de causas de acidentes com uma perspectiva histórica, procurando compreender seus desenvolvimentos e relacionamentos com outros modelos e com o contexto em que surgiram.

Os modelos foram apresentados da forma que o autor entendeu ser a mais lógica e seqüencial, a partir de uma perspectiva evolutiva ao longo dos anos. Devido à dificuldade de encontrar as origens de alguns deles, futuras modificações na apresentação destas teorias podem ser necessárias.

Assim, a contribuição deste trabalho é a apresentação, de forma objetiva e contextualizada, de algumas teorias de prevenção e investigação de acidentes que surgiram ao longo dos anos, resultando nas modernas abordagens em uso pelos diversos setores industriais.

Além disso, três estudos de casos são apresentados para ilustrar a importância dos modelos adotados nos programas de prevenção praticados e as influências destas abordagens na análise de acidentes.

CAPITULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Riscos no Egito

O “Papiro Seller II”, um papiro egípcio do ano 2360 a.C., é o primeiro documento escrito conhecido que traz referências sobre o ambiente de trabalho e seus riscos. Em seu texto estão os seguintes dizeres: "Eu jamais vi ferreiros em embaixadas e fundidores em missões. O que vejo sempre é o operário em seu trabalho; ele se consome nas goelas de seus fornos. O pedreiro, exposto a todos os ventos, enquanto a doença o espreita, constrói sem agasalho; seus dois braços se gastam no trabalho; seus alimentos vivem misturados com os detritos; ele se come a si mesmo, porque só tem como pão os seus dedos. O barbeiro cansa os seus braços para encher o ventre. O tecelão vive encolhido – joelho ao estômago - ele não respira. As lavadeiras, sobre as bordas do rio, são vizinhas do crocodilo. O tintureiro fede a morrinha de peixe, seus olhos são abatidos de fadiga, suas mãos não param e suas vestes vivem em desalinho" (SOTO, 1978, apud ALBERTON, 1996).

Ainda no Egito, escavações arqueológicas localizaram fósseis humanos em galerias de minas com dimensões de 1 metro de altura por 0,80 m de largura, mostrando as precárias condições de trabalho que os escravos eram sujeitos (FERNANDES, 2007).

2.2. Os pensadores gregos

De acordo com Fernandes (2007), Aristóteles falou das enfermidades de trabalhadores de minas e das formas de tratá-las e Platão expôs deformidades do esqueleto típicas de determinadas profissões. Alberton (1996) afirma ainda que Hipócrates (460 a.c. –

377 a.c.), quatro séculos antes de Cristo, e Plínio (23 - 79), no início da era cristã, também trataram dos acidentes e doenças no trabalho.

Hipócrates definiu o saturnismo, doença que atingia trabalhadores da extração de metais, como envenenamento pelo chumbo, sendo provavelmente o primeiro médico a colocar enfoque no papel do trabalho, da alimentação e do clima como responsáveis por algumas doenças (SIMÕES, 2004). O saturnismo também preocupou Galeno e Avicena, que indicaram como causa de cólicas o trabalho com tintas a base de chumbo, e Plínio, que escreveu sobre o trabalho com o chumbo, apontando os males da doença (Saturnismo) e recomendando o uso de máscaras protetoras (FERNANDES, 2007).

2.3. Ulrich Ellenbog e Paracelso

Von den giftigen besen Tempffen und Reuchen, um panfleto sobre doenças ocupacionais em mineiros, escrito por Ulrich Ellenbog (1440-1499) por volta de 1473 e publicado em 1524, é o primeiro trabalho conhecido sobre higiene industrial e toxicologia. Também relacionado a mineradores, em 1533 foi escrita, por Theophrastus Philippus Aureolus Bombastus von Hohenheim (1493-1541), conhecido como Paracelso, a primeira monografia sobre as doenças de um grupo ocupacional (WHONAMEDIT, 2007). Paracelso se preocupou com doenças em mineradores e fundidores, estudando a toxicologia de vários metais pesados (HOOK, 1995), relacionando métodos de trabalho e substâncias manuseadas com doenças, além de tratar da silicose e de intoxicações por chumbo e mercúrio (ALBERTON, 1996).

2.4. Georg Agrícola

É somente no século XVI, com Georg Agrícola, que o trabalho foi definitivamente evidenciado como causador de doenças (MACIEL, 2001). Considerado o “pai” da mineralogia, Agrícola nasceu na Saxônia com o nome de George Bauer at Glauchau, sendo contemporâneo de Copérnico, Martinho Lutero e Leonardo da Vinci. Seu trabalho mais famoso, *De re metallica libri XII*, de 1556, é um tratado sistemático sobre mineração e metalurgia, em que o autor também mostra consciência ambiental, ao escrever sobre a extração de madeiras, que exterminavam os animais e pássaros que poderiam servir de alimentos ao homem, e a morte ou expulsão dos peixes devido ao envenenamento da água

durante o processo de lavagem dos minérios, dificultando a vida dos habitantes destas regiões (EXULANTEN, 2007).

Em *De re metallica*, são estudados problemas relacionados à extração de minerais argentíferos e auríferos e à fundição de prata e ouro, e discutidos ainda os acidentes de trabalho e as doenças mais comuns entre os mineiros, principalmente a “asma dos mineiros”, provocada, segundo Agrícola, por poeiras corrosivas (NOGUEIRA, 1981, apud ALBERTON, 1996), hoje identificada como a Silicose, doença dos pulmões causada pela inalação de poeiras que contenham sílica (MACIEL, 2001).

Em relação aos perigos no ambiente de trabalho, Agrícola estava anos à frente de sua época; recomendando o uso de luvas longas de couro para o trabalho com minerais agressivos, véu facial para proteger de poeiras perigosas e botas de cano longo para trabalhadores que permaneciam na água. Também recomendou que as minas tivessem semana de trabalho de cinco dias, com três turnos de oito horas por dia; sugerindo ainda que não se utilizasse o terceiro turno e que os mineiros não deveriam trabalhar dois turnos por dia, devido ao aumento no risco de lesões (EXULANTEN, 2007).

2.5. Ramazzini

Em 1700 é publicada “*De Morbis Artificum Diatriba*” (As doenças dos trabalhadores), obra considerada como marco inicial da medicina do trabalho, do médico italiano Bernardino Ramazzini (1633-1714) (VENDRAME, 1999). Ramazzini trata dos perigos para a saúde relacionados a 52 ocupações, entre as quais mineiros, oleiros, pedreiros, agricultores, enfermeiras e soldados (WHONAMEDIT, 2007), e acrescenta a pergunta “qual é a sua profissão?”, para identificar influências prejudiciais contidas no ambiente de trabalho (Mendes, 1995, apud MACIEL, 2001). Por ser o primeiro médico a examinar sistematicamente os efeitos do ambiente de trabalho na saúde humana, Bernardino é considerado o fundador da medicina ocupacional (HOOK, 1995).

2.6. A revolução industrial e as legislações trabalhistas

Em 1733, John Kay inventa a lançadeira volante, instrumento que era adaptado aos teares manuais para aumentar a capacidade de tecelagem, evento este apontado por alguns historiadores como o início da revolução industrial. James Hargreaves, em 1767, inventou a máquina de fiar, permitindo que os artesões fiassem até oitenta fios de uma única

vez, porém produzindo fios finos e quebradiços. Richard Arkwright inventou a *water frame* que, por ser movida a água, era mais econômica, mas produzia fios grossos. Samuel Crompton, em 1779, combinou estas duas máquinas, permitindo a produção de fios finos e resistentes. Com o excesso de fios, Edmond Cartwright, em 1785, inventa o tear mecânico, que necessitava de energia motriz mais constante que a hidráulica, necessidade suprida com o aperfeiçoamento da máquina a vapor, por James Watt. Com esta constante evolução, até metade do século XVIII, a tecelagem de lã era a principal indústria na Inglaterra, apesar da de algodão ter sido a primeira a se industrializar (LCC. 2007).

Com a invenção das primeiras máquinas de fiação e tecelagem, dá-se o surgimento das fábricas, originalmente instaladas em locais inadequados, tais como galpões, armazéns e estábulos desativados (FERNANDES, 2007).

A mão-de-obra, abundante e desqualificada, constituída principalmente de mulheres e crianças, colocada para trabalhar sob condições desumanas, sem ventilação, com ruídos elevados, equipamentos sem proteção, jornadas de trabalho indefinidas, iluminação inadequada e inexistência de instalações sanitárias, passou a sofrer com problemas ocupacionais e não ocupacionais, aumentando consideravelmente o número de doenças e acidentes (ALBERTON, 1996).

No início desta industrialização, com o intuito de reduzir custos das peças têxteis acabadas, era comum a contratação de crianças, pobres ou órfãs, como aprendizes. Esta prática foi iniciada pelo pai do primeiro ministro britânico Peel, Sir Robert Peel, dono de uma fábrica em Lancashire. As condições de trabalho eram tão ruins em suas fábricas que um surto de febre causou a morte da maior parte destas crianças; contudo, seus competidores também passaram a contratar aprendizes e Sir Robert, com medo de perder rendimentos e competitividade, era relutante em mudar suas práticas (BLOY, 2007).



Figura 2.1 Robert Owen



Figura 2.2 Moinhos de algodão em New Lanark

Em 1799, Robert Owen (1771-1858) (Fig. 2.1) e alguns sócios adquiriram a *Chorton Twist Company*, em *New Lanark*, Escócia, a maior empresa de fiação de algodão britânica. Na época, mais de 2000 pessoas viviam na vila de *New Lanark* (Fig. 2.2), construída pelo antigo dono, David Dale, e crianças com menos de cinco anos trabalhavam treze horas por dia. Owen construiu uma escola na vila, parou de contratar crianças menores de dez anos e reduziu a jornada de trabalho infantil para dez horas diárias. Assim, as crianças menores iam para os berçários e escolas infantis criadas por Owen e as mais velhas trabalhavam nas fábricas, mas estudavam parte do dia (SPARTACUS, 2007).

Owen acreditava que desta forma poderia formar uma nova forma de sociedade, baseada em sua convicção de que o ambiente, que podia ser controlado pelo homem, formava o caráter das pessoas. Mesmo com ações incomuns para a época, conseguiu prosperar em seu negócio (HOOK, 1995). Procurando difundir suas idéias, fez uma série de discursos, distribuiu panfletos pelo Reino Unido e persuadiu o ministro Peel a aprovar no parlamento britânico a “*Health and Morals of Apprentices Act*” ou “Lei de Moral e Saúde dos Aprendizes”, a primeira tentativa legal para modificar as condições de trabalho nas fábricas, focando principalmente nos aprendizes pobres (BLOY, 2007). As exigências do ato eram (WIKIPEDIA, 2007):

- os donos das fábricas devem obedecer à lei;
- as fabricas devem ser bem ventiladas e lavadas duas vezes por ano;
- as crianças devem receber duas mudas de roupas;
- o horário de trabalho das crianças deve começar depois das 6 Hrs., terminar antes das 21 Hrs. e não deve exceder 12 horas por dia;

- nos primeiros 4 anos de trabalho as crianças devem ter aulas de leitura, escrita e aritmética;
- crianças do sexo masculino e feminino devem ser colocadas em quartos separados;
- não deve haver mais de duas crianças por cama;
- aos domingos, as crianças devem receber uma hora de aula sobre religião cristã;
- os donos dos moinhos devem se responsabilizar por qualquer doença infecciosa.

A importância do ato reside no fato de ser a primeira tentativa de intervenção do Estado para proteger os trabalhadores e definir, legalmente, o que seria um dia normal de trabalho. Referia-se, porém, apenas aos aprendizes, não abrangendo as crianças livres (GRAÇA, 2000). A lei foi, assim, amplamente ignorada, mas possibilitou que novas regulamentações surgissem sobre o assunto (WIKIPEDIA, 2007).

Peel, em 1815, tenta apresentar uma nova legislação, procurando abranger todos os menores de idade, impor dez anos como idade mínima para o trabalho nas fábricas e jornada diária máxima de dez horas. Como muitos dos parlamentares ingleses também eram proprietários industriais, as propostas de Peel não foram bem recebidas, resultando somente na criação de comissões para estudar o assunto. No período entre 1802 e 1833 cinco leis relativas ao trabalho nas fábricas foram promulgadas sem, contudo, terem efeitos práticos (GRAÇA, 2000).

Em 1830 Robert Denham, proprietário de uma indústria têxtil, procurou o médico Robert Baker para desenvolver melhorias nas condições de trabalho e saúde de seus empregados (MACIEL, 2001). Em 1831, após diversas reuniões, entrevistas com peritos médicos, empregadores, encarregados e trabalhadores, crianças e adultos, uma comissão parlamentar, sob a chefia do deputado Michael Saddler (1780-1835), apresenta proposta de lei que serviu de base para a Lei das fábricas de 1833 e a criação do *Factory Inspectorate* (GRAÇA, 2000). O *Factory act* de 1833 pode ser considerado como a primeira legislação realmente eficiente no campo da proteção ao trabalhador (FERNANDES, 2007).

A partir de então novas leis vão surgindo, não somente na Inglaterra, mas também em outros países da Europa e nos Estados Unidos, ampliando a proteção dos trabalhadores pelo Estado. Entre alguns principais eventos neste desenvolvimento podem-se citar: a regulamentação, na França, da Higiene e Segurança do trabalho (1862); a criação da “Lei de indenização obrigatória dos trabalhadores”, na Alemanha (1865), que responsabilizava os empregadores pelo pagamento dos acidentes; a criação da primeira associação de higiene e prevenção de acidentes na Alemanha (1873); a promulgação da primeira lei de indenização dos trabalhadores nos Estados Unidos (1903); e a criação da Organização Internacional do trabalho, no ano de 1919, pelo tratado de Versalhes (FERNANDES, 2007).

2.7. A abordagem clássica da administração

Esta abordagem resulta do primeiro esforço concentrado para desenvolver um conjunto de teorias administrativas. Os pioneiros do estudo da administração buscavam o aumento da eficiência empresarial, com vistas a uma maior produção. Destes esforços, duas áreas distintas surgiram, a análise da administração de tarefas (que se preocupa com a melhor maneira de se realizar uma tarefa), em que se destacam Frederick W. Taylor, Frank e Lillian Gilbreth e Henry L. Gantt, e a análise da administração de funções, com Henri Fayol (CERTO, 2003).

Frederick W. Taylor (1856-1915), engenheiro norte americano, é comumente chamado, por suas contribuições, de “pai da administração científica” (MACIEL, 2001). Em 1878, na *Midvale Steel Company*, iniciou um estudo minucioso e científico do tempo necessário para execução de algumas espécies de trabalho (TAYLOR, 1990, apud MACIEL, 2001). Em 1896, passou a trabalhar na *Bethlehem Steel Works*, tendo como principal objetivo aperfeiçoar os métodos dos diversos setores da fábrica (MACIEL, 2001).

Taylor considerou que qualquer tarefa dos funcionários deveria ser reduzida a uma ciência. Assim, através de observações e experimentações, analisou o trabalho dos escavadores e elevou a eficiência destes, combinando o tamanho da pá utilizada, o tamanho do funcionário, o peso das matérias-primas, altura e distância que os materiais deveriam ser lançados. Em três anos, o total de escavadores necessários caiu de 600 para 140, a média de ganhos do trabalhador por dia subiu de U\$1,15 para U\$1,88 e o custo médio de manuseio de uma tonelada havia caído de 0,072 dólar para 0,033 (CERTO, 2003).

Frank Gilbreth (1868-1924) e Lillian Gilbreth (1878-1972), assim como outros colaboradores do método científico, buscavam a melhor maneira de se executar uma função, focando principalmente na atuação de pedreiros e deficientes. Para tal, utilizavam como ferramenta investigativa o estudo dos movimentos, cujo objetivo é reduzir cada tarefa aos movimentos mais básicos possíveis. Ainda hoje a análise do movimento é utilizada para estabelecer padrões de execução de tarefas (CERTO, 2003).

Henry L. Gantt (1861-1919) também estava interessado em aumentar a eficiência dos funcionários e considerou que o conhecimento científico do que o trabalhador era capaz de realizar deveria substituir a opinião, sendo este, de acordo com sua visão, o papel da administração científica. Ele procurou aperfeiçoar sistemas ou organizações através de inovações na maneira de se programar as tarefas e nas recompensas oferecidas. O principal instrumento de programação de tarefas por ele desenvolvido foi o gráfico de Gantt,

que fornece um resumo indicando qual tarefa foi programada para determinado prazo, quanto já foi realizado e por quem. Em relação às gratificações, desenvolveu um sistema em que os trabalhadores poderiam receber bônus adicional caso superassem sua cota diária, acrescentando ao pagamento por produção um adicional por superprodução (CERTO, 2003).

Henri Fayol (1841-1925) colocou como elementos da administração o planejamento, organização, liderança, coordenação e controle, abrangendo principalmente a eficiência empresarial, o tratamento das pessoas e adequada atitude administrativa (CERTO, 2003).

Pode-se perceber que o surgimento da administração científica representa um avanço considerável para a produção industrial. Os trabalhos de Taylor na *Midvale Steel Company* iniciaram no mesmo ano do *factory act* de 1878, na Inglaterra, que proibia o trabalho e tornava obrigatória a educação de crianças menores de dez anos e reduzia a jornada de trabalho feminino para 56 horas semanais (BLOY, 2007). Ainda assim, Milênio (2007) apresenta que, em 1883, em relato sobre seu trabalho, Thomas Clarke, um garoto de 11 anos, afirmou que as crianças que dormissem eram agredidas com golpes de cordas com nós, a jornada de trabalho começava às 5 da manhã e ia até as 9 da noite, mas para chegar à fábrica muitas se aprontavam às 3 horas da manhã e só retornavam às 10 da noite, havendo também trabalho noturno.

Certo (2003) apresenta que as limitações da abordagem clássica estão contidas no fato dela não enfatizar as variáveis humanas adequadamente, sem alterar significativamente áreas críticas como conflitos, comunicação, liderança e motivação. Se formos analisar o contexto histórico em que surgiu, certamente estes eram temas que estavam longe de ser prioridade aos trabalhadores da época.

2.8. A abordagem comportamental da administração

A origem da abordagem comportamental vem dos experimentos realizados (na linha de montagem e em laboratório) na fábrica de *Hawthorne Works of the Western Electric Company* (Chicago), entre os anos de 1924 e 1932. Os experimentos da linha de montagem, baseados na administração científica, tinham por objetivo determinar as condições de trabalho favoráveis à produção, em particular a relação entre iluminação e eficiência, através da análise de diferentes condições, tais como variações no clima, temperatura, períodos de descanso, horas trabalhadas e umidade. Para surpresa dos pesquisadores a produtividade aumentou, tanto no grupo teste quanto no grupo controle. Nas entrevistas que se seguiram para entender este comportamento, as razões

determinantes encontradas foram o fato das pessoas perceberem que participavam de um experimento importante, a formação de um grupo amigável entre elas e a liberdade que adquiriram com a supervisão (CERTO, 2003).

No experimento de laboratório realizado, o objetivo era analisar as relações sociais entre um grupo de funcionários durante a produção de relés. Assim, utilizando um programa de incentivos coletivo, em que os trabalhadores receberiam mais por peça produzida se todo o grupo trabalhasse arduamente, esperava-se que os próprios membros do grupo exercessem pressão para trabalhar mais arduamente. Novamente contrariando as expectativas, os pesquisadores perceberam que o grupo pressionava os funcionários mais rápidos para reduzirem seu ritmo, justamente os que teriam levado ao aumento de salário, mostrando que havia maior preocupação em manter a solidariedade do grupo do que aumentar o salário. Este comportamento levou os pesquisadores a concluir que os grupos sociais na empresa eram capazes de influenciar fortemente o comportamento individual (CERTO, 2003).

Com estes estudos, deu-se início o movimento das relações humanas, abordagem administrativa que enfoca nas pessoas, tendo por objetivo gerar relações humanas eficazes, ou seja, estímulo à alta produtividade e comprometimento dos funcionários para com a empresa e seus objetivos.

2.9. O início da prevenção de acidentes

No campo da segurança do trabalho, a mudança da filosofia de reparação de danos à saúde e integridade física dos trabalhadores para a filosofia de prevenção de acidentes começou a ficar caracterizada através dos estudos de H.W. Henrich. Em 1926, trabalhando numa companhia americana de seguros, ele observou o alto custo representado pela reparação de danos decorrentes de acidentes e doenças do trabalho (DE CICCIO, 1997). Como superintendente assistente de engenharia e inspeção da *Travelers Insurance Company*, analisou aproximadamente 75.000 acidentes até o ano de 1931 (SCFAZ, 2004), procurando obter informações relativas a gastos adicionais das empresas, além dos referentes às indenizações pagas pela seguradora (ALBERTON, 1996).

Em 1931 Henrich apresentou os dados de sua pesquisa, chegando à relação de 4:1 entre os custos indiretos (gastos adicionais da empresa, além das indenizações pagas pelo seguro) e diretos (gastos da companhia seguradora com a liquidação de acidentes) para a média indústria americana (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1994). De acordo com Alberton

(1996) os termos custo direto e custo indireto foram substituídos, respectivamente, por custo segurado e custo não segurado a partir dos trabalhos de Simmonds, em 1947.

Henrich também introduziu a idéia de acidentes sem lesão, passando a considerar os eventos que comprometiam o andamento normal de uma atividade (ALBERTON, 1996), sendo considerado por isso o precursor ou pai do prevençãoismo (DE CICCIO, 1997). Como resultado de sua investigação, criou o triângulo da segurança (SCFAZ, 2004), que apresenta a relação de 1:29:300, ou seja, para cada lesão incapacitante haviam 29 lesões não incapacitantes e 300 acidentes sem lesão (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1994).

Henrich apresentou assim uma teoria para as causas de acidentes conhecida como teoria do dominó de Henrich (Fig. 2.3), argumentando que 88% de todos os acidentes eram causados por atos inseguros das pessoas, 10% por condições inseguras e 2% por “ato de Deus”. De acordo com esta teoria, uma seqüência de cinco fatores, cada um sendo considerado um acidente, deve atuar para resultar em dano (OR-OSHA, 2007). Assim, o acidente é ilustrado de forma semelhante a uma seqüência de dominós, em que o primeiro dominó (evento) inicia a seqüência de acidentes; quando ele cai, derruba o próximo e assim sucessivamente até que o último dominó, que representa o dano, seja derrubado (Oakley, 2007). Se qualquer um dos fatores for retirado, a seqüência de eventos que leva a danos ou ferimentos é interrompida (UNIVERSAL-MANAGER, 2007).

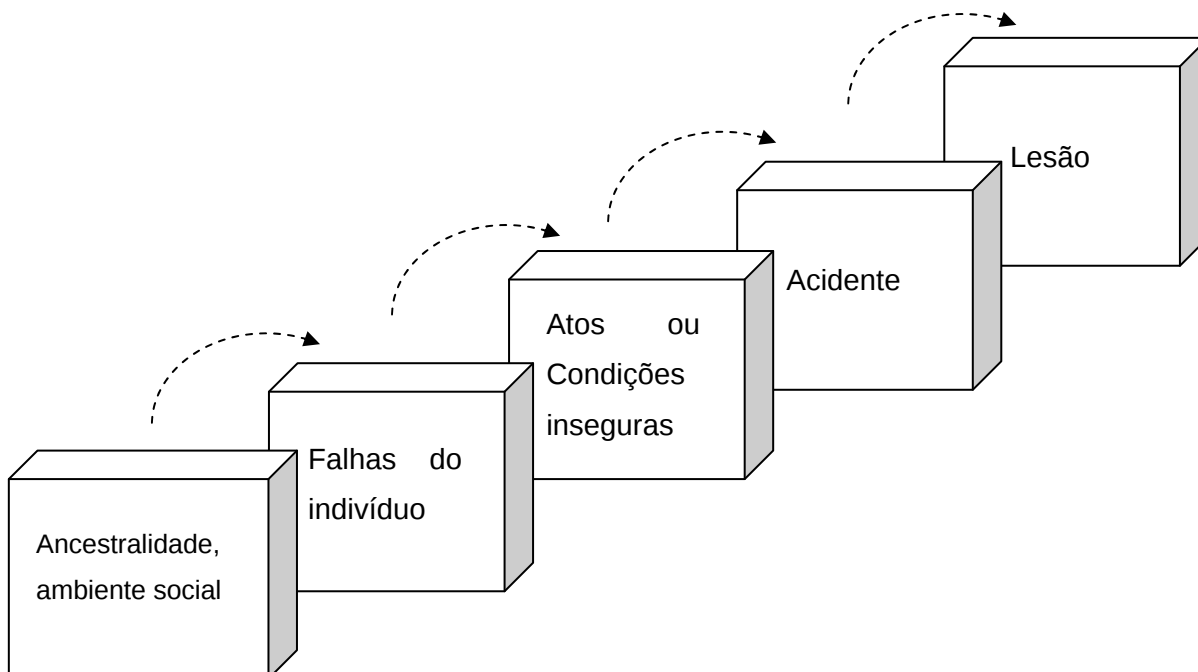


Figura 2.3 Teoria dos dominós de Henrich (adaptado de LEVESON, 2001)

De acordo com sua teoria, a pessoa responsável pelo controle de perdas deveria se interessar pelos cinco fatores, mas se preocupar primariamente com os acidentes e as

causas próximas a ele. Desta forma, os fatores predecessores (atos e condições inseguras) deveriam receber maior atenção (VAUGHAN, 2006).

A idéia dos acidentes como uma relação de seqüências predeterminadas de eventos alterou o foco das investigações, passando das condições para os eventos envolvidos. Representa assim uma mudança na busca do entendimento do fenômeno, para uma filosofia de seqüência de eventos que ocorreram, fornecendo os pilares para o que tem sido conhecido como os "Axiomas da segurança industrial", que frequentemente servem de base para outras filosofias (WINFIELD, 2003). Os axiomas de Henrich para a segurança industrial são (HANNON, 2007; GOETSCH, 2002, apud WINFIELD, 2003):

- 1 – lesões resultam de uma série de fatores predecessores. Uma causa inicial pode ser encontrada para a maior parte dos acidentes;
- 2 – acidentes ocorrem como resultados de atos ou condições inseguras;
- 3 – a maior parte dos acidentes pode ser atribuída a comportamentos inseguros;
- 4 – atos ou condições inseguras nem sempre resultam em acidentes ou lesões imediatas;
- 5 – entender porque as pessoas cometem atos inseguros ajuda a estabelecer referências para ações corretivas;
- 6 – a severidade da lesão é amplamente fortuita, e o acidente que causa lesão pode ser prevenido;
- 7 – as melhores técnicas de prevenção de acidentes são análogas as de qualidade e produtividade;
- 8 – a administração deve assumir as responsabilidades pela segurança;
- 9 – o supervisor é essencial na prevenção de acidentes industriais;
- 10 – o custo de acidentes deve incluir tanto custos diretos quanto indiretos.

É interessante notar que a teoria de Henrich, apresentada em 1931, e que coloca grande parte da responsabilidade dos acidentes nos fatores humanos, é contemporânea aos estudos em *Hawthorne* (1924-1932), que deram origem à abordagem comportamental na administração, que passa a enfocar a atitude das pessoas na eficiência da empresa.

2.10. A Segunda guerra mundial

Com a Segunda guerra mundial, e a necessidade de grande quantidade de trabalhadores em produção ativa, o movimento prevencionista ganha força, pois a

capacidade industrial dos países em luta passou a ser vista como ponto crucial para obtenção da vitória (ALBERTON, 1996). Muitos dos desenvolvimentos desta época, portanto, tiveram origens militares e somente passaram a ter aplicações civis muitos anos depois, como foi o caso da engenharia de segurança de sistemas.

2.10.1. A técnica de incidentes críticos (CIT)

A técnica de incidentes críticos consiste numa série de procedimentos para coletar observações diretas do comportamento humano, de forma que facilite sua potencial utilidade na resolução de problemas práticos. Os incidentes observados, para serem coletados, devem possuir especial significado e obedecer a um critério sistematicamente definido. Surgiu como resultado de uma série de estudos, iniciados por Flanagan e colaboradores em 1944, no programa de psicologia da aviação da força aérea dos Estados Unidos (USAF), que foi estabelecido no verão de 1941 para desenvolver procedimentos de seleção e classificação de pilotos (FLANAGAN, 1954).

De acordo com o *American Institute for Research* (1998), apud Lambrecht (1999), o artigo de Flanagan, "*The Critical Incident Technique*", de 1954, é considerado pela "*Society of Industrial and Organizational Psychology*" como o mais frequentemente citado nas áreas de psicologia industrial/organizacional. É importante citar que o *American Institute for Research* foi fundado no final da guerra, por parte dos psicólogos que haviam participado do programa de psicologia da aviação da USAF, sendo uma organização científica e educacional sem fins lucrativos, e que, através de seus dois primeiros estudos, realizados em 1947, a técnica foi desenvolvida de maneira mais formal e batizada oficialmente (FLANAGAN, 1954).

Um incidente é definido como qualquer atividade humana observável, suficientemente completa para permitir inferências e predições sobre a pessoa que executa a ação. Para ser crítico, o incidente deve ocorrer numa situação em que o objetivo ou intenção do ato seja claro para o observador e suas conseqüências sejam suficientemente definidas para não deixar dúvidas relativas a seus efeitos (FLANAGAN, 1954).

A técnica possui cinco passos principais: 1)descrever as funções gerais da atividade; 2) planejamento e especificações; 3) coleta de dados; 4) análise dos dados e 5) interpretação dos dados e apresentação dos resultados (FLANAGAN, 1954, apud BUTTERFIELD et al., 2005).

Para entender as funções gerais de uma atividade (primeiro passo), devem-se buscar respostas a duas perguntas: 1) qual o objetivo da atividade; e 2) o que a pessoa que executa a atividade espera conseguir. No segundo passo, planejamento e especificações,

instruções precisas e específicas devem ser fornecidas aos observadores, de forma que todos estejam trabalhando de acordo com as mesmas regras (BUTTERFIELD et al., 2005).

O terceiro passo, coleta de dados, pode ser executado através de observadores assistindo as pessoas na execução da tarefa analisada ou através da lembrança de incidentes extremos que ocorreram (FLANAGAN, 1954).

Apesar de apresentar a possibilidade de obter os dados através da descrição de fatos lembrados, o artigo original de Flanagan é escrito da perspectiva de observadores treinados ou experientes coletando observações do comportamento humano. No caso de dados lembrados, podem-se executar entrevistas individuais, entrevistas em grupo, questionários, texto narrativo ou *check-list* com as atividades mais prováveis de serem observadas (BUTTERFIELD et al., 2005).

O quarto passo, que envolve a análise dos dados, é considerado o mais importante e difícil. O objetivo é criar um esquema de categorização que resuma e descreva os dados de forma útil, sem, contudo, perder sua especificidade e utilidade. No quinto e último passo deve-se discutir as limitações, explicitar a natureza dos julgamentos realizados e enfatizar o valor dos resultados obtidos (BUTTERFIELD et al., 2005).

Um dos estudos realizados utilizando esta técnica enfatizava a importância de relatórios sobre desempenho, realizados por observadores competentes, entre 1943-1944, buscando razões para falhas em missões de bombardeamento. A tabulação sistemática das informações obtidas serviu de base para uma série de recomendações que resultaram em importantes mudanças nos procedimentos de seleção e treinamento da força aérea. No verão de 1944, uma série de estudos foi planejada para avaliar problemas de liderança em combate, sendo o primeiro esforço sistemático de grande escala para obter incidentes específicos de comportamentos eficazes e ineficazes de uma determinada atividade. Resultou numa definição relativamente objetiva de liderança efetiva em combate, chamada de “requisitos críticos” para a liderança em combate (FLANAGAN, 1954).

Outro estudo importante envolveu a questão de desorientação durante o voo, definida como qualquer experiência relativa à incerteza da posição espacial em relação à vertical. Pedia-se aos pilotos que retornavam de combate para pensar em alguma ocasião durante o voo em que haviam sentido desorientação ou vertigem. Em seguida, pedia-se que descrevessem o que eles haviam visto, escutado ou sentido. O estudo resultou em diversas recomendações relativas a modificações no *cockpit*, no painel de instrumentos e no treinamento dos pilotos (FLANAGAN, 1954).

Um estudo conduzido por Fitts e Jones, em 1946, coletou descrições de experiências específicas de pilotos durante a decolagem, vôo com instrumentos, aterrissagem e uso dos controles, resultando em um plano de pesquisa para o projeto de instrumentos e controles e seu arranjo no *cockpit* (FLANAGAN, 1954). Fitts e Jones demonstraram como características do *cockpit* sistematicamente influenciavam erros cometidos pelos pilotos, tais como a confusão entre os comandos de flap e de trem de pouso, que eram geralmente semelhantes e colocados próximos um do outro, e a troca entre os comandos de bordo, que mudavam de posição em diferentes *cockpits* (DEKKER, 2005).

Outra aplicação importante foi realizada por Herzberg et al. (1959), para estudar motivação no trabalho (BUTTERFIELD et al., 2005).

Atualmente o *American Institute for Research* (1998) define o CIT como “uma série de procedimentos para identificar sistematicamente comportamentos que contribuem para o sucesso ou falha de indivíduos ou organizações em situações específicas” (LAMBRECHT, 1999).

Podemos perceber nas aplicações da técnica a noção de eventos que não resultaram em acidentes, mas que foram considerados importantes e dignos de estudos e até alterações de projeto ou treinamento. Assim, apesar de não haver a menção ao termo quase acidentes, a idéia já permeava e influenciava Flanagan, Fitts, Jones e os demais desenvolvedores da técnica.

Apresentando exemplo de sua aplicação por Willian E. Tarrants, na fábrica da *Westinghouse* de Baltimore, Maryland, Estados Unidos, De Cicco e Fantazzini (1994, p.86) concluem que “... permite identificar e examinar os problemas de acidente antes do fato, ao invés de depois do fato, em termos de suas conseqüências com danos à propriedade ou produção de lesões”

2.10.2. A Engenharia de Segurança de Sistemas

A teoria de sistemas tem suas origens nos anos de 1930 e 1940, como resposta às limitações das técnicas de análise clássicas em lidar com o surgimento de sistemas cada vez mais complexos. Ludwig von Bertalanffy, que fez aplicações à biologia, foi quem sugeriu que estas idéias que surgiam em diferentes áreas poderiam ser combinadas numa teoria geral de sistemas. A abordagem foca no sistema considerado como um todo, assumindo que algumas de suas propriedades, que surgem da relação entre as partes, somente podem ser tratadas adequadamente em sua integralidade, levando em conta desde aspectos sociais a técnicos (LEVESON, 2002).

Durante e após a segunda guerra mundial a tecnologia evoluiu de maneira bastante rápida, de forma que os engenheiros tinham que projetar e construir sistemas cada vez mais complexos. Assim, principalmente dos esforços advindos dos programas militares nos anos de 1950 e 1960, surge à engenharia de sistemas (LEVESON, 2002).

A segurança de sistemas é uma especialidade da engenharia de sistemas que apóia o programa de gerenciamento de riscos, sendo a aplicação de princípios, critérios e técnicas administrativas e de engenharia para aperfeiçoar a segurança, identificando, controlando ou eliminando riscos através de projetos ou procedimentos (FAA, 2000).

A força aérea americana (USAF) foi quem primeiro a praticou. Historicamente a culpa pela queda de aviões era, na maior parte das vezes, atribuída a erros do piloto (assim como na indústria os atos inseguros eram comumente responsabilizados pelos acidentes). Com o início do desenvolvimento de mísseis balísticos intercontinentais (ICBM – *intercontinental ballistic missiles*), nos anos de 1950, não havia pilotos para culpar quando os mísseis explodiam durante os testes. As investigações das perdas sofridas revelaram deficiências na administração, projeto e operação, levando a USAF a perceber que a abordagem tradicional, de “fly-fix-fly” (Fig. 2.4), não produzia resultados aceitáveis (devido aos custos e ramificações geopolíticas), adotando então a segurança de sistemas, com o objetivo de prevenir os acidentes antes de sua primeira ocorrência (CLEMENS e SIMMONS, 1998).

De acordo com Leveson (2003), o termo segurança de sistemas foi provavelmente utilizado pela primeira vez no artigo de C.O. Miller, “*Applying Lessons Learned from Accident Investigations to Design Through a Systems Safety Concept*”, apresentado em um seminário da *Flight Safety Foundation*, em 1954.

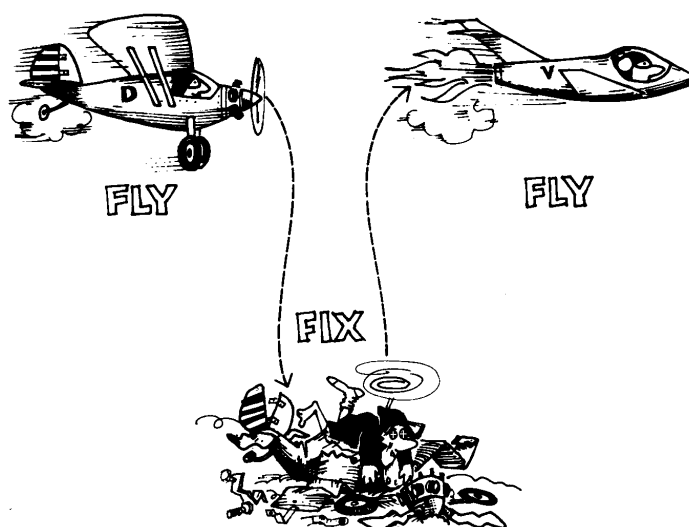


Figura 2.4 A abordagem “fly-fix-fly” (Fonte: KNOL, 2007)

Na abordagem “*fly-fix-fly*” são conduzidas investigações para reconstruir as causas do acidente e ações são tomadas para prevenir ou minimizar acidentes com causas semelhantes, eventualmente resultando em padrões, códigos de prática ou normas regulamentares (LEVESON et al., 2004).

O primeiro sistema de armas a ter um programa de segurança de sistemas como obrigação formal contratual foi o Minuteman ICBM, de 1962. Durante a década de 60, muita ênfase foi dada à segurança de sistemas nos programas de desenvolvimentos de armas, devido às poucas oportunidades para testes e inaceitáveis conseqüências de potenciais acidentes. Assim, em 1966, a USAF desenvolveu sua primeira especificação de segurança de sistemas (MIL-S-38130A), transformada, pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (DoD) em 1969, na MIL-STD-882 (Programa de segurança de sistemas e subsistemas associados e equipamentos: requisitos). Em 1993 um único documento, MIL-STD-882C, foi criado para a força aérea e o departamento de defesa, incorporando segurança de software aos demais objetivos de segurança (CLEMENS e SIMMONS, 1998). As normas militares, com a intenção de serem substituídas por normas comerciais, foram abolidas em 1994, mas a ausência e a necessidade de uma norma de segurança de sistemas levaram à reedição de uma versão mais branda da STD-882 (LEVESON, 2003).

Em 1967, após a morte de três astronautas durante testes com a cápsula de lançamento do projeto Apollo, na Flórida, EUA, a NASA iniciou um programa de segurança de vôos espaciais tripulados (*NASA Manned Flight Safety Program*), contratando o engenheiro Jerome Fox Lederer para coordená-lo (que acabou por se tornar, entre 1970-1972, diretor de segurança de todas as atividades da NASA) (ROSENKRANS, 2004). O programa espacial foi a segunda maior área a adotar abordagens de segurança de sistemas de maneira coordenada. O acidente com a Apollo alertou a NASA e seus comissionados, tais como a *General Electric Company*, a desenvolver novas políticas e procedimentos, até então baseados na segurança industrial tradicional, que posteriormente acabaram por se tornar modelos para as atividades da aviação civil (LEVESON, 2003).

Lederer (1968), apud Leveson et al. (2004), tratando da segurança de sistemas, escreveu: “segurança de sistemas cobre todo o espectro do gerenciamento de riscos. Ela vai além de aspectos físicos e procedimentos associados à engenharia de segurança de sistemas. Ela envolve: atitude e motivação dos projetistas e pessoas envolvidas na produção, comprometimento dos empregados e administradores, relacionamento das associações industriais entre si e com o governo, fatores humanos na supervisão e controle de qualidade, interesse e comprometimento da alta administração, os efeitos do sistema legal nas investigações e trocas de informação sobre acidentes, a certificação de

trabalhadores críticos, considerações políticas, recursos, sentimento público e muitas outras influências não-técnicas, mas vitais para o alcance de um nível de controle de riscos aceitável. Estes aspectos não-técnicos da segurança de sistemas não podem ser ignorados”.

Em 1972 Willie Hammer, engenheiro e especialista em segurança de sistemas, com experiência na força aérea e nos programas espaciais norte-americanos, publicou o livro “*Handbook of System and Product Safety*”, trazendo para as áreas civis as técnicas desenvolvidas pela engenharia de sistemas (DE CICCIO E FANTAZZINI, 1994).

A principal vantagem dos programas de segurança de sistemas, quando comparados aos programas de segurança tradicionais das indústrias, é a consideração, nos estágios iniciais do projeto, dos perigos que serão encontrados durante todo o ciclo de vida. Além disso, por se basear em análises, e não somente em experiências passadas e padrões, permite ser aplicada ao desenvolvimento de novos produtos, em que tanto dados históricos quanto padrões podem não existir (CLEMENS e SIMMONS, 1998).

2.11. Bird e o controle de perdas

Os trabalhos de Bird e German ajudaram a expandir o programa de segurança nas indústrias, passando a incluir também os danos à propriedade, e preenchendo a lacuna entre prevenção de acidentes e prevenção total de acidentes, na medida em que evidenciou que acidentes que não levavam a danos pessoais eram ignorados como quase-perdas (*near-misses*), mesmo indicando perigos potenciais e custando milhares de dólares (POPE, 2007).

A *Luckens Steel*, empresa siderúrgica da Filadélfia, após nomear um diretor de segurança e bem-estar, reduziu o coeficiente de frequência, no período de 1915-1954, de 90 para 2 acidentes pessoais por milhão de horas-homem trabalhadas. Contudo, a redução dos acidentes com danos à propriedade não foi significativa, o que levou a empresa a incorporá-los, em 1956, ao seu programa de prevenção de lesões. No período de 1954-1959, o departamento de segurança estabeleceu controle de medições dos custos, preparou programas e informou à gerência os danos à empresa decorrentes de acidentes materiais (ALBERTON, 1996).

Em razão dos resultados satisfatórios obtidos, a *Luckens Steel* adotou como referência para os anos subsequentes o ano de 1959. Assim, Frank Bird Jr realizou uma investigação e apresentou como resultado um custo de acidentes com danos à propriedade, em 1959, de U\$325.545,00 por milhão de horas-homem trabalhadas (DE CICCIO e

FANTAZZINI, 1994). Bird inicia então seu programa de controle de danos, com base na idéia de que a empresa deveria se preocupar não somente com os danos aos trabalhadores, mas também com os danos às instalações, aos equipamentos e aos seus bens em geral (DE CICCIO, 1997). Tendo como aspectos básicos a informação, investigação, análise e revisão do processo, o controle de danos permitiu que o custo dos danos à propriedade caísse, em 1965, para U\$ 137.832,00 por milhão de horas-homem trabalhadas, obtendo-se uma redução em relação ao ano-base (1959) de U\$187.713,00 (ALBERTON, 1996).

Da incorporação dos acidentes com danos à propriedade ao programa de segurança, em 1956, até o ano de 1966, houve redução de 50% da taxa de gravidade dos acidentes, mas não houve diminuição significativa da taxa de frequência. No período 1959-1966, também devido ao programa de controle de danos, foram analisados 75.000 acidentes com danos à propriedade e 15.000 acidentes com lesão, sendo 145 incapacitantes. Estes 90.000 acidentes analisados levaram Bird a obter a proporção de 1:100:500, ou seja, para cada lesão incapacitante haviam 100 lesões não incapacitantes e 500 acidentes com danos à propriedade (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1994).

Assim, Bird desenvolveu a estrutura piramidal de incidentes, conhecida como pirâmide da segurança (Fig. 2.5), amplamente utilizada pelos profissionais de saúde e segurança, e que mostra a alta taxa de danos materiais para cada acidente com lesão que ocorre (OKTEM, 2003). De acordo com Alberton (1996), Bird também estabeleceu a relação de 6,1:1 entre os custos não segurados e os segurados.

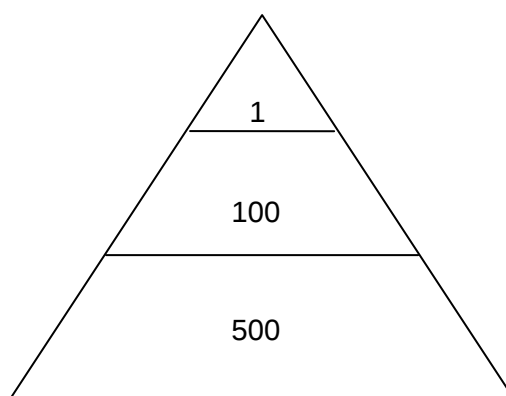


Figura 2.5 A pirâmide de Bird

No ano de 1965, um antes de Bird apresentar sua proporção, o Conselho nacional de Segurança dos E.U.A concluiu que a perda com acidentes materiais e pessoais de dois anos eram praticamente equivalentes, com valores de U\$7,2 e U\$7,1 bilhões, respectivamente. Além disso, concluiu que as perdas por acidentes com danos materiais

nas empresas no ano de 1965 (US\$2,8 bilhões) eram quase o dobro das perdas com danos materiais em acidentes de trânsito no ano de 1964 (US\$1,5 bilhões) (ALBERTON, 1996).

2.12. Insurance Company of North América

No ano de 1969 a *Insurance Company of North América* publicou um resumo estatístico referente à análise de 1.753.498 casos informados por 297 empresas que empregavam 1.750.000 trabalhadores, amostra esta que permitiu a obtenção de dados mais precisos que os de Bird e Henrich. A proporção obtida foi de 1:10:30:600, ou seja, para cada acidente com lesão grave haviam dez acidentes com lesão leve, 30 com danos à propriedade e 600 quase acidentes (Fig. 2.6) (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1994). A inclusão de um novo fator, os quase acidentes, é de grande importância, pois revelam situações com risco potencial para causar danos tanto materiais quanto pessoais (ALBERTON, 1996). Assim, a pirâmide de acidentes ganha uma nova base.

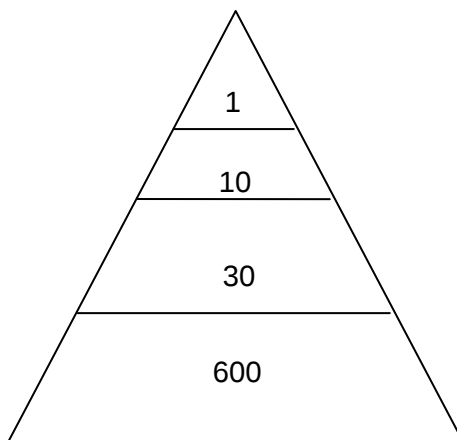


Figura 2.6 A pirâmide da Insurance Company of North America

2.13. Fletcher e o controle total de perdas

Continuando o trabalho de Bird, o canadense John Fletcher propõe, em 1970, um programa que tratasse de todo e qualquer tipo de evento que interferisse no processo produtivo, o controle total de perdas (ALBERTON, 1996), incluindo ações de prevenção de lesões, danos a equipamentos, instalações e materiais, incêndios, explosão, roubo, vandalismo, poluição da água, do ar, do solo, doença ocupacional ou defeito do produto (POPE, 2007). Fletcher parte do pressuposto, também utilizado por Bird, de que os

acidentes têm as mesmas causas básicas, quer resultem em danos materiais ou pessoais (DE CICCIO e FANTAZZINI, 1985, apud PASSOS, 2003).

Conforme apresenta Oktem (2003), quase-perdas (representando o termo *near-misses*), pode ser entendido como os incidentes e observações da base da pirâmide de segurança. A definição utilizada pelo *Risk Management and Decision Processes Center of the Wharton School of the University of Pennsylvania (Wharton Risk Center)* é:

“Quase perda é uma oportunidade de melhorar a segurança, saúde e aspectos ambientais de uma operação baseada numa condição ou incidente com potencial para consequências mais sérias.”

Ainda de acordo com Oktem (2003), o “*The Wharton Risk Center*” conduziu um estudo relativo às práticas de quase-perdas em indústrias de processo químico relativas às questões de segurança, saúde e meio ambiente. Funcionários de vários níveis foram entrevistados, sendo quase-perda definida como “incidentes e observações com o potencial de causar consequências mais sérias”; consequência engloba danos a empregados, a propriedade, ao ambiente ou interrupção do negócio. Como resultados, um sistema de gerenciamento baseado em quase-perdas foi desenvolvido por Phimister et al (2001).

É interessante notar a semelhança entre as definições de *near-misses* e a aplicação do método descrito por Oktem (2003), com a técnica de incidentes críticos apresentada por Flanagan em 1954 e por De Cicco e Fantazzini (1994), empregando entrevistas para identificar condições com potenciais de perdas.

2.14. Outros dois modelos de causas de acidentes

2.14.1. A teoria dos fatores humanos

Fatores humanos se referem aos fatores ambientais, organizacionais e relativos ao trabalho, e às características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho, de uma forma que possam afetar a saúde e segurança (SHAW, 2002).

A teoria pode ser compreendida como “a aplicação de dados científicos para fazer o mundo compatível com as habilidades humanas, ajustando os produtos às capacidades sensoriais, de informação, processamento e motoras, sendo uma mistura de psicologia e engenharia” (GREEN, 2003).

Durante a segunda guerra mundial, com a aplicação sistemática e de maneira coordenada de tecnologia e ciências humanas, profissionais de diversas áreas, tais como fisiologistas, psicólogos, médicos e engenheiros, passaram a estudar conjuntamente os problemas que surgiam da operação de equipamentos militares complexos (DEAN, 2003).

Após a guerra, este grupo interdisciplinar decidiu formar uma sociedade preocupada com os aspectos humanos do ambiente de trabalho. Em 1950 nasce a *Ergonomics Research Society* (atualmente *Ergonomics Society*). A palavra ergonomia foi proposta pelo Professor K.F.H. Murrell, derivada do grego “ciência do trabalho”. Nos Estados Unidos, ocorreram desenvolvimentos análogos, levando à formação da *Human Factors Society* (atualmente *Human Factors and Ergonomics Society*), em 1957 (EDWARDS, 1988, apud ADAMS, 2006).

Na visão dos fatores humanos, acidentes são causados por falhas ativas ou condições latentes, que podem levar a erros ou violações humanas. Falhas ativas geralmente envolvem o pessoal de linha, têm conseqüências imediatas, podem ser modeladas com ferramentas de fatores humanos e são relativamente fáceis de prever e alterar por projetos e treinamentos. Condições latentes são definidas por pessoas distantes das atividades operacionais (projetistas, administradores), incluem a cultura, projeto da planta ou sistema e falhas de treinamento ou supervisão; tendem a não aparecer até a ocorrência de um evento, podendo levar a falhas latentes (que também podem ocorrer com a combinação de várias condições latentes) (SHAW, 2002).

Os três fatores gerais da teoria de fatores humanos que levam ao erro humano são: sobrecarga, respostas inapropriadas e atividades inapropriadas (HAWKINS, 2001, apud WINFIELD, 2003).

Fatores ambientais (ruídos, distrações), fatores internos (problemas pessoais, estresse emocional) e fatores situacionais (instruções confusas, níveis de risco), são classificados como sobrecarga. Detectar o perigo e não corrigi-lo, remover dispositivos de segurança de máquinas e equipamentos e ignorar a segurança são classificados como respostas inapropriadas. Executar tarefas sem o treinamento adequado e avaliar erroneamente o grau de risco envolvido na execução de alguma tarefa são classificados como atividades inapropriadas (NEWMAN, 2007).

2.14.2. Teoria de acidentes/incidentes de Petersen

A teoria de acidentes/incidentes, ou teoria de Petersen (Fig. 2.7), é uma extensão do modelo de causas de acidentes por fatores humanos. Dan Petersen introduziu elementos adicionais, tais como armadilhas ergonômicas, decisão de errar e falhas sistêmicas, de forma que erros humanos passam a ser causados por sobrecarga, armadilhas ergonômicas ou decisão de errar (WINFIELD, 2003).

Os componentes que englobam a sobrecarga passam a ser: pressão, fadiga, motivação, drogas, álcool e preocupações. Armadilhas ergonômicas incluem estações de trabalho incompatíveis (dimensões, capacidade física requerida, etc.) e expectativas

incompatíveis. Decisão de errar engloba julgamento errado dos riscos, desejo inconsciente de errar e decisões lógicas baseadas na situação (HANNON, 2007).

Assim, a ocorrência do acidente é resultado da combinação de falhas do sistema (falhas na política de segurança, responsabilidade, treinamento, inspeção, correção e padrões adotados) e erro humano, levando a danos (NEWMAN, 2007).

Esta noção de acidentes causados por falhas sistêmicas devido à administração, introduzida por Petersen na década de 1970 (HURNS, 2007), é um importante passo na identificação da relação causal entre decisões/comportamento administrativos e segurança. A administração tem importância em todas as hierarquias, sendo responsável por determinar as políticas, responsabilidades, treinar os empregados, acompanhar os treinamentos, reforçar as políticas com inspeções para garantir comprometimento e, finalmente, reforçar os padrões com ações corretivas. Acidentes ocorrem sempre que a atenção da administração está fora deste sistema (WINFIELD, 2003).

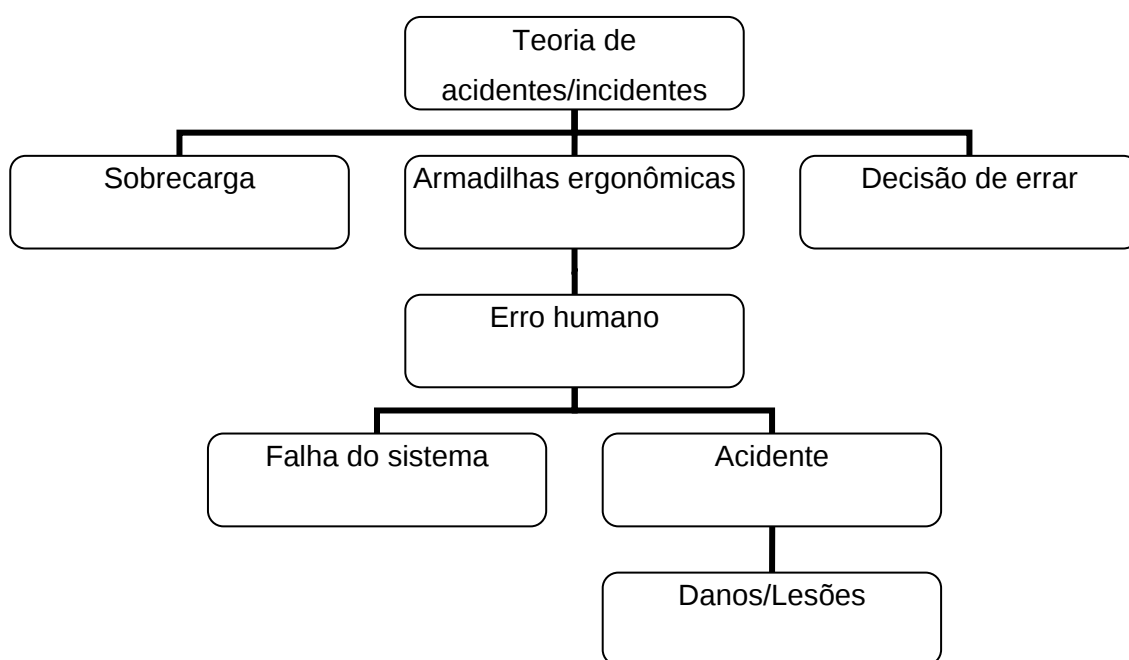


Figura 2.7 Modelo de Petersen de acidente/incidente (adaptado de WINFIELD, 2003)

2.15. A Segurança baseada no comportamento

Comportamento seguro (*Behavioral safety*), ou segurança baseada no comportamento (*behavior-based safety*, BBS), é o uso da psicologia comportamental para promover a segurança (MCSWEEN, 2007). Mais especificamente, é um método que utiliza

reforço positivo para modificar comportamentos inseguros, sendo um sistema baseado no contínuo desenvolvimento dos empregados, utilizando a observação do comportamento durante o trabalho para identificar comportamentos críticos à segurança e *feedback*, sobre a performance do sistema, como reforço (DoE, 2007a).

Um reforço positivo é qualquer coisa que fortaleça a resposta desejada, aumentando a probabilidade de que se produza uma conduta. Pode ser um elogio verbal, uma boa nota, ou um sentimento de realização ou satisfação crescente (CAMARA ZACHARIAS, 2007).

A teoria do reforço foi aplicada pela primeira vez a problemas de segurança em 1978, por Komaki, Barwick e Scott, que mostraram que observações do comportamento e *feedback* poderiam afetar o comportamento, com melhoras obtidas entre 75-80% a 95-99%. Os *feedback* positivos resultaram em reações positivas dos empregados e supervisores, com impactos também positivos nos comportamentos seguros. Posteriormente, Sulzer-Azaroff (1978) e Sulzer-Azaroff e Santamaría (1980) demonstraram que quando riscos a segurança são identificados e *feedbacks* positivos utilizados após as inspeções de segurança, o número de riscos era reduzido (WATERS e DUNCAN, 2001).

As origens do estudo do comportamento na segurança remontam à criação do triângulo da segurança e da Teoria do Dominó, por Herbert Heinrich, em 1931 (SCFAZ, 2004). Contudo, o termo *Behavior-Based Safety* somente foi proposto em 1979, pelo Dr. E. Scott Geller (ATKINSON, 2005).

O método se concentra em comportamentos de risco, geralmente resultados de falhas sistêmicas (MARSICK, 2004). O foco no comportamento de risco é fundamentado em diversos estudos que apresentam como principal causa de acidentes erros humanos, tais como os de Henrich em 1931, da Boeing (que identifica erros humanos em 71,1% dos acidentes aéreos), de Reason (que estudou 180 usinas nucleares entre 1983 e 1984, apresentando erros humanos como origens de 52% dos acidentes), Rasmussen et. al (que em 1987 apresentaram ações individuais como resultado de 88% de todos os acidentes ocupacionais) e Wood et. al (que em 1994 concluíram que 70% de incidentes relativos a anestesia em salas de operação envolviam erro humano) (GREEN, 2003). A maior parte das agências de investigação aeronáuticas no mundo, incluindo a *Australian Transport Safety Bureau* (ATSB), estima que entre 70 e 90% de todos os acidentes e incidentes aeronáuticos são resultado de atos ou decisões das pessoas envolvidas na manutenção e operação da aeronave (ADAMS, 2006).

A segurança baseada no comportamento também tem provocado muita controvérsia; alguns (FREDERICK e HOWE, 2001; HOWE, 1998; HOYLE, 1998; MANUEL, 1998) argumentam que o foco comportamental coloca responsabilidade excessiva sobre os trabalhadores, fornecendo aos administradores uma desculpa para não executarem suas

responsabilidades e outros (SIMON, 2001; TOPF, 1998, 2001) afirmam que o método é muito limitado, devendo ser substituído por uma abordagem mais holística ou focada na cultura (GELLER, 2007).

De fato, atribuir acidentes a causas humanas esconde o fato de que, na maioria das vezes, as causas são sistemas mal projetados, problemas do produto ou do ambiente (GREEN, 2003). Erro humano é uma classificação conveniente para acidentes cujas causas reais são incertas, complexas ou embaraçosas para as organizações (PERROW, 1984, apud LEVESON, 2002). Empresas americanas de consultoria reconhecidas, tais como a *Safety Performance Solutions* e a *Behavior Science Technology* (BST) têm falado mais em mudanças culturais e menos em BBS, mostrando que um programa eficiente exige o envolvimento da diretoria, gerência, supervisores e trabalhadores de linha (ATKINSON, 2005).

Assim, o foco hoje tem sido considerar comportamentos de risco como resultado, e não causa dos acidentes. As causas passam a ser: falha de comunicação, projetos ergonômicos inadequados, falta de supervisão, procedimentos confusos, treinamento inadequado, prazos curtos, hábitos ruins e falta de comprometimento (WASP, 2007).

A idéia atual é que a segurança no ambiente de trabalho só ocorre como resultado da combinação de três fatores: a pessoa, o ambiente e o comportamento. Neste caso, o componente pessoal consiste nas capacidades físicas dos empregados, sua experiência e treinamento. O ambiente engloba os controles de engenharia, equipamentos, funções da tarefa e cultura de trabalho. Já o comportamento representa o que a pessoa faz no trabalho (TWCIF, 2007). Logo, os elementos de um programa BBS incluem treinamento, especificação de comportamentos críticos e objetivos, observação, *feedback* e análise dos dados (utilizados para modificar o ambiente, equipamentos ou sistemas) e monitoramento do desempenho (MARSICK, 2007).

Para a aplicação do programa, os funcionários recebem treinamento para observar outros funcionários, e marcam suas observações num *checklist*, utilizado posteriormente para avaliar tanto o desempenho individual quanto da organização. Após a análise dos dados coletados, o funcionário observado recebe *feedback*, em que lhe são apresentados tanto as ações que ele tem praticado de forma correta quanto as que ele deve melhorar (WASP, 2007). Neste caso, recompensas podem ser um meio efetivo de reforçar objetivos alcançados (TWCIF, 2007).

Entre os benefícios apresentados estão o maior envolvimento dos funcionários com a segurança e os custos relativamente baixos para sua implantação, quando comparados aos custos da ocorrência de incidentes (MARSICK, 2007).

Conforme apresenta Guastello (1993), apud Waters e Duncan (2001), em termos de porcentagem de redução de ferimentos (Fig.2.8), os efeitos de intervenções de engenharia tradicional (29% de redução), auditorias administrativas (19%), campanhas de pôster (14%), relatórios de quase perdas (0%), ergonomia (51,6%) e modificação do comportamento (59,6%), mostram que a segurança baseada em comportamento tem obtido resultados significativos.

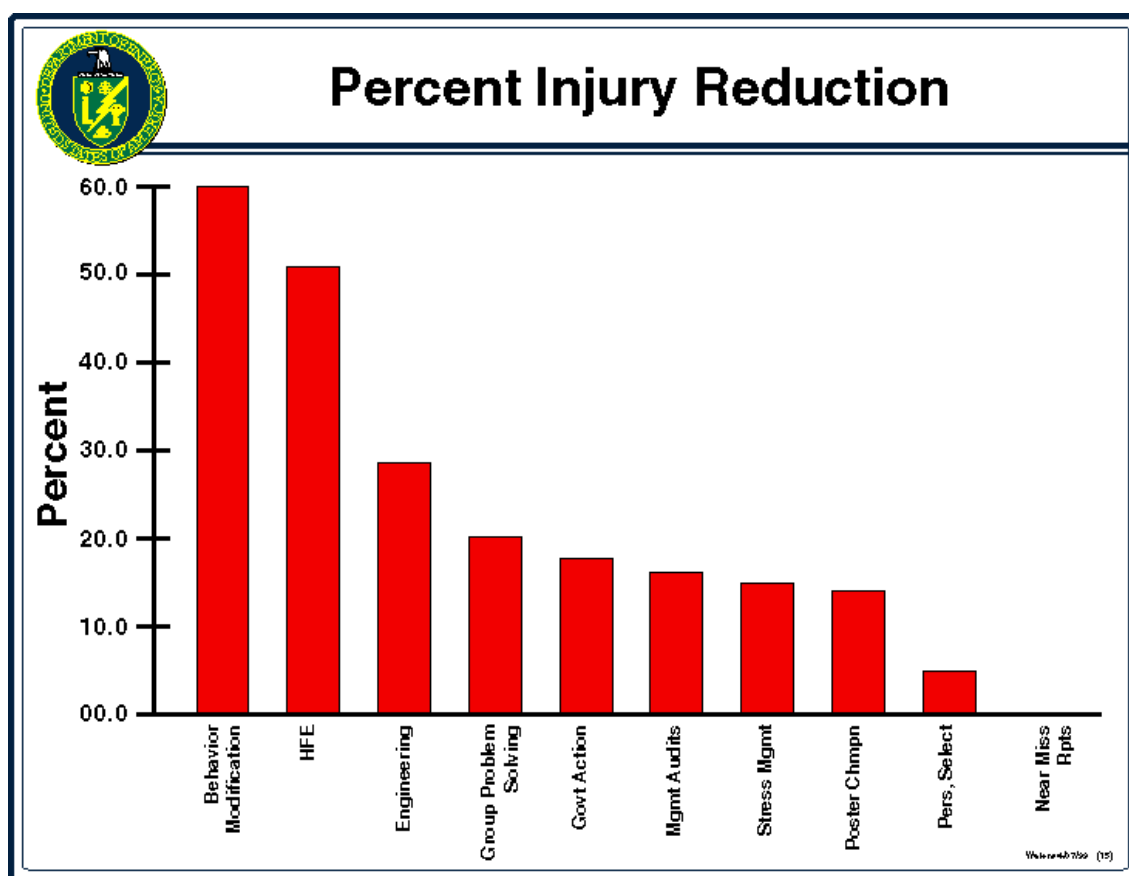


Figura 2.8 Porcentagem de redução de danos (Fonte: Guastello, 1993, apud Waters e Duncan, 2001)

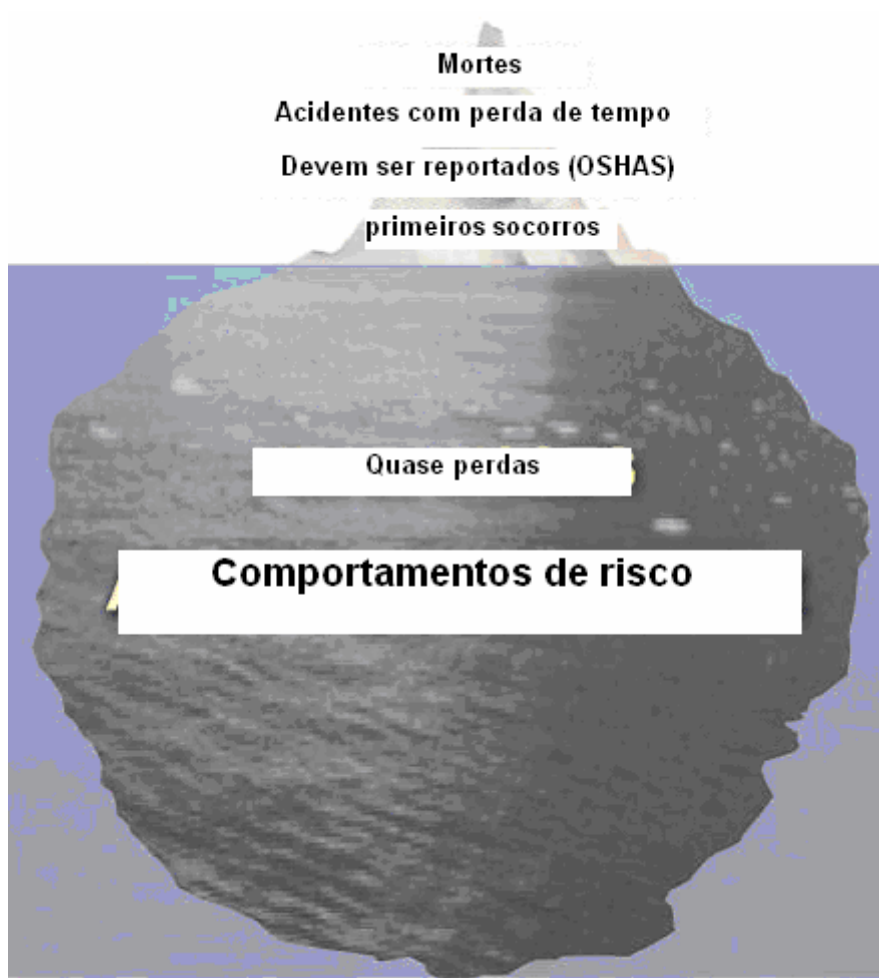


Figura 2.9 O iceberg dos acidentes e riscos (Adaptado de: DoE, 2007b)

A abordagem da segurança do comportamento é, na verdade, uma nova roupagem para idéias antigas. Conforme apresenta Certo (2003), estabelecer padrões de execução de tarefas já era objetivo da análise do movimento, ferramenta desenvolvida pelos pioneiros da administração científica, no início do século XX. Os estudos de Hawthorne, entre 1924 e 1932, apresentaram que o fato das pessoas perceberem que participavam de um experimento importante, a formação de um grupo amigável entre elas e a liberdade que adquiriam com a supervisão levavam ao aumento do rendimento, o que fez surgir o movimento das relações humanas, enfocando nas pessoas para gerar relações eficazes, estímulo à alta produtividade e comprometimento dos funcionários para com a empresa e seus objetivos.

A observação de comportamento utilizando observadores competentes também foi utilizada por Flanagan, durante a segunda guerra mundial, com a técnica de incidentes críticos, definida anteriormente como “uma série de procedimentos para identificar sistematicamente comportamentos que contribuem para o sucesso ou falha de indivíduos ou

organizações em situações específicas”. A segurança de sistemas também apresenta a importância de uma cultura de segurança desde a concepção de qualquer projeto ou atividade, assim como o modelo de Petersen aponta a administração como responsável por erros sistêmicos. Bird e Fletcher também desenvolveram a idéia da organização vista como um todo, com enfoque prevencionista a qualquer situação que pudesse gerar perdas.

2.16. O modelo de Reason

Autoridades investigativas têm começado a utilizar um novo termo, investigações sistêmicas, para referirem-se às investigações com foco mais amplo. Assim, outro termo também surge, acidentes organizacionais (ADAMS, 2006).

Acidentes organizacionais são aqueles que ocorrem com as novas e complexas tecnologias, tais como plantas nucleares, aviação comercial, indústria petroquímica, plantas de processo químico, transporte marítimo e ferroviário. Eles têm muitas causas e envolvem muitas pessoas operando em diferentes níveis na organização. São produtos das inovações tecnológicas que mudaram radicalmente a relação entre os sistemas e seus elementos humanos (REASON, 1997, apud ADAMS, 2006).

Charles Perrow, após o acidente com a planta de energia nuclear de *Three Mile Island*, EUA, em 1979, propôs que sistemas com complexidade interativa e acoplamento intenso sofreriam acidentes impossíveis de serem previstos, os quais ele chamou de acidentes sistêmicos. Complexidade interativa se refere à presença de seqüências de eventos não-planejadas/não-familiares e inesperadas, não visíveis ou imediatamente compreensíveis. Acoplamento intenso, por sua vez, ocorre em sistemas altamente interdependentes, em que mudanças numa parte do sistema podem rapidamente afetar o estado de outras partes, levando o sistema a responder rapidamente a perturbações de maneiras catastróficas (MARAIS et al., 2004).

Reason propõe outra abordagem, com a idéia fundamental de que fatores organizacionais, como decisões da alta administração, podem se combinar com fatores locais do ambiente de trabalho (tais como pessoal mal treinado) e atos inseguros, enfraquecendo as defesas da organização e gerando a potencialidade de eventos catastróficos (ADAMS, 2006).

O modelo de Reason para as causas de acidentes, ou modelo do queijo suíço, é agora adotado como modelo de investigação em várias indústrias. Na aviação, é um padrão aceito e apoiado pela *Australian Transport Safety Bureau* (ATSB) e pela *International Civil Aviation Organisation* (YOUNG et al., 2004). Mais efetivo do que analisar os erros humanos

é analisar os “distúrbios operacionais” que precedem os acidentes/ incidentes (GROENEWEG, 2007).

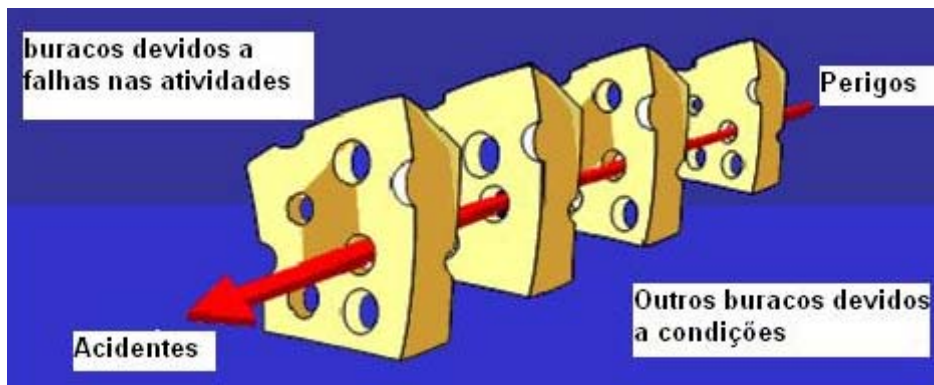


Figura 2.10 Modelo de Reason (adaptado de ADAMS, 2006)

Contudo, o próprio Reason, em duas conferências no ano de 2003, afirma que talvez o papel dos indivíduos (atos inseguros) deva ser revisto (YOUNG et al., 2004). Conforme Petersen (2003), apud Hurns (2007): “o interesse no comportamento seguro surgiu e muitos estão descobrindo a importância do gerenciamento e cultura. Mas mesmo em ambientes com boa administração e boa cultura, as pessoas continuam se ferindo devido a erros humanos, delas próprias ou de outras. Na segurança, nós temos que ser capazes de explicar porque erros humanos acontecem e o que eles são. Este conhecimento abrirá a nova fronteira da administração da segurança”.

CAPITULO 3

ESTUDOS DE CASOS

Casos de três acidentes e a forma como eles foram abordados na busca de uma solução serão apresentados. Mesmo que não seja explícito, qualquer controlador precisa de um modelo daquilo que ele quer controlar. Assim, a abordagem utilizada na prevenção e até mesmo investigação de acidentes é sempre baseada no modelo adotado.

3.1. Caso 1

No século XIX, acidentes de acoplamento em ferrovias eram uma das principais causas de ferimentos e mortes nos trabalhadores. Entre 1888 e 1894, 16.000 ferroviários morreram em acidentes durante acoplamentos, e 170.000 foram amputados. Os administradores argumentavam que estes tipos de acidentes eram devido a erros e negligências dos trabalhadores, e que, portanto, nada poderia ser feito, a não ser alertar os funcionários para que fossem mais atentos.

O governo tomou parte e exigiu que dispositivos automáticos para acoplamento fossem instalados. Como resultado, a mortalidade caiu significativamente.

Tratando sobre o assunto, a edição de Junho de 1896 da *Scientific American*, apresentava que poucas batalhas na historia haviam mostrado tamanha mortalidade, sendo que grande porcentagem das mortes causadas era pelo uso de equipamento inadequado, pois vinte anos antes já havia sido demonstrado que os vagões poderiam ser acoplados de forma automática, não sendo necessário que um funcionário da ferrovia arriscasse sua vida se posicionando entre dois vagões prestes a serem conectados.

O congresso americano aprovou o *Safety Appliance Act*, em março de 1893. Os gastos das companhias para atenderem às exigências da nova lei somaram U\$50.000.000, mas em três anos os acidentes com mortes foram reduzidos em 35%.

Percebe-se claramente a existência de uma condição latente, uma exigência da operação que levava a muitos acidentes devido a uma atividade inapropriada. Muitos dos operadores acidentados também podem ter avaliado erroneamente o grau de risco a que estavam submetidos e reduzido sua atenção durante a execução da tarefa. De qualquer forma, como apresenta o modelo de Petersen, havia uma armadilha ergonômica, que sujeitava o indivíduo a uma situação arriscada e além de suas capacidades. Evidentemente uma falha sistêmica na operação, já que a administração procurava se isentar de responsabilidades

3.2. Caso 2

Em um incidente envolvendo um DC-10 da companhia aérea *American Airlines*, em junho de 1972, uma descompressão explosiva ocorreu em Windsor, Ontário. O avião perdeu parte do piso sobre os passageiros e os cabos de controle quando a porta do compartimento de bagagem abriu durante o voo. O piloto, Bryce McCormick, conseguiu aterrisar sem vítimas fatais. Após o incidente, o piloto recomendou que todos os pilotos de DC-10 fossem informados das consequências de uma explosão descompressiva e recebessem treinamento sobre técnicas de voo para situações similares. Os investigadores da FAA, da *National Transportation Safety board* e engenheiros de uma subcontratada da McDonnell Douglas, que projetaram a fuselagem do avião, recomendaram mudanças no projeto da aeronave. A McDonnell Douglas, contudo, atribuiu o incidente em Windsor a erro humano, dos transportadores de bagagem responsáveis por fechar a porta deste compartimento, apresentando como solução uma modificação que evitasse que os funcionários forçassem esta porta. Uma das descobertas após o incidente foi que a porta poderia ser fechada incorretamente, mas sinais externos, tais como a posição da maçaneta externa, davam a impressão de que ela estava fechada corretamente e o sistema de aviso no *cockpit* falhava nestes casos.

Quase dois anos depois, em março de 1974, um DC-10, completamente carregado da *Turkish Airlines* caiu em Paris, resultando em 346 mortes, um dos piores acidentes da história da aviação. Novamente, a porta do compartimento de bagagem abriu durante voo, provocando o colapso do piso da cabine e danificando os cabos de controle. Imediatamente após o acidente Sanford McDonnell apresentou a posição oficial da McDonnell Douglas: erro dos transportadores de bagagem e equipe de solo. Entretanto, a *Federal Aviation Administration* (FAA) ordenou modificações que eliminassem o perigo em todos os DC-10.

Uma regulamentação da FAA de julho de 1975 passou a exigir que os jatos fossem capazes de tolerar um furo na fuselagem de 20 pés quadrados.

Apresentando como causa principal na sequência de eventos o erro da equipe de solo responsável pela bagagem, e eliminando somente o evento ligado a este fato na cadeia, soluções de engenharia que poderiam ter evitado o acidente em Paris não foram desenvolvidas e executadas.

Outra questão interessante é que a gravidade do acidente é muitas vezes fortuita. Fatores causais semelhantes podem levar à ocorrência de pequenos incidentes ou grandes catástrofes.

3.3. Caso 3

A liberação de metil isocianeto (MIC) da planta química da *Union Carbide*, em Bhopal, Índia, em dezembro de 1984, tem sido considerada como o pior acidente industrial da história. Estimativas conservativas apontam 2.000 mortes, 10.000 danos permanentes (incluindo cegueira) e 20.000 feridos. A causa inicial apontada para o acidente foi erro humano, a limpeza incorreta de uma tubulação da planta. Um trabalhador relativamente novo recebeu a incumbência de lavar uma tubulação e filtros que estavam entupidos. Em contato com água o MIC produz grande quantidade de calor, e o trabalhador corretamente fechou as válvulas para isolar os tanques de MIC dos tubos e filtros que estavam sendo lavados. Entretanto, ninguém inseriu o disco de segurança necessário para isolar o sistema caso as válvulas falhassem (sistema de redundância). Uma sequência de eventos descrevendo o mecanismo do acidente poderia incluir:

- 1 – funcionário lava a tubulação sem inserir o disco de segurança;
- 2 – água escorreu para os tanques de MIC;
- 3 – ocorre a explosão;
- 4 – válvulas de alívio abrem;
- 5 – MIC entra em contato com o ar;
- 6 – o vento transporta o MIC para a área povoada em volta da planta.

Outro erro de operador poderia ser identificado como a causa inicial (evento iniciador) se a corrente fosse mais desenvolvida. O funcionário que tinha a função de lavar os tubos sabia que a válvula estava vazando, mas não checkou se os tubos estavam corretamente isolados porque esta não era sua função. Inserir os discos de segurança era

trabalho do departamento de manutenção, mas a folha de manutenção não continha instruções para inserir o disco. A operação de lavagem dos tubos deveria ter sido supervisionada pelo segundo supervisor de mudanças, mas esta posição havia sido eliminada para reduzir custos.

O fato da entrada de água não teria causado a severa explosão se a unidade de refrigeração não tivesse sido desconectada e seu freon retirado, ou se os sensores estivessem funcionando e monitorando corretamente, ou várias atitudes tivessem sido tomadas quando os primeiros odores de MIC foram sentidos, se o lavador de gases estivesse funcionando, ou os *sprays* de água fossem projetados para atingir alturas suficientes para dosar as emissões, ou a torre de queima tivesse capacidade suficiente para operar com grande quantidade de saída.

Os advogados da *Union Carbide* argumentaram que a introdução de água nos tanques de MIC foi um ato de sabotagem e não de erros do pessoal da manutenção. Estas interpretações divergentes do evento iniciador, apesar de terem importantes implicações legais, não fazem diferença no entendimento de porque o acidente ocorreu.

Na unidade de Bhopal, havia poucos alarmes ou equipamentos de monitoramento em localizações críticas que poderiam ter alertado os operadores de condições anormais, uma deficiência no projeto do sistema.

O manual de operação especificava que a unidade de refrigeração deveria funcionar sempre que houvesse MIC no sistema. O produto deveria ser mantido em temperaturas inferiores a 5° C para evitar reações incontroladas. Em temperaturas elevadas, o alarme deveria funcionar se o MIC atingisse 11°. Entretanto, a unidade de refrigeração estava desligada, para economizar custos, e o MIC usualmente era armazenado a 20°C. A administração da planta ajustou o nível do alarme de 11° para 20° e as leituras das temperaturas do tanque estavam paradas, eliminando a possibilidade de um aviso indicando início do aumento de temperatura. Outros equipamentos de proteção da planta tinham níveis de ativação inadequados.

A pressão dos gases de escape durante o acidente excederam as especificações do respiradouro do lavador de gases em 2 vezes e meia, e a temperatura dos gases de escape ultrapassaram em pelo menos 80°C a capacidade do respiradouro. De forma semelhante, a torre de queima (supostamente para a queima de gases liberados) era totalmente inadequada para lidar com estimadas 40 toneladas de MIC que escaparam durante o acidente. Além disso, o MIC foi liberado da chaminé a 108 pés acima do piso, bem acima da altura da cortina de água utilizada para abaixar os gases. A cortina atingia somente 40- 50 pés acima do piso. Os jatos de água poderiam atingir 115 pés, mas somente se operados individualmente.

Vazamentos eram ocorrências rotineiras e suas razões eram raramente investigadas. Os problemas ou eram corrigidos sem maiores exames ou ignorados. Uma auditoria de segurança, realizada dois anos antes por uma equipe da *Union Carbide*, havia notado diversos problemas de segurança na planta, incluindo muitos envolvidos no acidente, tais como operações de limpeza de filtros sem o uso dos discos de segurança, vazamento de válvulas, possibilidade de contaminação dos tanques com material da saída do lavador de gases e pressões fora dos padrões. A auditoria de segurança recomendou um aumento na capacidade das cortinas de água e apontou que os alarmes na torre de queima, de onde o MIC saía, estavam inoperantes, de forma que qualquer vazamento poderia passar despercebido por longo período. Nenhuma das modificações recomendadas foi realizada. Existem divergências se as informações da auditoria foram completamente passadas para a subsidiária indiana da *Union Carbide*, e sobre quem era responsável por verificar se as modificações haviam sido realizadas. Assim, não houve vistoria para verificar se os problemas haviam sido corrigidos. Um ano antes do acidente o engenheiro químico que gerenciava a planta de MIC se demitiu porque não havia aprovado os falhos padrões de segurança, sendo substituído por um engenheiro elétrico.

As medidas para lidar com o vazamento químico após o ocorrido também não foram adequadas. Os alarmes na planta funcionavam tão frequentemente (a sirene acionava de 20 a 30 vezes por semana, por diversos motivos) que um alerta real não poderia ser distinguido de eventos rotineiros ou alertas de treinamento. A sirene de alerta não foi acionada até duas horas após o vazamento de MIC ser detectado (e a maior parte das lesões terem ocorrido) e desligado após cinco minutos, por política da empresa.

A quantidade de alertas de treinamento não parece ter sido efetiva para o preparo de uma situação de emergência. Quando o perigo durante o vazamento foi conhecido, muitos empregados correram das áreas contaminadas da planta, ignorando completamente os avisos para evacuar os funcionários e os moradores vizinhos à área. Os funcionários da planta tinham equipamentos mínimos de emergência (falta de máscaras de oxigênio foram descobertas após o início do acidente) e eles praticamente não tinham conhecimento ou treinamento para lidar com eventos não rotineiros.

A polícia não foi notificada quando o vazamento químico iniciou; quando perguntado pela polícia e repórteres, um representante da planta inicialmente negou o acidente e depois afirmou que o MIC não era perigoso. A comunidade vizinha não foi avisada dos perigos, antes nem depois do vazamento, ou informada das precauções simples que poderiam tê-las salvado de exposições letais, tais como colocar uma roupa molhada sobre a face e fechar os olhos. Se a comunidade tivesse sido alertada e poucas informações tivessem sido fornecidas, muitas (se não a maioria) das vidas teriam sido salvas e lesões prevenidas.

Estes são somente alguns dos fatores envolvidos nesta catástrofe, que incluem outros erros técnicos e humanos na planta, erros de projeto, negligência administrativa, falhas de regulamentação, por parte dos governos americano e indiano, e políticas gerais de transferência agrícola e tecnológica relacionadas às razões da construção de uma planta química tão perigosa na Índia.

Qualquer uma destas perspectivas ou “causas” é inadequada por si só para entender o acidente e prevenir outros futuros. Em particular, identificar somente erros operacionais (falha em inserir o disco de segurança) como a causa do acidente (o evento inicial na árvore de falhas) ignora a maior parte de oportunidades para a prevenção deste e de acidentes similares no futuro.

Os funcionários de manutenção eram, de fato, apenas uma peça menor ou irrelevante na perda. Ao invés disto, degradação nas margens de segurança ocorreram inúmeras vezes sem nenhuma simples decisão que evitasse que a planta lentamente fosse colocada numa situação em que qualquer erro levaria a um grande acidente. Dadas as condições gerais da planta da *Union Carbide* em Bhopal e sua operação, se a ação de inserir o disco de segurança não tivesse sido deixada de lado no processo de lavagem dos tubos, algum outro evento teria levado ao acidente. De fato, um vazamento similar havia ocorrido um ano antes, sem as mesmas conseqüências catastróficas, e as verdadeiras origens do incidente não foram identificadas nem corrigidas.

No acidente de Bhopal, a saída dos lavadores de gás, a torre de queima, os jatos de água, a unidade de refrigeração e vários instrumentos de monitoramento estavam todos fora de operação simultaneamente. Determinar uma probabilidade para todos estes eventos aparentemente não relacionados levaria à conclusão de que este acidente foi uma questão de coincidências improváveis de acontecerem novamente.

Um levantamento da probabilidade de risco baseado numa árvore da falhas provavelmente trataria estas condições como falhas independentes e então calcularia sua coincidência como sendo tão remota que estaria além de qualquer consideração. Superficialmente, parece incrível que todos estes dispositivos estavam fora de operação simultaneamente. Numa análise mais aprofundada um quadro diferente surge, mostrando que estas não eram falhas aleatórias, mas relacionadas a decisões de engenharia e de gerenciamento comuns.

Após o desastre de Bhopal, tanto a *Union Carbide* quanto a *U.S. Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) anunciaram que o mesmo tipo de acidente não poderia ocorrer na planta da *Union Carbide* em *Institute, West Virginia*, EUA, que também produzia MIC. Oito meses depois, um acidente similar ocorreu, levando ao hospital aproximadamente 100 pessoas. As conseqüências foram menores neste segundo acidente apenas devido a

fatores incidentais, tais como a direção do vento e o fato de que, na ocasião, o produto químico no tanque era menos tóxico.

CONCLUSÃO

Na prevenção de acidentes é necessário, primordialmente, assumir um modelo para as causas de acidentes e com base neste definir as políticas da empresa. Conforme a idéia atribuída a Jack Welch, um administrador só administra aquilo que ele tem conhecimento. Assim, neste trabalho foi apresentada parte da evolução da prevenção de acidentes, o contexto histórico em que surgiram e a forma como evoluíram para as abordagens modernas, adotadas nas mais diversas instituições, abordagens em parte ilustradas nos estudos de caso apresentados.

Executar a engenharia de segurança do trabalho sem ter uma idéia clara do que se quer obter, e de quais as ferramentas adequadas para atingir satisfatoriamente este objetivo, é aprender na base da tentativa e erro. A crescente complexidade dos sistemas e as crescentes perdas envolvidas quando algo dá errado (tanto financeiras quanto humanas), não permitem mais a abordagem “*fly-fix-fly*”.

“A opção é clara: ou não fazemos nada e admitimos que um futuro miserável e, provavelmente, catastrófico nos surpreenda, ou empregamos nosso conhecimento sobre o comportamento humano para criar um ambiente social em que levaremos vidas produtivas e criativas, sem com isso comprometer as possibilidades daqueles que nos seguirem, para que possam fazer o mesmo.” (SKINNER, 1978, pág. 66, apud GUILHARDI et al., 2004).

“(...) a vida ideal esta esperando por nós aqui e agora! (...) ela não depende de mudança no governo ou das maquinações no mundo da política e nem se está aguardando um aperfeiçoamento da natureza humana. Neste exato momento temos as técnicas necessárias, tanto materiais como psicológicas, para criar uma vida plena e satisfatória para todos.” (SKINNER, 1948, pág. 183, apud GUILHARDI et al., 2004).

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ADAMS, D. A Layman's Introduction to Human Factors in Aircraft Accident and Incident Investigation. ATSB Safety information paper B2006/0094. Australian Transport Safety Bureau, Canberra City, Austrália. Disponível em: www.atsb.gov.au. Acesso em 18 Ago. 2007.

ALBERTON, A. **Uma metodologia para auxiliar no gerenciamento de riscos e na seleção de alternativas de investimentos em segurança**. 1996. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.

ATKINSON, W. Behavior-Based Safety. **MC magazine**. Mai./Jun. 2005. Disponível em: http://www.precast.org/publications/mc/2005_mayjune/behavior_safety.htm. Acesso em: 21 Ago. 2007.

BLOY, M. A web of English History. Disponível em: <http://www.historyhome.co.uk>. Acesso em: 15 Ago. 2007.

BUTTERFIELD, L.D., BORGES, W.A., AMUNDSON, N.E., MAGLIO, A.S. Fifty years of the critical incident technique: 1954-2004 and beyond. **Qualitative Research**; 5; 475, 2005.

CAMARA ZACHARIAS, V L. Skinner e o behaviorismo. Centro de Referência Educacional [online]. Disponível na WWW: <http://www.centrorefeducacional.com.br>. Acesso em: 21 Ago. 2007.

CERTO, S. C. **Administração Moderna**, 9 ed. São Paulo. Prentice Hall, 2003.

CLEMENS e SIMMONS. System safety and risk management. U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Public Health Service. Centers for Disease Control and

Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio, Mar. 1998.

DE CICCIO, F.M.G.A.F, FANTAZZINI, M. L. **Introdução à engenharia de segurança de sistemas**, 3ed. São Paulo, FUNDACENTRO, 1994, 113p.

DE CICCIO, Francesco. DA REPARAÇÃO DE DANOS AOS SISTEMAS DE GESTÃO, 1997. Disponível em: www.qsp.com.br . Acesso em: 21 Ago. 2007.

DEAN, J.W. Industrial Ergonomics and Human Factors. **Flight Safety Information Journal - Essays in Industrial Safety**. Mai. 2003. Disponível em: www.FSinfo.org. Acesso em: 21 Ago. 2007.

DEKKER, S.W.A. **Ten questions about human errors**. A new view about human factors and system safety. LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES, PUBLISHERS. Mahwah, New Jersey, 2005.

DoE, 2007a. U.S. Department of Energy. Behavior-Based Safety – process fundamentals. Disponível em: http://hss.energy.gov/CSA/CSP/bbs/process_fundamentals.html. Acesso em: 21 Ago. 2007.

DoE, 2007b. Economics of BBS within DOE. Disponível em: <http://tis.eh.doe.gov/bbs>. Acesso em: 18 Ago. 2007.

EXULANTEN, 2007. Disponível em: <http://www.exulanten.com/index.html>. Acesso em: 21 Ago. 2007.

FAA, 2000. **System Safety Handbook**. Federal Aviation Administration,

FERNANDES, J. C. Introdução à Engenharia de Segurança do Trabalho – Resumo histórico, 2007. Disponível em: www.bauru.unesp.br/curso_cipa/artigos/introd.doc. Acesso em: 21 Ago. 2007.

FLANAGAN, J.C. The critical incident technique. **Psychological Bulletin**, v. 51, nº. 4, Julho, 1954.

GELLER, E.S. How to Get More People Involved in Behavior-Based Safety: Selling an Effective Process. Cambridge Center, 2007.

GREEN, M. An Attorney's Guide to Perception & Human Factors. ExpertLaw, 2003. Disponível em: [www. ExpertLaw.com](http://www.ExpertLaw.com). Acesso em: 18 Ago. 2007.

GRAÇA, L. 2000. EUROPA: Uma Tradição Histórica de Protecção Social dos Trabalhadores. I Parte. Disponível em: <http://www.ensp.unl.pt/lgraca/textos31.html>. Acesso em: 16 Ago. 2007.

GROENEWEG, J. Hazard analysis: the accident causation model. Disponível em: www.ilo.org/encyclopaedia. Acesso em: 19 Ago. 2007.

GUILHARDI, H.J. et al. Skinner100. In. Congresso internacional da Association for Behavior Analysis, ABPMC, 2º, 12-15 Ago. 2004. Campinas, SP, Brasil.

HANNON. M. Theories of accident causation, 2007. Disponível em: www.ceet.niu.edu/depts/tech/asse/tech434/AccCausation.doc. Acesso em: 21 Ago. 2007.

HOOK, Gary E. R. Ramazzini: Father of Environmental Health? In. Environmental Health Perspectives, Volume 103, Number 11, Nov. 1995.

HURNS, D. American society of safety engineers mourns loss of occupational safety, health and environmental leader. Disponível em: <http://list.uvm.edu/cgi-bin/wa?A2=ind0701B&L=safety&D=0&P=14225>. Acesso em: 10 Ago. 2007.

KNOL, C. Analysis of accident/incidents, theories and management. OSI – The outdoor safety institute, 2007. Apresentação em power-point.

LAMBRECHT, J.J.. Developing Employment-Related Office Technology Skills (MDS-1199). Berkeley: National Center for Research in Vocational Education, University of California. 1999.

LCC. Revolução industrial. Disponível em: <http://www.culturabrasil.org>. Acesso em: 16 Ago. 2007.

LEVESON, N.G. Evaluating Accident models using recent aerospace accidents. Part I: Event-based models. Software Engineering Research Laboratory. Aeronautics and Astronautics Dept. Massachusetts Institute of technology, Jun. 28, 2001.

LEVESON, N.G. A New approach to system safety. Aeronautics and Astronautics. Massachusetts Institute of Technology. 2002.

LEVESON, N.G. White Paper on Approaches to Safety Engineering. 23 Abr. 2003.

LEVESON, N.G. et al. Effectively Addressing NASA's Organizational and Safety Culture: Insights from Systems Safety and Engineering Systems. In: Engineering Systems Division Symposium, MIT, Cambridge, MA., 29-31 Mar., 2004.

MACIEL, Jorge Luís de Lima. **Proposta de um modelo de integração da gestão da segurança e da saúde ocupacional à gestão da qualidade total**. 2001. 136f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MARAIS, K., DULAC, N., LEVESON, N., Beyond Normal Accidents and High Reliability Organizations: The Need for an Alternative Approach to Safety in Complex Systems. In: Engineering Systems Division Symposium, MIT, Cambridge, MA., 29-31 Mar., 2004.

MARSICK, D. Behavioral Interventions at DOE Sites in 2004. Jul. 2004. Disponível em: hss.energy.gov/CSA/CSP/bbs/pdfs/BBS.pdf. Acesso em: 21 Ago. 2007.

MCSWEEN, T. E. What Is Behavioral Safety? Disponível em: www.qse.com. Acesso em: 18 Ago. 2007.

MILÊNIO, 2007. A exploração do trabalho infantil na revolução industrial. Disponível em: <http://www.milenio.com.br/ingo/ideias/hist.htm>. Acesso em: 17 Ago. 2007.

NEWMAN, L.C. Accident causation, 2007. Disponível em: www.segurancaetrabalho.com.br/download/accident-causation.ppt. Acesso em: 21 Ago. 2007.

WASP, 2007. Worker applied safety program Training. Apresentação de power point. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 21 Ago. 2007.

WATERS, R.M, DUNCAN, M. Behavioral Safety Programs in the Department of Energy. In: Annual Meeting of the Human Factors Society, 45, Minneapolis, MN. Out. 9, 2001.

WHONAMEDIT. Disponível em: <http://www.whonamedit.com/>. Acesso em: 21 Ago. 2007.

WINFIELD, J. R. Essence of Accidents. **Flight Safety Information Journal**. Essays in Industrial Safety. Mai. 2003. Disponível em: www.FSinfo.org. Acesso em: 21 Ago. 2007.

WIKIPEDIA - Factory Acts. Disponível em: www.wikipedia.com. Acesso em: 15 Ago. 2007.

OR-OSHA, 2007. Oregon OSHA Online Course 100. Safety and Health Management Basics. Disponível em: <http://www.cbs.state.or.us/osh/index.html>. Acesso em: 17 Ago. 2007.

OAKLEY, J.S. 2007. Using Accident Theories to Prevent Accidents, Houston, Texas. Disponível em: www.safetycouncil.com. Acesso em: 21 Ago. 2007.

OKTEM, U.G. **Near-Miss: A tool for integrated safety, Health, Environmental and security Management**. The Wharton School. University of Pennsylvania. Risk Management and Decision Process Center. Annual AIChE Loss Prevention Symposium, 37. Integration of Safety and Environmental Concepts, Mar. Abril 2003.

PASSOS, J. C. **Fundamentos da prevenção e do controle de perdas e as metodologias para identificação de riscos** – Uma breve revisão da literatura. Revista do Centro de Ensino Superior de Catalão (CESUC), ano V, nº9, 2003.

POPE, W.C. The Molding of a Movement. The National Safety management Society. Disponível em: www.nsms.us/pages/movement.html. Acesso em: 17 Ago. 2007.

ROSENKRANS, W. Flight Safety Foundation, Alexandria, VA., E.U.A., 6 Fev. 2004.

SCFAZ, 2004. Behavioral Safety: the right choice – Listen to your Conscience and eliminate dangerous behavior. Disponível em: http://www.scfaz.com/publish/cat_index_2.shtml. Acesso em: 17 Ago. 2007.

SHAW, T. Understanding human factors. Health and Safety Congress 2002.

SIMÕES, V.A. EVOLUÇÃO DAS CONDIÇÕES DE TRABALHO - Resenha Histórica, 2004. Disponível em: <http://shst.blogs.sapo.pt/>. Acesso em: 21 Ago. 2007.

SPARTACUS. Disponível em: <http://www.spartacus.schoolnet.co.uk/IRowen.htm>. Acesso em: 16 Ago. 2007.

TWCIF. Texas worker's compensation insurance fund. Behavior based safety. 2007.

UNIVERSAL-MANAGER. Theories on Common Causes of Accidents, Disponível em: <http://www.universal-manager.co.uk/>. Acesso em: 21 Ago. 2007.

VAUGHAN, E., 2006. Insurance, chapter 5. Apresentação de Power Point.

VENDRAME, A. C. Segurança do trabalho: você só se lembra depois do acidente. In.: RH EM SÍNTESE, 29 JUL/AGO, ANO V ,pgs 28 a 32, 1999.

YOUNG, M. et al. Who moved my (Swiss) cheese? The (r)evolution of human factors in transport safety investigation. ISASI, Austrália, 2004.