



ANÁLISE DE RISCOS COMO INSTRUMENTO PARA SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo discutir a análise de riscos como instrumento de gestão ambiental. Os resultados da análise que simula aspectos e impactos ambientais (riscos) podem ser utilizados na melhoria do Sistema de Gestão Ambiental, segundo a Norma ABNT NBR ISO 14001:2004. As discussões apresentadas mostram que a análise de simulação de riscos pode fornecer diagnósticos e valores significativos para complementar o estudo dos processos ambientais no setor público ou privado. A ferramenta de simulação computacional pode ser um diferencial para auxiliar a organização a aperfeiçoar seu Sistema de Gestão Ambiental, a prevenir ou mitigar riscos e impactos ambientais, a elaborar produtos e processos com melhor desempenho, maior qualidade e confiabilidade. Conseqüentemente, a empresa poderá reduzir seus custos e se tornar mais competitiva e/ou líder de mercado nos setores nos quais atua.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de Riscos; Simulação Computacional; Sistema de Gestão Ambiental.

RISK ANALYSIS AS TOOL FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT

This paper aims to discuss the Risk Analysis as a tool for environmental management. The results of the analysis that simulates environmental aspects and impacts (risks) can be used to improve the Environmental Management System, according to Standard ISO 14001:2004. The paper shows that the risk simulation analysis can provide significant diagnostic value and to complement the study of environmental processes in private or public sector. The computational simulation tool can make a difference to help the organization improve its Environmental Management System, to prevent or mitigate environmental risks and impacts, to develop products and processes with improved performance, better quality and reliability. Consequently, the company can reduce costs and become more competitive and/or market leader in the sectors in which it operates.

KEYWORDS: Risk Analysis; Computer Simulation; Environmental Management System

Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.1, Dez 2011, Jan, Fev, Mar, Abr, Mai 2012.

ISSN 2179-6858

SEÇÃO: Artigos

TEMA: *Gestão Ambiental*



DOI: 10.6008/ESS2179-6858.2012.001.0002

Fátima Maria Nogueira de Souza

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/8850304850582307>
fatima@poli.ufri.br

Carlos Eduardo Silva

Escola Superior de Sustentabilidade, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3700554054159220>
carlos@arvore.org.br

Lais Alencar de Aguiar

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/5785500333245448>
laquiar@cnen.gov.br

Josimar Ribeiro de Almeida

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

<http://lattes.cnpq.br/3215586187698472>
jralmeida@usp.br

Recebido: 05/02/2012

Aprovado: 10/05/2012

Avaliado anonimamente em processo de pares cegas.

Referenciar assim:

SOUZA, F. M. N.; SILVA, C. E.; AGUIAR, L. A.; ALMEIDA, J. R.. Análise de riscos como instrumento para sistemas de gestão ambiental. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.3, n.1, p.17-41, 2012.*

INTRODUÇÃO

Segundo Russo e Fouts (1997), até a década de 70, nos países desenvolvidos, as empresas limitavam-se a evitar acidentes locais, e combater acidentes do trabalho. As respostas das organizações às questões ambientais eram de natureza tipicamente corretiva e constituíam-se, na instalação de equipamentos de controle da poluição nas saídas, como chaminés e redes de efluentes líquidos.

Segundo a autora, com os choques do petróleo, em 1973 e 1979, o controle ambiental deixou de ser apenas uma atividade de combate à poluição e passou a integrar-se nas práticas e processos produtivos como uma função da produção e do desenvolvimento, contribuindo para a redução de custos e passivos ambientais, melhoria das condições de trabalho e da imagem da empresa e facilitando a implantação de programas de qualidade. O princípio básico tornou-se o da prevenção, envolvendo a substituição de equipamentos, máquinas, materiais e recursos energéticos, o desenvolvimento de novos processos e produtos, o reaproveitamento e economia de materiais e energia, a reciclagem de resíduos e a minimização da geração de poluentes e passivos ambientais.

Conforme Barbieri (1997), nos anos 80, as tecnologias de prevenção da poluição começaram a focalizar as mudanças sobre produtos e processos, a fim de reduzir rejeitos e prevenir a contaminação do ambiente. Alberton (2003) cita que no final da década de 80, a proteção ao meio ambiente deixou de ser somente uma exigência punida com multas e sanções, passando a se configurar num quadro de ameaças e oportunidades, em que as consequências passaram a significar a própria permanência ou saída do mercado já competitivo da época. O mercado de capitais também captou prontamente essa tendência e passou a considerar cada vez mais o aspecto ambiental em suas decisões de investimento, o que levou as organizações a integrarem o controle ambiental em sua gestão administrativa.

Segundo Boiral e Sala (1998), nos anos 90, a proteção ambiental deixou de ser uma função exclusiva da produção para tornar-se também uma função da administração, passando a ser contemplada na estrutura organizacional, interferindo no planejamento estratégico e tornando-se uma atividade importante na organização da empresa, tanto no desenvolvimento das atividades de rotina, como na discussão dos cenários alternativos, gerando políticas, metas e planos de ação.

Com esta perspectiva estratégica, iniciou-se o processo de redução dos custos por meio de uma produção mais limpa, aproveitando-se as oportunidades geradas pela valorização da consciência ambiental, por meio de diferenciação na produção e comercialização de produtos e embalagens de baixo impacto ambiental e do desenvolvimento de novas tecnologias para a solução dos problemas ambientais.

Neste contexto de evolução dos sistemas de gestão ambiental, este estudo teve como objetivo discutir o uso da Análise de Riscos como instrumento de melhoria dos processos de

gestão ambiental, em especial levantar as ferramentas passíveis de uso em análises que utilizem a simulação computacional.

REVISÃO TEÓRICA

Sistemas de Gestão Ambiental

De acordo com Morrow e Rondinelli (2002), muitas tecnologias de produção compatíveis com o meio ambiente têm sido desenvolvidas ou estudadas nas últimas décadas. No entanto, boas tecnologias sem um apropriado sistema de gestão ou um específico conjunto de leis para proteger o meio ambiente, tendem a ser descartadas. Este cenário contribuiu para que as empresas começassem a desenvolver metodologias racionais para a gestão de todas as atividades concernentes aos aspectos do meio ambiente que integrassem em uma estrutura única as políticas de proteção, os programas e as práticas corporativas ambientais. Esta estrutura poderia ser entendida como um sistema de gestão ambiental.

Conforme Ávila (2006), em 1979, a ISO formou o TC 176, comitê técnico responsável por estudar e harmonizar todos os sistemas da qualidade existentes e criar uma Norma no campo da qualidade. Essa Norma deveria ser voluntária e igualitária. O resultado foi a publicação, em 1987, do conjunto de Normas ISO 9000 com o título de *Quality Management and Quality Assurance*. Desde sua publicação, as certificações segundo a ISO 9000 vêm crescendo em todo o mundo e se tornando, em algumas situações, diferenciais para a realização de negócios.

Segundo Alberton (2003), no início da década de 80, a filosofia TQM – *Total Quality Management* (Administração da Qualidade Total) nasceu como o resultado da busca frenética da indústria dos EUA por um sistema que direcionasse e corrigisse suas ações, até então guiadas por uma visão de curto prazo, e diminuísse o distanciamento entre as indústrias americana e japonesa, com uma visão empresarial sistêmica de médio e longo prazo. A TQM ajudou na integração dos assuntos ambientais ao cotidiano dos negócios e mostrou às lideranças empresariais que a administração ambiental proporciona uma oportunidade e não um problema.

De acordo com Culley (1998, citado por ALBERTON, 2003), no início da década de 90, os Três Grandes (*The Big Three*) da indústria automotiva americana (General Motors, Ford e Chrysler) desenvolveram outros requisitos para um Sistema de Qualidade, o QS 9000. O propósito do programa era harmonizar e padronizar a qualidade dos produtos de fornecedores, por meio da melhoria contínua, da confiabilidade do produto (prevenindo defeitos) e da redução de custos (reduzindo as variações e minimizando o desperdício). Os requisitos QS 9000 têm um nível mais alto de exigências se comparados às exigências internacionais gerais da ISO 9000, pois a indústria automobilística americana tem reconhecido a importância de incluir a administração ambiental na administração de qualidade.

Para Porter e Van Der Linde (1995), a administração da qualidade total tem grande potencial para reduzir a poluição e levar a inovações e benefícios compensatórios. Em relação à melhoria da qualidade e desempenho ambiental, os autores indicam o uso do controle estatístico de processos para reduzir as variações e diminuir o desperdício.

A filosofia TQM também teve sua influência no desenvolvimento de outros sistemas de gestão, um dos quais é o TQEM - *Total Quality Environmental Management* (Administração da Qualidade Total Ambiental), criado pela *Global Environmental Management Initiative* (GEMI), uma ONG fundada em 1990 por 21 grandes empresas multinacionais. O TQEM tem a finalidade de buscar o aperfeiçoamento das atividades produtivas a partir da qualidade total, porém com o intuito de obter melhorias sob o ponto de vista ambiental.

Segundo Florida e Davidson (2001) e Miles e Covin (2000), a abordagem TQEM, utiliza o sistema de prevenção combinado com os conceitos de gestão da qualidade, tais como análise do ciclo de vida, melhoria contínua e uma abordagem para redução dos impactos ambientais e custos totais, ao mesmo tempo em que aumenta o valor tanto para consumidores quanto para acionistas.

Os programas implementados pela EPA (*Environmental Protection Agency*), o EMAS (*Eco Management and Audit Scheme*), a ISO 14000 e outros programas de prevenção da poluição seguem a abordagem do tipo TQEM e estão tipicamente utilizando a política ambiental para ganhar algum tipo de vantagem competitiva baseada nos custos.

Segundo Tinoco e Kraemer (2004, citados por FERRON, 2009), um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) pode ser definido como um conjunto de procedimentos para um melhor relacionamento com o meio ambiente, tendo por base um planejamento das atividades empresariais e visando à minimização ou a eliminação dos possíveis impactos ao meio ambiente, por meio de ações preventivas.

De acordo com Harrington e Knight (2001, citados por FERRON, 2009), um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), quando estrategicamente implantado, pode trazer diversos benefícios econômicos e refletir-se tanto em ganhos de mercado como em redução de custos, além de facilitar o acesso às fontes de recursos financeiros, principalmente os chamados financiamentos sustentáveis e a entrada nos mercados internacionais, sobretudo o europeu e norte-americano.

Para Freimann e Walther (2001, citados por AVILÁ, 2006), o sistema de gestão ambiental é uma estrutura padronizada, utilizada pelas empresas, para sistematicamente gerenciar as atividades que afetam o meio ambiente natural, por meio da integração de procedimentos e processos envolvendo treinamento, monitoramento e registros. Estas atividades englobam pessoas, instrumentos e ações com o propósito de coletar e processar dados que possibilitem informações ambientais para gerenciamento e tomada de decisão.

Segundo a definição da NBR ISO 14050:2004, item 2.1, um SGA “é a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades,

práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental”.

Para Gilbert (1995), o objetivo principal de um SGA é controlar sistematicamente o desempenho ambiental, promovendo sua melhoria contínua. É constituído de procedimentos ambientais que estabelecem responsabilidades específicas e definem quando, onde e o que deve ser observado, para que as atividades sejam conduzidas em conformidade com as políticas ambientais estabelecidas, e integrado aos esforços existentes em outras áreas.

Algumas das motivações para a implantação de um sistema de gestão ambiental estão relacionadas à prevenção de potenciais impactos ambientais negativos, melhorias da conscientização ambiental dos empregados e atendimento de demandas de clientes. A projeção de uma melhor imagem corporativa e a expectativa de ampliação de mercado a partir desta imagem, também são apontadas como motivações importantes (MORGADO et al., 2002; MORROW e RONDINELLI, 2002).

Haddad et al. (2007) sugerem a utilização de um sistema de gestão integrado, segurança, ambiental e qualidade, o qual trás para a organização redução de custos com certificações, registros, auditorias, treinamentos, documentação e gerenciamento, sistematizando requisitos e indicadores de desempenho e promovendo uma larga análise crítica do sistema.

Normas de Sistemas de Gestão Ambiental

De acordo com Alberton (2003), as diretrizes e princípios para uma boa gestão do meio ambiente foram estabelecidos e promovidos por muitas organizações nacionais e internacionais, tais como: a *International Chamber of Commerce* (ICC), o *Business Council for Sustainable Development* (BCSD), a *Confederation of British Industry* (CBI), a *Coalition for Environmentally Responsible Economies* (CERES), o *Global Environmental Management Initiative* (GEMI), a *Public Environmental Reporting Initiative* (PERI), a *International Network for Environmental Management* (INEM), a *The Japan Federation of Economic Organizations* (KEIDAREN), o *World Industry Council for the Environmental* (WICE), a *European Petroleum Industry Association* (EUROPIA), o *American Petroleum Institute* (API), a *British Standard Institution* (BSI), a *Prince of Wales Business Leaders Forum* (PWBLF), a *Chemical Manufactures Association* (CMA) e a *International Standardization Organization* (ISO).

São apresentadas a seguir, de forma resumida, as principais Normas com suas características e princípios ambientais, os quais são iniciativas destinadas a estabelecer um padrão de gerenciamento ambiental aplicável por diferentes segmentos econômicos:

- **Responsible Care Program**, 1984: Consiste de princípios diretivos, seis códigos de práticas gerenciais, painel público consultivo e grupos de liderança. É voluntário e não certificável. É exigido pelos membros da *Chemical Manufactures Association*. No Brasil é coordenado pela ABIQUIM desde 1990;
- **Modelo WINTER**, 1989: Sistema integrado de administração com consciência ecológica, criado por George Winter na Alemanha. Consiste de vinte módulos

integrados visando a facilitar a implementação do SGA. É voluntário e não certificável;

- **Coalition for Environmentally Responsible Economies (CERES)**, 1989: Consiste de dez princípios diretivos que enfatizam a necessidade das organizações de proteger o planeta e agir de forma responsável em relação ao ambiente. É voluntário e não certificável;

- **Strategies for Today's Environmental Partnership (STEP)**, 1990: Guia para a indústria de petróleo americana que possibilita um aprimoramento de sua performance ambiental, de saúde e de segurança. É voluntário e não certificável;

- **Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)**, 1993: Sistema de regulação ambiental que permite às indústrias da Comunidade Européia obter um registro publicado no jornal oficial da União Européia. Colaborou para determinação das condições de elaboração da Norma BS 7750. É certificável por meio da publicação no jornal oficial da União Européia;

- **British Standard Institution (BSI)**, 1994: Especificação para o desenvolvimento, implementação e manutenção de um SGA para assegurar e demonstrar conformidade com as declarações da empresa quanto à política, objetivos e metas ambientais. É voluntário e certificável;

- **International Standardization Organization (ISO)**, 1996: Norma ambiental internacional que especifica os requisitos relativos a um SGA, permitindo à organização formular sua política e objetivos que levem em conta os requisitos legais e informações referentes aos impactos ambientais significativos. É voluntário e certificável.

Segundo ALMEIDA (2008), no início da década de 90, surgiu o conceito de Sistema de Gestão Ambiental, formalizado pela *British Standard Institution (BSI)* na Norma BS 7750 – *Specification for Environmental Management Systems*. O sistema proposto na referida Norma, por sua vez, apóia-se nos conceitos de Gestão da Qualidade definidos na Norma BS 5750, que deu origem à série de Normas internacionais ISO 9000.

A Norma BS 7750 serviu de base para as Normas Ambientais da Série ISO 14000, em especial a ISO 14001:2004, um dos focos deste trabalho. Ambas serão detalhadas nos itens seguintes.

DISCUSSÕES TEÓRICAS

Análise de Riscos

Segundo Moriarty e Roland (1983 citado por VINCOLI, 2006), até os anos 40 os projetistas de sistemas e os engenheiros utilizavam o método de 'tentativa e erro' para elaborar projetos com segurança. Os equipamentos operavam até apresentar problemas ou se romperem, causando acidentes. A partir dos anos 50, o programa aeroespacial contribuiu para o crescimento de projetos de sistemas mais seguros. No início dos anos 60, um dos primeiros sistemas desenvolvidos, incluindo um programa de segurança, foi o *Minuteman Intercontinental Ballistic Missile (ICBM)*.

De acordo com Vincoli (2006), em julho de 1969, a *U.S. Department of Defense* (DOD) formalizou os requisitos de segurança de sistemas publicando o MIL-STD-882 – *System Safety Program Requirements*. Desde então, a NASA (*U.S. National Aeronautics and Space Administration*) desenvolveu programas e aprimorou a segurança de sistemas, especialmente após o desastre da *Challenger* em 1986 e da perda do Columbia em 2003, com o propósito de reduzir riscos de falhas e acidentes.

Segundo Camacho (2004), um marco no desenvolvimento de uma metodologia que conceituou e avaliou o risco ao homem devido às operações das plantas nucleares, no início da década de 70, foi o Relatório WASH 1400 (USAEC, 1975), um guia de procedimentos para avaliação probabilística de segurança, a ser utilizado como instrumento de avaliação da segurança destas plantas nucleares. Em 1978, foi conduzido um estudo abrangente envolvendo instalações não nucleares no Reino Unido, que deu origem ao Relatório CANVEY (1978).

O conceito de risco definido no WASH 1400 está associado a dois outros conceitos: de um lado a consequência de um dado cenário acidental e do outro lado, a chance de que este cenário ocorra. O risco é definido como sendo o produto da consequência de um cenário acidental, pela sua respectiva frequência de ocorrência. Neste caso, o cálculo do risco utiliza informações de duas áreas distintas do conhecimento. De um lado os chamados modelos de consequência e vulnerabilidade e do outro a engenharia da confiabilidade, que serão descritos em itens seguintes.

Em 1982 foi realizado um estudo abrangente de avaliação de perigos envolvendo instalações não nucleares em Rijnmond, localizada no Delta do Reno entre o Rotterdam e o Mar do Norte, o Relatório RIJNMOND.

Em 2000 foi desenvolvido pelo Instituto Americano de Engenheiros Químicos (AIChE), o Guia de Procedimentos (*Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*) para avaliação dos riscos relacionados à segurança das plantas de processo em geral.

A Análise de Risco constitui um importante instrumento para a identificação de riscos em uma unidade produtora ou em uma determinada atividade. A análise consiste no exame sistemático de uma instalação industrial (projeto novo ou unidade existente) com o objetivo de identificar os riscos presentes no sistema e fornecer informações sobre as ocorrências potencialmente perigosas e suas possíveis consequências (MEYER, 2005).

De acordo com Glasmeyer (2006), o estudo de Análise de Risco deverá compreender as seguintes etapas: Caracterização do empreendimento e da região; Identificação de Perigos e consolidação de hipóteses acidentais; Estimativa dos efeitos físicos (danos e perdas); Análise de Vulnerabilidade para todos os cenários de risco identificados; Estimativa de frequências; Estimativa e Avaliação de Riscos; Gerenciamento de Riscos.

Segundo a FEPAM (2001), o risco industrial é igual à intensidade de perigo dividido pela quantidade de salvaguardas, sendo que perigo pode ser representado pela quantidade de material perigoso capaz de ser liberado acidentalmente para o meio e as salvaguardas são combinações de fatores que tendem a minimizar os efeitos danosos de liberações acidentais. O

principal fator de salvaguarda que deverá ser considerado para fins de classificação são a distância entre o ponto de liberação do material perigoso e a população.

Para atividades de categoria de nível de risco 4, de acordo com a FEPAM (2001), é requerida a análise quantitativa de riscos (AQR) das instalações, com as seguintes etapas: Objetivos e abrangência do estudo; Informações gerais sobre a região onde se localiza a atividade; Descrição técnica dos sistemas e das instalações em geral; Identificação dos Eventos Iniciadores; Avaliação da frequência de ocorrência dos cenários; Análise de Vulnerabilidade; Avaliação dos Riscos; Identificação de medidas para redução dos riscos; Reavaliação dos riscos considerando-se a implementação das medidas; Discussão sobre eficiência ou não das medidas.

Segundo Lees (1996, citado por CAMACHO, 2004), os modelos de consequência e vulnerabilidade servem para avaliar, no caso de um acidente, a área atingida por um nível particular de efeito físico bem como a parcela dos recursos (pessoas, estruturas, meio ambiente em geral) que sofrerá um tipo particular de dano. É a determinação de uma espécie de resposta dos recursos, aos efeitos físicos submetidos.

De acordo com Henley e Kumamoto (1996, citados por CAMACHO, 2004), a engenharia de confiabilidade permite avaliar o desempenho de componentes, equipamentos ou sistemas de uma planta, no cumprimento de suas missões. As técnicas de engenharia de confiabilidade, tais como árvores de eventos e árvores de falhas, permitem determinar a chance de ocorrência e a frequência de ocorrência dos cenários acidentais.

Nos últimos anos muitas técnicas e métodos usados para aperfeiçoar as tarefas dos sistemas de segurança têm evoluído com o objetivo de identificar, eliminar ou controlar perigos e reduzir riscos a um nível aceitável nas operações dos sistemas. Seguem alguns conceitos de riscos com diferentes visões de seus autores:

Na visão Bernstein (1997, citado por MEYER, 2005), a palavra risco é uma derivação italiana antiga para *risicare*. Seu significado resume-se a uma expressão do pensamento que muito tem a ver com a evolução social, científica e tecnológica do Homem: *ousar*. Sob esta raiz, o risco vem a ser uma 'opção' da humanidade e não um 'destino' divinamente traçado.

Para Bastias (1977, citado por MEYER, 2005), risco é uma ou mais condições de uma variável com potencial suficiente para degradar um sistema, interrompendo e/ou ocasionando o desvio das metas de maneira total ou parcial, e/ou aumentando os esforços programados em termos de pessoal, equipamentos, instalações, materiais e recursos financeiros entre outros aspectos.

Segundo Ansell e Wharton (1992, citados por MEYER, 2005), o risco está associado a uma falha de um sistema, sendo a possibilidade desta falha, usualmente entendida em termos de probabilidade. No entanto, os autores preferem trabalhar com a possibilidade de falha de um sistema ao invés da probabilidade, alegando que a visão probabilística somente se preocupa com a ocorrência de um evento dentro de uma população, enquanto que, ao analisar a possibilidade de falha, passa a preocupar-se com um evento em particular.

De acordo com Glasmeyer (2006), para a quantificação de riscos, ou seja, a sua expectativa, faz-se necessário a introdução de dados provenientes da teoria das probabilidades, uma vez que as falhas e defeitos em equipamentos ou instalações são consequências de uma complexa interação de seus componentes individuais.

Segundo Moura (2004), o risco reflete a incerteza associada a um perigo, com um evento imaginário ou com a possibilidade de acontecer no futuro, que cause uma redução de segurança. É a probabilidade de perda ou danos em pessoas, sistemas e equipamentos em um determinado período de tempo, como resultado de uma situação de perigo.

Para o autor, o risco é função da probabilidade ou da frequência de ocorrência de um acidente e de um dado tipo de dano resultante do acidente, ou seja, a magnitude das consequências. Em geral, há uma tendência a associar o risco mais à probabilidade de ocorrência do evento do que às consequências, embora o correto seja associar as duas variáveis.

De acordo com Moreira (2001), frequência e probabilidade são fatores excludentes entre si, pois se a análise se refere a um aspecto que ocorre efetivamente, avalia-se sua frequência e se a análise se refere a um risco, cujo evento pode ou não ocorrer, avalia-se sua probabilidade. Na visão clássica a probabilidade é uma frequência relativa.

Análise de Risco Ambiental

De acordo com Galvão Filho e Newman (2001, citamos por ALMEIDA, 2008), o estudo de risco ambiental apareceu como disciplina formal nos Estados Unidos entre 1940 e 1950, paralelamente ao lançamento da indústria nuclear e também para a segurança de instalações (*safety hazard analysis*) de refinamento de petróleo, indústria química e aeroespacial.

Segundo Glasmeyer (2006), com o aprimoramento das atividades industriais, especialmente a partir da década de 70, ocorreu a necessidade do aperfeiçoamento de instalações de processo, principalmente em indústrias químicas e petroquímicas, que passaram a demandar a utilização de novos produtos e fontes de energia cada vez mais complexos, maiores temperaturas e pressões de trabalho dos equipamentos, operações em regime de fluxo contínuo, aumento de interligação entre processos e outros fatores que agravaram as condições de risco das mesmas.

Como decorrências destes novos riscos, denominados riscos tecnológicos, diversos acidentes passaram a ser registrados, muitos dos quais apresentando consequências extremamente graves aos trabalhadores, às comunidades vizinhas a estas instalações e ao próprio meio ambiente.

Inicialmente estas circunstâncias foram assimiladas como consequências naturais do próprio progresso que a atividade industrial vinha experimentando, sem que suas reais causas merecessem uma análise mais apurada.

Entretanto, a magnitude destes acidentes despertou a preocupação da comunidade científica e das autoridades responsáveis pela regulamentação de atividades operacionais, as quais passaram a discutir mecanismos destinados à adequada gestão de riscos, em especial para instalações onde sejam encontrados riscos de acidentes de grandes proporções.

A partir destas discussões e estudos, foram estabelecidos, inicialmente na Europa e sequencialmente nos Estados Unidos, requisitos regulatórios para a prevenção de acidentes em instalações de riscos maiores.

De acordo com Glasmeyer (2006), as primeiras discussões efetivas sobre o tema risco ambiental ocorreram no início da década de 1970, conduzidas por grupos preocupados com a questão da irreversibilidade de danos ao meio ambiente, causados por determinadas atividades econômicas, em especial oriundas de atividades industriais. O termo Risco Ambiental passou a ser relacionado aos danos causados pelo homem ao ambiente natural, por meio da poluição e da exaustão de recursos naturais.

Segundo a USEPA (1989), a análise de risco ambiental era originalmente associada ao estudo dos riscos toxicológicos a que os humanos estariam expostos devido à presença de substâncias artificiais no ambiente. Entretanto, esta análise passou a incorporar os riscos que as atividades humanas impõem ao ambiente como um todo, incluindo-se os riscos aos próprios seres humanos. Esta interpretação pressupõe uma visão mais ampla da realidade, onde os humanos fazem parte do que se denomina ambiente, evitando a tradicional cisão entre sociedade humana e natureza.

Em 1972, na primeira Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente das Nações Unidas, ocorrida na Suécia, a questão dos impactos negativos ao meio ambiente provenientes das atividades humanas conduziu à criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) no qual é dada grande ênfase a questão da gestão de riscos ambientais.

Segundo Haddad et al. (2009), no Brasil, a preocupação com a segurança ambiental e de pessoas próximo a indústrias, cresceu a partir de 1981, com a aprovação da Lei 6.938/1981, que determina que toda nova instalação deve apresentar um estudo de suas vulnerabilidades e licença para operar.

Em 1992, na Conferência RIO 92 o risco ambiental passou a ser objeto central de debate, com a formalização do Princípio da Precaução como mecanismo destinado a orientar a tomada de decisões em relação a riscos introduzidos pelas atividades humanas ao meio ambiente. Este princípio compreende a garantia contra riscos que, de acordo com o estado atual do conhecimento, ainda não possam ser identificados (FOSTER, 2002 citado por GLASMEYER, 2006).

Segundo Moura (2004), a realização de análise de riscos ambientais e estudo de confiabilidade das plantas ou instalações industriais, se revelou como uma ferramenta interessante no auxílio à determinação de impactos ambientais em potencial. Pode identificar ações preventivas e preparar respostas às emergências. Os órgãos ambientais têm estimulado a

sua realização, sobretudo as análises quantitativas, que mostram, em termos numéricos (probabilísticos), os riscos ambientais, retirando um pouco o caráter subjetivo que existe na análise qualitativa.

O autor alerta para o fato de que ao se realizar a análise de risco ambiental deve-se refletir sobre as seguintes variáveis: (a) A gravidade da consequência do evento ou impacto ambiental, ou severidade, que dará uma graduação das consequências, desde a morte de pessoas e elevados danos ambientais até consequências desprezíveis para pessoas e o meio ambiente, na ocorrência do evento ou do impacto ambiental considerado; (b) A probabilidade ou frequência de ocorrência de um determinado impacto ambiental. A frequência é avaliada quando se trata de um impacto que ocorre com certa constância (por exemplo, o lançamento de um determinado efluente industrial em um curso d'água) enquanto a probabilidade considera os impactos potenciais, que normalmente não ocorrem, mas para os quais existe uma chance de que ocorra (por exemplo, o rompimento de um tanque contendo amônia, cujo vazamento poderia contaminar um curso d'água próximo).

De acordo com Moura (2004), a empresa deve definir uma prioridade para a solução dos inúmeros impactos ambientais que podem ser identificados durante a implantação do Sistema de Gestão Ambiental. Para esta priorização, o autor sugere a utilização da Matriz de Risco que é definida pelas categorias da gravidade (severidade: I, II, III e IV) das consequências dos eventos ou impactos ambientais no eixo horizontal e pelo nível da frequência ou probabilidade de ocorrência destes impactos no eixo vertical (frequências: A, B, C, D e E).

Segundo o autor, as categorias de gravidade das consequências são definidas para indicar uma medida qualitativa do pior evento que esteja ocorrendo ou que tenha risco de ocorrer, resultante de erros do operador, condições ambientais, projeto e/ou procedimentos inadequados ou falhas e funcionamento inadequado de sistemas, subsistemas ou componentes. As denominações e níveis das categorias são: Catastrófica (I): perigo à vida de pessoas ao redor da área, como resultado dos produtos e processos envolvidos, riscos elevadíssimos para o meio ambiente; Crítica (II): ameaça à saúde das pessoas ao redor da área, prejuízo sério ao meio ambiente em casos de acidentes, não conformidade com requisitos legais, consumo significativo de recursos naturais; Marginal (III): não conformidade com requisitos internos (normas), prejuízo moderado ao meio ambiente, não conformidade com a política ambiental da empresa, possível prejuízo à reputação da empresa, consumo moderado de recursos naturais; Desprezível (IV): impacto baixo ou muito baixo sobre o meio ambiente, evento dificilmente detectado.

Ainda segundo Moura (2004), a frequência ou probabilidade de ocorrência de impactos ambientais é determinada por pesquisa, análise e avaliação do desempenho histórico do sistema (ou de sistemas semelhantes), podendo ser descrita em ocorrências reais ou potenciais por unidade de tempo, evento, população, itens ou atividades. As denominações e os níveis de frequência são: Frequente (A): ocorre frequentemente ou tem alta probabilidade ou ocorre permanentemente quando iniciada a atividade; Provável (B): Ocorrerão várias vezes na vida do

sistema ou do item; Ocasional (C): Ocorrerá algumas vezes na vida do sistema ou do item; Remota (D): Não se espera que ocorra (embora haja alguma expectativa), ao longo da vida do sistema ou do item; Improvável (E): Pode-se assumir que não irá ocorrer, ao longo da vida do sistema ou do item.

Para cada combinação da frequência ou da probabilidade de ocorrência com a gravidade das consequências, é atribuído um valor. Moura (2004) sugere as seguintes classificações e valores para os efeitos destas combinações: Crítico (valor igual ou superior a 9): situações de alta gravidade com probabilidade de ocorrência considerada alta que são condições inaceitáveis. Neste caso, deverão ser tomados cuidados mais expressivos, com ações para gerenciar os riscos e modificar os sistemas; Significativo (inferior a 9 e igual ou superior a 6): idem ao anterior; Reduzido: (inferior a 9 e igual ou superior a 4): situações em que é prudente realizar ações de gerenciamento de risco; Marginal (inferior a 4): idem ao anterior.

Os impactos ambientais com os maiores valores dos efeitos devem ser selecionados e priorizados na análise de risco ambiental. De acordo com Almeida (2008), a avaliação de riscos ambientais tem como principal vantagem fornecer informações sobre a tipologia de um acidente em potencial, facilitando dessa forma, a implementação de ações preventivas que minimizem a possibilidade de medidas mitigadoras, caso ocorra o acidente. Seguem alguns conceitos de risco ambiental, com diferentes visões de seus autores:

Segundo a NZEPA (1991, citado por CAMACHO, 2004), o risco ambiental é o produto da frequência do cenário acidental pela respectiva consequência. A quantificação das consequências deve considerar não apenas o dano à integridade física direta, mas também avaliações de natureza ecológica e econômica, entre outras, dos efeitos adversos provocados pelas liberações acidentais no ambiente.

De acordo com Wessberg et al. (2008), o risco ambiental é aquele cujas consequências têm efeitos para a saúde humana, as condições de vida e ambiente de vida, o solo, as águas superficiais e subterrâneas, o ar, o clima, a flora, a fauna, bem como a biodiversidade, a estrutura das comunidades, edifícios, paisagem, paisagem urbana, patrimônio cultural e toda a interação entre esses elementos.

A Análise de Risco Ambiental engloba as seguintes etapas: (a) Definição do escopo da análise: objetivos, limites, conjunto de dados e informações; (b) Identificação, classificação e priorização dos aspectos e impactos ambientais; (c) Definição das frequências ou probabilidades de ocorrência de cenários de acidentes ambientais; (d) Análise de Consequências (perdas e/ou danos); (e) Análise de Vulnerabilidade; (f) Cálculo dos Riscos Ambientais (probabilidades e consequências); (g) Avaliação dos Riscos Ambientais; (h) Gerenciamento dos Riscos Ambientais: prevenção (redução das frequências ou probabilidades) e proteção (redução de consequências) contra os riscos ambientais.

O controle e redução dos riscos ambientais fazem parte do gerenciamento ambiental de riscos. Riscos tecnológicos ambientais são todos os problemas relativos aos contaminantes

ambientais e que estão, de uma maneira ou de outra, associados ao crescente processo de industrialização. Este tipo de risco vem ocorrendo desde o final do século passado, em que ao lado do incremento das pesquisas, do desenvolvimento e da difusão de novas tecnologias, os processos de produção e seus produtos ocasionam um aumento no risco de acidentes, causando danos aos ecossistemas e à saúde do homem (BERGER, 1982).

Análise de Risco Ambiental e a Norma ISO 14000

Neste trabalho, uma das proposições é a utilização da análise de simulação como uma ferramenta de auxílio à organização, na avaliação dos aspectos e impactos ambientais, mencionados na Norma ABNT NBR ISO 14001:2004. Estes aspectos e impactos podem ser identificados com o auxílio da análise de risco ambiental e modelados na análise de simulação computacional.

De acordo com BVQI (2004), a avaliação de risco ambiental, embora não seja um requisito direto da Norma ABNT NBR ISO 14001:2004, pode ser uma ferramenta útil para o atendimento de alguns dos seguintes requisitos da Norma:

Item 4.3.1 - Aspectos Ambientais: A organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento(s): a) Identificar os aspectos ambientais de suas atividades, produtos e serviços, dentro do escopo definido do seu SGA, que a organização possam influenciar, levando em consideração os desenvolvimentos novos ou planejados, as atividades, produtos e serviços novos ou modificados; b) Determinar os aspectos que tenham ou possam ter impacto(s) significativo(s) sobre o meio ambiente (isto é, aspectos ambientais significativos).

Item 4.4.6 - Controle Operacional: A organização deve identificar e planejar aquelas operações que estejam associadas com os aspectos ambientais significativos, identificados de acordo com sua política, objetivos e metas ambientais para assegurar que elas sejam realizadas sob condições específicas por meio de: a) Estabelecimento, implementação e manutenção de procedimento(s) documentado(s), para controlar situações onde sua ausência possa acarretar desvios em relação à sua política e aos objetivos e metas ambientais; b) Determinação de critérios operacionais no(s) procedimento(s); c) Estabelecimento, implementação e manutenção de procedimento(s) associado(s) aos aspectos ambientais significativos identificados de produtos e serviços utilizados pela organização, e a comunicação de procedimentos e requisitos pertinentes a fornecedores, incluindo-se prestadores de serviço.

Item 4.4.7 - Preparação e Resposta à Emergência: A organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento(s) para identificar situações potenciais de emergência e acidentes que possam ter impactos sobre o meio ambiente e sobre como a organização responderá a estes. A organização deve responder às situações reais de emergência e aos acidentes, e prevenir ou mitigar diversos impactos ambientais associados. A organização deve periodicamente analisar e, quando necessário, revisar seus procedimentos de preparação e resposta à emergência, em particular após a ocorrência de acidentes ou situações emergenciais. A organização deve também periodicamente testar tais procedimentos, quando exequível.

Item 4.5.1 - Monitoramento e Medição: A organização deve estabelecer, implementar e manter procedimento(s) para monitorar e medir, regularmente as características principais de suas operações que possam ter um impacto ambiental significativo. O(s) procedimento(s) devem incluir a documentação de

informações para monitorar o desempenho, os controles operacionais pertinentes e a conformidade com os objetivos e metas ambientais da organização. A organização deve assegurar que equipamentos de monitoramento e medição calibrados ou verificados sejam utilizados e mantidos, devendo-se reter os registros associados.

Segundo BVQI (2004), considerando os itens da Norma citados acima, a determinação e a avaliação dos aspectos ambientais significativos é a chave para a criação de um completo SGA. Os aspectos ambientais, definidos no item 3.5 são as causas dos impactos ambientais, os quais são as consequências advindas destes aspectos. A significância dos mesmos é designada pela organização a partir da análise de alguns fatores entre os quais, o risco, que é considerado como qualquer aspecto que possa ocasionar danos à saúde, propriedade ou ao meio ambiente.

De acordo com Moura (2004), após a identificação dos aspectos e impactos ambientais, é necessário avaliar situações possíveis de ocorrerem, as quais não ocorrem durante situações normais do processo produtivo, e situações de risco, que na eventualidade de acidentes poderiam gerar impactos catastróficos, com graves consequências para pessoas e para o meio ambiente.

As avaliações das situações de risco se fazem por meio do Gerenciamento dos Riscos, que segundo Morgado et al. (2002) é uma ciência que permite ao homem conviver de maneira mais segura com os riscos a que estão expostos. Tem a função de proteger os seres humanos, seus recursos materiais e o meio ambiente. Em uma organização, um programa de gerenciamento de risco tem o objetivo de identificar, analisar e avaliar os riscos existentes e assim decidir como poderão ser tratados.

Análise das Consequências

Segundo Ericson (2005), esta metodologia foi desenvolvida nos Laboratórios Nacionais CCA RISO, na Dinamarca, na década de 70, especialmente para auxiliar nas análises de risco e de confiabilidade de usinas nucleares em países escandinavos.

Crowl e Louvar (2001, citados por GLASMEYER, 2006), indicam que os métodos de Avaliação de Riscos devem incluir não somente a Identificação de Incidentes, mas também a análise de suas consequências. Enquanto a primeira descreve 'como' os eventos podem acontecer, a segunda deve identificar a expectativa de danos esperados em sua decorrência, incluindo possíveis lesões e perdas de vidas, danos ao meio ambiente, materiais e outros decorrentes da paralisação de atividades.

Segundo Galvão Filho e Newman (2001, citamos por ALMEIDA, 2008), tomando-se por base as hipóteses acidentais definidas na fase de identificação dos riscos, cada uma delas deverá ser estudada em termo das possíveis consequências que podem ser ocasionadas por esses eventos, mensurando-se, também, os impactos e danos causados.

Segundo Kirchhoff (2004), a análise de consequências envolve atividades que tentam relacionar as fontes de perigo com os receptores potenciais, tais como: Caracterização da quantidade, forma e taxa de material e energia liberadas para o meio ambiente; Estimativa, por

meio de medições e/ou modelagem, do transporte de materiais e propagação de energia pelo meio ambiente, na direção dos receptores de interesse; Avaliação dos efeitos na saúde e segurança relacionados aos níveis de exposição projetados, especialmente no que se refere às concentrações atmosféricas; Identificação dos impactos ambientais; Estimativa de perdas e danos à propriedade e outros impactos econômicos.

Segundo Meyer (2005), a análise de consequência busca a estimativa das áreas potencialmente sujeitas aos efeitos físicos danosos (sobre pressão, radiação térmica e nuvem de gases tóxicos) de liberações acidentais de substâncias perigosas ou de energia descontrolada. O objetivo principal é definir a extensão da área no entorno das instalações industriais que pode estar sujeita aos efeitos de possíveis acidentes, considerando as condições ambientais predominantes da região.

Ainda conforme a autora, a metodologia de uma análise de consequência consiste na aplicação de modelos matemáticos com suporte de computação para quantificar os efeitos dos possíveis acidentes. Estes efeitos físicos possuem o potencial de ocasionar danos às pessoas, às instalações e ao meio ambiente e sua extensão é proporcional à intensidade do efeito físico causador do dano. Os cálculos permitem dimensionar o alcance dos impactos dos acidentes no espaço da instalação industrial e de sua vizinhança.

De acordo com Duarte (2002, citado por MEYER, 2005), os dados utilizados para o cálculo são: características dos equipamentos, parâmetros de operação e condições do ambiente (dados meteorológicos, topografia etc.). A partir desses dados é possível saber a que distância os efeitos do acidente se farão sentir, com que intensidade e em quanto tempo.

Segundo Camacho (2004), para a avaliação das áreas vulneráveis, a primeira etapa é a “caracterização do cenário de acidente”, que consiste na apresentação de todas as condições físicas e hipóteses necessárias para a determinação dos efeitos físicos do acidente, tais como o produto vazado, a localização do vazamento na instalação e as suas condições físico-químicas no momento do vazamento. Na segunda etapa, aplicam-se os modelos de cálculo, que permitem estimar uma variada gama de eventos acidentais, obtendo-se assim a delimitação das áreas que poderão ser atingidas por cada um dos efeitos físicos de interesse. Pode-se determinar a quantidade de produto que é liberada para o ambiente durante certo tempo (denominada ‘taxa de emissão’), e em seguida determinar a evolução espacial e a temporal desses efeitos.

Conforme Duarte (2002, citado por MEYER, 2005), os cálculos são realizados em modelos de espalhamento de líquidos sobre superfícies de corpos d’água, de misturas e diluições, de dimensionamento de chama, de espalhamento de líquidos de baixa e alta viscosidade, de espalhamento de substâncias criogênicas, gases com baixa temperatura de ebulição, sobre corpos d’água e evaporação das mesmas, de espalhamento e resfriamento de substâncias químicas de alta pressão de vapor, de mistura e diluição de substâncias químicas de alta pressão de vapor (substâncias altamente solúveis em água) e de evaporação de líquidos com temperatura de ebulição abaixo da temperatura ambiente.

Segundo o autor, pode-se também utilizar modelos secundários que permitem avaliar a intensidade e o alcance espacial dos efeitos conforme as características do acidente. De modo geral, os sub-modelos permitem caracterizar os seguintes eventos: ignição, explosão, *flash fire*, incêndio em poça e vazamento de gases tóxicos. O espaço definido pelos modelos sobre o qual, em algum grau, deve haver impacto do acidente, é denominado 'espaço vulnerável'.

De acordo com Petrobras (1991, citado por MEYER, 2005), as consequências dos acidentes são estimadas com base nos resultados das análises de vulnerabilidade e de consequências. Para Meyer (2005), as análises de vulnerabilidade e de consequências fornecem informações aplicáveis ao planejamento de controle de emergências, com indicações das áreas internas e externas que são afetadas pelos impactos do acidente. Estas áreas devem ser objeto de planejamento de medidas para proteção, a fim de se impedir a ocorrência de efeitos negativos sobre os trabalhadores (espaço interno) e sobre a população vizinha (espaço externo).

Análise de Vulnerabilidade

De acordo com Glasmeyer (2006), empreendimentos que apresentem Índice de Risco igual a 3 devem preparar e submeter aos órgãos responsáveis pelo licenciamento ambiental, a Análise de Vulnerabilidade, baseada em critérios determinísticos com dados relativos à área do entorno, considerando populações e demais áreas sensíveis ao cenário de riscos mais crítico (maior Índice de Risco).

Para o autor, o resultado da Análise de Vulnerabilidade deverá ser apresentado sob a forma de mapas da região, com destaque para o layout da instalação analisada, sobre a qual seriam traçadas as curvas demarcatórias das áreas de vulnerabilidade identificadas para os efeitos decorrentes de emissões tóxicas, incêndios ou explosões.

Ainda segundo Glasmeyer (2006), para a delimitação de áreas vulneráveis devem ser considerados os seguintes limites (*endpoints*):

- Para substâncias tóxicas, considerar a dispersão máxima, até o ponto de concentração equivalente ao valor máximo da concentração da substância no ar à qual pode se expor uma pessoa por 30 minutos sem danos irreversíveis, o qual é denominado IDLH - *Immediately Dangerous to Life and Health* (Imediatamente Perigoso para Vida e Saúde), estabelecido pelo Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (*National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH - USA) ou calculado conforme já referenciado, em função da Concentração Letal 50 (CL50) da substância em análise;
- Para dispersão de substâncias inflamáveis, considerar a dispersão máxima, até que seja atingido o limite inferior de inflamabilidade da substância;
- Para situações que representem risco de incêndio em poças de fogo (incêndio oriundo de poças de materiais vertidos e lançados em fase líquida a um determinado local de contenção, também conhecido como *pool fire*) ou jatos de fogo (incêndio proveniente da perda de contenção de gases inflamáveis que, ao escoarem em alta velocidade e encontrando fonte de ignição, provoquem fogo nas proximidades do ponto de vazamento, também conhecido como *jet fire*), deverá ser calculada e demarcada a curva equivalente ao nível de fluxo térmico igual a 5

KW/m², correspondendo ao limite para o qual sejam esperadas as primeiras lesões de elevada gravidade a indivíduos expostos;

- Para situações que representem risco de explosão de qualquer natureza (nuvens de vapor, explosões físicas, confinadas ou não confinadas), sejam obtidas as curvas de sobrepressão equivalentes a 5 kPa, ou 500 mbar (correspondendo ao limite para apresentação de lesões sérias e irreversíveis, bem como danos em estruturas e quebra de vidros) e 14 kPa, ou 140 mbar (correspondendo ao limite de tolerância estimado para 1% da população exposta).

Sempre que os mapas obtidos indicarem presença de populações externas ou áreas sensíveis no interior das áreas de risco calculadas por este critério, deverá ser efetuada a reclassificação do Índice de Risco, que passará a ser considerado como 4, sendo exigida a realização de Estudos de Análise Quantitativa de Riscos para o cenário em estudo.

RESULTADOS

De acordo com a CETESB (2003), o Gerenciamento de Risco é um processo de controle de riscos, incluindo a formulação e implantação de medidas e procedimentos administrativos e técnicos, com o objetivo de prevenir, reduzir e controlar riscos, além de manter uma instalação operando dentro de padrões de segurança considerados toleráveis ao longo de sua vida útil.

Segundo Morgado (2002), algumas ferramentas podem ser utilizadas para auxiliar cada uma das fases do Gerenciamento de Riscos. Segue uma breve descrição das principais técnicas e métodos utilizados no Gerenciamento de Riscos, com suas principais características e aplicações segundo Ericson (2005), Glasmeyer (2006), Vincoli (2006) e Maia Neto (2007):

Análise Preliminar de Riscos/Perigos – APP (*Preliminary Hazard Analysis – PHA*)

Este método corresponde a uma adaptação da Norma Militar Americana MIL-STD-882 de 1969. A APP foi aplicada primeiramente como revisão nos novos sistemas de mísseis Atlas, após a destruição de quatro silos desse armamento. A necessidade, neste caso, era o fato de que tais sistemas possuíam características de alto risco, por utilizarem combustíveis líquidos perigosos. Assim, a APP foi aplicada com o intuito de verificar a possibilidade de não utilização de materiais e procedimentos de alto risco ou, no caso de tais materiais e procedimentos serem inevitáveis, no mínimo estudar e implantar medidas preventivas. Segundo AICHE (2000), a sua descendência de normas militares proporciona uma facilidade na identificação de liberação de energia de forma descontrolada ou de vazamentos ou perdas de contenção.

A APP consiste na identificação de perigos, suas causas, suas possíveis consequências, a magnitude destas consequências, a definição de medidas preventivas ou corretivas e responsáveis por ações previstas em decorrência da identificação de perigos. É adequada na análise de sistemas que apresentam baixa similaridade com quaisquer outros sistemas existentes, sendo utilizado principalmente em fases de desenvolvimento, implantação e operações de novos

sistemas. É uma técnica abrangente que informa as causas que ocasionaram a ocorrência de cada um dos eventos e as suas respectivas consequências. Com os dados obtidos, pode-se fazer uma avaliação qualitativa da severidade das consequências e a frequência de ocorrência do cenário de acidente, obtendo-se dessa forma o risco associado ao evento.

Esta técnica necessita ser complementada por outras mais detalhadas e apuradas. Também requer uma equipe com grande experiência em várias áreas de atuação como: processo, projeto, manutenção, instrumentação e segurança. As informações manipuladas para a classificação dos riscos a partir da Matriz de Risco devem ser utilizadas com critério, pois elas são geradas a partir da sensibilidade de um técnico executor da metodologia em conjunto com um operador ou responsável com maior experiência no sistema em questão, não sendo um resultado de natureza determinística.

Árvore de Eventos – AE (*Event Tree Analysis* – ETA)

Segundo AICHE (1992, citado por MAIA NETO, 2007), uma análise por árvore de eventos, apresentada na Figura 01, mostra graficamente os resultados de um acidente advindo de um evento iniciador, sejam eles uma falha específica de um equipamento ou uma falha humana. A metodologia busca determinar as frequências das consequências decorrentes dos eventos indesejáveis, utilizando encadeamentos lógicos a cada etapa de atuação do sistema. Em sua elaboração são consideradas as respostas dos sistemas de proteção e as possíveis ações dos operadores que se seguem ao evento iniciador. A relação de falha ou sucesso dessas respostas irá determinar os resultados possíveis (os acidentes).

Essa metodologia fornece uma descrição qualitativa das combinações de eventos que produzirão situações de emergência, ou seja: o conjunto de falhas ou erros humanos que conduzem ao acidente. Obtém-se uma estimativa quantitativa das frequências ou probabilidade de ocorrência e uma descrição passo a passo da sequência de eventos, sucessos ou falhas das funções de segurança que se seguem à ocorrência do evento iniciador.

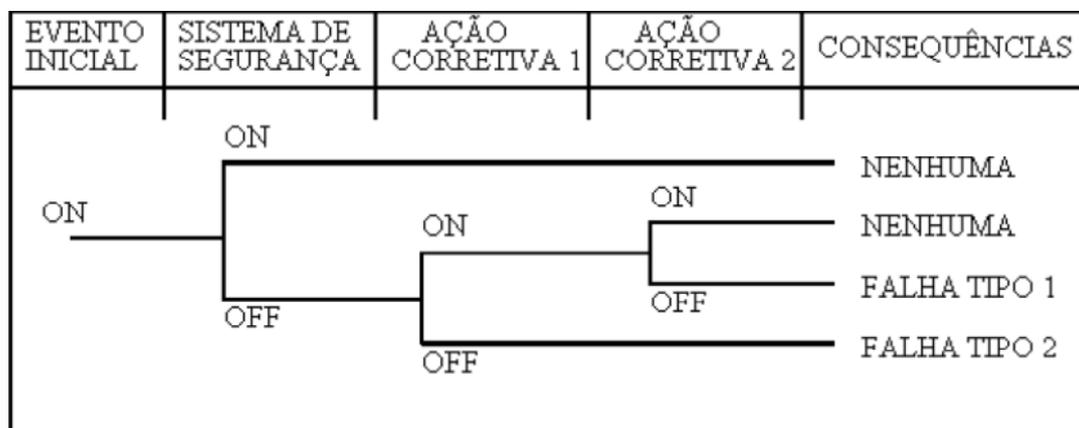


Figura 01: Árvore de Eventos Genérica. **Fonte:** AICHE (1992, citado por MAIA NETO, 2007).

Para elaborar uma árvore de eventos são efetuados os seguintes passos: Definição do evento iniciador que pode conduzir ao acidente; Definição dos sistemas de segurança que irão atuar mitigando o evento iniciador; Estabelecer uma árvore lógica de decisões as várias sequencias de acontecimentos que podem surgir a partir do evento inicial; Calcular as probabilidades de cada ramo do sistema que conduz a alguma falha (acidente).

A análise dos resultados leva à identificação das potenciais fraquezas do sistema com relação aos sistemas e segurança ou aos planos de emergência estabelecidos. A construção começa com o evento iniciador e caminha se subdividindo em vários braços em função da resposta SIM/NÃO, como por exemplo: Um equipamento de proteção falhou? Essa pergunta é geralmente binária (S/N), porém pode também ser em termos percentuais (100%, 20% ou 0% no caso de estar se referindo a uma falha de uma válvula de controle). Cada braço é condicionado a uma resposta do braço anterior da árvore.

A quantificação de uma árvore de eventos é relativamente simples, a probabilidade associada a cada braço, por meio da aplicação da condicional SIM/NÃO, dará as respostas de todos os braços conduzindo a eles. A soma das probabilidades para todos os resultados deve ser igual à unidade. O somatório da probabilidade desses resultados é a probabilidade do braço que os originaram.

Uma análise de árvore de eventos é uma metodologia adequada para a análise de sistemas com muitos dispositivos de segurança ou procedimentos de emergência embutidos, com o propósito de identificar os vários acidentes que podem ocorrer em um sistema complexo.

Para elaboração de uma análise de árvore de eventos é necessário o conhecimento prévio dos eventos potenciais iniciais (que pode ser feito por meio de uma árvore de falhas), do conhecimento das funções de segurança do sistema e dos planos de resposta às emergências.

A análise pode ser elaborado por um analista, com apoio de um grupo de especialistas dos sistemas a serem estudados, com duração de três a cinco dias, para pequenos sistemas, até três ou cinco semanas, no caso de sistemas complexos.

Segundo HSE (2000), os pontos fortes de uma análise de árvore de eventos são: Amplamente aceita e utilizada; Adequada para muitos perigos no estudo quantitativo de riscos que surgem de sequencia de falhas sucessivas; Forma clara e lógica de apresentação; Simples e de fácil compreensão.

Como pontos fracos têm-se: Perda da eficiência no caso de ocorrência de muitos eventos combinados, com muitos ramos redundantes; Todos os eventos devem ser assumidos como eventos independentes; Perda de clareza quando aplicada a sistemas que não terminam em uma falha simples ou um estado de operação do sistema.

Análise de Lista de Verificação (*Checklist Analysis*)

Uma análise de lista de verificação utiliza um procedimento ou uma lista de verificação previamente elaborada para verificar as condições de um sistema e sua conformidade com normas ou padrões vigentes. Pode ser utilizada em qualquer estágio do ciclo de vida de uma instalação, é de fácil compreensão e permite uma ampliação dos conhecimentos da instalação pelo fato de comparar as condições da instalação com os requisitos previamente formulados.

Pode ser utilizada na verificação de conformidade legal de uma instalação para se averiguar se a mesma está em conformidade com as normas e regulamentações pertinentes. Como resultado final obtém-se uma lista de questões baseadas nas deficiências encontradas ou nas diferenças em relação à normalização e de recomendações para adequação da instalação.

Uma lista de verificação normalmente possui um conjunto de perguntas a serem preenchidas com: “sim”, “não”, “não aplicável” ou “necessário maior informação” o que permite a verificação do status da instalação e o conhecimento das deficiências em relação às normas que geraram o lote de perguntas.

A seguir é apresentado um modelo de Lista de Verificação de Condições de Perigos em Relação a um Parque de Tanques de Produtos Perigosos - Perda de Contenção de Materiais (AIChE, 2000): Identificação de prováveis fontes de vazamentos; Isolamentos deficientes, drenos abertos, flanges descobertos; Falha de controle de instrumentação de segurança; Formação de fluxo bifásico (líquido/gás), expansão, contração; Presença de produtos em fase de vapores condensados; Alterações em condições normais de descarga; Colapso mecânico de equipamentos; Condições de sobrecarga; Transbordo, contra-fluxo, fluxo reverso; Pressão excessiva, perda de vácuo.

E-Se (*What if – WIF*)

Método de menor formalismo, utilizado na identificação de perigos onde a partir da aplicação do questionamento: “O que aconteceria se...” são promovidas discussões relativas a desvios que possam ocorrer em processos. Com base nas prováveis respostas a esta questão, a equipe que desenvolve a análise deve decidir sobre os perigos potenciais e sobre meios de prevenir que estes venham a provocar danos. Wells (1997, citado por GLASMAYER, 2006), apresenta esta técnica como um meio apropriado para encorajar discussões destinadas à identificação de perigos em áreas normalmente não abrangidas por processos formais de avaliação de segurança. Sua abrangência é limitada em relação a estudos mais complexos.

Análise Por Árvore de Falhas – AAF (*Fault Tree Analysis-FTA*)

Segundo Lees (2005, citado por MAIA NETO, 2007), a Análise de Árvore Por Falhas foi criação dos Laboratórios da *Bell Telephone* em 1961, a pedido da Força Aérea Americana para avaliação do sistema de controle do Míssil Balístico *Minuteman*. O principal conceito na árvore de falhas é a transformação de um sistema físico em um diagrama lógico estruturado (a árvore de falhas), onde são especificadas as causas que levam à ocorrência de um específico evento indesejado de interesse, chamado evento topo.

De acordo com a ABS (2001) trata-se de uma técnica de avaliação de frequência, dedutiva, focada em um acidente em particular ou uma falha, seja sistêmica ou de equipamento. Uma árvore de falhas é um modelo gráfico que mostra as várias combinações possíveis de falhas básicas dos equipamentos e/ou erros humanos que possam resultar no evento topo (acidente). Esse tipo de análise promove uma descrição qualitativa dos problemas potenciais em forma de combinação de eventos causadores do evento topo e uma estimativa quantitativa das frequências de falhas. Isso permite que o Analista de Riscos identifique os pontos mais críticos e estabeleça medidas preventivas ou mitigadoras nesses pontos para redução da frequência do acidente.

Segundo o HSE (2000) algumas das finalidades da árvore de falhas são: Avaliação da frequência do evento topo, baseado nas estimativas das taxas de falhas de cada componente da árvore; Apresentação de risco, de forma a mostrar como os vários fatores contribuintes se combinam para produzir o evento indesejável; Identificação de perigo, usado qualitativamente para identificar combinações de eventos básico que são suficientes para causar o evento de topo.

O evento indesejado recebe o nome de evento topo por uma razão lógica, pois na montagem da árvore de falhas o mesmo é colocado no nível mais alto, no topo do diagrama. Os eventos do nível inferior recebem o nome de eventos básicos ou primários, pois são eles que dão origem a todos os eventos de nível mais alto.

Segundo Taylor (2000, citado por MAIA NETO, 2007), em análises de sistemas complexos, com muitos graus de redundância a construção da árvore torna-se muito complexa, chegando a atingir milhares de eventos, como é o caso da indústria nuclear. Uma abordagem utilizada para se estabelecer um ponto de corte, conhecida como *cut set*, é manter a combinação de eventos de um determinado ramo da árvore dentro de um valor de probabilidade pré-definido.

Para cada evento de nível inferior, deve ser verificada qual condição lógica é necessária para produzir o evento do nível superior. Por exemplo: se um único evento básico ocasiona a ocorrência do evento topo utiliza-se uma porta lógica "OU" (OR) para representar essa ligação. Caso o evento topo só ocorra se todos os eventos básicos estiverem presentes utiliza-se então o conector "E" (AND).

A árvore de falhas é uma metodologia que se aplica bem em análises de sistemas com alta redundância. Se o caso da análise for um sistema particularmente vulnerável a uma falha única, o

uso de uma FMEA ou um HAZOP deverá ser mais aconselhado, pois são ferramentas de identificação.

Segundo a AICHE (2000), as Árvores de Falha são utilizadas também como complemento de análises anteriores como uma APP/APR ou um HazOP (*Hazard and Operability Studies*) nas quais se encontre um importante cenário que necessite de um estudo mais detalhado.

Análise do Modo de Falha e Efeitos – AMFE (*Failure Mode and Effect Analysis- FMEA*)

Nesta análise são relacionados os equipamentos utilizados em um determinado processo, aos quais são associadas possíveis falhas em seus modos operacionais. A probabilidade de falhas é obtida em função do tempo médio, entre falhas, esperado para os subsistemas em análise. Deve ser identificada também a sistemática que permitirá a detecção da falha, uma vez que a confiabilidade dos sistemas de detecção influirá diretamente no resultado final da análise.

A confiabilidade é definida como a probabilidade de uma missão ser concluída com sucesso dentro de um tempo e condições específicas. A FMEA foi desenvolvida por engenheiros de confiabilidade para permitir aos mesmos, determinar a confiabilidade de produtos. Para isto é necessário o estabelecimento de como e quão frequentemente os componentes desse produto tendem a falhar, e qual o efeito dessa falha para o comportamento do equipamento ou sistema.

Resulta desta avaliação a categorização de perigos, que permitirá identificar a criticidade de cada elemento dentro do processo global em análise, e possibilitará a definição de ações de compensação e reparos necessárias.

De acordo com ABS (2000) a FMEA pode ser aplicada para qualquer sistema, sendo, porém muito utilizada na identificação de modos de falha em sistemas elétricos e mecânicos como ferramenta de suporte à elaboração de planos de manutenção desses equipamentos, pois o método foca sistematicamente as falhas de cada equipamento envolvido.

Estudos de Operabilidade e Perigos/Riscos (*Hazard and Operability Studies - HazOp*)

Esta técnica, desenvolvida na década de 60, pela *Imperial Chemical Industries* (ICI), teve forte impulso a partir de 1977, com sua publicação no Guia da Associação das Indústrias Químicas do Reino Unido (*Chemical Industries Association – CIA*). É destinado à identificação de possíveis desvios operacionais de processo, das condições de projeto, permitindo a identificação de perigos a eles associados.

No HazOp são estudadas as consequências da combinação de palavras guias com variáveis de processo, resultando no desvio a ser analisado. As principais palavras-guia aplicáveis na análise são: não, nenhum, nulo, mais que, menos que, reverso, outro, tal qual, maior, menor, ausência, mais, menos, maior nível, menor nível, parcial, outra, tal qual. Estas palavras-guia devem ser associadas à totalidade de variáveis de processo: fluxo, temperatura, pressão, nível,

mistura, reação, fase, composição, comunicação, etc. Combinando as palavras-guia com as variáveis de processo, o grupo responsável pela elaboração do estudo deve identificar possíveis perigos e estabelecer medidas de proteção necessárias para a sua contenção.

Para o desenvolvimento do estudo torna-se necessário o detalhamento do sistema a ser analisado, incluindo diagramas de fluxo de processo (*Process Flux Diagrams – PFD*), diagramas de processo e instrumentação (*Process and Instrumentation Diagrams – P&IDs*), detalhamento e especificação de materiais e equipamentos, balanços de massa e de energia.

O HazOP requer também a formação de grupos de trabalho multidisciplinares, compostos por representantes das áreas de engenharia de processo e engenharia de projetos; responsáveis pelas atividades operacionais; representantes de segurança, saúde ocupacional e meio ambiente; laboratório, e outros especialistas devidamente treinados, bem como a existência de um líder para a condução dos estudos.

Crawley et al. (2002, citados por GLASMEYER, 2006) apresenta este método como um dos principais meios destinados à análise de risco em instalações industriais, encontrando aplicabilidade tanto para novos projetos, processos e operações, como para modificações implantadas e processos existentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões e dados apresentados mostram que os resultados da análise que simula aspectos e impactos ambientais (riscos) podem ser utilizados na melhoria do Sistema de Gestão Ambiental de organizações.

As discussões apresentadas mostram que a análise de simulação de riscos pode fornecer diagnósticos e valores significativos para complementar o estudo dos processos ambientais no setor público ou privado. A ferramenta de simulação computacional pode ser um diferencial para auxiliar a organização a aperfeiçoar seu Sistema de Gestão Ambiental, a prevenir ou mitigar riscos e impactos ambientais, a elaborar produtos e processos com melhor desempenho, maior qualidade e confiabilidade.

O uso das ferramentas de análise de riscos apresentadas neste estudo, oportuniza a empresa a redução de seus custos e a possibilidade de se tornar mais competitiva e líder de mercado nos setores nos quais atua.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABS. American Bureau of Shipping. **Guidance notes on risk assessment applications for the marine and offshore oil and gas industries**. 2000.

BVQI. **ABNT NBR ISO 14001:2004**: Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BVQI. **ABNT NBR ISO 14031:2004**: Gestão Ambiental - Avaliação de Desempenho Ambiental – Diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AICHE. American Institute of Chemical Engineers. **Guidelines for chemical process quantitative risk analysis**. 2 ed. New York: CCPS, 2000.

ALBERTON, A.. **Meio ambiente e desempenho econômico-financeiro**: impacto da ISO 14001 nas empresas brasileiras. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ALMEIDA, J. R.. **Normalização, certificação e auditoria ambiental**. Rio de Janeiro: Thex, 2008.

ALMEIDA, J. R.. **Gestão ambiental para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Thex, 2008.

ÁVILA, G. J.. **Processos e resultados de empresas brasileiras após a certificação ambiental ISO 14001**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2006.

BARBIERI, J. C.. Políticas públicas indutoras de inovações tecnológicas ambientalmente saudáveis nas empresas. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v.31, n.2, p.135-152, 1997.

BERGER, I. S.. **Determination of risk for uncontrolled hazardous waste sites**: proceedings of the national conference on management of uncontrolled hazardous waste sites. Silver: Hazardous Materials Control Research Institute, 1982.

BOIRAL, O.; SALA, J. M.. Environmental management: should industry adopt ISO 14000. **Business Horizons**, v.41, n.1, p.57-64, 1998.

CAMACHO, E. N.. **Uma proposta de metodologia para análise quantitativa de riscos ambientais**. Dissertação (Mestrado) – COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.

CANVEY. **An investigation of potencial hazards from operations in the Canvey Island**: Thurrock Area. London: Health and Safety Executive Report, 1978.

CETESB. **P4.261**: manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos. São Paulo: CETESB, 2003.

EBELING, C. E.. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. New York: McGraw-Hill, 1997.

ERICSON, C. A.. **Hazard analysis techniques for system safety**. New Jersey: Wiley-Interscience; John Wiley & Sons; Hoboken, 2005.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Manual de análise de riscos industriais**. Porto Alegre: FEPAM, 2001.

FERRON, R. T.. **A aplicação da NBR ISO 14001:2004 e lucratividade**: uma análise experimental. Dissertação (Mestrado) – Fundação Instituto Capixaba de Pesquisas em Contabilidade, Economia e Finanças, Vitória, 2009.

FLORIDA, R.; DAVISON, D.. Gaining from green management: environmental management systems inside and outside the factory. **California Management Review**, v.43, n.3, p.64-84, 2001.

GLASMEYER, S. P.. **Acidentes industriais maiores**: uma proposta de gerenciamento de riscos a partir de uma revisão de requisitos legais. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário SENAC, São Paulo, 2006.

GILBERT, M. J.. **ISO 14001 / BS 7750**: Sistema de Gerenciamento Ambiental. São Paulo: IMAM, 1995.

HADDAD, A. N.; MORGADO, C. V.; SOUZA, D. I.. A case study on the integration of safety, environmental and quality management systems. ANNUAL CONFERENCE AND EXPO 2007 - INDUSTRIAL ENGINEERING'S CRITICAL ROLE IN A FLAT WORLD. **Conference Proceedings**, p.1190-1195, 2007.

HADDAD, A. N., SÁ, T. S.; GALANTE, E. B. F.. Quantitative Risk Analysis Applied to the Gases Industry. INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT. **Conference Proceedings**, p.2169-2173, 2009.

HSE. Health and Safety Executive. **Offshore technology report 2000/112**: offshore hydrocarbon releases statistics. London: Health & Safety Executive, 2000.

KHATER, E.. **Confiabilidade aplicada à manutenção, aperfeiçoamento profissional em engenharia de manutenção**. Monografia (Especialização) – Instituto Superior de Tecnologia, São João Del Rei, 2009.

KECECIOGLU, D.. **Reliability engineering handbook**. New Jersey: Prentice-Hall, 1991.

KIRCHHOFF, D.. **Avaliação de risco ambiental e o processo de licenciamento**: o caso do gasoduto de distribuição gás brasileiro trecho São Carlos - Porto Ferreira. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, 2004.

MAIA NETO, L.. **Identificação de perigos e avaliação de riscos em uma unidade off-shore na fase de operação**: estudo de caso de um FPSO. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

MEYER, M. C.. **Análise de risco qualitativa em projeto industrial de unidade de co-geração de vapor**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2005.

MILES, M. P.; COVIN, J. G.. Environmental marketing: a source of reputational, competitive, and financial advantage. **Journal of Business Ethics**, v.23, p.299-311, 2000.

MOREIRA, M. S.. Estratégias e implantação do sistema de gestão ambiental: modelo ISO 14000. Belo Horizonte: Desenvolvimento Gerencial, 2001.

MORGADO, C. R. V.; MELO, C. H.; GUEIROS, J. M. S. J.. Avaliação de riscos para priorização do plano de segurança. CONGRESSO NACIONAL DE EXCELENCIA EM GESTÃO. **Anais**. Niterói: UFF, 2002.

MORROW, D.; RONDINELLI, D.. Adopting corporate environmental systems: motivations and results of ISO 14001 and EMAS certification. **European Management Journal**, v.20, n.2, p.159-171, 2002.

MOURA, L. A. A.. **Qualidade e gestão ambiental**. 4 ed. São Paulo: Juarez de Oliveira, 2004.

O'CONNOR, P. D. T.. **Reliability engineering**. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1988.

PORTER, M. E.; VAN DER LINDE, C.. Green and competitive. **Harvard Business Review**, p.120-134, Sep./Oct., 1995.

RUSSO, M. V.; FOUTS, P. A.. A resource-based perspective on corporate environmental performance and profitability. **Academy of Management Journal**, v.40, n.3, p.534-559, 1997.

USAEC. An assessment of accidental risk in us commercial nuclear power plants. **WASH 1400 Report**, 1975.

USEPA. **Risk assessment guide for superfund**. USA, 1989.

VINCOLI, J. W.. **Basic guide to system safety**. 2 ed. New Jersey: Hoboken: John Wiley & Sons, 2006.

WESSBERG, N.; MOLARIUS, R.; SEPPA LA, J. E.; KOSKELA, S.; PENNANEN, J.. Environmental risk analysis for accidental emissions. **Journal of Chemical Health & Safety**, Jan/Feb, 2008.