

Análise de risco na inserção do planejamento urbano para instalação de empreendimentos de risco: aplicação no terminal de combustíveis**Risk analysis in the insertion of urban planning for the installation of risk ventures: application at the fuel terminal**

Recebimento dos originais: 02/06/2018

Aceitação para publicação: 03/07/2018

Felix Mora-Camino

D.Sc. Universidade de Toulouse

Instituição: Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Fluminense (ICT- UFF),
campus Rio das Ostras.

Endereço: Rua Recife, Lotes 1-7 - Jardim Bela Vista, Rio das Ostras - RJ, 28895-532 RJ, Brasil

E-mail: moracamino@hotmail.fr

Luiz Antônio de Oliveira Chaves

Mestre em Gestão Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF)

Instituição: Instituto de Ciência e Tecnologia - Univesidade Federal Fluminens (ICT- UFF), campus
Rio das Ostras

Endereço: Rua Recife, Lotes 1-7 - Jardim Bela Vista, Rio das Ostras - RJ, 28895-532 RJ, Brasil

E-mail: luizchaves@gmail.com

Maria Fernanda Zelaya Correia

Mestre em Engenharia de Produção – COPPE/UFRJ

Instituição: COPPE/UFRJ

Endereço: Centro de Tecnologia - Rua Horácio Macedo, Bloco G, 2030 - 101 - Cidade
Universitária, Rio de Janeiro – RJ, Brasil

Email: mfernandazelaya@hotmail.com

Luis Gustavo Zelaya Cruz

Doutor em Engenharia de Produção – COPPE/UFRJ

Instituição: Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Fluminense (ICT- UFF),
campus Rio das Ostras.

Endereço: Rua Recife, Lotes 1-7 - Jardim Bela Vista, Rio das Ostras - RJ, 28895

Email: lgustavozelaya@gmail.com

RESUMO

Os estudos de riscos são instrumentos utilizados para identificar perigos, quantificar os riscos de acidentes e definir as estimativas da extensão de dano às áreas circunvizinhas à instalação. Constituem assim, um conjunto de procedimentos e técnicas estruturadas para análise das atividades industriais perigosas, conforme destacado nos manuais de licenciamento de empreendimentos da CETESB (2011) e da FEPAM (2001). Nesse processo é contemplado o mapeamento das áreas

sensíveis próximas ao projeto, assim como as potenciais regiões vulneráveis aos acidentes postulados. No entanto, incertezas e a variabilidade de resultados podem interferir na qualidade de resultados. Uma das principais fontes é a construção do cenário que depende da definição da fonte acidental, a avaliação da taxa de falhas, o período de ocorrência do evento e a escolha do modelo de simulação. A finalidade da pesquisa foi demonstrar através do estudo quantitativo de risco de um empreendimento industrial a magnitude de impacto na área urbana considerando diferentes cenários acidentais com materiais combustíveis. O cálculo do risco social e da curva de iso-risco foram desenvolvidos para especificar a importância da magnitude de impacto e demonstrar um modelo para uso o planejamento urbano e subsidiar os gestores público para avaliar empreendimentos próximos às áreas urbanas. O conhecimento dos possíveis cenários com cálculo do risco auxilia na elaboração de planos de gestão e ação eficazes sendo primordial para a redução dos índices de acidentes fatais em áreas vulneráveis.

Palavras-chave: Gerenciamento de Risco; Planejamento Urbano; Modelagem e Simulação; Acidentes.

ABSTRACT

Risk studies are instruments used to identify hazards, quantify the risks of accidents and define estimates of the extent of damage to the surrounding areas of the facility. Thus, a set of structured procedures and techniques for the analysis of hazardous industrial activities, as highlighted in CETESB's (2011) and FEPAM (2001) project licensing manuals. In this process, the mapping of the sensitive areas close to the project, as well as the potential regions vulnerable to the postulated accidents are contemplated. However, uncertainties and variability of results may interfere with the quality of results. One of the main sources is the construction of the scenario that depends on the definition of the accidental source, the evaluation of the failure rate, the period of occurrence of the event and the choice of the simulation model. The purpose of the research was to demonstrate through the quantitative study of the risk of an industrial enterprise the magnitude of impact in the urban area considering different accidental scenarios with combustible materials. The social risk calculation and the iso-risk curve were developed to specify the magnitude of impact impact and to demonstrate a model for using urban planning and to subsidize public managers to evaluate projects close to urban areas. The knowledge of possible scenarios with risk calculation helps in the elaboration of effective management and action plans being paramount for the reduction of fatal accident rates in vulnerable areas.

Keywords: Risk Management; Urban Planning, Modeling and Simulation, Accidents.

1 INTRODUÇÃO

A busca do desenvolvimento e do crescimento da produção demanda a ampliação de novas instalações operacionais e de espaços territoriais urbanos. O setor industrial exerce grande influência para ampliação de áreas urbanas conforme explicitado por Ferreira (2012), o que requer atenção especial do Estado com ações efetivas de planejamento de gestão territorial para uso sustentável do solo e aplicação da gestão ambiental pública.

Nesta perspectiva, o gerenciamento do risco nas operações industriais nos últimos 30 anos tem apresentado uma alerta em razão do número de acidentes históricos como Flixborough (1974),

Bhopal (1984), Piper-Alpha (1988) e de forma mais recente o afundamento da plataforma de petróleo Deepwater Horizon, no Golfo do México (2010) (CAVANAGH E HICKEY, 2013).

Voogd (2004) ressalta que as condições adequadas para um potencial desastre são concentrações populacionais instaladas próximas às áreas alagáveis devido a eventos extremos da natureza ou às fábricas que apresentam risco como incêndio e explosão.

Mannan (2009) descreve o evento acidental ocorrido em 2005 no terminal de estocagem de óleo combustível Buncefield, Reino Unido, como um caso histórico de acidente que provocou significativas perdas a comunidade local. A formação de uma sequência de explosões seguida de incêndio com efeitos em estabelecimentos comerciais e residenciais instalados no entorno do depósito afetaram diversas áreas na comunidade. O desdobramento do acidente provocou a evacuação da população distribuída em cerca de 2.000 residências e 92 empresas na área de impacto, o que demonstrou a magnitude do dano e perdas que extrapolam o limite de controle da empresa.

Os grandes acidentes industriais ocorridos, em particular na década de 80, contribuíram de forma significativa para despertar a atenção das autoridades responsáveis em relação aos processos utilizados pelo Estado para aprovação da instalação de projetos e empreendimento que demandam ações efetivas de prevenção de perdas por parte das indústrias (CETESB, 2011).

Fontes *et al.* (2013) define esses acidentes como ampliados, pois são caracterizados por eventos de maior gravidade e de frequência significativamente menor, cujas consequências se estendem a um maior número de pessoas em decorrência dos efeitos irem além dos limites geográficos do sistema produtivo da planta industrial.

Formas de prevenção de perdas são adotadas com o estudo e processo de gerenciamento de risco e são implantados em diversos países como meio de reduzir acidentes e prevenir impactos. O programa de Gerenciamento de Risco nos Estados Unidos criado por meio do órgão ambiental EPA (*Environmental Protection Agency*) conforme descrito por Horng, *et al.* (2005) é uma ação que define procedimentos e normas de controle. O documento criado em 1996, definido como *Risk Management Program* (RMP) é baseado nas diretrizes de regulamentação *Clean Air Act Amendments* (1990) que contempla os procedimentos de gestão de risco para unidades produtivas. No Reino Unido, as normas definidas pelo HSE (*Health and Safety Executive*), órgão de controle ambiental, redigiu o documento definido como *Control of Major Accident Hazards Regulations* (COMAH) no ano 1999 com a finalidade de administrar o sistema de produção para prevenção de acidentes com potencial de afetar áreas internas e externas à empresa.

A principal questão é que eventos acidentais ocorridos nas industriais ainda afetam áreas externas à empresa e geram significativos danos socioambientais e econômicos no entorno. A definição clara das áreas vulneráveis no espaço territorial urbano é uma necessidade em razão à exposição dos riscos oriundos dos processos de produção da planta industrial integrada ao meio socioeconômico de uma região.

Neste trabalho é desenvolvido o estudo preliminar da análise de vulnerabilidade conforme a estrutura de Análise Quantitativa de Risco (AQR) para uma instalação de armazenamento de combustíveis operando em uma área urbana. A empresa demanda ampliação de projeto ao Estado para instalação de novos sistemas produtivos. O objetivo é avaliar os principais riscos do empreendimento e calcular a magnitude de impacto para os principais cenários e demonstrar a importância do planejamento urbano. Os cálculos do risco do projeto são efetuados em uma área de significativa sensibilidade devido à dinâmica social.

Os acidentes são conjuntos de eventos que, simplesmente ocorrem de forma inesperada, inadvertida e não intencionada (SOUZA, 2002) e (SUCHMA (1961), *apud* NAVEEN E SIVASUBRAMANIAN (2014)). Implantar ações de antecipação e previsão de acidentes para ações de redução de perdas é uma das principais finalidades do instrumento a análise de risco para empreendimentos de produção que envolve processos.

Os estudos de análise quantitativa de risco consistem no método estruturado que compreendem um conjunto de procedimentos com aplicação de técnicas de identificação, análises de falhas específicas de um sistema para previsão de dano, antecipação e prevenção do acidente. A avaliação de risco é definida como uma função matemática de probabilidade e consequência para identificar os potenciais acidentes além de avaliar os efeitos das medidas de redução de risco (SELVAN e SIDDQUI, 2015).

Os resultados das discussões dos históricos de acidentes ampliados segundo Sengupta (2014) trouxeram um consenso da necessidade de princípios do planejamento do uso do solo que devem incorporar estratégias para redução do risco e mitigação com fundamentação científica. Além disso, Sengupta (2014) destaca que o planejamento de locais específicos para uso do solo é o primeiro nível de redução do risco industrial no gerenciamento de desastres e deve ser destacado no plano de desenvolvimento regional, assim como a construção de atlas de zoneamento e aplicação de métodos de mapeamento do risco ambiental. Desta forma o estudo de análise de risco é uma ferramenta para aplicação na gestão e na tomada de decisão da instalação de projetos que manipulam substâncias classificadas como perigosas.

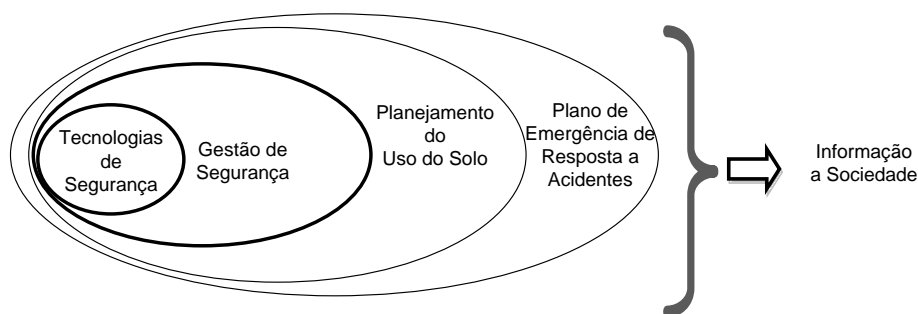
Galante (2011) afirma, o estudo de riscos tem assim a finalidade de definir a extensão de dano às áreas circunvizinhas à instalação conforme a ferramenta sendo utilizada para o planejamento urbano no uso do espaço territorial quando a indústria propõe projetos ou empreendimentos para operarem em áreas residenciais e industriais.

Segundo Fontoura (2013), o planejamento urbano definido é um conjunto de ferramentas que possibilita perceber a realidade do ambiente com a inserção da população, a fim de avaliar os caminhos para a construção de programas que visam aprimorar os aspectos da qualidade de vida atual e futura da população.

Os aspectos socioeconômicos do uso do solo e recursos hídricos é um dos requisitos da diretiva de Seveso II, 96/82EC, como apresentado por Christou *et al.* (2006), tem a finalidade de avaliar de forma sistemática as alternativas padronizadas do uso dos recursos físicos, sociais e econômicos, para selecionar e adotar ações que beneficiam os usuários dos recursos do ambiente, sem degradar o ecossistema.

A diretiva, criada em virtude dos acidentes ampliados, demonstra a necessidade de adotar procedimentos que promovam o uso sustentável do solo e do meio hídrico de modo a prevenir perdas para a sociedade por meio do planejamento específico de gestão (CHRISTOU *et al.* 2006). A instalação de tecnologias de segurança, o programa de gerenciamento e o plano de emergência estão dispostos em níveis com o planejamento do solo para a indústria no ambiente (Figura 1).

Figura 1 - Conceito do planejamento no uso solo pela Diretiva Seveso II - 1996



Fonte: Christou *et al.* (2006) com modificações

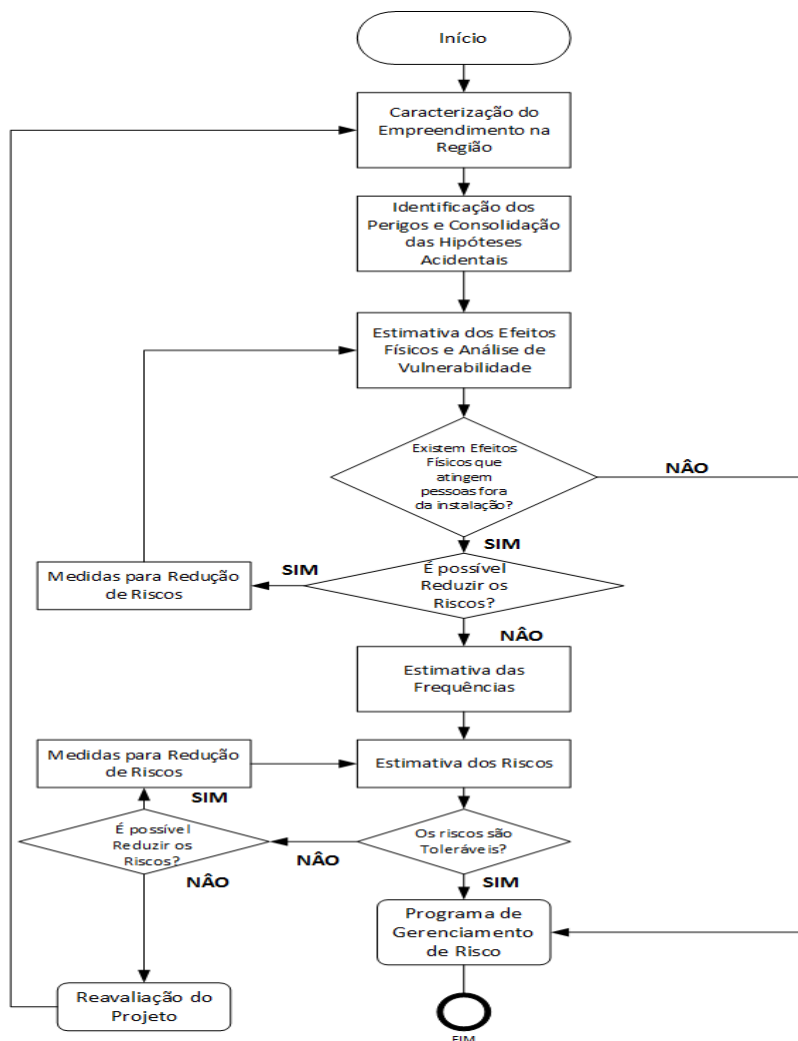
No controle da administração e gestão pública das indústrias, sob a ótica do licenciamento da instalação e operação do projeto, os órgãos ambientais têm a responsabilidades de implantar e cobrar ações efetivas de redução da probabilidade de impactos acidentes, buscando atender à sociedade (CHRISTOU *et al.* 2006).

2 METODOLOGIA DE ANÁLISE DE RISCO TECNOLÓGICO E AMBIENTAL

Os riscos ambientais de projeto são avaliados para o planejamento urbano de modo que são pesquisadas as distâncias de segurança em relação à população fixa na área de influência do empreendimento como discutido em CETESB (2011) e Galante (2011). Uma questão é qual a estrutura metodológica para avaliar corretamente os projetos em uma região frente aos riscos oferecidos no processo de produtivos?

Os estudos de Análise Quantitativa de Risco (AQR) têm a finalidade de fornecer informações para o gerenciamento e prevenção de perdas nos sistemas produtivos por meio da identificação de perigos e o cálculo do risco. Os efeitos dos acidentes nas áreas vulneráveis são calculados para avaliar a tolerabilidade dos riscos no entorno do projeto até o desenvolvimento do Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR) (CETESB, 2011). A metodologia consiste na sequência de etapas como demonstrada na Figura 2.

Figura 2 - Etapas de Elaboração de Estudos de Análise de Riscos.



Fonte: CETESB (2011), pag. 18.

Na avaliação do método discutido em CETESB (2011) a fase inicial é caracterizada pela coleta de dados do projeto associada à localização, informações socioeconômicas da área de influência e dados ambientais como a distribuição populacional no entorno, além de dados meteorológicos, que representam a direção e intensidade de vento, umidade relativa, pressão, temperatura e classe de estabilidade atmosférica predominante.

A identificação de perigos e a classificação de risco para cada cenário acidental postulado na cadeia de produção, definida como fase qualitativa do estudo, consiste na etapa de consolidação das hipóteses acidentais. As operações e os processos são analisados de forma sistemática para identificação de perigos utilizando as técnicas estruturadas como APR (Análise Preliminar de Risco) e a HAZOP (Análise de Perigos de Operabilidade de Processo). Nesta fase, o histórico de acidentes fornece significativas informações dos potenciais desvios do sistema produtivo. As hipóteses acidentais identificadas são classificadas para construção de cenários para posterior simulação e estudo de análise de consequências da magnitude de impacto (LEES, 2005).

3 MODELAGEM DE CENÁRIOS E ESTUDOS DE CONSEQUÊNCIA DE ACIDENTES

A análise de consequência pode ser desenvolvida como estudo de cenários de pior caso como proposto por Horg *et al.* (2005) que considera as condições de maior severidade de descarga e dispersão de substâncias no ambiente para estudo de áreas de impacto. Os resultados são associados a frequência de ocorrência do tipo de cada evento acidental postulado e a probabilidade de dano na área vulnerável de impacto. Desta forma o risco compreende 3 aspectos: perigo, vulnerabilidade do elemento afetado e o potencial de exposição do elemento ao risco (Lari *et al.* 2012).

A avaliação das consequências é desenvolvida por meio da simulação dos possíveis cenários para mapeamento das áreas de impacto em plantas de processamento, principalmente nas unidades que manipulam hidrocarbonetos. Os típicos cenários obtidos no histórico de acidentes são a formação (MANNAN, 2005) e (CROWL, 2002):

- Flash Fire;
- Incêndios em poça de líquido inflamável (*Pool Fire*);
- Jato de Incêndio (*Jet Fire*);
- Explosão devido a formação de nuvem de vapor confinada (*Confined Vapor Cloud Explosion - CVCE*) ou explosão de nuvem de vapor não confinado no ambiente (*Unconfined Vapor Cloud Explosion - UVCE*);
- Explosão de massa de vapor em vaso ou tanque devido a Expansão de Líquido em

Ebulição (*Boiling Liquefied Expanding Vapor Explosion - BLEVE*);

- Bola de Fogo (*Fire Ball*).

O cálculo da magnitude de impacto é desenvolvido por meio de pacotes computacionais como o *Effects* e o *Aloha* conforme discutido por Bernatik *et al.* (2008). Os *softwares* são os instrumentos utilizados para simular os efeitos de acidentes para as condições definidas pelo usuário a partir das análises e informações dos cenários de acidentes hipotizados na análise de risco qualitativa. Outro programa para uso na simulação de acidentes no estudo dos efeitos do acidente é o pacote *Phast* para dispersão atmosférica que efetua o cálculo da descarga da substância tóxica e inflamável (GANT *et al.* 2013)

Bernatik *et al.* (2008) classifica dois tipos de programas usados para simulação de acidentes como:

- Modelos padrão (dispersão Gaussiana);
- Modelos de Fluidodinâmica Computacional (CFD) que são baseados nas equações hidrodinâmicas e termodinâmicas do cálculo da dispersão.

Os modelos CFD consideram a topografia complexa presente no local da dispersão da substância no ambiente como edificações e apresentam melhores resultados que os modelos Gaussianos, pois são considerados as interferências de fluxo na dispersão e propagação de fluido gasoso no ambiente (BERNATIK *et al.*, 2008).

A pesquisa exploratória realizada por Casal (2008, *apud* Bernechea, 2013) revela que os grandes acidentes na indústria são a formação de incêndios com 47% de frequência relativa, explosão com 40% e a dispersão de nuvens tóxicas no ambiente com histórico de 13% de ocorrência. Os grandes acidentes são definidos por Bernechea (2013) como descontrole desenvolvido na operação, que pode afetar a saúde humana, os processos e atingir áreas externas à empresa. Essas áreas, sujeitas ao impacto, são classificadas como vulneráveis ao acidente e representa o local para pesquisa de atividades socioeconômicas.

4 CÁLCULO DO RISCO PARA A ÁREA DE VULNERÁVEIS

A avaliação de risco é definida como uma função matemática de probabilidade e consequência para identificar os potenciais acidentes e avaliar os efeitos das medidas de redução de risco (SELVAN e SIDDQUI, 2015).

O risco (Equação 1) é calculado considerando os potenciais efeitos do acidente, o fator de exposição e a probabilidade do fator, MARHAVILAS *et al.* (2011) define a equação como:

$$R = P \cdot S \cdot F \quad (1)$$

As variáveis da equação:

P = fator de probabilidade do dano;

S = severidade do dano associado aos efeitos das consequências;

F = frequência ou fator de exposição ao evento.

A estimativa dos riscos é obtida por meio do cálculo do Risco Social e do Risco Individual com a representação de resultados por meio de gráficos como discutido Kosmowski (2006), Ronzaet *al.* (2006), CETESB (2011), Jelemenskyet *al.* (2004), Lees (2005), AIChE (2000) e Bernechea (2013).

O Risco Social (RS) é o somatório dos efeitos de cada enésimo acidente e a respectiva probabilidade de morte da população exposta na área vulnerável (Equação 2).

$$RS = \sum_{k=1..j} F_k \cdot N_k \quad (2)$$

As variáveis da equação:

j = número total de acidentes postulados na análise de risco da planta industrial;

F_k = frequência de ocorrência do k enésimo cenário de acidente;

N_k = Número de fatalidade resultante devido a ocorrência do cenário k que afeta a população.

A exposição indivíduo presente em uma área específica afetada pelo acidente é representado pelo Risco Individual (Equação 3) que representa a probabilidade de fatalidade no espaço geográfico, coordenada (x,y) no entorno do projeto conforme demonstrado por Jelemenskyet *al.* (2004).

$$RI_{(x,y)} = \sum_{i=1..j} P(x,y)_i \cdot f_i \quad (3)$$

Onde:

P_i(x,y) = probabilidade condicional de fatalidade para um indivíduo presente no local (x,y), região geográfica da área vulnerável para o cenário acidental i;

j = Número total de cenários acidentais considerada na análise de risco;

f_i = frequência de ocorrência do cenário acidental que gerou a fatalidade no indivíduo.

A frequência de ocorrência de cada cenário acidental é obtida por meio da análise de frequência de cada potencial falha e tipo de cenário (Equação 4).

$$f_i = \sum_{m=1..M} F_m \cdot P_{i,m} \quad (4)$$

As variáveis da equação são explicitadas da seguinte forma:

$P_{i,m}$ = Probabilidade condicional de que caso ocorra falha na planta, a condição m acarretará um acidente i ;

M = Número total de cenários acidentais na planta;

F_m = frequência de acidente m com dano na planta obtida pela Equação 5;

$$F_m = \sum_{k=1..Ev} f_k \cdot P_{k,m} \quad (5)$$

As variáveis da equação:

Ev = Número total de evento iniciadores de acidentes que originam as falhas;

$P_{k,m}$ = Probabilidade condicional no caso de ocorrer evento iniciador k acarretará dano na planta industrial;

f_k = frequência de ocorrência do evento iniciador, frequência de falhas de equipamentos, sistemas, erros operacionais e outros desvios de projeto.

A frequência f_k é obtida por meio da técnica de árvore de falhas e a probabilidade $P_{k,m}$ definida pela árvore de evento gera a frequência do acidente.

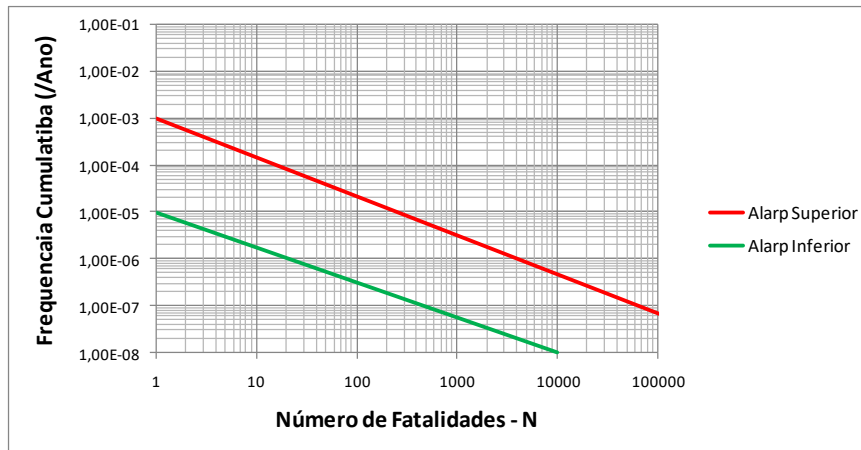
Apresentação dos riscos individual e social são decisórios para verificação da tolerabilidade conforme os critérios previamente estabelecidos para uso na tomada de decisão da avaliação de projetos (CETESB, 2011), (Jelemensky *et al.* 2004) e (AIChE, 2000) BERNECHEA (2013). Esse critério pode ser utilizado com suporte à tomada de decisão.

O critério de análise utiliza a distribuição acumulativa dos riscos do empreendimento para comparação do perfil da curva tolerabilidade do Risco Social definido pelo gráfico F-N (Figura 3). A curva de distribuição acumulativa para a totalidade dos cenários avaliados deve permanecer na zona da região tolerável para aprovação de projetos, ou no máximo, na Zona de ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*), que consiste nas medidas implantadas para redução e prevenção de perdas no acidente (CESTEB, 2011), (BERNECHEA, 2013) (Figura 4).

No caso da avaliação do Risco Individual, o perfil da curva de iso-risco de distribuição acumulativa para todos os cenários pode ser utilizado para avaliar o entorno do empreendimento e fornecer subsídios para o planejamento da instalação do projeto em áreas com uma dinâmica socioambiental.

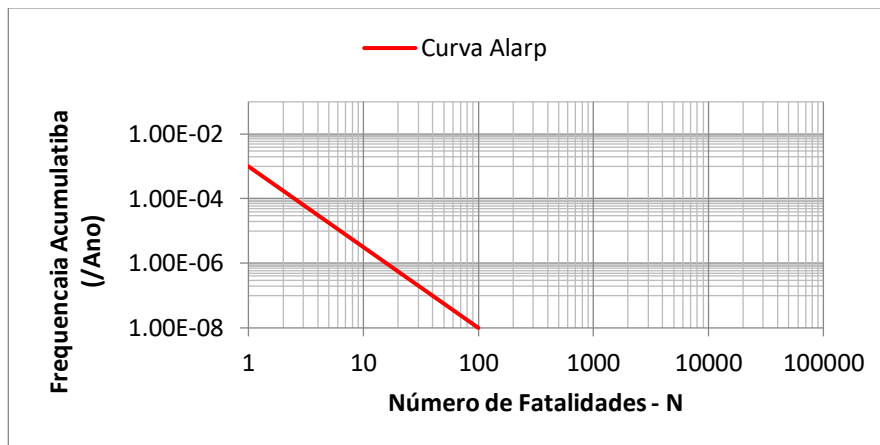
As vantagens da representação do risco na forma gráfica da curva F-N constituem uma vantagem devido à facilidade de construção e visualização do Risco Social (MARHAVILAS *et al.* 20011) e (BERNECHEA, 2013).

Figura 3 - Modelo de Curva F-N de Risco Social.



Fonte CETESB (2011)

Figura 4 - Modelo de Curva F-N de Risco Social.



Fonte Jelemenskyet al. (2004)

5 ESTUDO DE CASO: MEDIÇÃO DOS RISCOS DO TERMINAL NA ÁREA URBANA

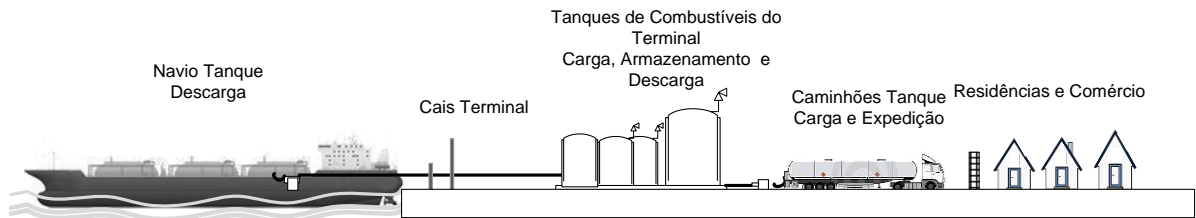
A finalidade de demonstrar a importância do risco no planejamento do uso do solo por empreendimentos que apresentam risco tecnológico e ambiental é desenvolvida para um empreendimento. A análise estruturada do estudo de risco contempla a ampliação do projeto de armazenagem de combustíveis com os respectivos efeitos para um conjunto de cenários de acidentes na área de influência indireta da instalação industrial.

5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO E ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA DO PROJETO

A análise de risco do terminal de recebimento e armazenagem de combustíveis contempla o projeto da instalação de 10 novos tanques de armazenagem de produtos inflamáveis. A planta

instalada na área com entorno de residências e pequenos comércios recebe os produtos do navio, efetua a transferência interna por dutos para os tanques, armazena e desenvolve a expedição por meio de caminhões tanque (Figura 5 e 6).

Figura 5 - Representação do ambiente de estudo: terminal e área no entorno do empreendimento



Fonte: Os próprios autores.

Figura 6 - Localização prevista da ampliação da empresa.



Fonte: www.mapsgoogle.com (acesso em junho de 2015) modificado

Na concepção do projeto é planejado operar com 5 tipos diferentes de substâncias químicas inflamáveis distribuídas em 10 tanques e dois tipos de caminhões container de transporte que apresentam diferentes capacidades de armazenagem (Tabela 1).

Tabela 1 - Parque de tanque de combustíveis do terminal

Tanque	Combustível	Volume (m3)
TQ-01	Diesel	2.500
TQ-02	Diesel	2.500
TQ-03	Biodiesel	2.500
TQ-04	Diesel	2.500
TQ-05	Etanol Hidratado	2.500
TQ-06	Etanol Anidro	2.500
TQ-07	Gasolina	2.500
TQ-08	Gasolina	5.000
TQ-09	Diesel	5.000
TQ-10	Diesel	5.000
Mono trem	Todos	25
Bi trem	Todos	45

Fonte: Os próprios autores.

5.2 DADOS AMBIENTAIS PARA SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE ACIDENTES

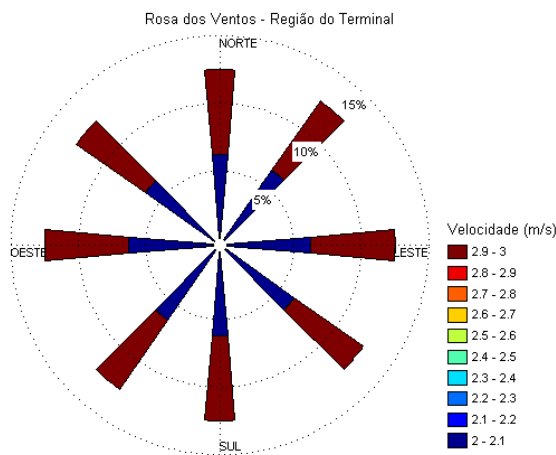
Os dados meteorológicos para simulação dos cenários de acidentes foram definidos para o período noturno e diurno. Na pesquisa das áreas de influência do empreendimento, a estimativa da magnitude de impacto é desenvolvida para as 8 direções da rosa de ventos, com perfil de velocidade de vento estimado de 2,0 m/s e 3,0 m/s (Figura 6), temperatura do ambiente de 28° C e umidade relativa de 80% (Tabela 2).

Tabela 2 - Dados Meteorológico para simulação de cenários de acidentes

Parâmetro Meteorológico	Diurno	Noturno
Velocidade do vento (m/s)	3	2
Umidade relativa do ar (%)	80	80
Temperatura ambiente (oC)	25	20
Categoria atmosférica de Pasquill	C	E
Direção do vento (%)	12,5 % (distribuição uniforme em oito direções)	12,5 % (distribuição uniforme em oito direções)

Fonte: CETESB (2011)

Figura 7 – Direções e intensidade do vento para simulação de cenários acidentais



Fonte: os próprios autores.

A população na área de influência foi estimada por meio da identificação de 6 setores específicos conforme o zoneamento demonstrado na figura 6. O cálculo do quantitativo populacional na região circunvizinha foi estabelecido por meio do modelo apresentado em *Green Book – TNO (1989), Population Data, Presence indoors/ outdoors, day/night*, que utiliza os fatores de exposição da população em relação às áreas externas das residências (*outdoor*) presentes no local. As áreas pesquisadas e classificadas em 6 setores (Figura 8) são utilizadas para estimar o quantitativo populacional e os tipos de atividades no entorno para subsidiar o cálculo da população exposta (*outdoor*) que corresponde ao fator de exposição de 39% para o período diurno e 5% no período noturno (Tabela 3).

Tabela 3 – Distribuição da população no entorno do terminal

Área de Pesquisa	Número de Residências / Estabelecimentos Comerciais	Estimativa do Total de População		Exposição Indoor		Exposição Outdoor	
		Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Setor A	27	108	195	75	185	33	10
Setor B	86	387	697	267	662	120	35
Setor C	24	96	44	66	42	30	2
Setor D	15	60	70	41	67	19	4
Setor E	24	120	216	83	205	37	11
Setor F	22	88	158	61	150	27	8

Fonte: Os próprios autores.

Figura 8 – Localização do projeto de tanques de combustíveis e os setores populacionais definidos na pesquisa



Fonte: Os próprios autores.

6 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

A metodologia de Análise Preliminar de Perigo (APP) foi utilizada na identificação de perigos e classificação dos riscos para construção da base de eventos iniciadores e modelagem dos acidentes. Os riscos classificados após a análise da planta do terminal foram definidos apenas para o sistema das linhas de transporte de combustíveis, os tanques de armazenagem e o caminhão tanque. Os resultados demonstram 41 perigos classificados nas categorias de risco com um total de 30 Riscos Menores e 11 Riscos Moderados. Na Tabela 5 são sumarizados os 6 eventos iniciadores dos principais resultados da APP utilizados para a pesquisa dos efeitos físicos de acidentes na área externa da empresa.

Tabela 4 – Hipóteses acidentais do sistema de armazenamento de combustíveis

	Descritivo do perigo e causas básicas de falhas – Eventos Iniciadores
a	Vazamento de líquido inflamável no tanque de armazenamento devido a furo / fissura de 2" diâmetro
b	Vazamento de líquido inflamável no tanque de armazenamento devido a falha de transbordo / ruptura catastrófica
c	Vazamento de líquido inflamável no duto de transferência de 8" diâmetro devido a furo/fissura na linha equivalente a 2" do diâmetro
d	Vazamento de líquido inflamável na linha de transferência de 8" diâmetro entre tanques ou caminhão tanque devido a ruptura na linha / falha de conexão
e	Vazamento de líquido inflamável na linha transferência de combustível para o caminhão tanque devido a ruptura do braço de carga de 6" de diâmetro // ?
f	Vazamento de líquido inflamável devido a falha catastrófica/ruptura do container do caminhão tanque

Fonte: Os próprios autores.

7 ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS DE ACIDENTES NO TERMINAL DE COMBUSTÍVEIS

A pesquisa da magnitude das consequências dos acidentes no terminal de combustíveis é determinada por meio das equações Probit que representa a probabilidade de impacto apresentadas em AICHE (2000), Crowl (2002) e Jelemenskyet *al.* (2004). Os parâmetros de análise são fluxo térmico relativo ao incêndio, onda de sobrepressão e a concentração no ar relativo ao Limite Inferior Inflamabilidade (LII) da substância para incêndio em nuvem (*Flash Fire*). Os parâmetros de consequência representam a probabilidade de dano em função do tipo de efeito do acidente. Os valores adotados na pesquisa são apresentados na Tabela 6 com as respectivas porcentagens de fatalidades às pessoas. Representam assim as estimativas de magnitudes de dano recomendadas no manual P.4261 da CETESB (2011) e discutidos em AICHE (2000) para análise de risco de projetos.

Tabela 5 – Parâmetros de consequência para análise e pesquisa das áreas vulneráveis

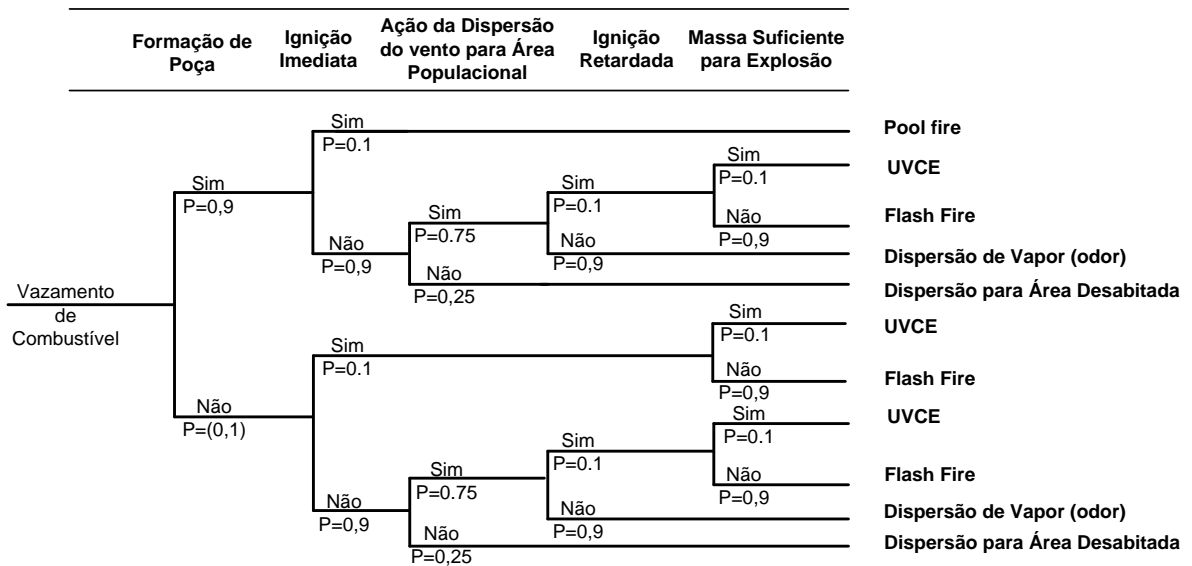
Cenário	Parâmetro de Consequência
Onda de Sobrepressão (Explosão não confinada, UVCE)	0,1 bar: danos reparáveis às estruturas, representando 1% de fatalidade às pessoas expostas (outdoor) 0,3 bar: danos graves às estruturas, corresponde a 50% de fatalidade no indivíduo (outdoor)
Fluxo térmico (Incêndio em Poça – Pool fire)	12,5 kW/m ² : 1% de fatalidade, por exposição por 30 segundos 37,5 kW/m ² : 50% de fatalidade, por exposição por 20 segundos
Concentração limite para ignição de nuvem de vapor (Incêndio em Nuvem - Flash Fire)	LII (Limite Inferior de Inflamabilidade do combustível): representa 100% de fatalidade

Fonte: CETESB (2011) e AIChE(2000) modificado

Os cenários acidentais para simulação e pesquisa das áreas sensíveis no entorno das unidades de produção são delineados por meio da prospecção da sequência dos eventos gerados no vazamento. A probabilidade de ocorrência de cada evento acidental depende da condição da formação de poça, formação da nuvem de vapor, com e sem ignição imediata em função da quantidade de massa presente no ambiente e da fonte de calor. As análises também indicaram a probabilidade da formação do incidente com detecção de odor de nafta ou etanol com efeitos na área habitacional que podem provocar náuseas e efeitos adversos à saúde humana.

A variabilidade dos cenários utilizados na análise da magnitude de impacto é apresentada na árvore de eventos (Figura 9) com os principais fatores avaliados no estudo e as respectivas probabilidades estimadas para cada tipo de cenário acidental.

Figura 9 – Potenciais eventos acidentais postulados para Análise de Vulnerabilidade

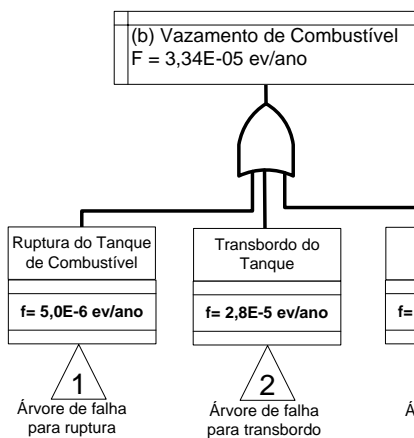


Fonte: Os próprios autores.

A árvore de falhas é utilizada no cálculo do evento de topo, vazamento de combustível, que é construída por meio da análise de sequências de desvios de processos de forma estruturada conforme descrito em Lafraia (2001). As estimativas das frequências de falhas básicas empregadas nos sistemas preconizados no terminal foram obtidas do banco de dados do HSE (2012), *Failure rate and event data for use withinland use planning risk assessments*, para o desenvolvimento do evento e também obtidas do relatório ENED (2009), *Background Information Appendix to Handbook Failure Frequencies 2009*.

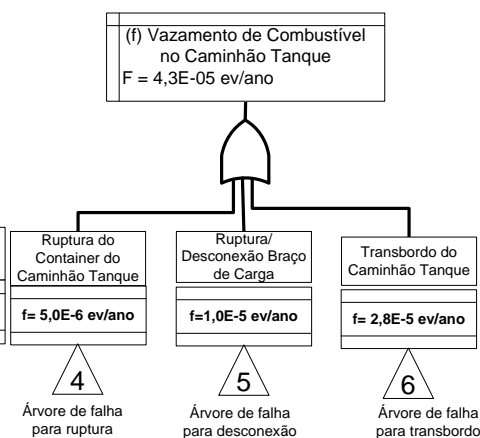
As estruturas das árvores de falha para os eventos de vazamento das relativas às hipóteses (b) e (f) descritas na Tabela 5, Hipóteses Acidentais, são representadas nas Figuras 10 e 11 como o modelo adotado no estudo de caso.

Figura 10 – Árvore de falha (tanque)



Fonte: Os próprios autores.

Figura 11 – Árvore de falha (caminhão tanque)



Fonte: Os próprios autores.

Os resultados das frequências dos acidentes na planta industrial com os respectivos cenários de acidentes são apresentados na Tabela 7. Os resultados constituem os resultados da árvore de falhas e árvore de eventos.

Tabela 6– Frequências dos acidentes e cenários de acidentes para simulação

	Frequência do Acidente (evento/ano)	Frequência de Cenário (evento/ano)				
		Pool Fire	UVCE	Flash Fire	Dispersão de Vapor	Dispersão de Vapor - Área Desabitada
a	3,00E-04	2,70E-05	2,33E-06	2,09E-05	1,82E-04	6,75E-05
b	3,34E-05	2,59E-07	2,59E-07	2,33E-06	2,03E-05	7,52E-06
c	2,74E-04	2,47E-05	2,12E-06	1,91E-05	1,66E-04	6,17E-05
d	4,92E-05	4,43E-06	3,81E-07	3,43E-06	2,99E-05	1,11E-05
e	4,92E-05	4,43E-06	3,81E-07	3,43E-06	2,99E-05	1,11E-05
f	4,30E-05	3,87E-06	3,33E-07	3,00E-06	2,61E-05	9,68E-06

Fonte: Os próprios autores.

7.1 ÁREAS VULNERÁVEIS NO ENTORNO DO TERMINAL

Os resultados de simulação foram delineados com o software *Phast* para as duas condições de classe de estabilidade atmosférica (C e E) e as condições de operação do processo. A avaliação da geografia humana, interação sociedade e o espaço com a presença habitantes no local foi estruturada pelo programa de informação geográfica *QGisDesktop* destinado ao cálculo das áreas e da densidade demográfica no raio de ação dos acidentes. As informações dos relatórios de consequências e da geografia do local foram superpostos para calcular o risco do projeto com foco aos danos e efeitos no população na áreas vulnerável.

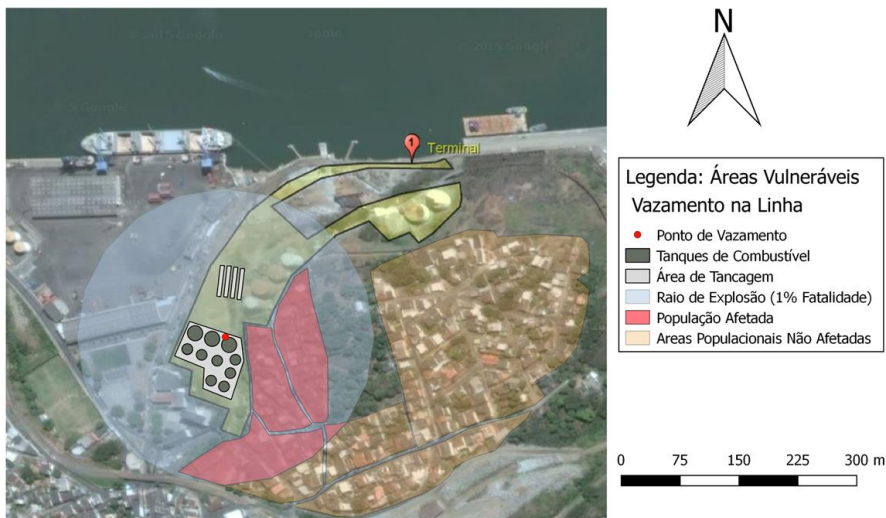
As distâncias de impacto dos efeitos físicos pesquisados foram obtidas para o tempo de 10 min para 6 hipóteses de acidentes, 3 tipos de cenários e 2 condições meteorológicas de simulação (Tabela 8). Na análise das áreas vulneráveis foram considerados os parâmetros de consequência de 1% de fatalidade para a explosão de nuvem de vapor (UVCE) (Figura 12), 1% de fatalidade para *Pool Fire* e 100% de fatalidade para cenário de formação de *Flash Fire*.

Tabela 7 – Resultados das simulações das 36 hipóteses de cenários de acidentes.

	Cenário	Frequência de Cenário (Evento/Ano)	Classe de Estabilidade Meteorológica	Velocidade de vento (m/s)	Maior Distância de Impacto (m)
a	UVCE	2,33E-06	C	3	-
			E	2	-
	Flash Fire	2,09E-05	C	3	37
			E	2	47
	Pool Fire	2,70E-05	C	3	41
			E	2	41
b	UVCE	2,59E-07	C	3	575
			E	2	538
	Flash Fire	2,33E-06	C	3	282
			E	2	346
	Pool Fire	2,59E-07	C	3	550
			E	2	553
c	UVCE	2,12E-06	C	3	233
			E	2	210
	Flash Fire	1,91E-05	C	3	188
			E	2	169
	Pool Fire	2,47E-05	C	3	122
			E	2	116
d	UVCE	3,81E-07	C	3	217
			E	2	189
	Flash Fire	3,43E-06	C	3	298
			E	2	258
	Pool Fire	4,43E-06	C	3	129
			E	2	108
e	UVCE	3,81E-07	C	3	77
			E	2	76
	Flash Fire	3,43E-06	C	3	67
			E	2	64
	Pool Fire	4,43E-06	C	3	37
			E	2	35
f	UVCE	3,33E-07	C	3	108
			E	2	102
	Flash Fire	3,00E-06	C	3	47
			E	2	61
	Pool Fire	3,87E-06	C	3	55
			E	2	55

Fonte: Os próprios autores.

Figura 12 – Resultado do mapeamento da área vulnerável para o cenário de vazamento de explosão (UVCE) devido à ruptura da linha de combustível, Evento Iniciador d.

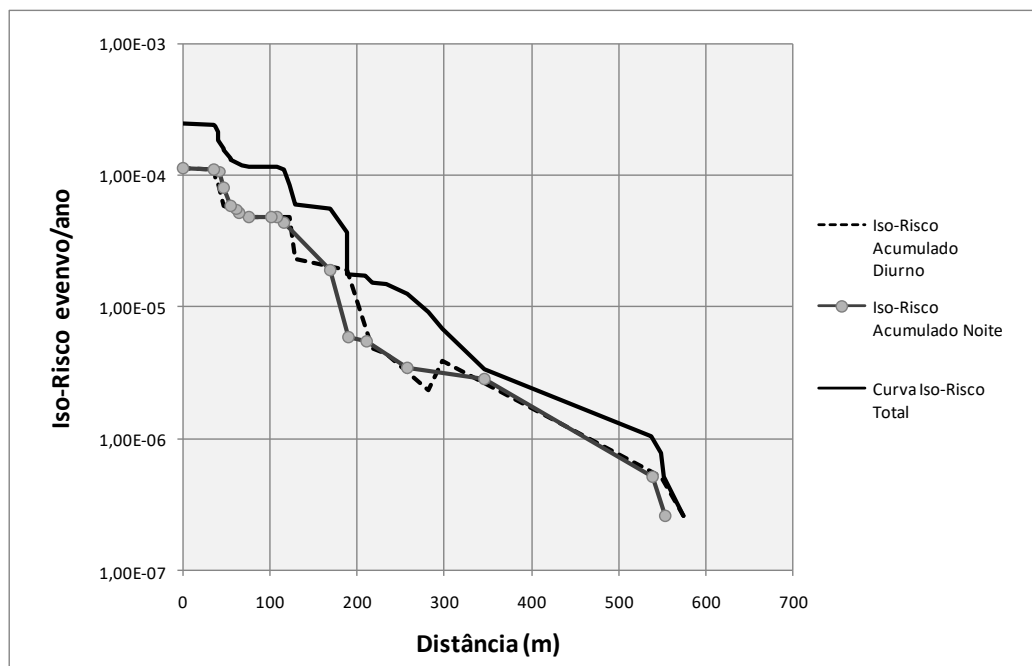


Fonte: Os próprios autores

8 APRESENTAÇÃO DO RISCO DO EMPREENDIMENTO

Os riscos para avaliação da instalação do terminal de combustíveis foram avaliados por meio das curvas de iso-risco e do risco social. A representação o risco para todos os eventos e simulações na Figura 13 demonstra que o risco acumulado na distância próxima à empresa de até 100 m a frequência acumulada é da ordem de $1,00E-4$ eventos/ano.

Figura 13: Curva de iso-risco para todos os cenários

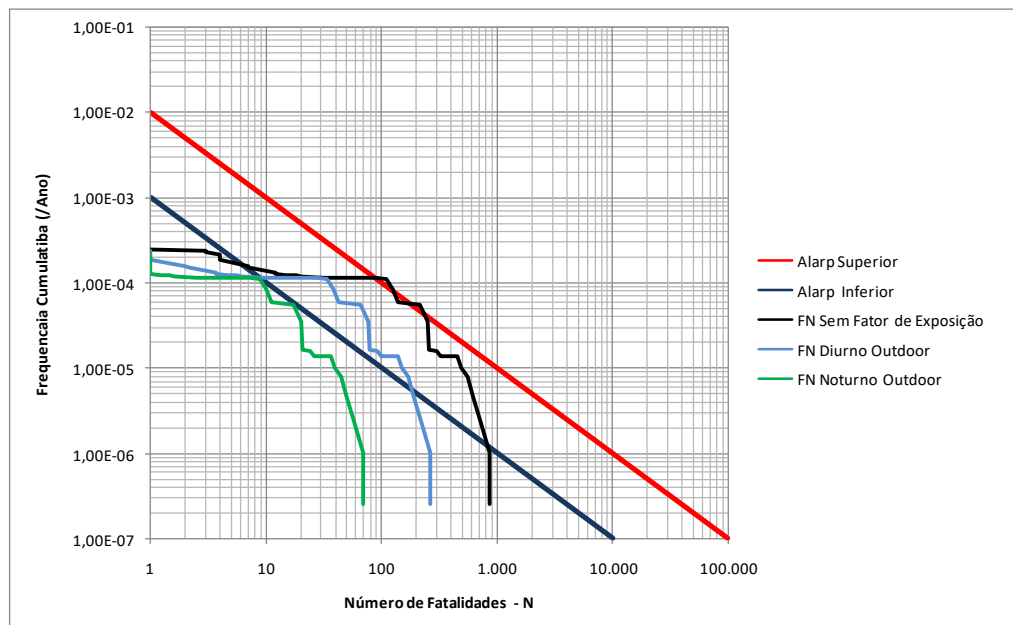


Fonte: Os próprios autores.

Os riscos sociais expressos por meio das curvas F X N fornecem a frequência esperada de acidentes com número de vítimas maior ou igual ao valor desejado conforme o critério adotado. No cálculo do Risco Social é estimado o número de fatalidades (N), quantitativo de pessoas para a frequência acumulada (F) de ocorrência dos eventos acidentais em razão da probabilidade de exposição nas áreas vulneráveis. Na Figura 14 são representados 3 perfis do Risco Social para avaliação da tolerabilidade dos riscos no projeto:

- Perfil da curva F-N de distribuição do risco social para exposição da população no ambiente diurno presentes nas áreas de impacto.
- Perfil da curva F-N de distribuição do risco social para exposição da população no período diurno *outdoor* presentes nas áreas de impacto.
- Perfil da curva F-N de distribuição do risco social para exposição da população no período noturno *outdoor* presentes nas áreas de impacto.

Figura 14 - Curva de Distribuição acumulativa do Risco Social – População Total nos setores Período Diurno



Fonte: Os próprios autores.

9 ANÁLISE DE RESULTADOS

O estudo de análise de risco do terminal de combustíveis avaliou os efeitos de 36 eventos acidentais simulados para a área de tancagem de armazenamento no entorno do terminal. Os resultados demonstram que acidentes extrapolam os limites da unidade industrial.

Foram considerados apenas os principais sistemas de processo que envolve o armazenamento e a transferência de combustível sem desenvolver estudos específicos de falhas de equipamentos e dispositivos como válvulas, bombas, sistemas de alívio.

Os resultados da curva de iso-risco demonstraram um valor de 10^{-5} evento/ano e 10^{-4} evento/ano com curvas de contorno fora dos limites da empresa.

Em relação aos eventos de vazamento de etanol no caminhão tanque o risco individual é aceitável com um valor de 10^{-6} evento/ano, maior valor risco obtido para todos os eventos iniciadores, mesmo atingindo a área externa conforme critérios de análise de órgão internacionais.

No gráfico F-N (Figura 14) é demonstrado que os eventos acidentais diagnosticados na empresa para exposição noturna outdoor estão abaixo do perfil da curva do valor tolerável (linha azul do gráfico da Figura), e, portanto, os riscos nessa condição são aceitáveis em relação à área de ocupação e os efeitos danosos do risco social constituem a única condição.

As curvas foram obtidas por meio da distribuição acumulativa da frequência dos eventos acidentais postulados e o número de pessoas foram calculados por meio da área de impacto do acidente obtida pela distância máxima de cada evento desenvolvida na simulação.

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos riscos é um instrumento utilizado para apoio à tomada de decisão, pois são utilizadas técnicas estruturadas de identificação de perigo, modelagem e simulação de acidentes para avaliar a tolerabilidade dos riscos na área geográfica específica.

O cálculo do risco social e individual é utilizado para gestão da segurança de processo e tem aplicação no planejamento urbano no momento que são cruzadas as informações dos eventos acidentais e as áreas vulneráveis com a magnitude de impacto no ambiente. A dinâmica socioeconômica do local é uma das principais fontes de informações na análise de risco.

Os critérios de análise para planejamento urbano para avaliar a instalação de projetos industriais com base no risco estão associados às formas de apresentação de risco delineados pela curva F-N e curva de iso-risco como demonstrado no estudo de caso.

O estudo de caso do terminal de combustíveis demonstrou que o risco calculado na área externa da empresa indica a necessidade de revisão do projeto e a implantação de barreiras de

prevenção para reduzir a probabilidade de acidentes frente à região de significativa sensibilidade e vulnerabilidade.

A pesquisa demonstra a necessidade proeminente do planejamento de áreas urbanas sob a ótica do risco para a sociedade apesar do conhecimento dos gestores públicos e privados das potenciais perdas provocadas por falhas críticas em empreendimentos de produção industrial.

O planejamento urbano baseado no risco definido no trabalho é o estudo de consequência com o mapeamento das áreas vulneráveis afetadas pelos acidentes. Os resultados das áreas afetadas por meio das simulações dos cenários acidentais revelam a importância da análise de risco para ação do Estado frente a implantação de empreendimentos que apresentam potencial risco para a população.

REFERÊNCIAS

AICHe. *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. 2ª. Edição, American Institute of Chemical Engineers, New York: 2000.

BERNATIK, A.; ZIMMERMANB, W.; PITT, M.; STRIZIK M.; NEVRLYA, V.; ZELINGERC, Z. *Modelling accidental releases of dangerous gases into the lower troposphere from mobile sources*. Process Safety and Environment Protection, n 86, 2008, p. 198–207

BERNECHEA, E. J. *Design Optimization of Storage Terminals through the Application of QRA*. 281 f. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Química. Centro de Estudos de Risco e Tecnologia (CERTEC) Universidade Politécnica de Catalunya, Barcelona,.2013.

CAVANAGH, N.; HICKEY, C. A “Triple Bottom Line” approach to QRA. *ChemicalEngineeringTransactions*. v. 26, 2012.

CETESB. Norma Técnica CETESB - P4.261 – *Risco de Acidente de Origem Tecnológica - Método para decisão e termos de referência*- Caderno Executivo, 2ª Edição, Diário Oficial do Estado de São Paulo – Caderno Executivo I, v.124, Poder Executivo, Seção I, p. 83. 2011.

CHRISTOU, M. D., M. STRUCKL, BIERMANN, T. *The document is intended to give guidance for risk assessment in Land Use Planning (LUP) in general as far as the major Land-Use Planning in the Seveso II Directive*. September. 2006.

CROWL, D. A. *Understanding Explosions*. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 2003.

CROWL, D. A.; Louvar, J. F. *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications*. 2^a Ed. Prentice Hall International. Estados Unidos, 2002.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER - FEPAM Manual de Análise de Riscos, Industriais Departamento de Controle Ambiental / Divisão de Controle da Poluição Industrial. n. 01/01. 2001.

FERREIRA, K. O. A Expansão Centro-Metropolitana da Grande Vitória nos Principais Eixos Viários. 160 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais. Departamento de Geografia Programa de Pós-graduação em Geografia, 2012.

FONTES, N. M.; GOMES, J; S.; LIMA, M. S.; ROVERI, V. ZAUBERAS, R. T. Trajetória da análise de acidentes industriais Ampliados e as normas internacionais: um Estudo de suas causas e consequências Revista Don Domênico, 7^a ed. 2013.

FONTOURA, L. N. J. Planejamento urbano-ambiental: o uso e ocupação do solo no Distrito Federal. Revista Especialize On-line IPOG – Goiânia, 5^a ed. n. 5. v. 1. 2013.

GALANTE, E. B. F. *Estudo dos Modelos de Avaliação de Risco Ambiental*. 118 f, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica & Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, 2011.

GANT, S. E.; KELSEY, A.; MCNALLY, K.; WITLOX, H.W.M.; BILIO, M. *Methodology for global sensitivity analysis of consequence models*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 26, n. 4, p. 792–802, 2013:

GREEN BOOK TNO. *Methods for the Determination of Possible Damage to People and Objects Resulting of Release Hazardous Materials*. 1^aed, Relatório Committee for the Prevention of Disasters, Vouburg, CPR 16E. TNO - The Netherlands Organisation, 1989.

HORNG, J. J.; LINA, Y. S. ; SHUB, C. M.; TSAIA, E. *Using consequence analysis on some chlorine operation hazards and their possible effects on neighborhoods in central Taiwan*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 18. p. 474–480. 2005.

JELEMENSKY, L.; HARISOVÁ J.; MOLNÁR A.; MARKOS J. *Reliable risk estimation in the risk analysis of a chemical industry. Case study: Ammonia storage pressurized sphere tank*, Chemical Papers, v. 58. p. 48 – 54. 2004.

KAZIMIERZ, T. K. *Functional safety concept for hazardous systems and new challenges*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. v. 19. p. 298–305. 2006.

KLETZ, A. Trevor. *Elimination of the Risks Originating from of Processes*. University of Technology, United Kingdom: Longhborough, 1996.

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora LTDA. 2001.

LARI, S., FRATTINI, P., CROSTA, G. B. *Local scale multiple quantitative risk assessment and uncertainty evaluation in a densely urbanised area (Brescia, Italy)*. Nature Hazards Earth System Science, v.12. p. 3387–3406, 2012.

LEES, Frank P. *Lees' Loss Prevention in the Process Industries – Hazard Identification, Assessment Control*. 3^a Ed, USA: Elsevier Butterworth Heinemann, v. 1. 2005.

MANNAN, S. *Lee's Loss Prevention in the Process Industries*. London, Butterworth Co., 3^a ed. v. 2. 2005.

MARHAVILAS, P. K; KOULOURIOTIS, D.; GEMEN V. *Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000 - 2009* Journal of Loss Prevention in the Process Industries. n. 24. p. 477 – 523. 2011.

NAVEEN, S. SIVASUBRAMANIAN, V. *3D Simulation of a Medium scale Pool Fire*. International Journal of Engineering Research and Applications, v., n. 4. p.178-187, 2014.

PASMANA, H.; RENIERS, G. *Past, present and future of Quantitative Risk Assessment (QRA) and the incentive it obtained from Land-Use Planning (LUP)*, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, v. 1-8, 2013.

PONTIGGIA, M.; DERUDI, M.; ALBA, M.; SCAIONI, M., ROTA, R. *Hazardous gas releases in urban areas: Assessment of consequences through CFD modeling*. Chemical Engineering Transactions. v. 26, 2012.

RENJITH, .V. R.; MADHU, G. *Individual and societal risk analysis and mapping of human vulnerability to chemical accidents in the vicinity of an industrial area*. International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul, v. 1, n. 1, 2010.

RONZA, A.; Carol, S., ESPEJO, V.; VILCHEZ, J.A. b, ARNALDOS, J. *A quantitative risk analysis approach to port hydrocarbon logistics*. Journal of Hazardous Materials. v. 128. p. 10–24, 2006;

SELVAN, T. R.; SIDDQUI, N. A. *Risk Assessment Study for LPG Storage and Handling System of Heat Treatment Plant*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, v. 5, n. 7, p. 216, 2015.

SENGUPTA, A. *Land use planning in India*. Loss Prevention Bulletin. n. 240, p.17. 2014.

SOUZA JUNIOR, M. D. *Riscos Industriais: Etapas para a Investigação e a Prevenção de Acidentes*. 1^a. ed. Rio de Janeiro: FUNENSEG, 2002.

VOOGD, H. *Disaster Prevention in Urban Environments*. European Journal of Spatial Development. n. 12, 2004

HSE - Health and Safety Executive. *Failure rate and event data for use within land use planning risk assessments*. Document ID: HSE PCAG chp 6K Version 12 – 28/06/2012. Acessado em 20 de março de 2015 em <http://www.hse.gov.uk>

ENED - Environment, Nature and Energy Department. *Background Information Appendix to Handbook Failure Frequencies 2009 for drawing up a safety report, 05/05/2009*. Environment, Natureand Energy Department. Acessado em 20 de março de 2015 em <https://www.lne.be/>