

# Vulnerabilidade e risco social de postos revendedores de Gás Natural Veicular (GNV)

Vulnerability and social risk of stations natural gas (NG)

C. E. M. Jerônimo

*Engenharia de Petróleo e Gás, Universidade Potiguar, 59082-330, Natal-RN, Brasil*

*c\_enrique@hotmail.com*

*(Recebido em 31 de março de 2012; aceito em 10 de setembro de 2012)*

O avanço no processo do licenciamento é acompanhado pelo desenvolvimento da robustez com que avançam os modelos de gerenciamento de riscos. Praticamente em todos os órgãos ambientais já se faz como pré-requisito, ao licenciamento de empreendimentos, a exigência da apresentação de estudos qualitativos e quantitativos de riscos. Entretanto, a escassez de dados e referências para a parametrização dessas modelagens se torna um grande limitador para a análise por parte dos técnicos e interpretação por parte dos projetistas. Diante desse quadro, neste trabalho foram realizadas diferentes simulações para doze postos revendedores de GNV, em diferentes cenários geográficos e operacionais. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade para os principais parâmetros de influência para a análise quantitativa de riscos (velocidade dos ventos, pressão, temperatura e a rugosidade da linha). Os resultados apontam para níveis de aceitação para os padrões de vulnerabilidade e riscos sociais para os postos estudados. A análise de sensibilidade demonstrou representatividade estatística, ao nível de 95% de confiabilidade, para a influência dos parâmetros de rugosidade e pressão da linha de distribuição. Sendo as demais variáveis consideradas com efeito paramétrico, na modelagem matemática, nos níveis variados.

Palavras-chave: análise de risco; gás natural veicular e vulnerabilidade

The advance in the licensing process is followed by the robust advancing development of risk management models. Practically all environmental agencies ask for qualitative and quantitative studies of risk as a prerequisite for enterprises licensing. However, the data and references scarcity for the parameterization of these modeling becomes a major limitation for the technicians' analysis and designers' interpretation. Given this situation, different simulations for twelve NG gas stations in different geographical and operational scenarios were performed in this work. In addition, we performed a sensitivity analysis for the main parameters of influence for quantitative risk assessment (wind speed, pressure, temperature and the roughness of the line). The results point to levels of acceptance for the patterns of vulnerability and social risks for the gas stations studied. The sensitivity analysis showed statistical significance at the 95% level of confidence to the influence of the roughness and pressure parameters of the distribution line. As the other variables being considered with parametric effects, for mathematical modeling, in varying degrees.

Keywords: risk analysis; natural gas engines and vulnerability

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico trouxe a tona uma série de variáveis do contexto ambiental não existentes na série histórica do desenvolvimento brasileiro e mundial. Sobretudo, os requisitos associados à regularização de empreendimentos potencialmente poluidores vem acompanhado de um rigoroso grau de cobrança frente aos estudos, projetos e estrutura de medidas mitigadoras propostas para o empreendimento.

No segmento dos retalhistas de combustíveis, o avanço das cobranças se estrutura por fortes pressões sociais e por representantes formais do ministério público, nas diferentes esferas. Diante desse quadro, o rigor nos projetos de dimensionamento é preconizado em diferentes instrumentos normativos<sup>1-9</sup>.

Somam-se a essas normas a exigência, hoje praticamente de todos os órgãos ambientais brasileiros<sup>16, 24, 26, 27, 30, 31</sup>, para o licenciamento de postos revendedores de gás natural veicular, a saber: Estudo de análise quantitativa de riscos.

Tais estudos relatam a avaliação dos cenários de instalação dos empreendimentos, bem como, respondem com os cálculos da vulnerabilidade e riscos sociais envolvidos com tais estudos. Gera-se com tais variáveis uma referência para qualificação da área de influência do empreendimento e seus riscos associados<sup>28, 34</sup>.

Conforme o conceito<sup>38, 39</sup> risco é definido como as conseqüências indesejadas de uma atividade em particular em relação à probabilidade que pode ocorrer. Então o risco depende de duas variáveis características: a magnitude das conseqüências e a probabilidade de ocorrência ou pelo produto da freqüência de ocorrência e conseqüência do efeito do evento. Logo, o risco pode ser definido como um potencial de perda resultante da exposição a um perigo. A análise de risco é executada considerando-se um determinado cenário, sua probabilidade de ocorrência, suas possíveis conseqüências e severidade das mesmas, associadas a uma população exposta ao risco.

Alguns autores<sup>10, 11, 38, 39</sup> detalham métodos para determinar a probabilidade de eventos indesejados, os efeitos causados e quaisquer danos desencadeados por estes efeitos. As técnicas para as análises probabilísticas devem estar intimamente atadas à análise de conseqüências e de efeitos físicos e químicos do fenômeno. Geralmente esses efeitos físicos e químicos são muito complexos não podendo ser matematicamente descritos, mas, quando objetivamente (diretamente) observados, podem ser reproduzidos (e assim equacionados) e tornam-se acessíveis aos cálculos.

A complexidade do cálculo, quase sempre é função do grande número de variáveis, que para a maioria dos modelos não se conhece sua sensibilidade frente ao resultado final, obtido com os estudos de risco.

Sendo assim, neste estudo foram realizadas diferentes simulações para doze postos revendedores de GNV, em diferentes cenários geográficos e operacionais. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade para os principais parâmetros de influência para a análise quantitativa de riscos (velocidade dos ventos, pressão, temperatura e a rugosidade da linha).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Universo Amostral

O estudo foi realizado em 12 postos revendedores de combustíveis de diferentes regiões do estado do Rio Grande do Norte, cuja localização compreendia todas as sub-regiões do referido estado. Na Tabela 1 são apresentadas algumas características de cada um dos postos.

*Tabela 1: Classificação dos Postos Estudados*

Posto	Classe de Ventos	Tipo do Material da Tubulação	Pressão (bar)	Temperatura Ambiente (°C)
1	A	Aço Carbono	15	35
2	B	PEAD	5	32
3	B	PEAD	5	31
4	B	Aço Carbono	15	28
5	C	PEAD	5	32
6	C	Aço Carbono	15	28
7	C	Aço Carbono	15	27
8	C	Aço Carbono	15	28
9	C	Aço Carbono	15	32
10	C	Aço Carbono	15	30
11	C	PEAD	5	31
12	C	PEAD	5	30

Seguindo a classificação dos postos<sup>1</sup>, a amostra compreendia: dez postos na classe 1, um posto na classe 2 e um posto na classe 3. Nenhum dos postos estudados foram enquadrados na classe 0.

As características climáticas e meteorológicas para subsidiar os estudos seguiram padrão dos documentos do Anuário do IDEMA-RN<sup>31</sup> para os diferentes municípios da localização dos postos e dados complementares do INMET.

## 2.2. Simulações Matemáticas

As principais substâncias químicas consideradas foram os derivados de hidrocarbonetos, que compõe os combustíveis presentes no posto de comercialização. Para efeito da análise de risco foi considerado, em especial, as questões relativas ao sistema de distribuição de Gás Natural Veicular (GNV). Entretanto, os demais combustíveis (Diesel, Gasolina e Álcool) foram considerados para efeito dos danos secundários, visto que as situações serão consideradas no cenário mais conservativo para o GNV.

As substâncias presentes no processo, em análise, consideradas como perigosas foram: o metano e o etano. Conforme resolução 420 da ANTT, ou seja, o GNV estudado foi classificado conforme CAS: 74-98-6. Sabendo-se que a periculosidade intrínseca de uma substância química é função da inflamabilidade e toxicidade da mesma, pode-se dizer que o potencial para causar danos ao ser humano e ao meio ambiente está relacionado com esses dois parâmetros<sup>16</sup>.

## 2.3. Análise Preliminar de Riscos

Para a seleção das técnicas aplicáveis, e conseqüentemente definição da Análise Preliminar de Riscos, tomou-se como base as orientações da CETESB<sup>16</sup> e elenco de aspectos, impactos, perigos e situações de emergências (AIPRES) analisados. Porém, a metodologia foi adaptada para os modelos descritos a seguir.

Para o cálculo da freqüência foi utilizado os dados contidos na Tabela 2.

*Tabela 2: Classes de Freqüência*

<b>Categoria</b>	<b>Denominação</b>	<b>Faixa de Freqüência (ano)</b>	<b>Descrição</b>
<b>A</b>	Remota	$f < 10^{-3}$	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação.
<b>B</b>	Pouco Provável	$10^{-3} > f > 10^{-2}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil da instalação
<b>C</b>	Provável	$10^{-2} > f > 10^{-1}$	Provável de ocorrer durante a vida útil da instalação
<b>D</b>	Freqüente	$f > 10^{-1}$	Esperado ocorrer pelo menos uma vez durante a vida útil da instalação

A metodologia que se apresenta permite quantificar a magnitude dos riscos existentes e, como conseqüência, hierarquizar de modo racional a prioridade da sua eliminação ou correção. A informação resultante deste método é apenas orientativa.

Os conceitos chave da avaliação são: a probabilidade de que determinados fatores de risco (perigos) se materializam em danos a magnitude dos danos (também designado por severidade ou tão somente conseqüências)<sup>16</sup>. O risco é, em termos gerais, o resultado do produto da probabilidade pela severidade.

Sendo assim, no campo dos acidentes laborais, a probabilidade traduz a medida de desencadeamento do acontecimento inicial. Integra-se a duração da exposição das pessoas ao perigo e as medidas preventivas existentes. Assim sendo, podemos afirmar que a probabilidade é função do nível de exposição e do conjunto das deficiências (que é o oposto das medidas preventivas existentes para os fatores em análise) que contribuem para desencadeá-lo de um determinado acontecimento não desejável.

No desenvolvimento do método não se utilizarão valores absolutos, mas antes intervalos discretos pelo que se utilizará o conceito de nível. Assim o nível de risco (NR) será função do nível de probabilidade (NP) e do nível de conseqüências (NC).

O presente método pode ser representado pelo fluxograma apresentado na Figura 1.

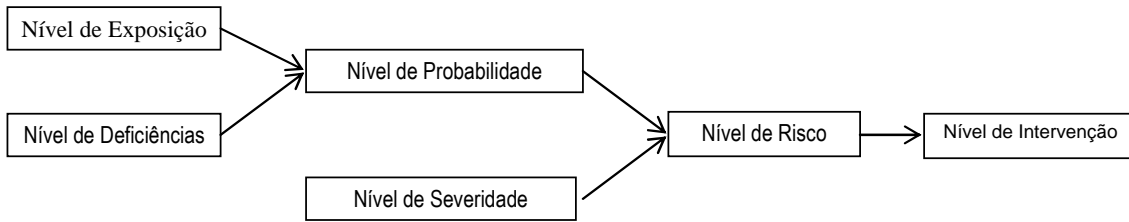


Figura 1: Fluxograma de Gestão dos riscos

Designou-se por nível de deficiência (ND), ou nível de ausência de medidas preventivas, a magnitude esperada entre o conjunto de fatores de risco considerados e a sua relação causal direta com o acidente. A Tabela 3, que se segue, define o enquadramento da avaliação do cenário num determinado nível de deficiência.

Tabela 3: Nível de Deficiência (ND) para os cenários estudados

Nível de Deficiência	ND	Significado
Aceitável (A)	1	Não foram detectadas anomalias. O perigo está controlado.
Insuficiente (I)	2	Foram detectados fatores de risco de menor importância. É de admitir que o dano possa ocorrer algumas vezes.
Deficiente (D)	6	Foram detectados alguns fatores de risco significativos. O conjunto de medidas preventivas existentes tem a sua eficácia reduzida de forma significativa
Muito Deficiente (MD)	10	Foram detectados fatores de risco significativos. As medidas preventivas existentes são ineficazes. O dano ocorrerá na maior parte das circunstâncias.
Deficiência Total (DT)	14	Medidas preventivas inexistentes ou desadequadas. São esperados danos na maior parte das situações.

O nível de exposição é uma medida que traduz a frequência com que se está exposto ao risco. Para um risco concreto, o nível de exposição pode ser estimado em função dos tempos de permanência nas áreas de trabalho, operações com a máquina, procedimentos, ambientes de trabalho, etc. A Tabela 4 apresenta a avaliação num determinado nível de exposição, considerada no estudo.

Tabela 4: Nível de Exposição (NE) para os cenários estudados

Nível de Exposição	NE	Significado
Esporádica	1	Uma vez por ano ou menos e por pouco tempo (minutos)
Pouco Freqüente	2	Algumas vezes por ano e por período de tempo determinado
Ocasional	3	Algumas vezes por mês
Freqüente	4	Várias vezes durante o período laboral, ainda que com tempos curtos – várias vezes por semana ou diário
Continuada Rotina	5	Várias vezes por dia com tempo prolongado ou continuamente.

O nível de probabilidade é função das medidas preventivas existentes e do nível de exposição ao risco. Pode ser expresso num produto de ambos os termos apresentado na Figura 1 abaixo.

Foram considerados cinco níveis de conseqüências em que se categorizaram os danos físicos causados às pessoas e os danos materiais. Ambas as categorias devem ser consideradas independentemente, tendo sempre mais peso os danos nas pessoas que os danos materiais. Quando os danos em pessoas forem desprezíveis ou inexistentes devermos considerar os danos materiais no estabelecimento das prioridades, conforme Tabela 5.

		Nível de Exposição					
		Esporádica	Pouco Freqüente	Ocasional	Freqüente	Continua	
		1	2	3	4	5	
Nível de Deficiência	Aceitável	1	1	2	3	4	5
	Insuficiente	2	2	4	6	8	10
	Deficiente	6	6	12	18	24	30
	Muito Deficiente	10	10	20	30	40	50
	Deficiência Total	14	14	28	42	56	70

Figura 2: Probabilidade dos Riscos

Tabela 5: Nível de Probabilidade (NP) para os cenários estudados

Nível de Probabilidade	NP	Significado
Muito Baixa	[1;3]	Não é de esperar que a situação perigosa se materialize, ainda que possa ser concebida
Baixa	[4;6]	A materialização da situação perigosa pode ocorrer.
Média	[8;20]	A materialização da situação perigosa é possível de ocorrer pelo menos uma vez com danos.
Alta	[24;30]	A materialização da situação perigosa pode ocorrer várias vezes durante o período de trabalho.
Muito Alta	[40;70]	Normalmente a materialização da situação perigosa ocorre com freqüência.

Os acidentes com baixa foram integrados no nível de consequências grave ou superior.

Há que ter em conta que, quando nos referimos às consequências dos acidentes, apenas se consideram os que forem normalmente esperados em caso de materialização do risco. O nível de severidade do dano refere-se ao dano mais grave que é razoável esperar de um incidente envolvendo o perigo avaliado.

Tabela 6: Nível de Severidade (NS) para os cenários estudados

Níveis de Severidade	NS	Significado	
		Danos Pessoais	Danos Materiais
Insignificante	10	Não há danos pessoais	Pequenas perdas materiais
Leve	25	Pequenas lesões que não requerem hospitalização. Apenas primeiros socorros	Reparação sem paragem do processo
Moderado	60	Lesões com incapacidade laboral transitória. Requer tratamento médico	Requer a paragem do processo para efectuar a reparação
Grave	90	Lesões graves que podem ser irreparáveis.	Destruição parcial do sistema (reparação complexa e onerosa)
Mortal ou catastrófico	155	Um morto ou mais. Incapacidade total ou permanente	Destruição de um ou mais sistemas (difícil renovação / reparação)

O nível de risco foi considerado como o resultado do produto do nível de probabilidade pelo nível das consequências  $NR=NP \times NS$ , e que pode apresentar-se na Figura 3, seguinte:

		NP		1 a 3		4 a 6		8 a 18		24 a 30		40 a 70	
		NS		1 a 3		4 a 6		8 a 18		24 a 30		40 a 70	
Pessoas	Material			Não é de esperar que o risco se materialize		A materialização do risco pode ocorrer.		A materialização do risco é possível de ocorrer		A materialização do risco pode ocorrer várias vezes durante o período de trabalho.		A materialização ocorre com frequência.	
Não há danos pessoais	Pequenas perdas de material	10	10	30	40	60	80	180	240	300	400	700	
Pequenas lesões que não requerem hospitalização	Reparação sem necessidade de paragem do processo	25	25	75	100	150	200	450	600	750	1000	1750	
Lesões com incapacidade de trabalho temporária	Requer paragem do processo para executar a reparação	60	60	180	240	360	480	1080	1440	1800	2400	4200	
Lesões graves que podem ser irreparáveis	Destruição parcial do sistema (reparação complexa e onerosa)	90	90	270	360	540	720	1620	2160	2700	3600	6300	
Um morto ou mais. Incapacidade total ou permanente	Destruição total do sistema (difícil Recuperação)	155	155	465	620	930	1240	2790	3720	4650	6200	10850	

Figura 3: Classificação das conseqüências dos riscos

#### 2.4. Cálculo de Conseqüências

O cálculo de conseqüências deve ser precedido da “Análise da árvore de eventos – AEE” que permite definir as tipologias acidentais possíveis de ocorrência no sistema analisado. O “RED BOOK” da TNO (1997) define a árvore de eventos como “um modelo lógico que graficamente retrata a combinação dos eventos e circunstâncias na seqüência de um acidente”.

A AAE descreve a seqüência de fatos que pode se desenvolver a partir do cenário acidental em estudo, prevendo-se situações de sucesso ou falha de acordo com as interferências existentes, até a conclusão das mesmas com a definição das diferentes tipologias acidentais possíveis. As interferências consideradas contemplam ações, situações ou mesmo equipamentos existentes ou previstos no sistema em análise, as quais se relacionam com o evento inicial da árvore e que possam acarretar diferentes “caminhos” para o desenvolvimento da ocorrência, gerando, portanto diferentes tipos de fenômenos.

A CETESB<sup>16</sup> define risco individual como o “risco para uma pessoa presente na vizinhança de um perigo, considerando a natureza do dano que pode ocorrer e o período de tempo em que este pode acontecer” e o risco social como sendo o “risco para um determinado número ou agrupamento de pessoas expostas aos danos decorrentes de um ou mais cenários acidentais.

A conseqüência de um evento acidental é função do tipo de vazamento, se instantâneo ou contínuo, do tamanho do vazamento, da quantidade de produto vazado e do momento de ignição.

A metodologia adotada nas simulações das conseqüências consistiu nas seguintes etapas: Consolidação das hipóteses acidentais; seleção dos modelos matemáticos apropriados para as simulações; levantamento de dados para os cálculos; elaboração de cálculos preliminares; simulação das hipóteses acidentais; resumo e análise dos resultados.

Os cenários acidentais capazes de se desdobrarem em cenários de severidade crítica ou catastrófica foram submetidas à simulação de efeitos visando determinar a área de alcance e o respectivo nível de danos esperados. Para essa simulação foram considerados 5 cenários acidentais associadas à ruptura catastrófica (100% diâmetro) e parcial (20% do diâmetro) do gasoduto. São elas:

- Hipótese 01 - Ruptura catastrófica (100% Diâmetro) @ 10 Bar de tubulação de 8" – Dia/Noite. Cenários acidentais: Taxa de vazamento, Fireball, dispersão gaussiana. Vulnerabilidade: Taxas de radiação térmica para Probit de 1%, 50%, 99% e 3 Kw/m<sup>2</sup>.
- Hipótese 01A - Ruptura catastrófica (100% Diâmetro) @ 10 Bar de tubulação de 6" – Dia/Noite. Cenários acidentais: Taxa de vazamento, Fireball, dispersão gaussiana. Vulnerabilidade: Taxas de radiação térmica para Probit de 1%, 50%, 99% e 3 Kw/m<sup>2</sup>.
- Hipótese 02/02A - Ruptura parcial (20% do diâmetro) @ 10 Bar de tubulação de 8" – Dia/Noite. Cenários acidentais: Taxa de vazamento, jato de fogo vertical e horizontal. Vulnerabilidade: Taxas de radiação térmica para Probit de 1%, 50%, 99% e Kw/m<sup>2</sup>.
- Hipótese 03/03A - Ruptura parcial (20% do diâmetro) @ 10 Bar de tubulação de 6" – Dia/Noite. Cenários acidentais: Taxa de vazamento, jato de fogo vertical e horizontal. Vulnerabilidade: Taxas de radiação térmica para Probit de 1%, 50%, 99% e 3 Kw/m<sup>2</sup>.

Para a definição dos possíveis cenários acidentais decorrentes desses cenários têm-se as seguintes considerações:

- Com base no mapa da rede de distribuição de gás natural, considerou-se a presença de 2 trechos com distâncias entre válvulas de 15,0 m a 17,5 m. Foi feito inicialmente a simulação de 11 trechos subdivididos em intervalos regulares de 22 cm e partir desta distância foram feitas divisões correspondente ao maior trecho.
- Considerou-se que as taxas de vazamento para ruptura 100% de tubulação de 8 polegadas resulta em taxas de 0,55 a 9,7 g/s, enquanto que para ruptura 20%, com formação de jato de fogo horizontal (mais conservativo) a taxa de vazamento possui variação mínima para qualquer das distâncias calculadas (0,44 a 0,45 g/s) e as distâncias para radiações térmicas com fatalidades de 1% (13,4 Kw/m<sup>2</sup>) também são praticamente sem variação (1,6 a 1,7 m). Os níveis de 50% e 99% não são atingidos.

As simulações das conseqüências dos cenários acidentais foram realizadas através do programa EFFECTSGIS versão 7.3 desenvolvido pela TNO Built Environment & Geosciences e pelo software PHAST 6.6 desenvolvido pela empresa DNV, que permitiu avaliar os efeitos físicos a partir da liberação acidental da substância em estudo.

As condições das simulações foram parametrizadas mediante as seguintes considerações:

- Os vazamentos devido a ruptura de linha foram considerados contínuos com tempo de vazamento de 10 minutos;
- Apesar das hipóteses de ruptura de linha na descarga do compressor serem consideradas vazamentos contínuos, o volume de gás liberado não é suficiente para ocorrência de bola de fogo;
- Considerou-se 1 metro para comprimento das linhas, caracterizando-se desta maneira a ruptura da linha se dará próximo do equipamento;
- Rugosidade da linha: 0,0045 (aço carbono) e 0,0010 (PEAD);
- Tipo do furo: arredondado (ruptura total da linha);
- Tipo de vazamento: jato horizontal (mais conservativo);
- Adotou-se a rugosidade da superfície com grandes obstáculos e equipamentos como representativa do local;
- A estimativa de massa condensada no sistema foi de 0,2 kg.

As informações meteorológicas foram obtidas pelo INMET. A temperatura do solo foi considera 5°C acima da ambiente.

As condições atmosféricas são classificadas em 6 categorias de estabilidade de A a F, sendo A a mais instável e F a mais estável, de acordo com a intensidade de radiação solar e da velocidade do vento. A Tabela 7 apresenta as categorias Pasquill em função das condições atmosféricas.

*Tabela 7: Classificação dos Ventos - Pasquill.*

Velocidade do vento (V) a 10 m (m/s)	Período diurno			Período noturno	
	Insolação			Nebulosidade	
	Forte	Moderada	Fraca	Parcialmente encoberto	Encoberto
V<2	A	A-B	B	F	F
2<V<3	A-B	B	C	E	F
3<V<5	B	B-C	C	D	E
5<V<6	C	C-D	D	D	D
V>6	C	D	D	D	D

De acordo com a velocidade do vento foi selecionada a categoria de estabilidade.

## 2.5. Análise de Sensibilidade dos Modelos

A análise de sensibilidade considerou um planejamento do tipo fatorial  $2^4$  (velocidade do vento [3-6 m/s], rugosidade [0,0010 a 0,0045 mm], pressão [5 a 15 bar] e Temperatura [30 a 40°C]), sendo realizadas 16 simulações para cálculo dos efeitos (Minitab 15®) de cada variável analisada e 4 repetições no ponto central, seguindo o planejamento descrito na Tabela 8.

*Tabela 8: Planejamento Experimental da Análise de Sensibilidade.*

Ensaio	Velocidade do Vento (m/s)	Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Pressao (bar)	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
1	1	1	-1	1
2	0	0	0	0
3	1	1	-1	-1
4	1	1	1	-1
5	-1	1	-1	-1
6	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	1
8	1	1	1	1
9	-1	-1	1	-1
10	0	0	0	0
11	1	-1	-1	-1
12	0	0	0	0
13	-1	-1	-1	-1
14	-1	-1	1	1
15	-1	-1	-1	1
16	-1	1	1	-1
17	0	0	0	0
18	1	-1	1	1
19	-1	1	-1	1
20	1	-1	1	-1

Para cada cenário acidental estudado, as distâncias apresentadas foram consideradas a partir do ponto onde ocorreu a liberação da substância. No caso de incêndio em nuvem, a distância de interesse será aquela atingida pelo contorno da nuvem na concentração referente ao limite inferior de inflamabilidade (LII). Para cenários acidentais envolvendo incêndios, as distâncias de interesse são aquelas correspondentes aos níveis de radiação térmica de 12,5 kW/m<sup>2</sup> e 37,5



$\text{kW/m}^2$ , que representam uma probabilidade de 1 e 50% de fatalidade da população afetada, para tempos de exposição de 20 e 30 segundos, respectivamente.

As distâncias de interesse para os efeitos da explosão de uma nuvem inflamável referem-se aos níveis de sobrepressão de 0,1 bar e 0,3 bar, acrescidas da distancia equivalente ao ponto médio da nuvem inflamável<sup>16</sup>.

Os dados de entrada para as simulações são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 9: Cenários acidentais avaliados

Parâmetro	Hipótese 1	Hipótese 2	Hipótese 3
Tipo de vazamento	Contínuo	Contínuo	Instantâneo
Substância vazada	GNV	GNV	GNV
Substância simulada	Propano/Metano	Propano/Metano	Propano/Metano
Fase da substância	Gás + condensado	Gás	Gás+Condensado
Tempo de vazamento (s)	600	600	Até esvaziamento

A Substância de referência: Metano (Massa inflamável para o caso de bola de fogo: Massa vazada durante 10s).

Valores de Probit: 1% fatalidades (2,67), 50% fatalidades (5,00) e 99% fatalidades (7,33).

Tempo de exposição à radiação térmica, para o caso de jato de fogo: 1% fatalidades (30s), 50% fatalidades (20s) e 99% fatalidades (10s).

O Cálculo do nível de radiação térmica correspondente (jato de fogo) a:

$$Y = -14,9 + 2,56 * \ln\left(\frac{t * I^{4/3}}{10^4}\right) \quad (1)$$

$$I = \left[\frac{10^4 * \exp[(Y + 14,9) / 2,56]}{t}\right]^{3/4} \quad (2)$$

onde Y é o valor de Probit, t é o tempo de exposição, e I é a intensidade da radiação térmica. Portanto, os níveis de radiação térmica correspondentes são: 1% fatalidades ( $13,4 \text{ kW/m}^2$ ), 50% fatalidades ( $36,0 \text{ kW/m}^2$ ) e 99% fatalidades ( $119,8 \text{ kW/m}^2$ ).

A árvore de eventos abaixo apresenta graficamente as tipologias acidentais possíveis para vazamentos de gás combustível, conforme Figura 4.

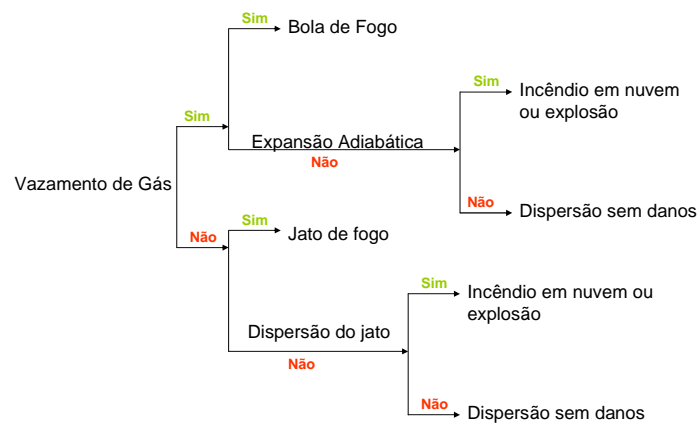


Figura 4: Diagrama de Efeitos Analisados

Para validação da sensibilidade utilizou-se as referências para os valores do LII (limite inferior de inflamabilidade).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Estudos de Casos

O resumo dos resultados das simulações para os casos práticos dos 12 postos avaliados pode ser visualizado conforme Tabela 10.

Tabela 10: Resultados Obtidos nas Análises de Conseqüências.

Hipótese	Conseqüência	Distância de risco (m)
1	Jato de fogo Incêndio em nuvem Explosão confinada	6,6 a 13,2 m (1%) Dist. Até o LII = 7,1 a 13 m 2,1 a 6 m (0,1 bar)
2	Jato de fogo Incêndio em nuvem Explosão confinada	6,7 m (1%) Dist. Até o LII = 6,2 a 11,1 m 2 a 5,9 m (0,1 bar)
3	Jato de fogo Incêndio em nuvem Explosão confinada	6,8 m (1%) Dist. Até o LII = 7,09 a 12,0 m 2,1 a 7,1 m (0,1 bar)

Os limites atingidos em cenários acidentais compreendem intervalos de 2 a 13 metros, do ponto do sinistro. Em todos os casos não haveria comprometimento da vizinhança, visto que os acidentes não ultrapassariam os muros da estrutura.

Tais resultados serão considerados para a análise de vulnerabilidade e conseqüências. Tais valores são obtidos por meio da modelagem de equações matemáticas, e validam valores corriqueiros para os cenários observados para postos de combustíveis, com mesmo nível de pressão e sistema de compressão. Entretanto, pela localização do referido posto em zona de elevada movimentação e transito de veículos as medidas mitigadoras devem considerar o bloqueio deste tráfego e possíveis impactos derivativos.

Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados os resultados para cada cenário acidental em cada um dos postos avaliados e hipóteses compreendidas. A hipótese de incêndio em nuvem e jato de fogo apresentam os maiores alcances em todos os casos avaliados.

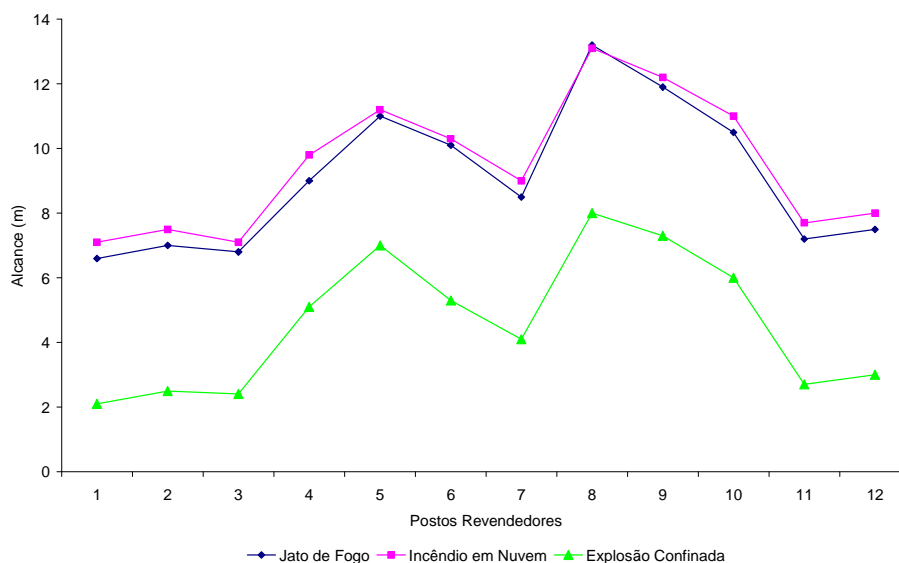


Figura 5: LII obtido para o cenário acidental 1, nos 12 postos avaliados.

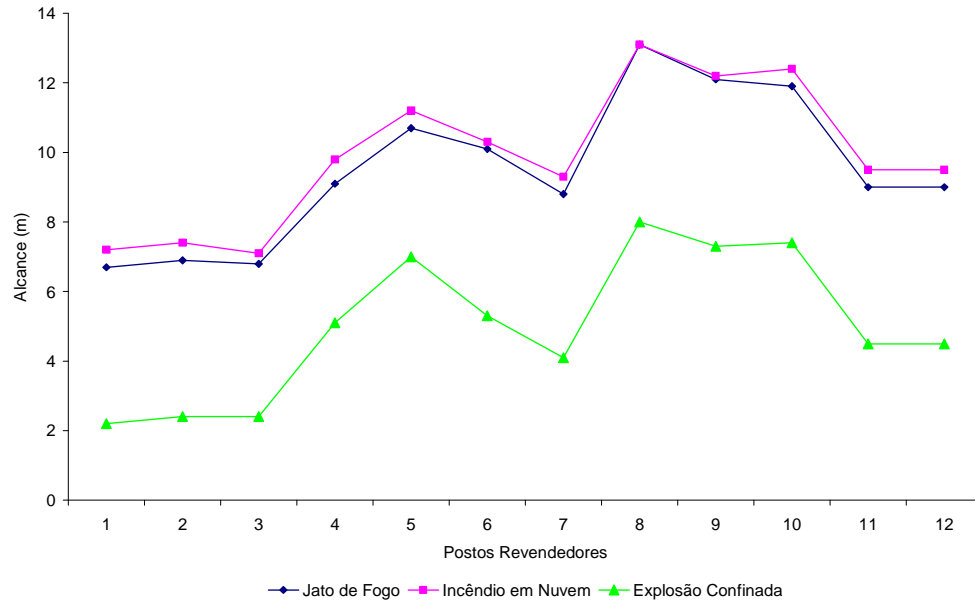


Figura 6: LII obtido para o cenário accidental 2, nos 12 postos avaliados.

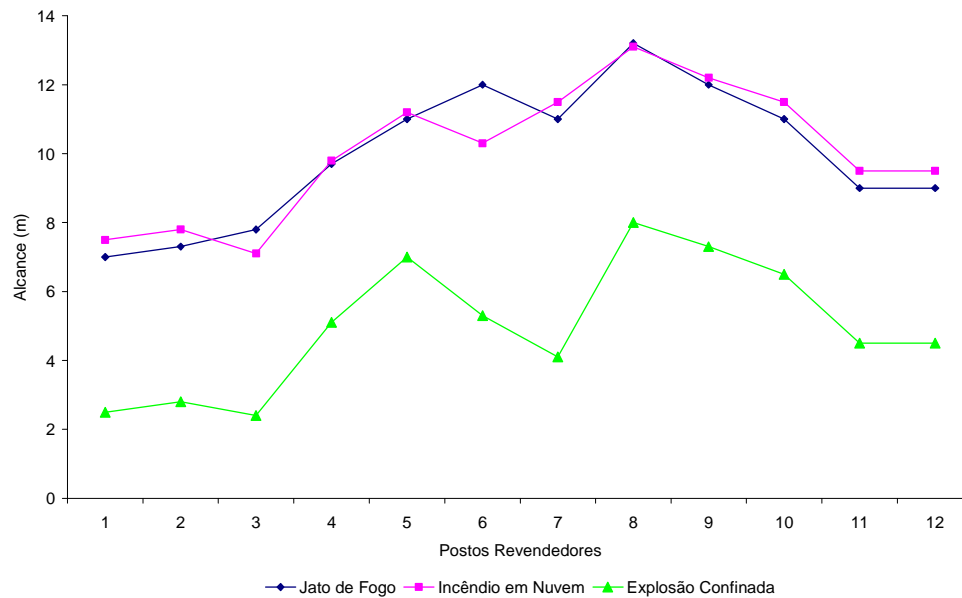


Figura 7: LII obtido para o cenário accidental 3, nos 12 postos avaliados.

Considerando os layouts dos postos, os alcances das hipóteses accidentais ficariam restritos à área do posto. Não havendo impactos nas regiões circunvizinhas.

O número provável de vítimas fatais foi estimado de acordo com as probabilidades de fatalidades associadas aos efeitos físicos, em função das pessoas presentes e expostas nas oito direções de ventos, correspondentes aos períodos diurno e noturno.

Para efeito do cálculo de probabilidade foram considerados os seguintes cenários:

- 25% das pessoas presentes na região entre as curvas de 50 e 1% de fatalidade;
- 100% para as pessoas presentes dentro do incêndio em nuvem.
- Como fator de proteção (pessoas protegidas pelos efeitos da radiação e fora das zonas de sobrepressão), tendo-se no período diurno fatores de 0,93 (indoor) e 0,07 (outdoor) e no período noturno fatores de 0,99 e 0,01, respectivamente.

Diante desses cenários, determinou-se que 30% das pessoas do posto podem ser atingidas em caso de sinistros. Tendo-se uma estimativa de 12% no número de fatalidades.

Em termos de cenários ambientais, a localização do empreendimento não oferece riscos a fauna e a flora da região, sendo restritos em casos de omissão do sistema de combate a emergência.

Em termos globais, as estimativas das frequências dos eventos, apresentaram a seguinte árvore de falhas quantitativa (importante salientar que até níveis 20% superiores a este alcance não há variação matemática nestes parâmetros), conforme apresentado na Figura 8.

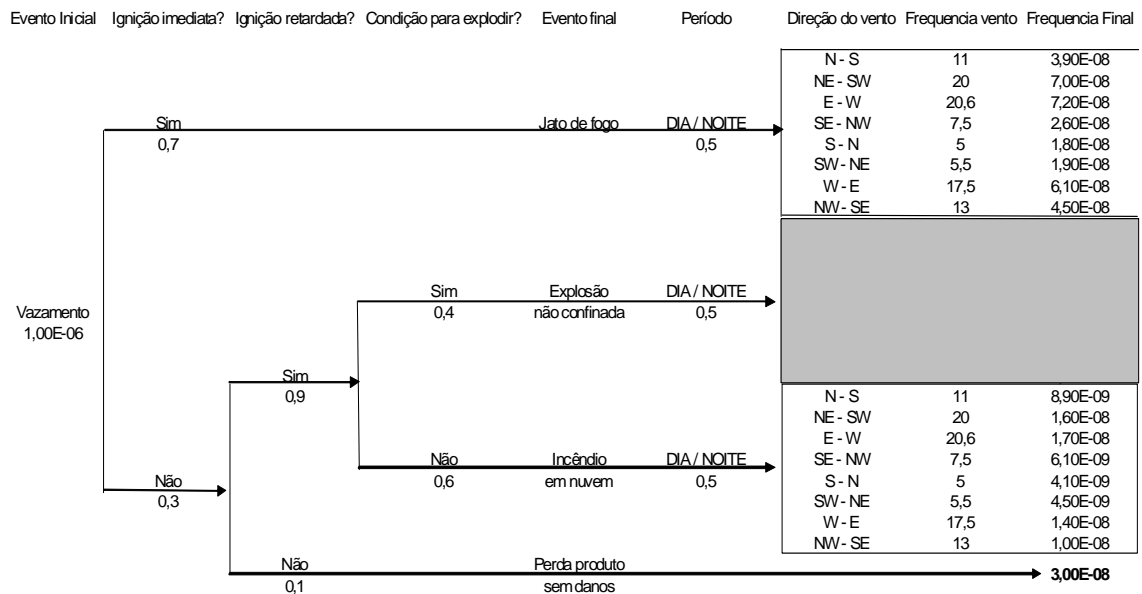


Figura 8: Avaliação de Frequência dos Cenários.

Em termos de riscos sociais tais valores são compreendidos nas faixas de negligenciáveis, ou seja, bem abaixo dos limites considerados como máximos.

### 3.2. Análise de Sensibilidade

Considerando as simulações do planejamento experimental para avaliar a sensibilidade das variáveis no cálculo dos LII, tem-se para as 20 simulações realizadas os resultados apresentados na Figura 9. Os experimentos no ponto central demonstraram resultados com um baixo nível de variação, considerando-se que a única variação considerada foi a aproximação de casas decimais nos parâmetros utilizados.

Esses dados (LII) foram submetidos a uma análise estatística sendo mensurados os efeitos representativos a um nível de 5% na análise de variância, tendo-se como resultados o diagrama de Pareto da Figura 10, onde se observa uma preponderante significância da pressão nos resultados. Sendo inclusive desprezíveis os demais efeitos das três outras variáveis estudadas.

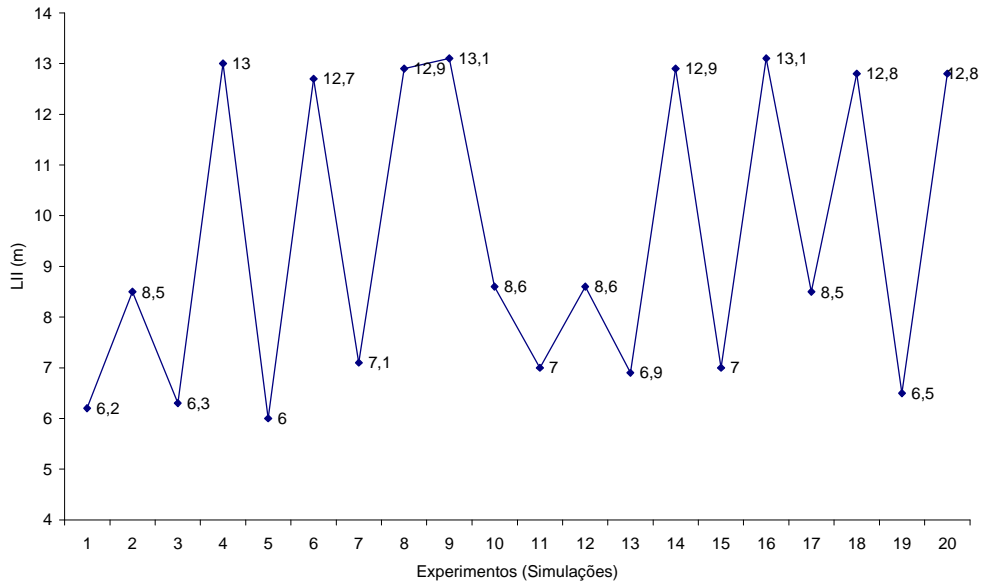


Figura 9: Resultados das Simulações para o LII via Planejamento Fatorial

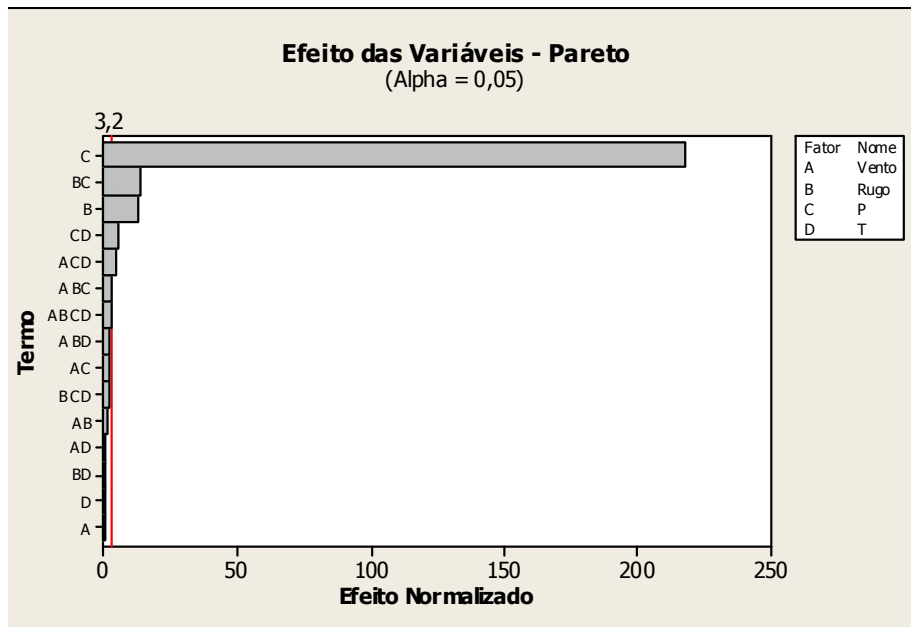


Figura 10: Efeito das variáveis no LII

Os resultados desses efeitos, considerando apenas as variáveis: pressão e tipo da tubulação, que nos remete a uma correlação quadrática que pode ser representada graficamente na superfície de resposta da Figura 11.

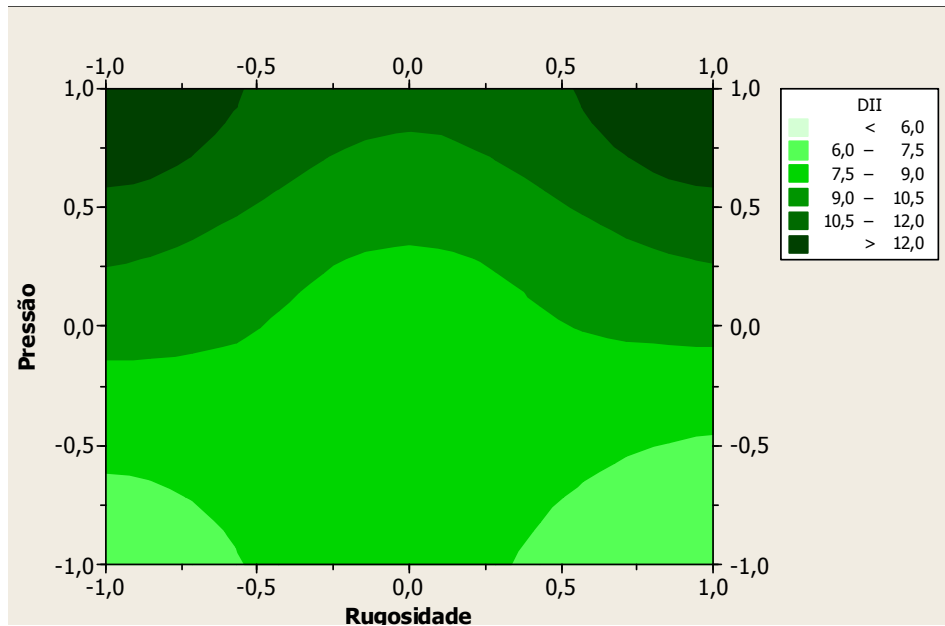


Figura 11: Efeito da Pressão e Rugosidade na LII.

O referido modelo foi obtido com uma base estatisticamente confiável, conforme se observa na Figura 12 das variações centrais e nas diferentes simulações realizadas.

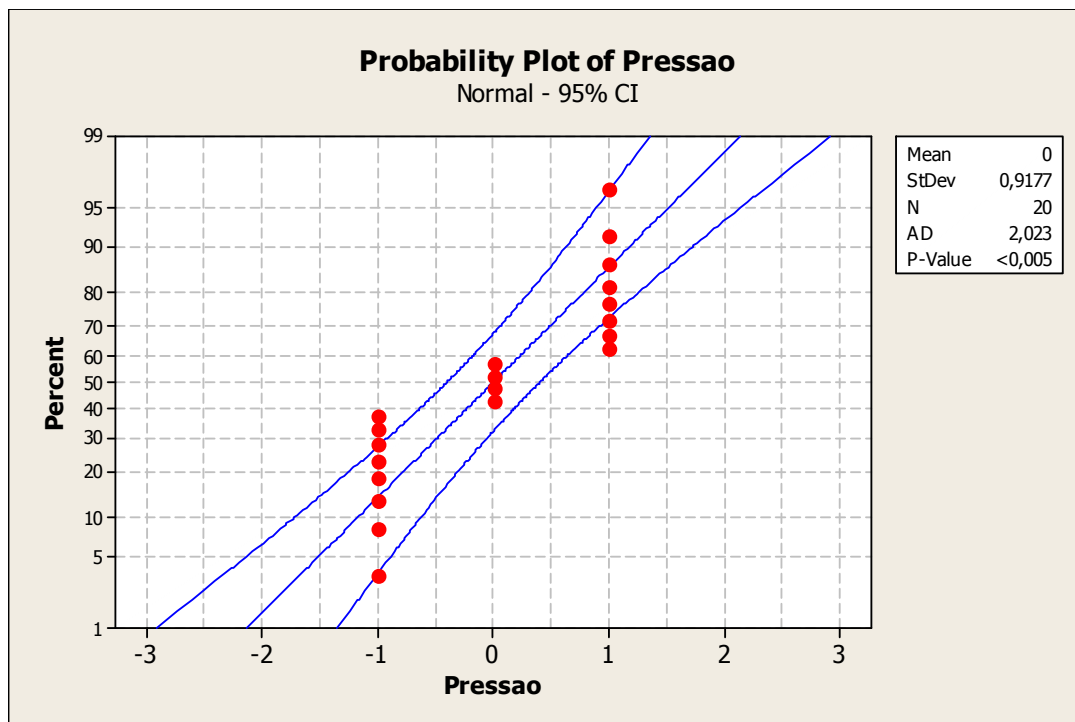


Figura 12: Sensibilidade da Pressão nos valores de LII.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos propostos ao trabalho e resultados obtidos é possível tecer as seguintes conclusões:

1. Os efeitos de cenários acidentais em postos de combustíveis com revenda de gás natural veicular apresentam distancias atingidas que variam de 2 a 13 metros,

devendo essa faixa ser considerada para efeito comparativo e fins de licenciamento como referências aceitáveis;

2. O cenário de inserção dos postos deve ser considerado para avaliar os riscos de sua implantação, não se limitando a valores de referência matemática;
3. Não foram observadas variações significativas entre os cenários nos diferentes pontos pesquisados;
4. A análise de sensibilidade demonstra que a Pressão é a principal variável que influencia nos valores do LII para cenários acidentais em postos de combustíveis, bem como, a rugosidade apresenta em segundo plano o efeito mais pronunciado. Considerando que a rugosidade é função da característica do material, e este conseqüência da classe de pressão, temos que os modelos podem ser simplificados para uma análise da variável pressão nos sinistros e vulnerabilidades;
5. Os riscos sociais dos postos avaliados foram avaliados dentro da faixa de negligenciáveis;
6. A análise fatorial foi um importante elemento na avaliação da sensibilidade das simulações, visto o complexo conjugado de equações que compõe os modelos de análise de riscos estudados.

## 5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece aos proprietários dos postos estudados.

- 
1. ABNT NBR 13.786. Posto de serviço — Seleção dos equipamentos para sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis. ABNT. Rio de Janeiro, 2006.
  2. ABNT NBR 13783. Posto de serviço - Instalação do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis – SASC. ABNT. Rio de Janeiro, 2005.
  3. ABNT NBR 13784. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção de métodos para detecção de vazamentos e ensaios de estanqueidade em sistemas de abastecimento subterrâneo de combustíveis (SASC). ABNT. Rio de Janeiro, 2006.
  4. ABNT NBR 13787. Controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) nos postos de serviço. ABNT. Rio de Janeiro, 1997.
  5. ABNT NBR 14605-2. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Sistema de drenagem oleosa – Parte 2: Projeto, metodologia de dimensionamento de vazão, instalação, operação e manutenção para posto revendedor veicular. ABNT. Rio de Janeiro, 2009.
  6. ABNT NBR 15288. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor veicular (serviços) — Plano de atendimento a emergências. ABNT. Rio de Janeiro, 2005.
  7. ABNT NBR 15594-1. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Posto revendedor de combustível veicular (serviços) Parte 1: Procedimento de operação. ABNT. Rio de Janeiro, 2008.
  8. ABNT NBR 15594-3. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis — Posto revendedor de combustível veicular (serviços) Parte 3: Procedimento de manutenção. ABNT. Rio de Janeiro, 2008.
  9. ABNT NBR 17.505-7. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 7: Proteção contra incêndio para parques de armazenamento com tanques estacionários. ABNT. Rio de Janeiro, 2006.
  10. AIChE/CCPs. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, New York: American Institute for Chemicals Engineers, Center for Chemical Process Safety, 2000.
  11. AIChE/CCPs. Modelação Física e Propagação de Incêndios Urbanos. Lisboa: LNEC, 1991. CCPS – Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Second Edition. AIChE – American Institute of Chemical Engineer, 2000.
  12. ANTT. Resolução n. 420 de 25 de agosto de 2004. Aprova as instruções complementares ao regulamento do transporte terrestre de produtos perigosos e seu anexo.
  13. BAKER, W.E., Cox, P.A., Westine, P.S., Kulesz, J.J. e Strehlow, R.A. - “Explosion Hazards and Evaluation”, Elsevier, Nova York, 1983.
  14. CARVALHO, Maria da Graça; ARANTES, Amílcar José Martins. Modelação Física e Matemática da Propagação de Incêndios no Interior de Compartimentos. Lisboa: LNEC, 1992.
  15. CENTENO, Maria de Lourdes. Teoria do Risco na Actividade Seguradora. Oeiras: Celta, 2003.

16. CETESB. Norma Técnica P4.261: Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos, São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 2003.
17. COLAMBRANDER, G.W. - "A mathematical Model for the Transient Behavior of Dense Vapor Clouds", 3rd International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Basel, Suíça, 1980.
18. COLAMBRANDER, G.W. e PUTTOCK, J.S. - "Dense Gas Dispersion Behavior: Experimental Observations and Model Developments", International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Harrogate, Inglaterra, setembro de 1983.
19. CONAMA. Resolução CONAMA 237, de 1997. Define as competências da União, Estados e Municípios, a disciplina do licenciamento e a determinação de que deverá ser sempre feito em um único nível de competência. Brasília, DF, 1997.
20. CONAMA. Resolução Conama 273, de 29 de novembro de 2000. Regulamenta aspectos do licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente. Brasília, DF, 2000.
21. CONAMA. Resolução no 273/2000 – Estabelece critérios para o licenciamento de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis. CONAMA, 2000.
22. CPR 14E - Commissie voor de Preventie van Rampen. Methods for the calculation of physical effects, due to releases of hazardous materials liquids and gases. v. 2, 825p. Part 1, 451p. Part 2, 1997. CPR 18E – Guidelines for Quantitative Risk Assessment. "Purple Book", report, Committee for the Prevention of Disasters, 1999.
23. Duarte, Moacyr – "Riscos Industriais: Etapas para Investigação e a Prevenção de Acidentes". Rio de Janeiro: FUNENSEG, 2002.
24. FEEMA. Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e seu Respetivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA, Rio de Janeiro: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, 2007;
25. FEPAM. Manual de Análise de Riscos Industriais, Porto Alegre: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2001.
26. FEPAM. PROJETO DE MANUAL DE ANÁLISE DE RISCO. Rio Grande do Sul. Acessível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual\\_risco.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/central/formularios/arq/manual_risco.pdf). Data de Acesso: 25/03/2012.
27. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE ROESSLER. Manual de Análise de Riscos Industriais. Porto Alegre. Departamento de Controle Ambiental / Divisão de Controle da Poluição Industrial, 2001.
28. GOUVEIA, J. L. N. Atuação de equipes de atendimento emergencial em vazamentos de combustíveis em postos e sistemas retalhistas. Dissertação de Mestrado, São Paulo 2004. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/postos/publicacoes.asp>.
29. IAP. Relação de Documentos para Licenciamento Ambiental. Acessível em: <http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=680>. Acesso em 20/03/2012.
30. IBAMA. Termo de Referência – Estudos de Análise de Riscos em Gasodutos, Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2007;
31. IDEMA. Instruções do licenciamento ambiental. Acessível em: [http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/licenciamento\\_ambiental/gerados/licenciamento\\_orientacoes\\_gerais.asp](http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/licenciamento_ambiental/gerados/licenciamento_orientacoes_gerais.asp). Acesso em: 15/03/2012.
32. KINCHESKI, M. M. Gerenciamento de Resíduos em Postos de Combustível de Ponta Grossa. Trabalho de Conclusão de Curso. Curitiba, Junho/2005. Disponível em: [http://www.pucpr.br/educacao/graduacao/cursos/ccet/engambiental/tcc/2005/pdf/marcos\\_kincheski.pdf](http://www.pucpr.br/educacao/graduacao/cursos/ccet/engambiental/tcc/2005/pdf/marcos_kincheski.pdf)
33. PRUGH, R.W. - "Quantitative Evaluation of 'BLEVE' Hazards", AIChE Loss Prevention Symposium, Paper No. 74e. AIChE Spring National Meeting, Nova Orleans, 6-10 de março, 1988
34. ROSA, A. C. Risco tecnológico em contextos de vulnerabilidade social e ambiental elevados: experiências na região da refinaria Gabriel Passos/ PETROBRAS, região metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. UFOP. Ouro Preto-MG. 2008.
35. SEWEL, R.G.S., ZULKOSKI, T.R. e KINNEY, G.F. - "Blast Parameter Characterization", Naval Weapons Center Technical Report TP 5920, Part 1, Volume 2, China Lake, California, 1979
36. STULL, D.R. - "Fundamentals of Fire and Explosion", AIChE Monograph Series 73 nE 10, p.72, 1977
37. THE ROYAL SOCIETY OF LONDON. Risk assessment. London; 1983 [Report of Royal Society Study Group]
38. TNO. Purple Book CR reference manual. 2006.
39. TNO. Red Book. Methods for determination and processing probabilities. 1997..