



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

AUGUSTO JOSÉ DA SILVA RODRIGUES

**SIMULAÇÃO DOS DANOS DE EXPLOSÕES EM DECORRÊNCIA DE
VAZAMENTOS ACIDENTAIS EM GASODUTOS DE DIESEL,
UTILIZANDO O *SOFTWARE* ALOHA**

**SUMÉ - PB
2018**

AUGUSTO JOSÉ DA SILVA RODRIGUES

**SIMULAÇÃO DOS DANOS DE EXPLOSÕES EM DECORRÊNCIA DE
VAZAMENTOS ACIDENTAIS EM GASODUTOS DE DIESEL,
UTILIZANDO O *SOFTWARE* ALOHA**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia de
Produção do Centro de
Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido, da Universidade Federal
de Campina Grande, como requisito
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Produção.**

Orientador: Professor Me. Daniel Oliveira de Farias

**SUMÉ - PB
2018**

R696s Rodrigues, Augusto José da Silva.

Simulação dos danos de explosões em decorrência de vazamentos acidentais em gasodutos de diesel, utilizando o software ALOHA. / Augusto José da Silva Rodrigues. - Sumé - PB: [s.n], 2014.

100 f.

Orientador: Professor Me Daniel Oliveira de Farias.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Bacharelado em Engenharia de Produção.

1. Segurança do trabalho. 2. Análise de risco – refino de petróleo. 3. Gasodutos de diesel. 4. Tubulação em refinaria de petróleo. 5. Explosões em gasodutos. 6. Software ALOHA. I. Título.

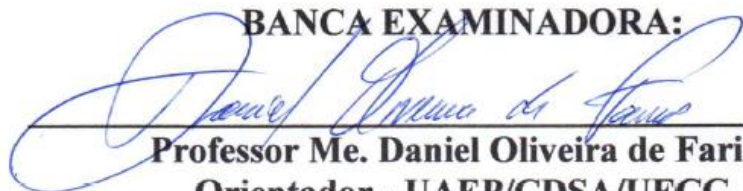
CDU: 331.4(043.1)

AUGUSTO JOSÉ DA SILVA RODRIGUES


**SIMULAÇÃO DOS DANOS DE EXPLOSÕES EM DECORRÊNCIA DE
VAZAMENTOS ACIDENTAIS EM GASODUTOS DE DIESEL,
UTILIZANDO O SOFTWARE ALOHA**

**Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia de
Produção do Centro de
Desenvolvimento Sustentável do
Semiárido, da Universidade Federal
de Campina Grande, como requisito
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia de Produção.**


BANCA EXAMINADORA:



Professor Me. Daniel Oliveira de Farias
Orientador - UAEP/CDSA/UFCG



Professor Dra. Vanessa Batista Schramm
Examinador I - UAEP/CDSA/UFCG



Professor Me. Robson Fernandes Barbosa
Examinador II - UATEC/CDSA/UFCG

Trabalho aprovado em: 20 de fevereiro de 2018

SUMÉ - PB

Dedico este trabalho a Deus, por guiar-me diariamente, e a minha mãe, pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, o referencial absoluto do universo, por sempre direcionar os meus passos, dando-me saúde, sabedoria e discernimento para optar pelas decisões corretas.

À minha mãe Ilza Rodrigues, pela educação, incentivo e amor. Tornastes a melhor professora que já tive. És minha fonte de inspiração. Te amo.

Ao meu pai Laudemiro Rodrigues (*in memoriam*). Saudades eternas!

Às minhas queridas sobrinhas, Laís Rodrigues e Laura Rodrigues. Que Deus ilumine seus caminhos.

À minha namorada Isabela Araújo, por toda paciência, compreensão, carinho e amor. Obrigado por acreditar em mim.

Ao meu primo Maicon Herverton, pelos ensinamentos, pela amizade e pelo companheirismo. Sem você minha trilha seria mais árdua.

Aos meus amigos irmãos, José Simões, José Gomes, Alandson Lacerda, Mayk Bezerra e Luan Ramos. Sumé nos proporcionou momentos incríveis. Vocês estarão para sempre no meu coração.

Aos eternos amigos, Josean Lima, Diógenes Araújo, Ítalo Vitor, Wagner Farias, Maria Elvira, Krisllen Samara, Mônica Rocha, Rylla Ohana, Elton César, Danielly Francis, Joás Davi, Laryssa de Caldas, Yanko, Fabíola Renata, Raul Seixas, Fernanda Santos, Caio Azevedo, Francisco de Assis e Rhayssa Veríssimo. Vocês foram minhas companhias em um dos melhores momentos da minha vida. Serei eternamente grato.

Aos professores, Wladimir Viesi, Cecir Barbosa, Alex Silva, John Elton, Antônio Carlos, Valdonilson Barbosa, Nahum Isaque e Aldinete Barreto. Carregarei seus ensinamentos para sempre.

Em especial, à professora Vanessa Scramm, pelos seus ensinamentos, pelas orientações concedidas e por compor a banca examinadora do meu trabalho. Te admiro muito.

Ao meu amigo e professor Robson Fernandes, pela relação de confiança, pelas conversas, pelos conselhos e pelos ensinamentos. Você foi um professor exemplar.

Ao meu amigo, professor e orientador Daniel Farias, pela sua simpatia, por demonstrar confiança em mim, pelos ensinamentos e pela paciência. Tenho orgulho de ter sido seu aluno.

À minha madrinha Luciana Lima, pelos carinhos, por acreditar no meu potencial e pela simpatia única.

A todos que contribuíram de alguma forma para eu me tornar Engenheiro de Produção.

“Somente um principiante que não sabe nada sobre ciência diria que a ciência descarta a fé. Se você realmente estudar a ciência, ela certamente o levará para mais perto de Deus”.

James Tour

RESUMO

Empresas de diversos segmentos lidam com substâncias altamente tóxicas que podem vazarem e causar diversas catástrofes. As indústrias de petróleo, por exemplo, apresentam dificuldades em como prever e mensurar muitos acidentes que destroem vidas, patrimônios e o meio ambiente. Por isso, o objetivo desse trabalho foi realizar uma simulação dos danos de explosões, em decorrência de vazamentos acidentais de diesel, em dez trechos de gasodutos da Refinaria Abreu e Lima (RNEST). Para esse fim, os princípios metodológicos basearam-se na utilização dos *softwares* ALOHA e Google Earth, bem como na aplicação de uma Análise Preliminar de Riscos (APR), em conjunto com o Princípio de Pareto, para diagnosticar as tubulações mais críticas. Os resultados permitiram desenvolver um manual de aplicação dos *softwares*, aplicar uma APR, estimar consequências e frequências, diagnosticar as tubulações mais críticas e propor medidas preventivas mitigadoras. Por fim, foram feitas propostas de trabalhos futuros para a prevenção de acidentes em petroquímicas, que possam garantir saúde e segurança aos trabalhadores e a população residente nas proximidades das empresas.

Palavras-chave: Análise de Risco. Refino de Petróleo. *Software* ALOHA.

ABSTRACT

Companies of diverse segments deal with toxic substances that can leak and cause various disasters. The oil industries, for example, have difficulties in predicting and measuring many accidents that destroy lives, assets and the environment. Therefore, the objective of this work was to perform a simulation of the explosion damage due to accidental diesel leaks in ten segments of the Abreu e Lima Refinery (RNEST) pipelines. To this end, the methodological principles were based on the use of the ALOHA and Google Earth softwares as well as the application of a Preliminary Risk Analysis (PRA), in conjunction with the Pareto Principle, to diagnose the most critical pipes. The results allowed to develop a software application manual, to apply an PRA, to estimate consequences and frequencies, to diagnose the most critical pipes and to propose mitigating preventive measures. Finally, proposals were made for future work on the prevention of accidents in petrochemicals, which could guarantee health and safety to workers and the resident population in the vicinity of the companies.

Keywords: Risk Analysis. Oil Refining. ALOHA Software.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do Processo de Destilação Fracionada	20
Figura 2 - Triângulo de fogo.....	24
Figura 3 - Curva ABC	30
Figura 4 - Cenários Analisados	33
Figura 5 - Localização da Refinaria Abreu e Lima (RNEST).....	37
Figura 6 - RNEST: Unidade de Destilação Atmosférica.....	38
Figura 7 - Esquema básico do refino de petróleo	39
Figura 8 - Unidade de hidrotratamento da RNEST	40
Figura 9 - Diagrama da Unidade de Hidrotratamento de Diesel: Carabobo	41
Figura 10 - Diagrama da Unidade de Hidrotratamento de Diesel: Marlin	42
Figura 11 - Layout inicial do <i>software</i> ALOHA	43
Figura 12 – Janela para inserir dados da localização.....	44
Figura 13 – Layout inicial do <i>software</i> Google Earth	45
Figura 14 – Obtendo as coordenadas geográficas	45
Figura 15 - Selecionando o composto químico	46
Figura 16 - Inserindo os dados atmosféricos: parte 1	47
Figura 17 - Rosa dos ventos	48
Figura 18 - Inserindo os dados atmosféricos: parte 2.....	49
Figura 19 - Inserindo as características da fonte de fluxo do diesel: parte 1.....	50
Figura 20 - Inserindo as características da fonte de fluxo do diesel: parte 2.....	51
Figura 21 – Determinando parâmetros de explosão de nuvem de vapor.....	52
Figura 22 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 1	54
Figura 23 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 1	54
Figura 24 - Explosão em nuvem em casos de (A) ruptura ou (B) fissura: trecho 2	55
Figura 25 - Possíveis alcances de uma explosão para (A) rupturas e (B) fissuras: trecho 2	56
Figura 26 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 3	56
Figura 27 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 3	57
Figura 28 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 4	57
Figura 29 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 4	58
Figura 30 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 5	58
Figura 31 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 5	59
Figura 32 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 6	59

Figura 33 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 7	60
Figura 34 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 7	60
Figura 35 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 8	61
Figura 36 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 8	61
Figura 37 - Curva ABC para gasodutos.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes na indústria de petróleo (1967 - 2016)	17
Tabela 2 – Principais metodologias auxiliares para o gerenciamento de riscos.....	23
Tabela 3 - Indicativos dos níveis de danos que podem ser encontrados a partir de explosões	25
Tabela 4 - Classificação da pesquisa	32
Tabela 5 - Temperaturas e pressões das 10 tubulações	40

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos processos de refino de petróleo	19
Quadro 2 - Principais resíduos sólidos gerados por refinarias de petróleo	21
Quadro 3 - Modelo de Análise Preliminar de Perigos (APR)	27
Quadro 4 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de severidade	28
Quadro 5 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de frequência	28
Quadro 6 - Classificação da frequência de ocorrer os cenários de acidentes	28
Quadro 7 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de risco	29
Quadro 8 - Tubulações que representam maiores perigos: uma adaptação do princípio 80/20	35
Quadro 9 - Alcances das explosões decorrentes de rupturas e fissuras.....	63
Quadro 10 - Análise preliminar de riscos para os gasodutos de diesel	65
Quadro 11 - Tubulações que representam maiores perigos.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ALOHA** – Areal Location of Hazardous Atmospheres
- ANP** – Agência Nacional do Petróleo
- APR** – Análise Preliminar de Risco
- AQR** – Análise Quantitativa de Riscos
- ASTM** – American Society for Testing and Materials
- CEN** – European Committee for Standardization
- CF** – Categoria de Frequência
- CR** – Categoria de Risco
- CS** – Categoria de Severidade
- EPA** – Environmental Protection Agency
- EPC** – Equipamento de Proteção Coletiva
- EPI** – Equipamento de Proteção Individual
- ESE** – És-sudeste
- FMEA** – Failure Mode and Effect Analysis / Análise de Modos de Falhas e Efeitos
- FTA** – Fault Tree Analysis / Análise da Árvore de Falhas
- GR** – Gerenciamento de Riscos
- HAZID** – Hazard Identification / Identificação de Perigos
- HAZOP** – Hazard and Operability Study / Estudo de Perigos e Operabilidade
- HDT - D** - Unidades Hidrotratamento de Diesel
- HDT - T** - Unidades Hidrotratamento de Nafta
- LEL** – Lower Explosive Limit / Baixo Limite de Explosão
- PDVSA** – Petróleos de Venezuela S.A.
- PMBOK** – Project Management Body of Knowledge
- PROMETHEE** – Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
- RNEST** – Refinaria Abreu e Lima
- SIL** – Safety Integrity Level / Nível de Integridade da Segurança
- SNOX** - Unidades de Abatimento de Emissões
- TNO** – The Netherlands Organization of Applied Scientific Research
- UCR** - Unidades de Coqueamento Retardado
- UDA** - Unidades de Destilação Atmosférica
- UGH** - Unidades de Geração de Hidrogênio
- WHAT IF** – E se?

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Geral	18
1.1.2 Específicos	18
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 REFINO DE PETRÓLEO	19
2.1.1 Resíduos Contaminantes Gerados no Processo de Refino	20
2.2 DIESEL	21
2.3 IMPORTÂNCIA E TÉCNICAS DO GERENCIAMENTO DE RISCOS	22
2.4 EXPLOSÃO	24
2.4.1 Modelo Multi-Energia da TNO	25
2.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (APR)	26
2.6 PRINCÍPIO DE PARETO: A TEORIA 80/20	29
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	32
3.2 PREMISSAS	33
3.3 SIMULAÇÃO	33
3.4 VALORES DE REFERÊNCIAS	34
3.4.1 Limites dos Efeitos Físicos	34
3.4.2 Características dos Materiais de Referência.....	34
3.4.3 Tempo de Vazamento.....	34
3.4.4 Comprimento das Linhas.....	35
3.5 APLICAÇÃO DA CURVA ABC	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	37
4.2 ÁREA DO ESTUDO: UNIDADE DE HIDROTRATAMENTO DE DIESEL (HDT/DIESEL)	38
4.2.1 Trechos da HDT/Diesel Utilizados para as Simulações	40
4.3 SIMULAÇÕES.....	42
4.3.1 Manual de Simulações: instruções de uso dos <i>softwares</i> ALOHA e Google Earth .	42
4.3.2 Simulações Realizadas: estimativa de alcances.....	53
4.4 EFEITOS POSSÍVEIS DECORRENTES DE RUPTURAS OU FISSURAS	62
4.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)	65
4.6 PRINCÍPIO DE PARETO EM RISCOS PETROQUÍMICOS	66
5 MEDIDAS MITIGADORAS.....	69
6 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	70
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
REFERÊNCIAS	73
APÊNDICES.....	80
APÊNDICE A – Dados de entrada e saída do trecho 1: ruptura	81
APÊNDICE B – Dados de entrada e saída do trecho 1: fissura	82
APÊNDICE C – Dados de entrada e saída do trecho 2: ruptura	83
APÊNDICE D – Dados de entrada e saída do trecho 2: fissura	84
APÊNDICE E – Dados de entrada e saída do trecho 3: ruptura.....	85
APÊNDICE F – Dados de entrada e saída do trecho 3: fissura.....	86
APÊNDICE G – Dados de entrada e saída do trecho 4: ruptura	87
APÊNDICE H – Dados de entrada e saída do trecho 4: fissuras	88
APÊNDICE I – Dados de entrada e saída do trecho 5: ruptura.....	89
APÊNDICE J – Dados de entrada e saída do trecho 5: fissura	90
APÊNDICE K – Dados de entrada e saída do trecho 6: ruptura	91
APÊNDICE L – Dados de entrada e saída do trecho 6: fissura	92

APÊNDICE M – Dados de entrada e saída do trecho 7: ruptura	93
APÊNDICE N – Dados de entrada e saída do trecho 7: fissura	94
APÊNDICE O – Dados de entrada e saída do trecho 8: ruptura	95
APÊNDICE P – Dados de entrada e saída do trecho 8: fissura.....	96
APÊNDICE Q – Dados de entrada e saída do trecho 9: ruptura	97
APÊNDICE R – Dados de entrada e saída do trecho 9: fissura	98
APÊNDICE S – Dados de entrada e saída do trecho 10: ruptura.....	99
APÊNDICE T – Dados de entrada e saída do trecho 10: fissura	100

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, segundo Freitas e Porto (2006), nas indústrias próximas de áreas povoadas vêm acontecendo muitos acidentes ampliados, como nuvens tóxicas, incêndios e explosões. Rocha Jr *et al.* (2013), apontam que esses acidentes envolvem indústrias multinacionais e nacionais, possuindo uma maior severidade em países em desenvolvimento e de economia semiperiférica, como Índia, México e Brasil.

Por sua vez, o crescimento da demanda por combustíveis influenciou no aumento da quantidade e da capacidade de refinarias de petróleo, que apresentam graves riscos em suas atividades (DUARTE e DROGUETT, 2012). Por isso, mesmo com a gama tecnológica e com os vários métodos de gerenciamento de riscos nas indústrias, acidentes catastróficos continuam a ocorrer e causar diversas mortes (FARIAS, 2010).

Ugaya e Henschel (2004, p.1) apontam que:

Problemas com grandes navios petroleiros, que podem derramar milhares de metros cúbicos de óleo no mar, vazamentos em tubulações e dutos; danos à fauna e flora próximas a refinarias, são alguns exemplos de fatos atrelados à imagem da indústria petrolífera. Alguns acidentes têm origem em problemas pontuais, outros são gerados de modo contínuo, em função das características do processo de refino (UGAYA e HENSCHER, 2004, p.1).

Um dos maiores acidentes industriais aconteceu na madrugada do dia 3 de dezembro de 1984, o acidente de Bhopal, na Índia. Segundo Pereira e Quelhas (2010), foi liberado na atmosfera 40 toneladas de isocianato de metila, provocando entre 2.500 a 5 mil mortes, e mais de 200 mil feridos, muitos dos quais contraíram doenças respiratórias, problemas oculares permanentes e desordens mentais.

Em consonância, a Tabela 1 apresenta um levantamento de alguns acidentes na indústria de petróleo desenvolvido por Moreira (2017).

Tabela 1 - Acidentes na indústria de petróleo (1967 - 2016)

ANO	ACIDENTE	LOCAL	VOLUME DE DERRAMAMENTO (BARRIS)	Nº DE FERIDOS	Nº DE MORTOS	TIPO
1967	Torrey Canyon	Costa da Grã-Bretanha	900.000	-	-	Navio petroleiro
1978	Amoco Cadiz	França	1.672.500	-	-	Navio petroleiro
1984	Romeoville	Illinois, EUA	-	22	17	Refinaria
1984	San Juan	México	-	5.000	500	Refinaria
1984	Enchova	Bacia de Campos, Brasil	-	19	37	Plataforma
1984	Vila de Socó	São Paulo, Brasil	4.500	-	93	Oleoduto
1988	Odyssey	Canadá	990.000	-	1	Poço terrestre
1988	Piper Alpha	Mar do norte	-	62	167	Plataforma
2000	Baía de Guanabara	Baía de Guanabara, Brasil	8.200	-	-	Oleoduto
2001	P – 36	Bacia de Campos, Brasil	7.600	-	11	Plataforma
2012	Torre Executiva Pemex	México	-	126	37	Centro de gás
2013	Lac-Mégantic	Quebec, Canadá	38.000	-	47	Ferrovia
2015	FPSO Cidade de São Mateus	Brasil	-	26	9	Plataforma
2016	Burgos	Golfo do México	41.250	-	-	Navio petroleiro

Fonte: Moreira (2017)

Dentre as causas desses acidentes, destacam-se: encalhamentos, rompimentos, colisões de superpetroleiros, problemas de fadiga em estruturas metálicas, afundamentos, incêndios, explosões, rupturas em tubulações de gás, falta de supervisão e práticas de segurança, vazamentos propositais, rompimento dos cascos dos navios, má cimentação de poços, descarrilhamentos, etc.

Sabe-se ainda que, em uma refinaria de petróleo, dados históricos comprovam que um dos principais motivos para catástrofes são as tubulações e o estado em que elas se encontram. Acidentes industriais ampliados podem ser decorrentes de uma vazão de um fluido em tubulações, seja por uma fissura ou por uma ruptura. Duarte e Drogue (2012), afirmam que fissura ou ruptura nas linhas, válvulas ou conexões, podem causar efeitos tanto na segurança pessoal, quanto no meio ambiente, como mortes e contaminação ambiental com metais pesados.

Nesse aspecto, torna-se viável que sejam desenvolvidos mais estudos para estabelecer medidas mitigadoras que minimizem acidentes desse porte, principalmente em indústrias de petróleo, que na maioria das vezes estão próximas de comunidades e são operadas por pessoas, o que, em caso de vazamentos de produtos, podem provocar acidentes graves, oferecendo riscos à vida (RAMOS *et al.*, 2015).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Este trabalho tem como objetivo geral realizar e analisar simulações dos danos de explosões, em decorrência de vazamentos acidentais de diesel, em alguns trechos de gasodutos da Refinaria Abreu e Lima (RNEST), utilizando o *software* ALOHA (*Areal Location of Hazardous Atmospheres*).

1.1.2 Específicos

Como objetivos específicos, almeja-se:

- Realizar a caracterização da empresa;
- Elaborar um manual da aplicação do *software* ALOHA em conjunto com o *software* Google Earth, para simulações com explosões petroquímicas;
- Identificar os perigos existentes através de uma Análise Preliminar de Riscos (APR), verificando quais os cenários mais críticos, a partir dos alcances das explosões;
- Desenvolver uma estimativa de consequências e frequências;
- Determinar, baseado no Princípio de Pareto, quais as tubulações (cerca de 20%) que a administração deve ter uma atenção maior, pelo fato de representarem os maiores riscos (em torno de 80%) para a empresa;
- Propor medidas preventivas e mitigadoras.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado em 7 seções, distribuídas da seguinte forma: na seção dois é apresentado o referencial teórico, que contém informações sobre o refino do petróleo, o diesel, a importância e técnicas do gerenciamento de riscos, explosão, análise preliminar de risco e o princípio de Pareto: a teoria 80/20; na seção 3 estão os aspectos metodológicos; a seção 4 apresenta os resultados e as discussões; a seção 5 está composta pelas medidas mitigadoras; a seção 6 apresenta propostas para trabalhos futuros; finalmente, na seção 7 são apresentadas as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REFINO DE PETRÓLEO

Para Meirelles e Gomes (2009), é denominado refino de petróleo o processo pelo qual o petróleo extraído do poço é convertido em derivados próprios aos diversos consumos. Dessa forma, uma refinaria ao ser planejada e construída pode se destinar a produção de produtos energéticos (combustíveis e gases em geral), bem como a produção de produtos não-energéticos (parafinas, lubrificantes, etc.) e petroquímicos (MARIANO, 2001).

De acordo com a Petrobras (2018), a produção de derivados a partir do petróleo, envolve basicamente três processos principais:

- **destilação:** é o processo de separação dos derivados, onde é possível aquecer o petróleo até evaporar. Em seguida, esse vapor volta ao estado líquido conforme resfria em diferentes níveis dentro da torre de destilação. Em cada nível há um recipiente que coleta um determinado subproduto do petróleo;
- **conversão:** é a etapa que dá origem a derivados mais nobres, através do processo que transforma as partes mais pesadas e de menor valor do petróleo em moléculas menores. Dessa forma é possível aumentar o aproveitamento do petróleo;
- **tratamentos:** são os processos voltados para adequar os derivados à qualidade exigida pelo mercado. Em um desses processos, por exemplo, é feita a remoção do enxofre. É possível observar esses processos dispostos mais detalhadamente no Quadro 1.

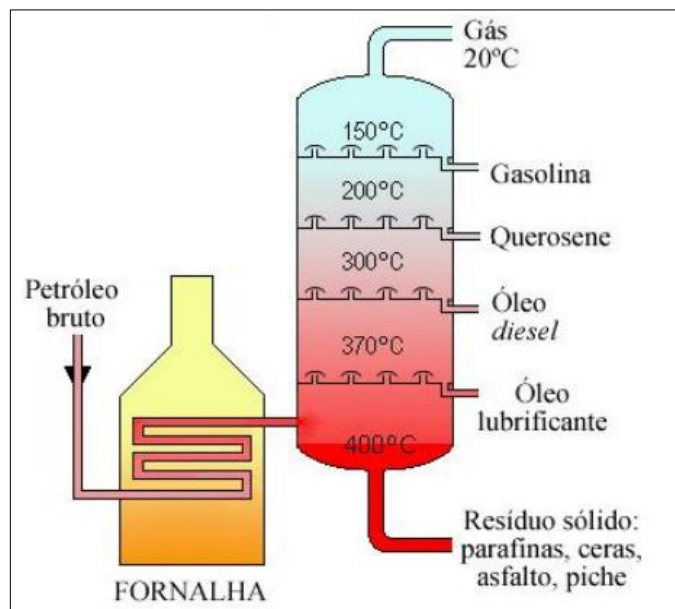
Quadro 1 - Resumo dos processos de refino de petróleo

ETAPAS	TIPOS DE PROCESSO	PROCESSOS
Destilação	Físico	Destilação Atmosférica Destilação a vácuo Estabilização de naftas Extração de aromáticos Desasfaltação a propano Desaromatização a furtural Desparafinação a solvente Desoleitificação a solvente e Absorção de N-parafinas
Conversão	Químico	Visco-Redução Craqueamento Térmico Coqueamento retardado Craqueamento catalítico Hidrocraqueamento Reformação catalítica Isomerização catalítica Alquilação catalítica e Polimerização catalítica
Tratamento	Químico	Dessalgação eletrostática Tratamento cáustico Tratamento Merox Tratamento Bender Tratamento DEA/MEA e Hidrotratamento

Fonte: Adaptado de Martins *et al.* (2015)

Vale salientar que, segundo Caetano (2013), os derivados do petróleo (gasolina, querosene, óleo diesel, óleo lubrificante, etc.) muitas vezes são originados a partir de uma destilação fracionada de diferentes níveis (onde a temperatura da torre varia), como observado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema do Processo de Destilação Fracionada



Fonte: Caetano (2013)

Além disso, Gurgel (2009) ressalta a importância de saber que a partir do processo de refino são produzidas diversas substâncias tóxicas, tais como o coque verde de petróleo e os hidrocarbonetos aromáticos (benzeno, tolueno e xileno).

2.1.1 Resíduos Contaminantes Gerados no Processo de Refino

Todos os resíduos gerados nos processos de refino de petróleo dependem do processo produtivo que os gera e do tipo de petróleo processado, mas em geral constituem-se de elementos químicos tóxicos, tais como: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, bário, mercúrio, prata, selênio e selênio (MARIANO, 2001).

Em consonância, Lima (p. 30, 2012), aborda que “a quantidade de resíduos gerados por uma refinaria de petróleo é usualmente pequena se comparada à quantidade de matérias-primas e produtos que ela processa, situando-se na faixa de 0,01 kg a 2 kg por tonelada de petróleo processado (antes do tratamento do resíduo)”.

No Quadro 2 é possível observar os principais resíduos sólidos gerados por uma refinaria de petróleo, que em geral possuem como tratamentos: incineração, disposição em aterros dentro ou fora da instalação (aterros industriais, *landfarmings*, etc.) e neutralização (LIMA, 2012).

Quadro 2 - Principais resíduos sólidos gerados por refinarias de petróleo

TIPO DE RESÍDUO	FONTE
Materiais oleosos (borras)	Borras de dessalgadoras e de fundos de tanques, borras de tratamento de águas residuais e solos contaminados por óleo.
Materiais oleosos (sólidos)	Solos contaminados, carepas, argilas gastas de filtros contaminadas com óleo, recheios de filtros de carvão.
Materiais não oleosos	Catalisadores de processos de conversão e de hidrotratamento, * resinas de troca iônica, iodados do tratamento de água de caldeiras, adsorventes, iodados neutralizados de unidades de Alquilação.
Recipientes contaminados	Recipientes (metais, plásticos, vidros) de produtos químicos e insumos para manutenção industrial e predial, e para limpeza em geral.
Resíduos radioativos	Detectores usados oriundos de equipamentos de análise diversa classificados como fontes de baixa radioatividade.
Carepas*	Produtos de corrosão de tanques e linhas, Ferrugem principalmente, que pode conter outros metais da constituição da chapa (chumbo, estanho, titânio, etc.).
Óleos usados	Óleos lubrificantes, graxas e óleos de transformador.
Entulhos de construção/demolição	Fragmentos de metais, concreto, asfalto, solo, amianto, fibras minerais, plástico, madeira.
Resíduos de produtos químicos	Resíduos de laboratório e de tratamentos industriais (soda e aminas, por exemplo).
* Podem ser pirofóricos	

Fonte: Lima (2012)

Diante desse cenário, com o intuito de minimizar os impactos ambientais do refino do petróleo, Cunha (2009) sugere que deve-se estudar as formas de tratamentos e a destinação final dos resíduos oriundos das refinarias, apesar de que as características físico-químicas, por exemplo, podem inviabilizar o tratamento e a destinação final conjunta.

2.2 DIESEL

O óleo diesel é um derivado do petróleo composto principalmente por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos, contendo átomos de enxofre, oxigênio, metais e nitrogênio, sendo utilizado em motores automotivos de combustão interna por compressão (FERREIRA *et al.*, 2008). Em sua composição, “existem frações leves de querosene e naftas (5% a 10% da concentração) e frações mais pesadas, como o óleo leve, com temperatura de destilação entre 160°C e 380 °C, que são obtidos após o craqueamento catalítico do petróleo (AGUIAR, p. 25, 2013”.

Sua regulação, determinada pela ANP (2011), pode ser verificada na Resolução nº 65, que ressalta especificamente o óleo diesel rodoviário, classificando o derivado em:

- “I - Óleo diesel A: combustível produzido por processos de refino de petróleo, centrais de matérias-primas petroquímicas ou autorizado nos termos do § 1º do art. 1º desta Resolução, destinado a veículos dotados de motores do ciclo Diesel, de uso rodoviário, sem adição de biodiesel;
- II - Óleo diesel B: óleo diesel A adicionado de biodiesel no teor estabelecido pela

legislação vigente”.

O óleo diesel apresenta nomenclaturas específicas, de acordo com o teor máximo de enxofre, estabelecidas pela Resolução ANP N° 65, de 09/12/2011, sendo:

- Óleo diesel A S10 e BS10: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 10mg.kg^{-1} ;
- Óleo diesel A S50 e B S50: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 50 mg.kg^{-1} ;
- Óleo diesel A S500 e B S500: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 500 mg.kg^{-1} ;
- Óleo diesel A S1800 e B S1800: combustíveis com teor de enxofre, máximo, de 1800 mg.kg^{-1} .

É importante realçar que o óleo diesel necessita atender critérios específicos de qualidade, que são baseados nas normas da *European Committee for Standardization* (CEN), da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (CARVALHO, 2016). Logo, torna-se importante que todos os requisitos sejam cumpridos para que não apenas haja um bom funcionamento dos motores, mas também a redução da emissão de poluentes.

2.3 IMPORTÂNCIA E TÉCNICAS DO GERENCIAMENTO DE RISCOS

Cada vez mais as organizações precisam planejar e programar métodos de gerenciamento de riscos (GR), buscando relacionar qualidade e segurança de forma sistemática (FONTOLAN *et al.*, 2017). À vista disso, para Ruppenthal (2013), o GR pode ser definido como uma metodologia que visa aumentar a capacidade de uma organização prever, priorizar e superar obstáculos, tornando-se um processo formal em que as incertezas são identificadas, analisadas, estimadas, categorizadas e tratadas.

Na mesma temática, Aitel (2013, *apud* Nunes e Barbosa, 2016), elenca que dentre os benefícios do gerenciamento dos riscos, destacam-se: redução da ocorrência de surpresas, aumento dos resultados positivos, economia de tempo, aumento do sucesso dos projetos e redução dos gastos.

Nesse sentido, gerenciar riscos é garantir que tudo está operando da maneira correta, reduzindo a probabilidade da ocorrência de um acidente que gera perda de dinheiro, ou, acida de tudo, a perda da vida humana (MATTOS e CAMPOS, 2017). Para esse fim, é louvável afirmar que o gerenciamento de riscos se subdivide nas fases de antecipação e identificação dos riscos, planejamento, execução de ações, controle e análise crítica (CALIXTO, 2006).

A Tabela 2 apresenta algumas técnicas de análise de riscos utilizadas como suporte de um gerenciamento de riscos.

Tabela 2 – Principais metodologias auxiliares para o gerenciamento de riscos

TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCOS			
QUALITATIVA		QUANTITATIVA	
Indutiva	Dedutiva	Indutiva	Dedutiva
FMEA	APR	AQR	FTA
FMECA	-	SIL	-
HAZOP	-	-	-
HAZID	-	-	-
WHAT IF	-	-	-

Fonte: Adaptado de Calixto e Schmitt (2006)

A análise de modos e falhas “é uma técnica de análise de risco qualitativa e indutiva, ou seja, qualifica os riscos e defini os efeitos indesejados a partir da identificação dos equipamentos, seus modos de falhas e efeitos em outros componentes e no sistema” (CALIXTO e SCHIMITT, p. 7, 2006). Quando se classifica cada modo de falha com a sua criticidade, através da severidade e probabilidade, a técnica FMEA recebe o nome de FMECA (FELETTTO, 2017).

Segundo Barbosa *et al.* (2017), a técnica HAZOP é um exame estruturado e sistemático de um produto, processo, procedimento ou sistema planejado ou existente, que tem como propósito identificar riscos sobre pessoas, equipamentos, ambientes e /ou objetivos organizacionais. Assemelhando-se as técnicas anteriores, o HAZID analisa riscos por sessões de brainstormings, com o objetivo de: identificar perigos, classificar riscos e discutir e registrar medidas de controle (barreiras de segurança) (SOUZA, 2016).

Em sequência, o princípio da técnica WHAT IF é desenvolver questionamentos sobre uma ação operacional, mudança de processo ou no caso de projeto, que serão respondidos por profissionais multidisciplinares, tornando-se uma técnica de fácil aplicação e possibilidade de identificação dos riscos na fase de planejamento de um projeto (CALIXTO, 2016). Já a APR, é um método que consiste no detalhamento minucioso de cada etapa do trabalho e dos riscos presentes nas atividades (observação, entrevistas, medições) (PEDRA *et al.*, 2016).

PMBOK (2014) define a AQR como sendo a avaliação numérica dos efeitos dos riscos mensurados, nos objetivos gerais de um projeto. Assim, de acordo com Matias Jr., (2006), com a análise quantitativa de riscos é possível mensurar numericamente os efeitos dos riscos sobre os objetivos de qualquer projeto, tornando-se assim, uma abordagem quantitativa para se tomar decisões baseadas em incertezas. Vale salientar que, a AQR não reduz ou elimina os riscos de um projeto, mas traz dados que possam ser utilizados para melhores decisões

estratégicas e financeiras de uma empresa, por exemplo (NEPOMUCENO FILHO e SUSLICK, 2000).

O princípio SIL está relacionado com a probabilidade de falha na demanda de uma dada função, ou seja, cada perigo relaciona-se com uma função que está dentro de um sistema de proteção, sendo composto por uma ou mais funções de integridade (CALIXTO, 2016). Por fim, a técnica FTA é uma ferramenta que identifica um evento indesejável (evento raiz), tal como uma falha funcional, e determina todas as maneiras possível dela ocorrer (SIQUEIRA, 2012)

2.4 EXPLOSÃO

Os principais efeitos dos acidentes envolvendo substâncias tóxicas e inflamáveis incluem, entre outros: formação de nuvem tóxica, jato de fogo (*jet fire*) incêndio em nuvem (*flash fire*) e explosões de produtos inflamáveis (FLEMING e GARCIA, 2012).

Dando ênfase, existem diversos fatores que podem coexistir para que ocorra uma explosão em uma indústria de petróleo e gás, como a armazenagem inadequada de material, a inexistência de para-raios, manutenções inadequadas, falta de ordem e limpeza (JUNIOR e GUTRIM, 2013). Assim, Miranda Junior e Gutrim (2013), afirmam que devido as operações com parâmetros extremamente elevados, as refinarias de petróleo são consideradas fontes de risco de magnitude relativa alta, o que lhes confere os maiores volumes de risco.

Uma atmosfera é explosiva quando existe uma proporção entre gás, vapor ou pó no ar, o que leva uma faísca proveniente de um circuito elétrico ou do aquecimento de um aparelho provocar uma explosão, que depende de três elementos para ocorrer: combustível, oxigênio e faísca/ignição (Figura 2) (FERNANDES *et al.*, 2011).

Figura 2 - Triângulo de fogo



Fonte: Adaptado de Fernandes *et al.* (2011)

Por conseguinte, Zimmermann (2009) acrescenta que uma explosão ocorre quando é liberado energia em um volume reduzido e em um tempo curto, resultando no aumento de pressão na região de ocorrência, que tem como consequência a geração de uma onda de choque.

É possível observar na Tabela 3, alguns efeitos que a sobrepressão, gerada com o efeito da explosão, pode causar nas pessoas ou ativos.

Tabela 3 - Indicativos dos níveis de danos que podem ser encontrados a partir de explosões

SOBREPRESSÃO (psi)	POSSÍVEIS EFEITOS
DANOS AS ESTRUTURAS E A EQUIPAMENTOS	
0,3	Distância segura; 95% de probabilidade da não ocorrência de danos sérios
1	Danos a estruturas de aço e painéis. Equivale a menos de 1% de danos estruturais
2	Limite inferior de danos estruturais sérios Dano parcial em paredes de casas
7	99% de danos estruturais
DANOS AS PESSOAS	
2,4	1 % de ruptura de tímpano
12,2	90% de ruptura de tímpano
15,5	1% de fatalidade por hemorragia pulmonar
29	99% de fatalidade por hemorragia pulmonar

Fonte: Adaptado de VERITAS (2006)

Explosões, seguidas ou não de incêndios, geram mortes ou lesões graves devido à variação da taxa de sobrepressão, ocasionando desastres decorrentes da emissão de projéteis, por exemplo (DE OLIVEIRA Jr., 2008).

2.4.1 Modelo Multi-Energia da TNO

A energia de uma explosão é determinada através de método TNO multi-energia, desenvolvido por pesquisadores do Prins Maurits Laboratory (FARIAS, 2010). Esse método é baseado em resultados de simulações numéricas de onda de pressão, gerada pela ignição central de uma nuvem esférica, possuindo a velocidade da chama constante (MATOS, 2014). A ideia do modelo é que não é toda porção inflamável da nuvem que contribuem para a geração da sobrepressão significativa, mas apenas algumas parcelas com grau mínimo de confinamento (ZIMMERMANN, 2009).

Assim, essa metodologia, desenvolvida para estimativas de explosões, é baseada em normalizações do fator de escala (RS) ou de distância, definido conforme Equação 1 e Equação 2.

Equação 1 - Fator de Escala - TNO - multi-energia

$$R_s = \sqrt[3]{\frac{V \chi E_v}{P_a}}$$

Fonte: Zimmermann (2009)

Onde:

V é o volume de mistura gás inflamável-ar (m^3);

E_v é a energia liberada por metro cúbico de mistura estequiométrica hidrocarboneto-ar = $3,5 \times 10^6 \text{ J/m}^3$ (valor típico);

P_a é a pressão atmosférica (N/m^2).

O parâmetro da energia de combustão em função da distância (\bar{R}) define-se como (ARAÚJO, 2011):

Equação 2 – Parâmetro \bar{R}

$$\bar{R} = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}}$$

Fonte: Araújo (2011)

Onde:

R é a distância do centro da explosão;

E é a energia de combustão;

P₀ é a pressão atmosférica.

Araújo (2011), Farias (2010) e Matos (2014) fornecem mais informações sobre as técnicas do método TNO multi-energia.

2.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO (APR)

A análise preliminar de riscos é um método simplificado, que identifica as fontes de riscos e suas consequências, nos trazendo medidas corretivas simples em tabelas de fácil interpretação (PORTO e FREITAS, 1997).

Uma APR de uma instalação de petróleo, tem o intuito de identificar perigos potenciais que possam trazer consequências para as pessoas, como ferimentos e acidentes fatais, bem como desastres ambientais (MARTINS e NATACCI, 2009). Além desses itens, em uma APR podem ser feitas recomendações e pontos de atenção julgados aplicáveis para cada análise em questão (ZAMBONI e QUARESMA, 2017).

A APR, assim como ilustra o Quadro 3, permite previamente estimar qualitativamente o risco associado a cada sequência de eventos, a partir da estimativa da frequência e da severidade da sua ocorrência (FRANÇA e TOZE, 2008).

Quadro 3 - Modelo de Análise Preliminar de Perigos (APR)

APR – HTD/DIESEL								
Unidade: Hidrotratamento de Diesel			Analista: Augusto José da Silva Rodrigues					
Trechos analisados:	Temperaturas (°C):	Revisão: 1						
Diâmetro das tubulações:	Pressões (atm):							
CAUSAS PROVÁVEIS	EFEITOS POSSÍVEIS	CATEGORIAS			Cenários			
		CF	CS	CR				
Grandes liberações de petróleo - Rupturas em tubulações (100% do diâmetro), em função da sua corrosão.								
Pequena liberação de petróleo - Fissuras em tubulações (20% do diâmetro), em função da sua corrosão.								

Fonte: Adaptado de FARIAS (2010)

Nesse método, “é elaborada uma matriz de priorização, em que são associadas categorias de severidade (CS), com categorias de frequência dos riscos (CF), resultando em categorias de risco (CR)” (BONCZ *et al.*, 2010). A análise permite definir a tolerabilidade do risco, determinando a classe de significância do risco a partir da qual a organização vai investir esforços e recursos para adotar ações de prevenção ou proteção (REGO, 2006).

Na primeira coluna do Quadro 3 temos as causas prováveis, onde são identificados os perigos envolvidos. Na segunda coluna, apresenta-se os efeitos possíveis, ou seja, são determinadas as consequências para os cenários. A terceira, quarta e quinta coluna englobam as categorias, onde é qualificado cada perigo tomando como base as análises históricas de acidentes dessa natureza. A sexta coluna é a identificação do cenário, onde será preenchida com uma numeração de modo a identificar a quantidade de cenários propostos (BALDIN, 2017).

Apresenta-se, no Quadro 4, a matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de severidade.

Quadro 4 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de severidade

Categoria de severidade	Descrição quanto a Segurança Pessoal (SP), Patrimônio (P), Meio Ambiente (MA) e a Imagem (I)
I Desprezível	SP: Sem lesões, ou no máximo casos de primeiros socorros, sem afastamento. P: Danos leves aos sistemas sem comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial. MA: Sem danos ou com danos insignificantes. I: Sem impacto.
II Marginal	SP: Lesões levem em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros. P: Danos leves aos sistemas com comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial. MA: Danos leves. I: Impacto local.
III Crítica	SP: Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros. P: Danos severos a sistemas da instalação industrial (reparação lenta). MA: Danos severos com efeito localizado. I: Impacto regional.
IV Catastrófica	SP: Provoca morte ou lesões graves em 1 ou mais pessoas intra ou extra muros. P: Perda da instalação industrial. MA: Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais. I: Impacto nacional e/ou internacional.

Fonte: Adaptado de EIA/RIMA (2006)

No Quadro 5 é possível observar a matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de frequência.

Quadro 5 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de frequência

Categoria de frequência	Características
A Extremamente Remota	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da instalação. Sem referências históricas.
B Remota	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.
C Pouco provável	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.
D Provável	Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação.
E Frequente	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.

Fonte: Adaptado de EIA/RIMA (2006)

No Quadro 6 é apresentada a categoria de frequência (em anos), estabelecida de acordo com as diretrizes da Norma 2782.

Quadro 6 - Classificação da frequência de ocorrer os cenários de acidentes

CATEGORIA	FREQUÊNCIA	
A	Extremamente remota	< 1 em 10 ⁵ anos
B	Remota	1 em 10 ³ anos a 1 em 10 ⁵ anos
C	Pouco provável	1 em 30 anos a 1 em 10 ³ anos
D	Provável	1 por ano a 1 em 30 anos
E	Frequente	> 1 por ano

Fonte: Adaptado da Norma 2782

A indicação qualitativa do nível que o risco apresenta, conforme o Quadro 6, é definida como sendo o resultado do cruzamento das categorias de severidade e de frequência.

Quadro 7 - Matriz de análise qualitativa de riscos, quanto a categoria de risco

CATEGORIA DE RISCO: severidade x frequência						
		Categoria de Frequência				
		A	B	C	D	E
Categoria de Severidade	IV	M	M	NT	NT	NT
	III	T	M	M	NT	NT
	II	T	T	M	M	M
	I	T	T	T	T	M

Fonte: Adaptado de EIA/RIMA (2006)

Quanto as categorias, EIA/RIMA (2006), define:

- categoria tolerável (**T**): indica que não há necessidade de medidas adicionais; A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
- quanto a categoria moderada (**M**): controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados àqueles considerados praticáveis;
- por fim, a categoria não tolerável (**NT**): indica que os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos.

Diversos estudos se mostraram eficientes utilizando uma APR, tais como: Zamboni e Quaresma (2017), calcularam os alcances dos efeitos físicos danosos decorrentes do fluxo de radiação térmica emitido por um incêndio em jato devido a um vazamento de gás natural; Zimmermann (2009) realizou uma análise de riscos de um vazamento de gás natural em um gasoduto, supostamente instalado no departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina; Duarte e Droguett (2012), desenvolveram uma AQR de uma unidade de recuperação de enxofre em uma refinaria de petróleo, etc.

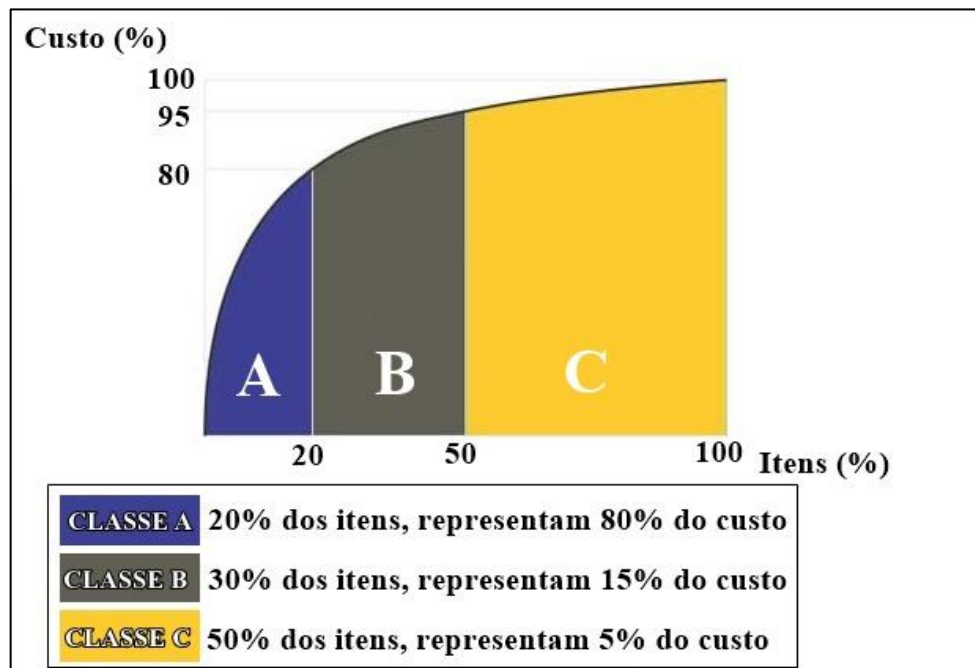
2.6 PRINCÍPIO DE PARETO: A TEORIA 80/20

O Princípio de Pareto provém de análises empíricas realizadas pelo economista Vilfredo Pareto, constatadas a partir de perspectivas sobre ganhos monetários e riqueza, no qual foi diagnosticado que 80% da riqueza mundial estava concentrada em apenas 20% da população (PARETO, 1896 *apud* SCOTON, 2011).

Diante desse cenário, de acordo com Santos *et al.* (2017), Pareto demonstrou que 20% das causas são responsáveis por gerar 80% dos efeitos. Assim, essa técnica estatística instituiu a regra denominada 80/20, que pode ser aplicada a qualquer coisa, como: 80% das reclamações dos clientes decorrem de 20% de seus produtos e serviços, 80% dos atrasos na programação resultam de 20% das possíveis causas dos atrasos, 20% dos seus produtos e serviços representam 80% do seu lucro, 20% da sua força de vendas produz 80% das receitas da sua empresa, 20% dos defeitos de sistemas causam 80% de seus problemas (HAUGHEY, 2010).

Advinda do Princípio de Pareto, surgiu a curva ABC (Figura 3), uma ferramenta utilizada para identificar itens que justificam atenção e tratamento adequados quanto à sua administração (OLIVEIRA e SILVA, 2016). Esse método ABC geralmente é utilizado para gestão de estoque, demonstrando a importância dos materiais quanto ocupação física, a representatividade financeira e o valor monetário no conjunto do estoque (FUCCIA *et al.*, 2017).

Figura 3 - Curva ABC



Fonte: Adaptado de Loprete *et al.* (2009)

As classes da curva ABC são representadas da seguinte forma Loprete *et al.* (2009):

- **Classe A:** constituída de poucos itens (de 10 a 20% dos itens). Representam, em média, de 60 a 80% do investimento em estoque.
- **Classe B:** composta por um número médio de itens (20 a 30% do geral). Representam, em média, 20 a 30% do investimento total.

- **Classe C:** constituída por um grande número de itens e de pequenos investimentos. Representam, em média, 5 a 10% dos investimentos em estoque e de 50 a 70% do total de itens.

Nessa perspectiva, os itens A necessitam de uma maior atenção, pois são os maiores responsáveis pelo faturamento organizacional, os itens B devem ter um controle menos rigoroso que os itens de classe A, pois representam um valor intermediário no faturamento das empresas e os itens C carecem de pouca atenção, pois o valor financeiro no faturamento é baixo (FUCCIA *et al.*, 2017).

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A Tabela 4 contém a classificação do presente estudo, conforme a abordagem, objetivos, procedimentos técnicos e natureza:

Tabela 4 - Classificação da pesquisa

ABORDAGEM	Quantitativa Qualitativa
OBJETIVOS	Pesquisa exploratória
PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	Pesquisa bibliográfica Estudo de caso
NATUREZA	Pesquisa aplicada

Fonte: Aatoria própria (2018)

Quanto à abordagem, este estudo classifica-se em quantitativo e qualitativo. De acordo com Terence e Escrivão Filho (2006), a pesquisa quantitativa empenha-se em medir (quantidade, frequência e intensidade), analisando as relações causais entre variáveis distintas, enquanto a pesquisa qualitativa enfatiza o processo e seu significado, sendo guiada por um desejo de explicar acontecimentos por meio de conceitos existentes ou emergentes (YIN, 2016).

Em relação aos objetivos, conceitua-se como pesquisa exploratória, pois proporcionam maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou a construir hipóteses (GIL, 2010). Assim, busca um maior conhecimento sobre o tema escolhido, simplificando-o a fim de torná-lo o mais claro possível (CANEPPELE, 2012).

De acordo com os procedimentos técnicos, o trabalho constitui-se como pesquisa bibliográfica. Em que, conforme Vergara (2000), a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já formado, constituído, especialmente, de livros e artigos científicos e tem importância para o levantamento de dados fundamentais sobre os aspectos diretos e indiretos ligados ao assunto. Na pesquisa houve levantamento bibliográfico no referencial técnico conceitual relacionado aos Estudos de Impacto Ambiental – EIA e Relatório de Impactos de Meio Ambiente – RIMA, da Refinaria Abreu e Lima (RNEST). Além disso, é um estudo de caso, já que, na visão de Vergara (1998), é circunscrito a uma ou poucas unidades (pessoas, família, produto, empresa, órgão público ou mesmo um país), podendo ser realizado ou não no campo. Nessa reflexão, consiste num estudo amplo, detalhado e complexo, buscando um maior conhecimento sobre o assunto (CANEPPELE, 2012).

Por fim, em relação à natureza, a pesquisa classifica-se como aplicada, pois concentra-se em resolver problemas concretos, mais imediatos ou não, tendo, portanto, uma finalidade

prática (VERGARA, 1998). Objetiva a aplicação dos conhecimentos básicos, gerando muitas vezes novas tecnologias ou conhecimentos resultantes do processo de pesquisa (GARCES, 2010).

3.2 PREMISSAS

Foram estimados os níveis de riscos provenientes apenas na unidade de Hidrotratamento de Diesel, considerada a unidade mais crítica devido às condições severas de temperatura, pressão e vazão, que tem o potencial de provocar maiores danos as pessoas e ao meio ambiente.

Os cenários analisados foram de pequeno vazamento e grande vazamento. Os critérios adotados para o pequeno e grande vazamento são os estabelecidos pelo Banco Mundial. O pequeno vazamento e grande vazamento correspondem a 20% e 100% do diâmetro da tubulação, respectivamente, conforme representado na Figura 4.

Figura 4 - Cenários Analisados



Fonte: Autoria própria (2018)

Na etapa de identificação dos perigos foi utilizada a APR, sendo realizada por trechos. Os trechos analisados possuem as mesmas características operacionais. Apenas os 10 trechos mais críticos do processo foram analisados. A realização da análise foi realizada através do preenchimento de uma planilha para cada trecho considerado. Em outras palavras, foram identificadas e analisadas as causas dos vazamentos e de suas respectivas consequências.

A avaliação preliminar da frequência de ocorrência do cenário, da severidade de suas consequências e do risco associado foram baseados na norma PETROBRAS N-2782.

3.3 SIMULAÇÃO

Para simular os alcances provocados pelos efeitos físicos, foi utilizado o programa computacional ALOHA, versão 5.4.6, desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* – EPA. O *software* é recomendado para a caracterização dos possíveis efeitos em uma refinaria de petróleo.

Em sequência, foi utilizado o *software* Google Earth, versão 7.3.1.4505, desenvolvido pela Google, para representar as prováveis distâncias das explosões (obtidas nas simulações do ALOHA), através de um modelo tridimensional do globo terrestre, o que facilita a observação e compreensão dos resultados.

3.4 VALORES DE REFERÊNCIAS

3.4.1 Limites dos Efeitos Físicos

Os limites adotados foram estabelecidos pela Norma Técnica da CETESB P4.261 (2003) e pelo TNO Purple Book (2005):

- radiação térmica: 3,0kW/m²; 12,5kW/m²; 37,5kW/m²;
- sobrepressão, utilizando o modelo de Multi-Energia da TNO (*The Netherlands Organization of Applied Scientific Research*). O cálculo para o modelo está representado nas equações 1 e 2.

3.4.2 Características dos Materiais de Referência

Dentre as hipóteses apresentadas para a quantificação do impacto das explosões, às substâncias contempladas serão misturas de gases inflamáveis, sendo necessário selecionar uma substância de referência. De Souza *et al.* (2017), recomendam que para substâncias gasosas, o material de referência selecionado será o propano, para substâncias bifásicas o material será o n-hexano e para os líquidos o material de referência será o n-decano. Sendo assim, foi utilizado o material n-decano como referência para o diesel.

3.4.3 Tempo de Vazamento

O tempo de vazamento compreende o tempo para que seja detectada uma falha no sistema e o tempo para acionamento de fechamento das válvulas. É de extrema importância na simulação do vazamento, uma vez que irá definir a massa vazada e todos os desdobramentos possíveis.

TNO Purple Book (2005) estabelece valores padrões como diretrizes para o tempo de detecção do vazamento mais o tempo de operação do sistema de bloqueio, o que determina o tempo total de vazamento. Foi considerado apenas um sistema de bloqueio manual, no qual a detecção resulta num sinal numa sala de controle, onde um operador valida o sinal, vai para o

local das válvulas de bloqueio e fecha-as manualmente, o tempo de vazamento são trinta (30) minutos.

3.4.4 Comprimento das Linhas

Considera-se para todas as tubulações, o valor hipotético de 41 metros de comprimento, devido à falta de dados para tal.

3.5 APLICAÇÃO DA CURVA ABC

Para determinar, baseado no Princípio de Pareto, quais as tubulações (cerca de 20%) que a administração deve ter uma atenção maior, pelo fato de representarem os maiores riscos (em torno de 80%) econômicos, sociais e ambientais para a empresa, foi utilizado o *software* Microsoft Office Excel para criar o quadro utilizado para os cálculos e para gerar a curva de classificação.

A partir das simulações no *software* ALOHA das possíveis explosões, é determinado para cada trecho (tubulação) da refinaria de petróleo, 6 (seis) valores, sendo dois valores determinantes para cada cor, que variam de acordo com o nível da gravidade (vermelho: alto impacto; laranja: médio impacto; amarelo: baixo impacto). Assim, para cada nível de impacto os dois valores determinados são: distância do alcance da explosão (metros) e o valor da sobrepressão (psi).

Nesse aspecto, para estimar a classificação na curva, (conforme Figura 3), foi feita uma adaptação da metodologia de Pareto, onde o valor representado em cada classe não se baseia em custos, mas em nível de gravidade. Para os cálculos e interpretações, bem como para a construção do gráfico contendo a curva ABC, utilizou-se o Quadro 8.

Quadro 8 - Tubulações que representam maiores perigos: uma adaptação do princípio 80/20

Tubulações que representam mais impacto: Sendo A= 80%, B=15% e C=5%												
TRECHO	DV	DL	DA	DT	SV	SL	SA	ST	VGT: DT + ST	Percentual	PA	Classificação
TOTAL												

Fonte: Autoria própria (2018)

Onde:

- **DV:** Distância vermelha;
- **DL:** Distância laranja;
- **DA:** Distância amarela;
- **DT:** Distância total (DV + DL + DA);

- **SV:** Sobrepressão vermelha;
- **SL:** Sobrepressão laranja;
- **SA:** Sobrepressão amarela;
- **ST:** Sobrepressão total (SV+SL+SA);
- **VGT:** Valor geral de cada trecho (DT + ST);
- **Percentual:** É calculado baseado em quanto por cento cada VGT individual representa em relação ao somatório de todos os VGT;
- **PA:** Percentual acumulado.

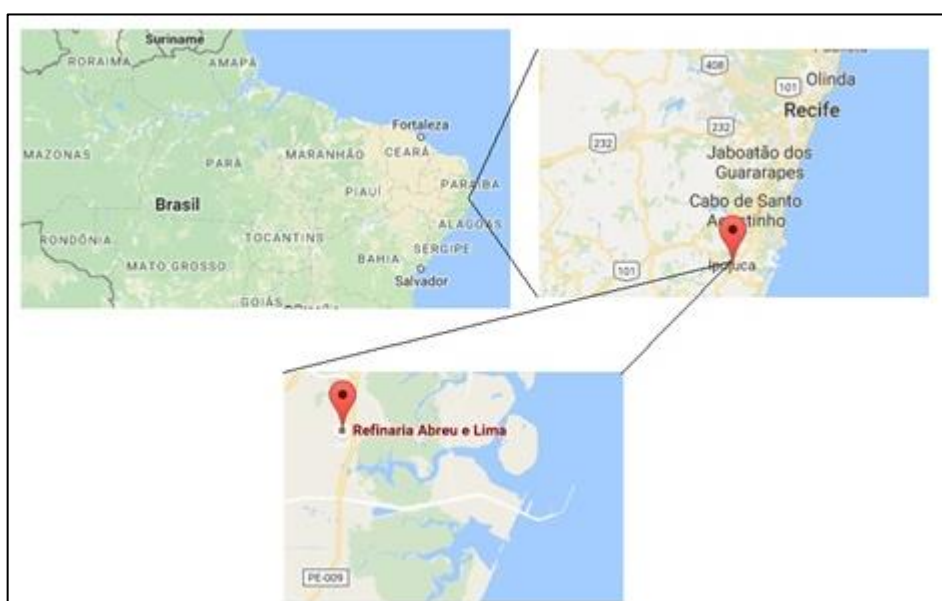
Após classificar todos os 10 trechos analisados, foi possível diagnosticar quais as tubulações que representam maiores perigos (80%) na unidade de hidrotreatamento de diesel. A partir dessa verificação, é possível priorizar as medidas mitigadoras para esses trechos, já que nem sempre o investimento para manutenção será destinado para todos os problemas existentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A Refinaria Abreu e Lima (RNEST), está localizada no município de Ipojuca, no litoral sul do estado brasileiro de Pernambuco (Figura 5). É um projeto da Petrobrás em parceria com a PDVSA (Petróleos de Venezuela S.A.) e possui uma capacidade de processar 230 mil barris de petróleo pesado por dia, representando 11,5% do refino nacional (MOUTINHO *et al.*, 2011).

Figura 5 - Localização da Refinaria Abreu e Lima (RNEST)



Fonte: Google Maps (2018)

Todas as unidades apresentam grandes quantidades de tubulações, o que torna um processo complexo e que necessita de rigorosas metodologias de confiabilidade. À exemplo, apresenta-se na Figura 6 a Unidade de Destilação Atmosférica.

Figura 6 - RNEST: Unidade de Destilação Atmosférica



Fonte: Petrobras (2018)

Com os dois conjuntos de refino operando, RNEST conta com as seguintes unidades (PETROBRAS, 2018):

- 2 unidades de destilação atmosférica (UDA);
- 2 unidades de coqueamento retardado (UCR);
- 2 unidades hidrotratamento de diesel (HDT-D);
- 2 unidades hidrotratamento de nafta (HDT-N);
- 2 unidades de geração de hidrogênio (UGH);
- 2 unidades de abatimento de emissões (SNOX).

A petroquímica pernambucana possui um processo de refino orientado para a produção do óleo diesel (70% do volume total processado na refinaria), suprindo, assim, as demandas da região nordeste e de parte do mercado brasileiro (SALVIANO e SOUZA NETO, 2016).

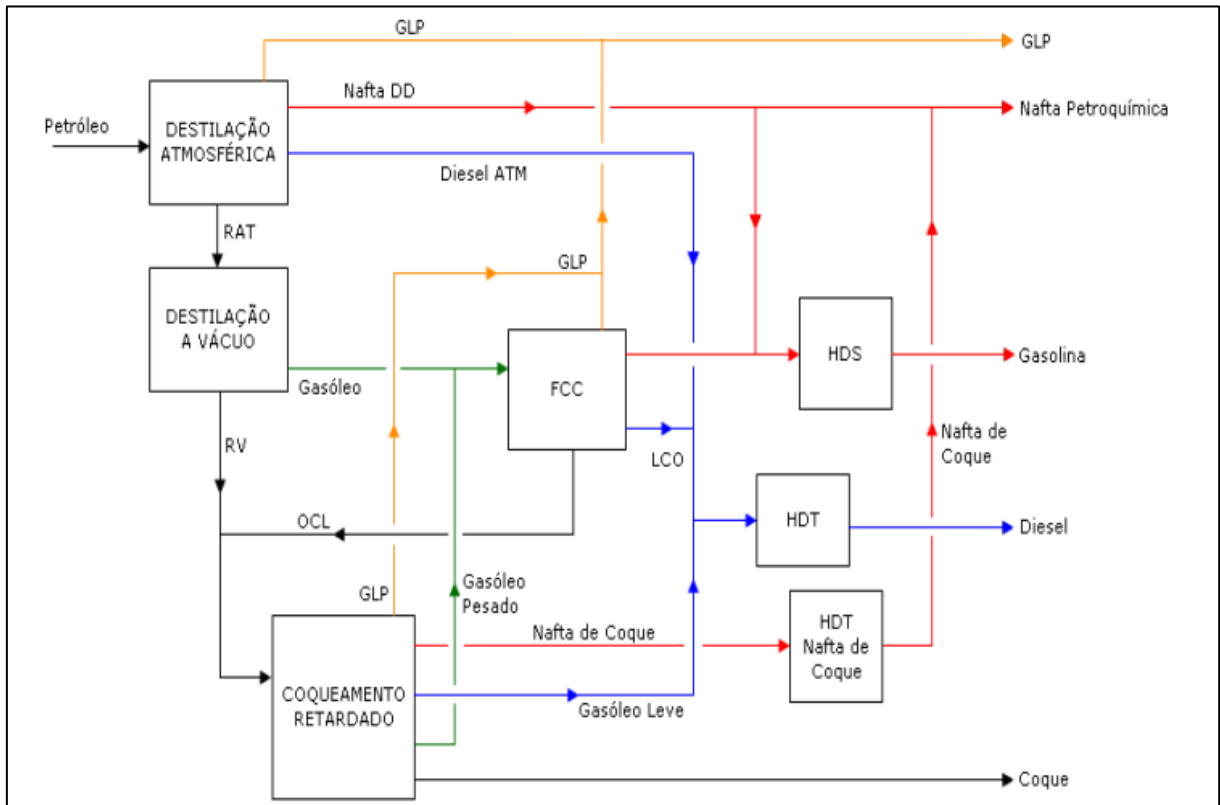
4.2 ÁREA DO ESTUDO: UNIDADE DE HIDROTRATAMENTO DE DIESEL (HDT/DIESEL)

A unidade de hidrotratamento de diesel faz parte de um dos principais processos para a limpeza das frações de petróleo (Figura 7) com remoção de impurezas, tais como: enxofre, compostos de cloro, nitrogênio, aromáticos, parafinas e metais usando hidrogênio. Sendo o

catalisador selecionado para atender ao grau de hidrotreatamento de acordo com o tipo de impureza (FAHIM *et al.*, 2012).

O hidrotreatamento é aplicado buscando obter produtos distintos que se adequem a aplicação a que se destinam, sendo utilizados diretamente na formulação de derivados ou em processos catalíticos posteriormente (KRAUSE, 2011).

Figura 7 - Esquema básico do refino de petróleo



Fonte: Krause (2011)

Conforme ilustrado na Figura 7, o processo básico para obtenção do diesel envolve basicamente dois processos principais: a destilação atmosférica e o tratamento na HDT. Vale frisar que, conforme Quadro 1, muitas vezes há um processo secundário (conversão), que visa aumentar o aproveitamento do petróleo.

Na Figura 8 é possível observar a unidade de hidrotreatamento da Refinaria Abreu e Lima.

Figura 8 - Unidade de hidrotratamento da RNEST

Fonte: Petrobras (2015)

A HDT/Diesel têm uma capacidade de 21.000 m³/d, possuindo como principais produtos o diesel e o ácido sulfídrico, além de 3 (três) sistemas auxiliares, sendo eles: unidade de geração de hidrogênio; unidade de tratamento de águas ácidas e a unidade de tratamento de amina (EIA/RIMA, 2006).

4.2.1 Trechos da HDT/Diesel Utilizados para as Simulações

Foram analisados 10 trechos (tubulações) da unidade de hidrotratamento de diesel, escolhidos aleatoriamente em função da sua temperatura e pressão, conforme Tabela 5.

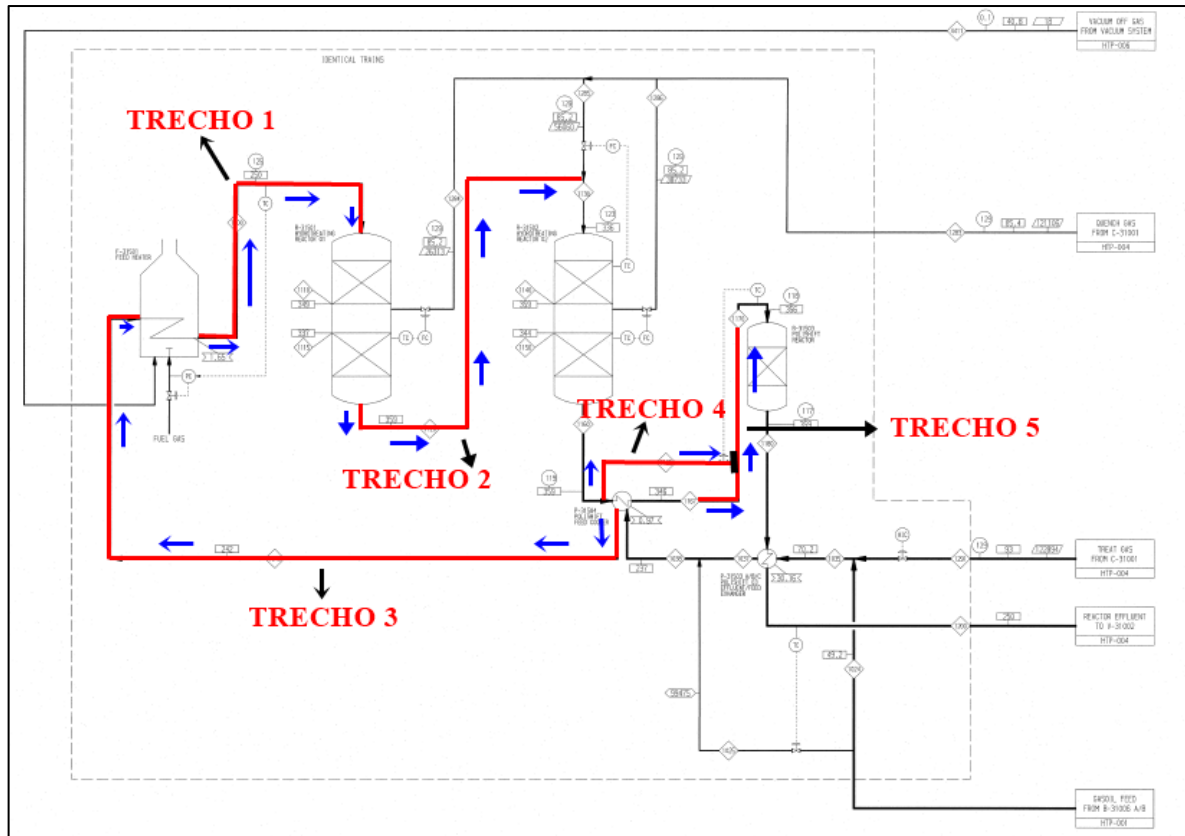
Tabela 5 - Temperaturas e pressões das 10 tubulações

TUBULAÇÕES ANALISADAS - RNEST			
TUBULAÇÃO	TEMPERATURA (°C)	PRESSÃO (ATM)	ORIGEM DO PETRÓLEO
TRECHO 1	250,3	124,55	CARABOBO
TRECHO 2	359,3	122,75	CARABOBO
TRECHO 3	359,3	121,25	CARABOBO
TRECHO 4	359,3	119,15	CARABOBO
TRECHO 5	356	118,3	CARABOBO
TRECHO 6	244,3	9,35	MARLIM
TRECHO 7	180	80,85	MARLIM
TRECHO 8	250	26,5	MARLIM
TRECHO 9	239,5	20,35	MARLIM
TRECHO 10	160,0	3,9	MARLIM

Fonte: Adaptado de EIA/RIMA (2006)

Vale frisar que, os trechos escolhidos processam petróleo diários vindos do Campo de Carabobo, na Venezuela, e do complexo de Marlin, na Bacia de Campos. Nas Figuras 9 e 10 estão identificadas as 10 tubulações utilizadas para o estudo deste trabalho.

Figura 9 - Diagrama da Unidade de Hidrotratamento de Diesel: Carabobo

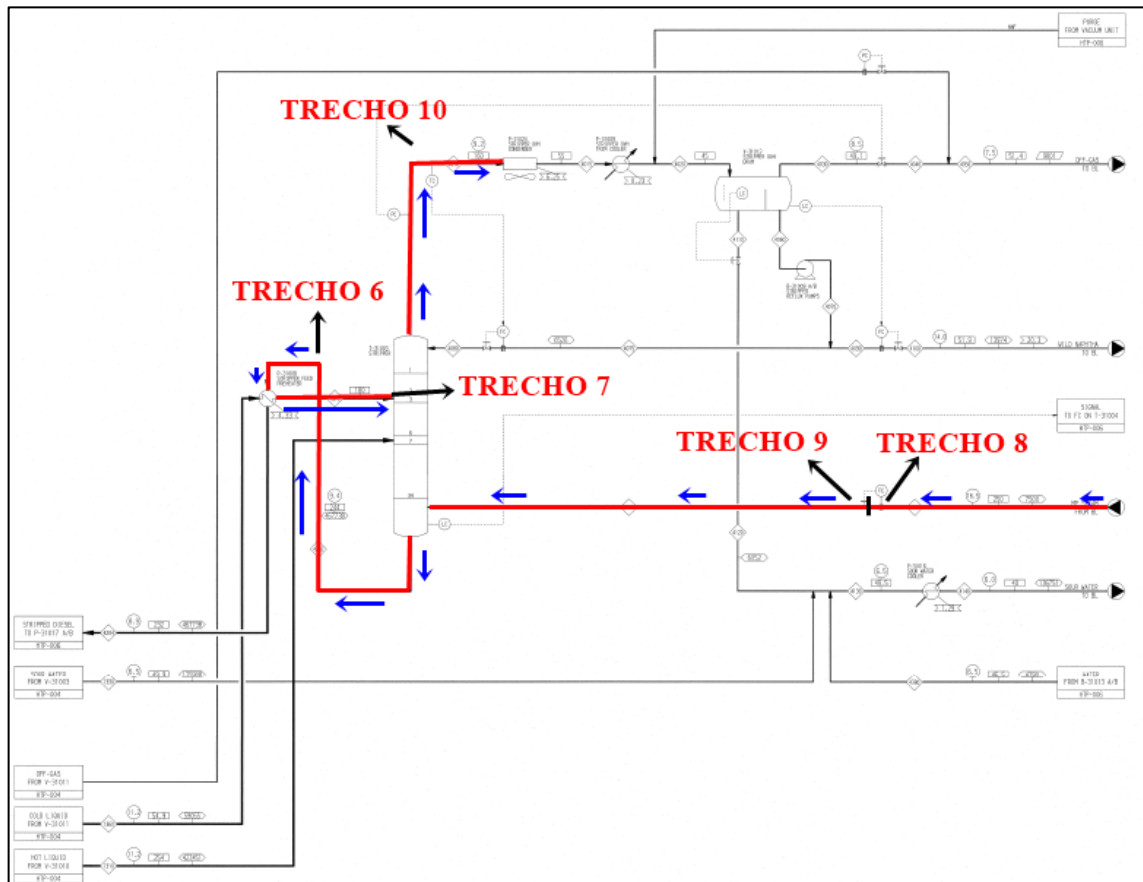


Fonte: Adaptado de EIA/RIMA (2006)

Todos os trechos contêm as especificações descritas na Tabela 5. Na Figura 9 estão determinados os 5 trechos que processam o petróleo de origem venezuelana. Em vermelho, estão as localizações dos Trechos 1, 2, 3, 4 e 5. As setas azuis indicam o fluxo pelo qual percorre o fluido.

Na Figura 10 estão os Trechos 6, 7, 8, 9 e 10, que processam o petróleo advindo da Bacia de Campos.

Figura 10 - Diagrama da Unidade de Hidrotratamento de Diesel: Marlin



As cores em tons de vermelho e azul possuem as mesmas representatividades da Figura 9, estimulando o leitor a compreender de forma mais interpretativa o *layout*.

4.3 SIMULAÇÕES

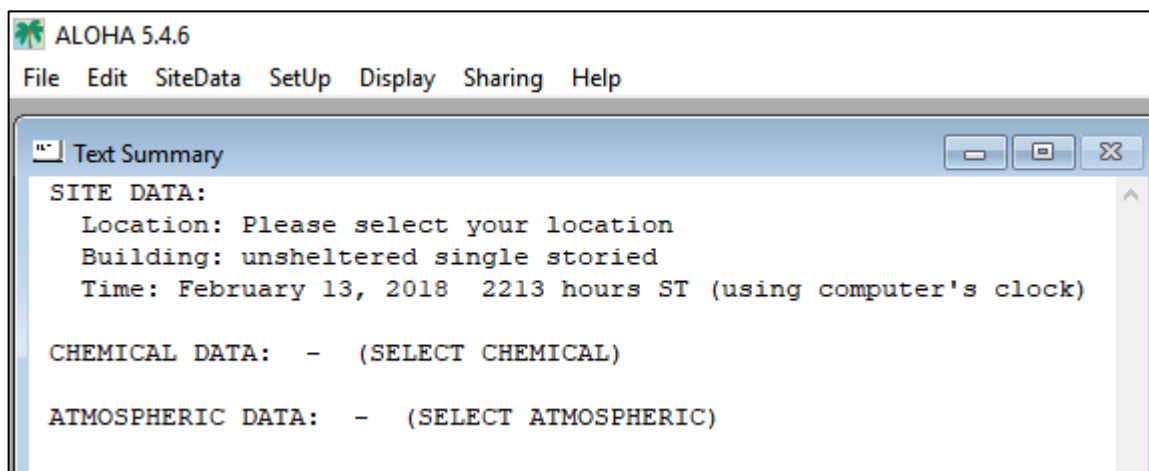
4.3.1 Manual de Simulações: instruções de uso dos *softwares* ALOHA e Google Earth

Este tópico é composto por 6 etapas: a etapa 1 contempla os *layouts* dos *softwares* ALOHA e Google Earth, além de mostrar como inserir a localização da empresa que será utilizada na simulação; as etapas 2, 3 e 4, informam em sequência como inserir os dados do composto, os dados atmosféricos e os dados da fonte de fluxo; a etapa 5 detalha a realização da simulação; e, por fim, a etapa 6 mostra como exportar os dados do ALOHA para o Google Earth.

Algumas informações deste manual foram obtidas a partir da leitura do “ALOHA Help”, localizado na aba superior do *software*.

- **ETAPA 1**

A Figura 11 apresenta o *layout* inicial do *software* ALOHA.

Figura 11 - Layout inicial do *software* ALOHA

Fonte: Autoria própria (2018)

As informações que são relevantes para a simulação na página inicial do *software* são: localização, dados químicos e dados atmosféricos, que devem ser selecionados baseados nos dados da RNEST, no caso desse estudo.

O programa possui um banco de dados com algumas informações geográficas de várias cidades, que estão nos 50 estados dos Estados Unidos. Como a refinaria de estudo está localizada no Brasil, é necessário adicionar todas as informações sobre a empresa. São necessárias 3 etapas para informar o local de estudo:

- Selecionar “SiteData”
 - o Selecionar “Location” (ou usar o atalho Ctrl + L);
 - Selecionar “Add”.

Após selecionar “Add” o programa abrirá uma janela para inserir todos os dados de localização (Figura 12) e selecioná-los “Select” para simulação.

Figura 12 – Janela para inserir dados da localização

The image shows a software dialog box titled "Location Input". It is divided into several sections:

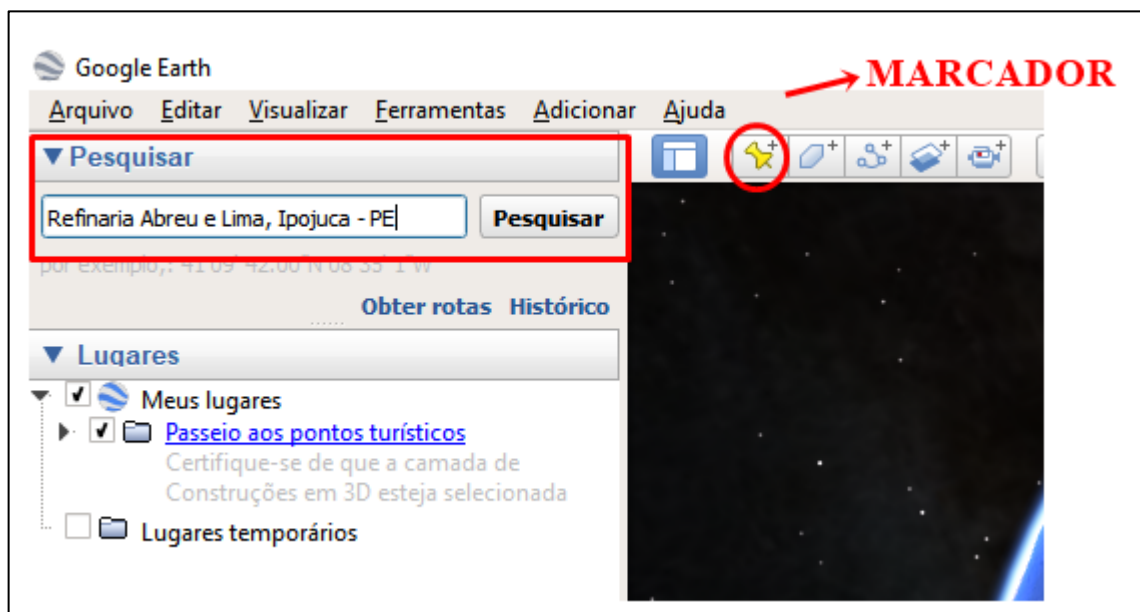
- Enter full location name:** A text input field labeled "Location is".
- Is location in a U.S. state or territory?** Two radio buttons: "In U.S." (selected) and "Not in U.S.".
- Enter approximate elevation:** A text input field labeled "Elevation is" followed by radio buttons for "ft" (selected) and "m".
- Enter approximate location:** Two text input fields for "deg." and "min." for both "Latitude" and "Longitude". Radio buttons for "N" and "S" are next to the latitude fields, and "E" and "W" are next to the longitude fields.
- Select state or territory:** A dropdown menu with a list of U.S. states: ALABAMA, ALASKA, ARIZONA, ARKANSAS, CALIFORNIA, COLORADO, CONNECTICUT, DELAWARE, and DIST OF COLUMBIA. "ALABAMA" is currently selected.
- Buttons:** "OK", "Cancel", and "Help" buttons are located at the bottom of the dialog.

Fonte: Autoria própria (2018)

Na janela de localização, é necessário digitar a localização completa, podendo ser o nome da empresa, cidade e o estado brasileiro, ou apenas a cidade e o estado brasileiro. No caso da RNEST, seleciona-se a opção “Not in U.S.”, para informar que não é um território dos Estados Unidos da América, e inserir os dados de elevação, latitude e longitude, clicando em “OK” na sequência. Posteriormente, abrirá uma janela de localização estrangeira, onde preenche-se o país e o horário GMT brasileiro, sendo: “-3” e “Standard Time” em tempos padrões ou “-2” e “Daylight Savings Time” em horário de verão. Vale salientar que se insere apenas o valor (3 ou 2), pois o programa já reconhece como negativo.

Os dados de latitude e longitude podem ser obtidos no *software* Google Earth. Para isso, após abrir o programa (Figura 13), digita-se na aba “Pesquisar” o local do estudo (Refinaria Abreu e Lima, Ipojuca – PE) e pressiona-se “Pesquisar”. Dando sequência, seleciona-se o marcador e clica em cima do nome da empresa (que aparecerá na tela) para obtermos as coordenadas geográficas.

Figura 13 – Layout inicial do *software* Google Earth



Fonte: Autoria própria (2018)

Pressionado a opção “Pesquisar”, o Google Earth mostra em uma vista superior o *layout* da RNEST, a partir de imagens geradas por satélites. E, conforme determinada a região com o marcador, automaticamente são gerados os dados da longitude e latitude, necessários para a simulação do ALOHA (Figura 14).

Figura 14 – Obtendo as coordenadas geográficas



Fonte: Autoria própria (2018)

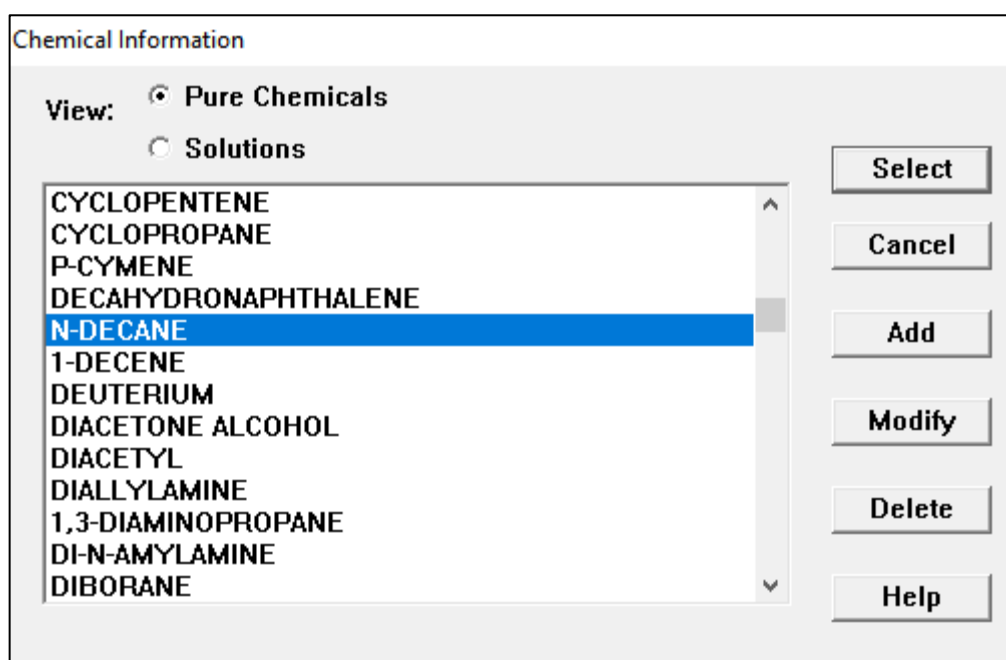
Na parte inferior do *software* também mostra a elevação da empresa, a medida em que se posiciona o cursor em cima do marcador. A RNEST encontra-se a aproximadamente 30m acima do nível do mar.

- **ETAPA 2**

Após selecionado o local de estudo, é obrigatório que seja informado os dados do composto (Figura 15). Nesse caso, são necessárias 3 etapas para inserir essas informações:

- Selecionar “SetUp”;
 - Selecionar “Chemical...” (ou usar o atalho Ctrl + H);
 - Selecionar o composto químico (neste estudo foi utilizado o n-decane).

Figura 15 - Selecionando o composto químico



Fonte: Autoria própria (2018)

Conforme explícito na metodologia, o “N-DECANE” foi o composto utilizado para representar o diesel (na versão pura). No entanto, caso a simulação se baseasse em outro composto e não contemplasse no banco de dados, seria necessário pressionar “Add” para determinar todas as informações necessárias do composto químico.

- **ETAPA 3**

Determinado os dados químicos, determina-se os dados atmosféricos (Figura 16 e 17), seguindo 3 passos que abrirão as janelas específicas:

- Selecionar “SetUp”;
 - Selecionar “Atmospheric”
 - Selecionar “User Input...” (ou usar o atalho Ctrl + A).



Figura 16 - Inserindo os dados atmosféricos: parte 1

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text [e.g. ESE]

Measurement Height above ground is:




  OR enter value : feet meters

Ground Roughness is :

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness [Z₀]

Open Water

Select Cloud Cover :

complete cover partly cloudy clear

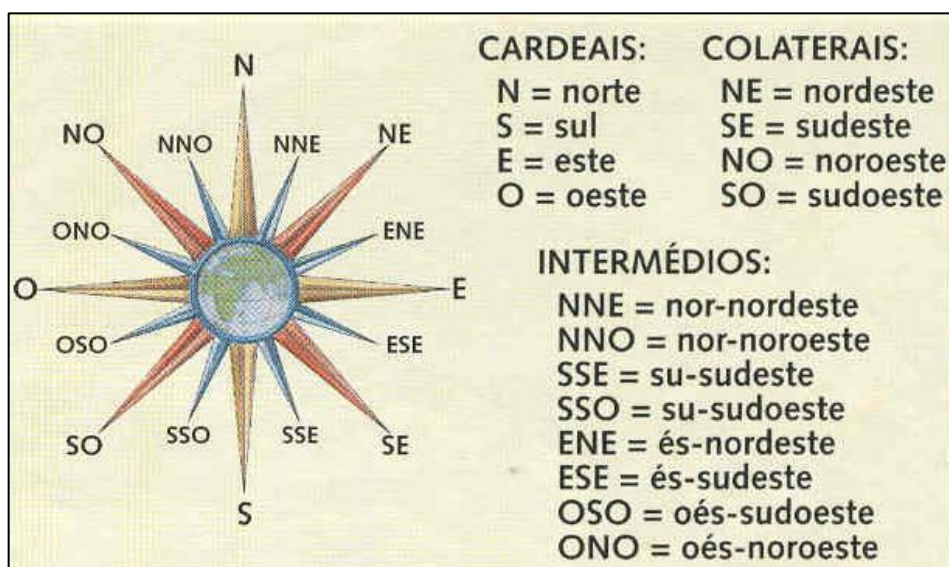
OR enter value : [0 - 10]

Fonte: Autoria própria (2018)

Conforme Figura 16, os dados atmosféricos necessários para a simulação são:

- **Velocidade do vento:** Necessária para prever a rapidez com que uma nuvem de gás poluente pode viajar na atmosfera e em que direção pode ir. Para o estudo foi utilizado 5 metros/segundo, por considerar uma velocidade representativa, baseado em dados diários da RNEST);
- **Direção do vento:** Deve-se inserir essas informações em unidades de graus verdadeiras (por exemplo, 15,6 graus) ou em termos direcionais de uma a três letras, baseado na rosa dos ventos (Figura 17). Para o estudo utilizou-se ESE;

Figura 17 - Rosa dos ventos



Fonte: Geografia Atual (2015)

- **Altura aproximada da medição da velocidade e direção do vento:** ALOHA precisa saber a altura aproximada em que a velocidade e a direção do vento estão sendo medidas, porque explica a maneira pela qual a velocidade do vento muda com altura em um padrão chamado perfil de vento. Como ilustrado na Figura 16, têm-se três opções de escolha: 3 metros, 10 metros ou outro valor que deverá ser determinado, em metros ou em pés. Para o estudo, a simulação foi feita com 3 metros de altura;
- **Rugosidade do solo:** Necessária para que o programa faça cálculos baseados em alterações ou não do grau de turbulência atmosférica, o que pode alterar a rapidez do vento. A ALOHA inclui três opções para o terreno: País aberto, urbano ou florestal e Água aberta. Conforme caracterização da RNEST, foi selecionado para o estudo a opção urbano ou florestal;
- **Cobertura da nuvem:** ALOHA precisa de um valor para a cobertura da nuvem (a proporção do céu coberto por nuvens) para estimar a quantidade de radiação solar recebida no momento de uma liberação química. No *software* são determinados valores de 0 a 10, que demonstram que o céu está desde completamente coberto (10), até totalmente limpo (0). No estudo, selecionou-se 0, indicado alta taxa de radiação solar.

A Figura 17 complementa a Figura 16, mostrando dados atmosféricos complementares, obrigatórios para a simulação.

Figura 18 - Inserindo os dados atmosféricos: parte 2

Atmospheric Options 2




Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :

   OR enter value : %
(0 - 100)

Fonte: Autoria própria (2018)

- **Temperatura do ar:** A temperatura do influencia na estimativa da taxa de evaporação. Nesse estudo, foi utilizado 25°C;
- **Altura de inversão:** A presença ou não de inversão pode fazer com que as concentrações do nível do solo atinjam níveis mais altos do que seria de esperar. Porém, nesse estudo não foi consideração a presença da mesma;
- **Umidade:** O *software* permite selecionar a umidade desde 99% (molhado) até 5% (seco). Pelas considerações regionais da RNEST, considerou-se 5%.

- **ETAPA 4**

Como parte do processo da simulação, é necessário indicar a fonte de fluxo do diesel (Figura 19 e 20), abrindo a aba correspondente a partir de 4 etapas:

- Selecionar “SetUp”;
 - Selecionar “Source”;
 - Selecionar “Gas Pipeline” (ou usar o atalho Ctrl + I);
 - Selecionar a opção “Not Burning”, pois representa o cenário de explosões.

Figura 19 - Inserindo as características da fonte de fluxo do diesel: parte 1

The image shows a software dialog box titled "Gas Pipeline Input". It is divided into four main sections, each with a "Help" button to its right. The first section, "Input pipe diameter", has a text label "Diameter is" followed by a text input field containing the number "8" and two radio buttons: "inches" (which is selected) and "cm". The second section, "Input pipe length", has a text label "Pipe length is" followed by a text input field containing "41" and three radio buttons: "ft", "yds", and "meters" (which is selected). The third section, "The unbroken end of the pipe is", has two radio buttons: "connected to infinite tank source" and "closed off" (which is selected). The fourth section, "Select pipe roughness", has two radio buttons: "Smooth Pipe" (which is selected) and "Rough Pipe". At the bottom of the dialog are two buttons: "OK" and "Cancel".

Fonte: Autorial própria (2018)

Determina-se 4 características:

- **Diâmetro dos gasodutos:** O ALOHA aceita valores maiores que 1 centímetro (0,4 polegadas) e menos de 10 metros (32,8 pés). Foi considerado 8 polegadas para a RNEST;
- **Comprimento dos gasodutos:** É necessário usar a distância do final quebrado da tubulação para o reservatório ou o ponto de fechamento (o que for apropriado para o cenário). O valor do comprimento do tubo deve ser pelo menos 200 vezes o diâmetro do tubo. Considerou-se 41m neste trabalho;
- **Extremidade dos gasodutos:** Deve-se indicar se a extremidade ininterrupta do gasoduto está conectada a um grande reservatório (fonte de tanque infinito) ou está fechada. Considerou-se como fechada para os cenários dessa pesquisa;
- **Rugosidade do tubo:** É obrigatória indicar se a superfície interna do tubo é áspera ou suave para prever se haverá uma alta ou baixa turbulência através do gasoduto quebrado. A simulação desse trabalho envolveu tubulações lisas (suaves).

Em sequência, a Figura 20 apresenta as características a serem inseridas das fontes de fluxos do diesel, que variam em cada tubulação.

Figura 20 - Inserindo as características da fonte de fluxo do diesel: parte 2

Fonte: Autoria própria (2018)

Como representado na Figura 20, é necessário inserir 3 características de cada tubulação: pressão, temperatura e orifício de entrada (que varia em dois cenários, como ilustra a Figura 4).

- **ETAPA 5**

A quinta etapa envolve a realização da simulação já com os dados inseridos. É importante lembrar que essa etapa deve ser realizada duas vezes, uma para o cenário de rupturas (usando o diâmetro completo da tubulação) e outra para o cenário de fissuras (usando apenas 20% do diâmetro da tubulação), que deverão ser modificados na opção “Input hole size”, representado na Figura 20.

Para concluir a etapa 5, é necessário selecionar algumas opções na janela de parâmetros de explosão (Figura 21). Para abrir a janela, deve-se seguir 3 etapas:

- Selecionar “Display”;
 - Selecionar “Threat Zone...” (ou usar o atalho Ctrl + F);
 - Selecionar a opção “Blast Area of Vapor Cloud Explosion” e selecionar OK. Caso apareça alguma informação de atenção, prossiga mesmo assim na simulação.

Figura 21 – Determinando parâmetros de explosão de nuvem de vapor

Vapor Cloud Explosion Parameters

Time of vapor cloud ignition: Help

unknown (show composite threat zone from all possible ignition times)

known, ignition time is :

Type of vapor cloud ignition: Help

ignited by spark or flame

ignited by detonation

Level of congestion : Help
(in the flammable part of the vapor cloud)

congested, difficult to walk through (e.g. pipe rack, dense forest)

uncongested, easy to walk through (e.g. residential neighborhood)

OK Cancel

Fonte: Autoria própria (2018)

- **Tempo de ignição:** Se não conhecer o tempo de ignição, ALOHA permite que escolher uma opção de ignição desconhecida. Caso contrário, deve-se escolher a opção de ignição conhecida e, em seguida, inserir o tempo de ignição em minutos ou segundos; o tempo de ignição deve ser pelo menos 1 segundo e não mais de 60 minutos. Nesse trabalho não foi determinado tempo de ignição, pois dessa forma o *software* executará cenários de explosão para uma variedade de tempos de ignição que englobam todos os tempos de ignição possíveis o cenário;
- **Tipo de ignição:** É necessário escolher a opção inflamada por faísca ou chama se desejar modelar uma explosão acidental típica. Se não, existe a opção inflamada por detonação se desejar modelar uma explosão intencional ou uma explosão acidental do pior caso. Na pesquisa, a ignição escolhida foi a primeira opção;
- **Nível de congestionamento:** Geralmente, uma zona congestionada tem tantos obstáculos que é difícil ou impossível atravessá-los. É incomum que este nível de congestionamento seja encontrado em toda a nuvem de vapor. No entanto, tubulações industriais e algumas áreas florestadas (onde as árvores e os ramos estão bem

espaçados), por exemplo, podem ser caracterizados como áreas congestionadas. As zonas não congestionadas incluem: estacionamentos, campos abertos, bairros suburbanos e a maioria dos ambientes urbanos. Assim, escolheu-se neste trabalho zonas congestionadas.

Determinados esses parâmetros, aparecerá uma janela de sobrepressões. Seleciona-se “OK” e a simulação é realizada, podendo ser representada de duas formas: apenas com textos, que irão indicar de alguma forma que a tubulação não é perigosa, ou com um gráfico que representará as três zonas de alcances de uma explosão.

- **ETAPA 6**

Por fim, a sexta etapa envolve a exportação dos dados de simulação do *software* ALOHA para o *software* Google Earth. Essa etapa só deve ser executada caso haja uma geração de gráfico na etapa 5. Necessita-se da execução de 4 passos:

- Selecionar “File”;
 - Selecionar “Export Threat Zones...”;
 - Selecionar “KML - for mapping programs such as Google Earth”;
 - Adicionar os dados da RNEST referentes a latitude e longitude (obtidos na Figura 14). Em sequência, clica-se em “OK”, nomeia-se o arquivo e salva.

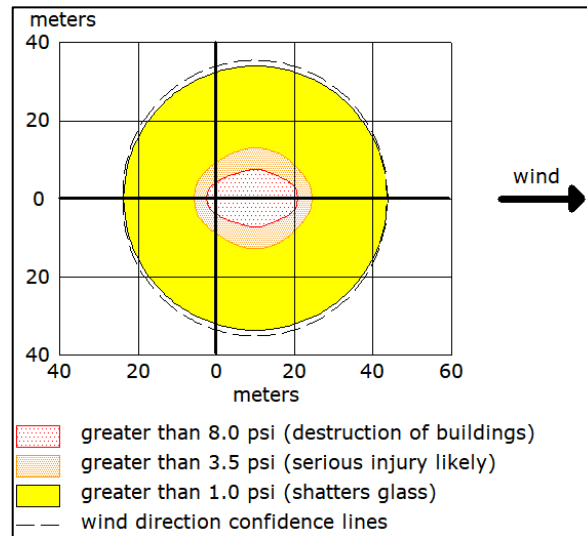
Seguindo os 4 passos, será salvo no computador um arquivo com formato KML. Após abri-lo, automaticamente o Google Earth irá gerar um gráfico em cima da vista superior da RNEST.

4.3.2 Simulações Realizadas: estimativa de alcances

Baseando-se nos parâmetros do item 3.4, foram realizadas 20 simulações para os 10 trechos analisados, sendo realizado para cada gasoduto 2 cenários: fissuras e rupturas, conforme Figura 4. No entanto, percebeu-se que mesmo com diferenças de diâmetros para os cenários, os alcances obtidos para fissuras e rupturas foram os mesmo em alguns gasodutos. Quando esse caso ocorrer, os resultados para ambos os cenários serão ilustrados em gráfico único. Quando não, serão apresentados os dois gráficos referentes aos dois cenários, mesmo que apresentem diferenças de valores mínimas.

O gráfico ilustrativo na Figura 22 apresenta os alcances estimados para o trecho 1, a partir da inserção de valores característicos do gasoduto (APÊNDICE A e APÊNDICE B).

Figura 22 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 1



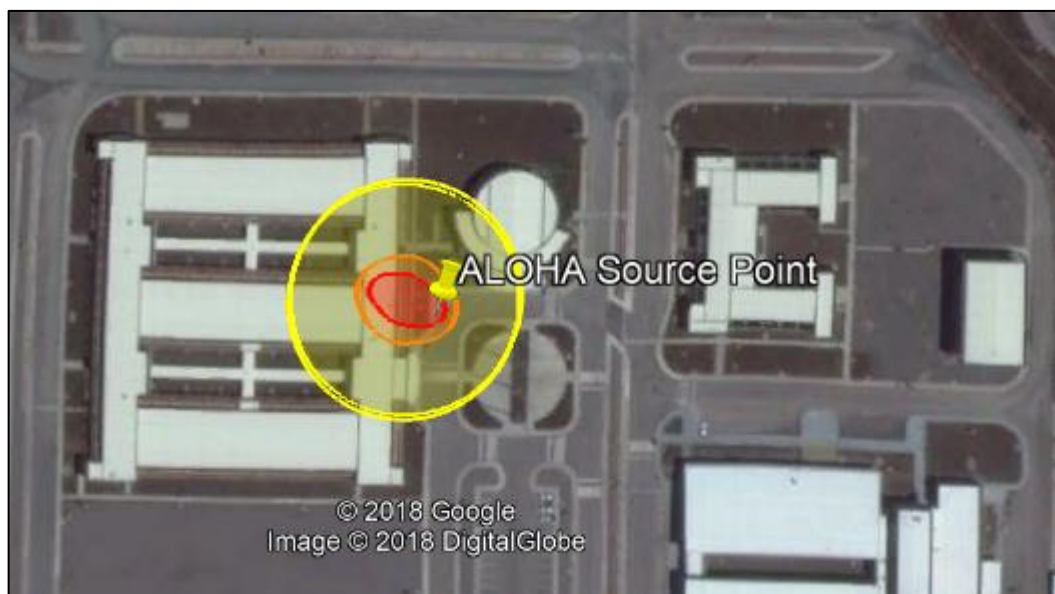
Fonte: Autoria própria (2018)

O resultado do trecho 1 permitiu estimar que, em casos de uma explosão decorrente de fissura ou rupturas, os alcances estimados seriam de:

- Zona vermelha: 21 metros;
- Zona laranja: 25 metros;
- Zona amarela: 44 metros.

Na Figura 23 é representado em uma vista superior da empresa, até onde possivelmente os impactos dá explosão poderiam chegar.

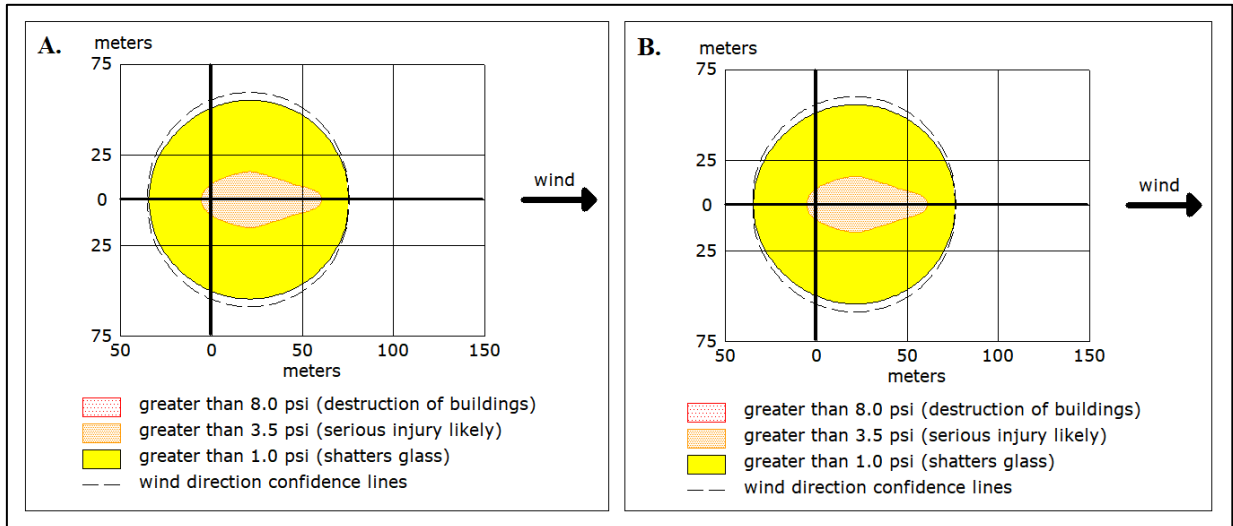
Figura 23 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 1



Fonte: Autoria própria (2018)

As Figuras 24 e 25 apresentam as zonas de alcances para o trecho 2, geradas mediante as informações dos APÊNDICES C e D.

Figura 24 - Explosão em nuvem em casos de (A) ruptura ou (B) fissura: trecho 2



Fonte: Autorial própria (2018)

Os alcances estimados para ruptura foram:

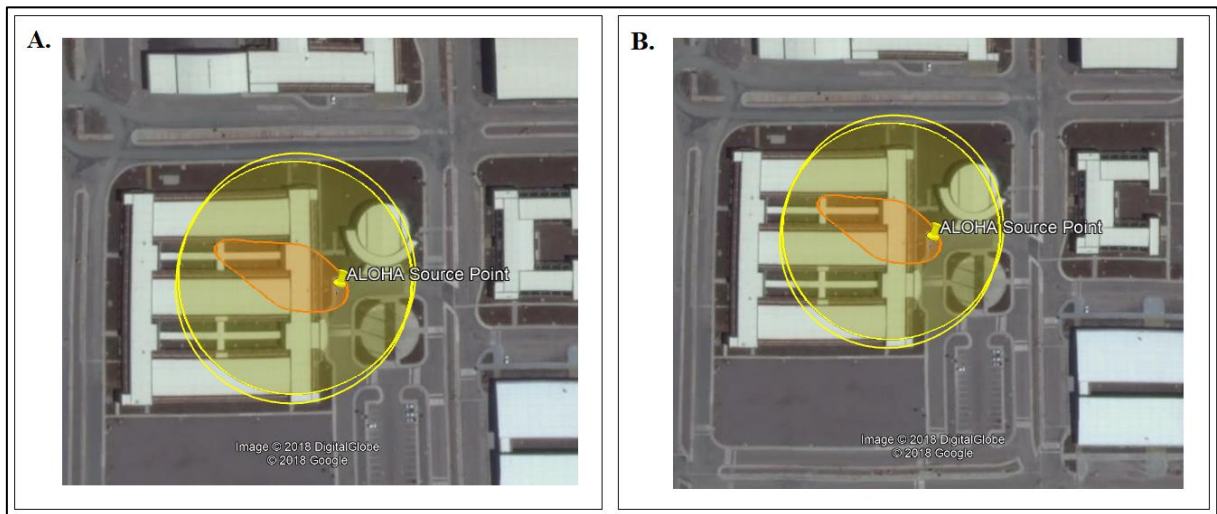
- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 61 metros;
- Zona amarela: 76 metros.

Para fissuras, têm-se os seguintes alcances:

- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 62 metros;
- Zona amarela: 77 metros.

O trecho 2 apresentou apenas duas zonas de alcance, excluindo a zona de maior severidade (zona vermelha).

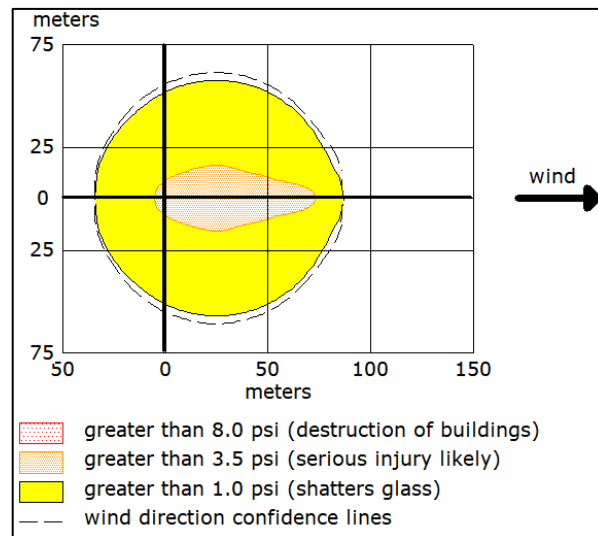
Figura 25 - Possíveis alcances de uma explosão para (A) rupturas e (B) fissuras: trecho 2



Fonte: Autorial própria (2018)

Baseando-se nos parâmetros dos APÊNDICES E e F, a Figura 26 apresenta as 3 zonas de alcances estimadas para o trecho 3.

Figura 26 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 3



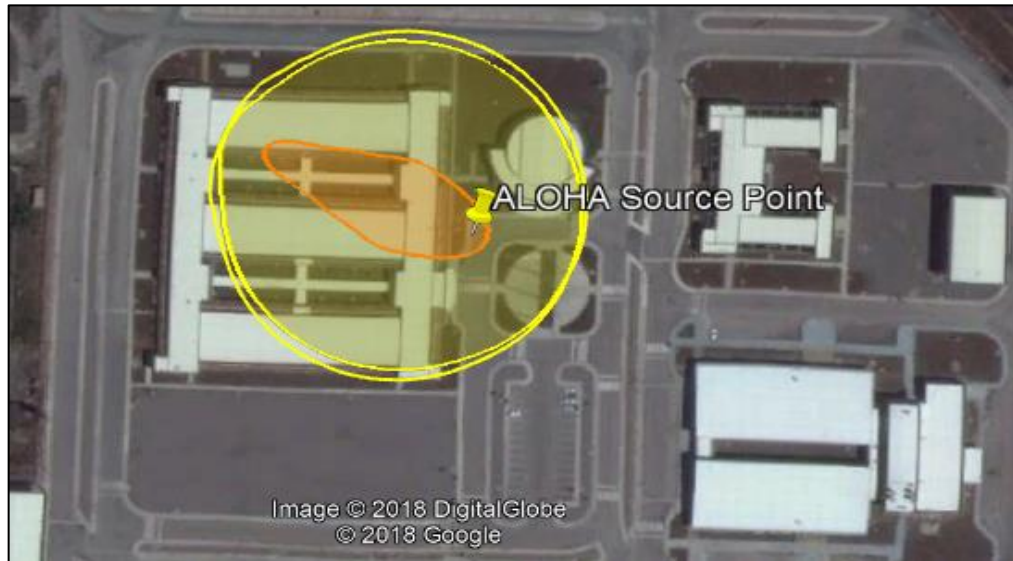
Fonte: Autorial própria (2018)

Conforme Figura 26, os alcances foram:

- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 73 metros;
- Zona amarela: 87 metros.

A vista superior (Figura 27) permite visualizar até onde as ondas de sobrepressões podem chegar.

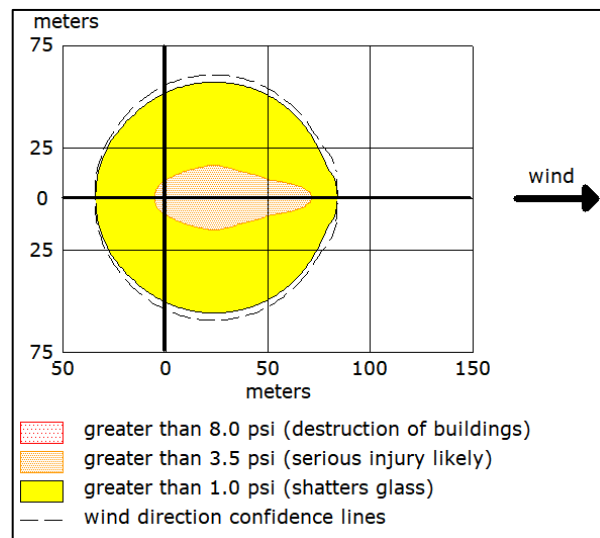
Figura 27 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 3



Fonte: Autoria própria (2018)

O quarto trecho estudado também não apresentou um cenário crítico para zona vermelha (Figura 28).

Figura 28 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 4



Fonte: Autoria própria (2018)

Assim, para o quarto trecho foram obtidos os seguintes alcances, gerados por meio da inserção dos dados apresentados nos APÊNDICES G e H:

- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 72 metros;
- Zona amarela: 85 metros.

Possivelmente, a partir da ilustração da Figura 29, as sobrepressões poderiam atingir outras estruturas da própria empresa, além dos impactos sociais e ambientais.

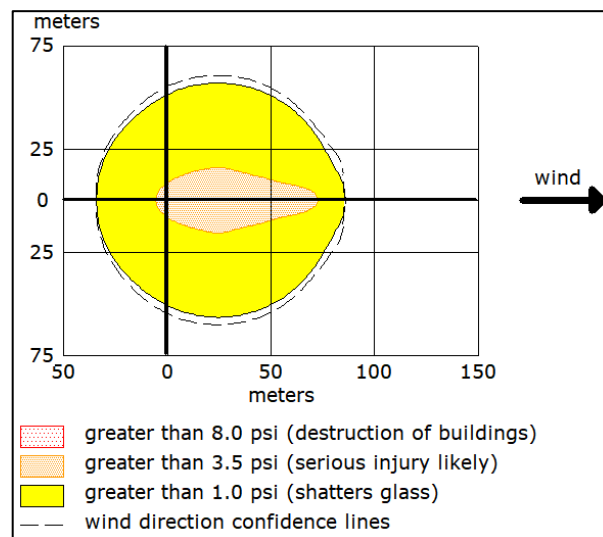
Figura 29 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 4



Fonte: Aatoria própria (2018)

Finalizando as simulações dos gasodutos que possuem petróleo originado de Carabobo, a Figura 30 apresenta os alcances estimados para o trecho 5 (conforme APÊNDICES I e J), sendo representados nos territórios da empresa através da Figura 31

Figura 30 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 5



Fonte: Aatoria própria (2018)

As zonas de alcances para o quinto trecho foram estimadas em:

- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 73 metros;
- Zona amarela: 87 metros.

Figura 31 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 5



Fonte: Autoria própria (2018)

Diferentemente dos trechos anteriores analisados, a Figura 32 indica que, após realizar a simulação do trecho 6, revelados perante os dados de entrada (APÊNDICES K e L), não haverá em hipótese alguma uma explosão, pois nenhuma parte da nuvem estará acima da LEL.

Figura 32 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 6

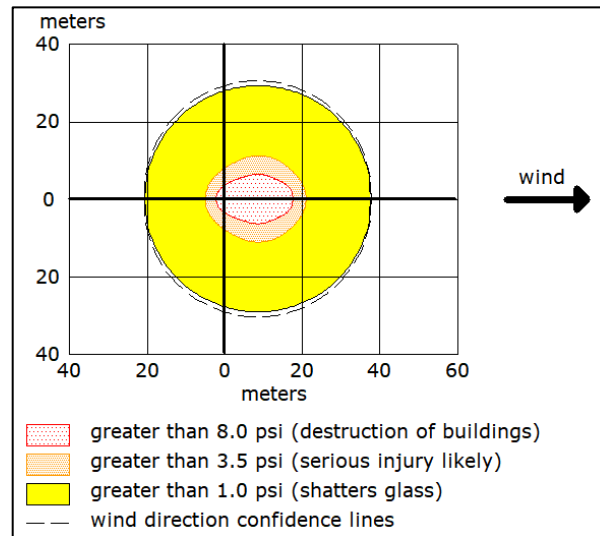
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autoria própria (2018)

Assim, o *software* Google Earth não formulou nenhuma representação esquemática no *layout* da empresa, pois seria necessário a geração de um gráfico por parte do *software* ALOHA, conforme especificações do tópico 4.3.1.

Em sequência, as Figuras 33 e 34 representam os alcances obtidos na simulação, baseadas nas inserções contidas nos APÊNDICES M e N.

Figura 33 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 7

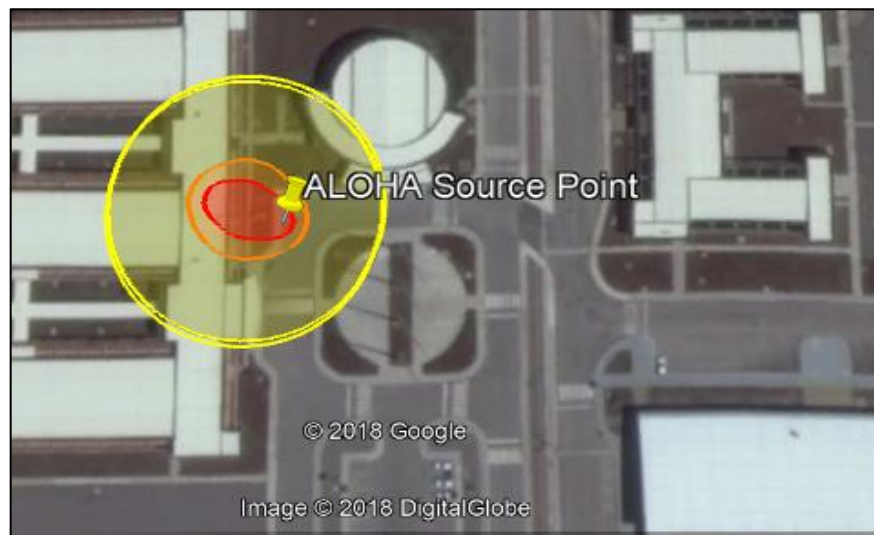


Fonte: Autorial própria (2018)

As 3 zonas de alcance para o sétimo trecho foram:

- Zona vermelha: 18 metros;
- Zona laranja: 21 metros;
- Zona amarela: 38 metros.

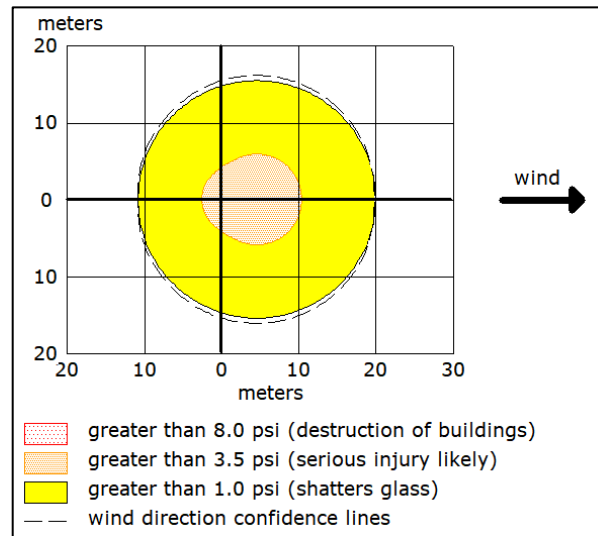
Figura 34 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 7



Fonte: Autorial própria (2018)

Posteriormente, foram estimados os alcances acidentais para o trecho 8 (Figura 35).

Figura 35 - Explosão em nuvem em casos de ruptura ou fissura: trecho 8



Fonte: Autoria própria (2018)

Simulado a partir dos dados de entrada dos APÊNDICES O e P, a Figura 36 representa até onde podem chegar os efeitos de uma explosão do oitavo gasoduto analisado, caso venha a acontecer, baseados em 3 zonas:

- Zona vermelha: Menos que 10 metros;
- Zona laranja: 10 metros;
- Zona amarela: 20 metros.

Figura 36 - Possíveis alcances de uma explosão para rupturas e fissuras: trecho 8



Fonte: Autoria própria (2018)

Assim como o trecho 6, as simulações dos trechos 9 e 10 indicaram que não há possibilidades de ocorrerem explosões, pois nenhuma parte da nuvem estará acima da LEL, gerando resultados idênticos aos da Figura 32. Diante desse aspecto, as características do

gasoduto (APÊNDICES Q e R, para o trecho 9) e (APÊNDICES S e T, para o trecho 10) mostram que o composto que ali se encontra, apresenta segurança para a empresa, para a sociedade e para o meio ambiente, em termos de danificações. Nesse sentido, o Google Earth novamente não gera nenhuma visualização.

Portanto, os trechos 6, 9 e 10 possuem os seguintes valores para as zonas de alcances:

- Zona vermelha: 0;
- Zona laranja: 0;
- Zona amarela: 0.

4.4 EFEITOS POSSÍVEIS DECORRENTES DE RUPTURAS OU FISSURAS

Dentre os efeitos possíveis de fissuras ou rupturas em tubulações de diesel, cita-se: formação de nuvem tóxica, jato de fogo (*jet fire*) incêndio em nuvem (*flash fire*) e explosões de produtos inflamáveis (FLEMING e GARCIA, 2012). Baseando-se nesse princípio, e diante dos gasodutos simulados, construiu-se um quadro que sintetiza os principais alcances das explosões para os 10 trechos analisados, totalizando 20 cenários.

Quadro 9 - Alcances das explosões decorrentes de rupturas e fissuras

EFEITOS POSSÍVEIS E SEUS ALCANCES					
Unidade: Hidrotratamento de Diesel			Analista: Augusto José da Silva Rodrigues		
Trechos analisados: Do 1 ao 10	Temperaturas (°C): Variam de 160 a 359,3. (Observar Tabela 5)	Revisão: 1			
Diâmetro das tubulações: 8 polegadas	Pressões (atm): Variam de 3,9 a 124,55. (Observar Tabela 5)				
CAUSAS PROVÁVEIS	EFEITOS POSSÍVEIS:	DISTÂNCIA DO DANO (METROS):			Cenários:
		Vermelho	Laranja	Amarelo	
Grandes liberações de petróleo - Rupturas em tubulações (100% do diâmetro), em função da corrosão.	Explosão	21	25	44	R-Trecho 1
		0	61	76	R-Trecho 2
		0	73	87	R-Trecho 3
		0	72	85	R-Trecho 4
		0	73	87	R-Trecho 5
		0	0	0	R-Trecho 6
		18	21	38	R-Trecho 7
		< 10	20	20	R-Trecho 8
		0	0	0	R-Trecho 9
		0	0	0	R-Trecho 10
Pequena liberação de petróleo - Fissuras em tubulações (20% do diâmetro), em função da corrosão.	Explosão	21	25	44	F-Trecho 1
		0	62	77	F-Trecho 2
		0	73	87	F-Trecho 3
		0	72	85	F-Trecho 4
		0	73	87	F-Trecho 5
		0	0	0	F-Trecho 6
		18	21	38	F-Trecho 7
		< 10	20	20	F-Trecho 8
		0	0	0	F-Trecho 9
		0	0	0	F-Trecho 10

Fonte: Autoria própria (2018)

Todas as possíveis explosões apresentadas no Quadro 9 foram baseadas em níveis de sobrepressões, que possuem alguns danos de acordo com o nível atingido, conforme Tabela 3. Ressalta-se que, um gasoduto pode estar dentro de mais de um nível e zona de alcance, modificando os resultados dos impactos de acordo com cada um. Os quatro níveis utilizados para simulação, foram:

- **Menor que 1,0 psi (zona amarela):** Essa medida de sobrepressão não é relatada pelo *software* ALOHA, pois o programa identifica como um cenário não crítico, ou seja, é praticamente impossível ocorrer alguma explosão. E, em casos raros de ocorrência, há uma porcentagem de 95% de probabilidade da não ocorrência de danos sérios.

- Todos os 20 cenários analisados contemplam esse nível de sobrepressão e zona.
- **Maior que 1,0 psi e menor que 3,6 psi (zona amarela):** Sobrepressões oriundas dessa zona e medida de sobrepressão causam danos a estruturas de aço e painéis (menos de 1% de danos estruturais), danos parciais em paredes de casas e 1% de ruptura de tímpano das pessoas. Dentre os 20 cenários analisados, apenas 6 cenários não contemplam essa zona: R-Trecho 6, R-Trecho 9, R-Trecho 10, F-Trecho 6, F-Trecho 9 e F-Trecho 10. Os outros 14 cenários possuem um baixo nível de risco para as estruturas, equipamentos, meio ambiente e pessoas, sendo eles:
 - R-Trecho 1, R-Trecho 2, R-Trecho 3, R-Trecho 4, R-Trecho 5, R-Trecho 7, R-Trecho 8, F-Trecho 1, F-Trecho 2, F-Trecho 3, F-Trecho 4, F-Trecho 5, F-Trecho 7 e F-Trecho 8.
- **Maior que 3,5 psi e menor que 8,1 psi (zona laranja):** Quando explosões atingem esses valores, em nível da zona laranja, além de ocorrerem todos os danos da zona amarela, ocorrem também o equivalente a 99% de danos estruturais, destruindo praticamente todos os prédios ou casas que podem estar no meio. Na zona laranja, baseados nas estimativas do ALOHA, estão inclusos os mesmos cenários da zona amarela:
 - R-Trecho 1, R-Trecho 2, R-Trecho 3, R-Trecho 4, R-Trecho 5, R-Trecho 7, R-Trecho 8, F-Trecho 1, F-Trecho 2, F-Trecho 3, F-Trecho 4, F-Trecho 5, F-Trecho 7 e F-Trecho 8.
- **Maior que 8,0 psi (zona vermelha):** Por fim, a zona mais crítica é a vermelha. Áreas inclusas nesses valores de sobrepressões causam todos os efeitos da zona laranja, como também 90% de ruptura do tímpano das pessoas e até 99% de fatalidade por hemorragia pulmonar. Apenas 6 trechos estão inclusos nessa zona e nível de sobrepressão:
 - R-Trecho 1, R-Trecho 7, R-Trecho 8, F-Trecho 1, F-Trecho 7 e F-Trecho 8, que são os resultados das rupturas e fissuras dos gasodutos 1, 7 e 8.

Além dos impactos estruturais e pessoais, em todos os gasodutos irão existir geração de resíduos sólidos (impactando o meio ambiente), como comprovado por Lima (2012) (Quadro 2), tais como: materiais oleosos (borras), materiais oleosos (sólidos), materiais não oleosos, recipientes contaminados, resíduos radioativos, carepas, óleos usados, entulhos de construção/demolição e resíduos de produtos químicos.

4.5 ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCOS (APR)

Em função dos resultados obtidos no Quadro 9 e da pesquisa bibliográfica realizada, foi possível construir a APR para a Unidade de Hidrotratamento de Diesel, que estabelece com mais contextualização as severidades dos gasodutos.

Quadro 10 - Análise preliminar de riscos para os gasodutos de diesel

APR – HTD/DIESEL					
Unidade: Hidrotratamento de Diesel			Analista: Augusto José da Silva Rodrigues		
Trechos analisados: Do 1 ao 10	Temperaturas (°C): Variam de 160 a 359,3. (Observar Tabela 5)	Revisão: 1			
Diâmetro das tubulações: 8 polegadas	Pressões (atm): Variam de 3,9 a 124,55. (Observar Tabela 5)				
CAUSAS PROVÁVEIS	EFEITOS POSSÍVEIS	CATEGORIAS			Cenários
		CF	CS	CR	
Grandes liberações de petróleo - Rupturas em tubulações (100% do diâmetro), em função da corrosão.	Explosão	C	IV	NT	R-Trecho 1
		C	III	M	R-Trecho 2
		C	III	M	R-Trecho 3
		C	III	M	R-Trecho 4
		C	III	M	R-Trecho 5
		D	I	T	R-Trecho 6
		C	IV	NT	R-Trecho 7
		C	IV	NT	R-Trecho 8
		D	I	T	R-Trecho 9
		D	I	T	R-Trecho 10
Pequena liberação de petróleo - Fissuras em tubulações (20% do diâmetro), em função da corrosão.	Explosão	C	IV	NT	F-Trecho 1
		C	III	M	F-Trecho 2
		C	III	M	F-Trecho 3
		C	III	M	F-Trecho 4
		C	III	M	F-Trecho 5
		D	I	T	F-Trecho 6
		C	IV	NT	F-Trecho 7
		C	IV	NT	F-Trecho 8
		D	I	T	F-Trecho 9
		D	I	T	F-Trecho 10

Fonte: Autoria própria (2018)

Definidas as categorias de risco (Quadro 10) e baseando-se nos Quadros 4, 5, 6 e 7, foram identificados e contextualizados:

- **6 cenários, oriundos de 3 trechos, foram classificados na categoria tolerável:** em geral são gasodutos que não causam lesões nas pessoas, causam danos leves aos sistemas sem comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial, não causam danos ao meio ambiente e a imagem da empresa não sofre impacto. Essas

situações são esperadas ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação (em geral possuem frequência entre 1 vez por ano a 1 em 30 anos). Assim, não há necessidade de medidas adicionais. Apenas a monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos;

- **8 cenários, oriundos de 4 trechos, foram classificados na categoria moderado:** esses gasodutos devem causar lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros e lesões leves em pessoas extramuros, além de danos severos a sistemas da instalação industrial (com reparação lenta) e danos severos ao meio ambiente, com efeito localizado, o que causam um impacto regional à imagem da empresa. Podem ocorrer pelo menos uma vez durante a vida útil da instalação (entre 1 em 30 anos a 1 em 10^3 anos). Por isso, necessita-se de controles adicionais com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos implementados àqueles considerados praticáveis (região ALARP ou toleráveis);
- **6 cenários, oriundos de 3 trechos, foram classificados na categoria não tolerável:** esses gasodutos merecem alta atenção, já que provocam mortes ou lesões graves em 1 ou mais pessoas intra ou extramuros, causam perda da instalação industrial, danos severos no meio ambiente e um impacto nacional e/ou internacional. Apesar da gravidade, nesse cenário estudado, ocorrerem em geral apenas uma vez durante a vida útil entre 1 em 30 anos a 1 em 10^3 anos). Nesse sentido, métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de forma a minimizar riscos.

4.6 PRINCÍPIO DE PARETO EM RISCOS PETROQUÍMICOS

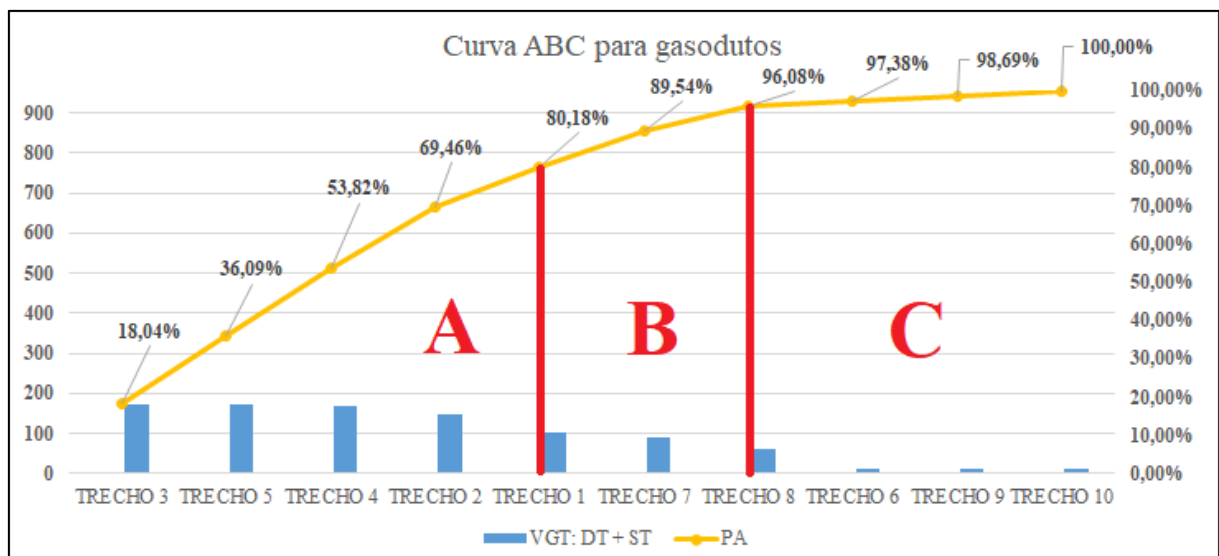
Conforme parâmetros do Quadro 8, aplicou-se o princípio do matemático Pareto, em conjunto com os alcances obtidos no *software* ALOHA, para obter uma classificação dos 10 trechos analisados (Quadro 11).

Quadro 11 - Tubulações que representam maiores perigos

Tubulações que representam mais impacto: Sendo A= 80%, B=15% e C=5%												
TRECHO	DV	DL	DA	DT	SV	SL	SA	ST	VGT: DT + ST	Percentual	PA	Classificação
3	0	73	87	160	1	3,5	8	12,5	172,5	18,04%	18,04%	A
5	0	73	87	160	1	3,5	8	12,5	172,5	18,04%	36,09%	A
4	0	72	85	157	1	3,5	8	12,5	169,5	17,73%	53,82%	A
2	0	61	76	137	1	3,5	8	12,5	149,5	15,64%	69,46%	A
1	21	25	44	90	1	3,5	8	12,5	102,5	10,72%	80,18%	A
7	18	21	38	77	1	3,5	8	12,5	89,5	9,36%	89,54%	B
8	10	20	20	50	1	3,5	8	12,5	62,5	6,54%	96,08%	B
6	0	0	0	0	1	3,5	8	12,5	12,5	1,31%	97,38%	C
9	0	0	0	0	1	3,5	8	12,5	12,5	1,31%	98,69%	C
10	0	0	0	0	1	3,5	8	12,5	12,5	1,31%	100,00%	C
TOTAL									956	1		

Fonte: Autoria própria (2018)

Em consonância, foi desenvolvido a Curva ABC (Figura 37), que ilustra com mais nitidez a classificação em que cada gasoduto está inserido.

Figura 37 - Curva ABC para gasodutos

Fonte: Autoria própria (2018)

Nesse aspecto, percebeu-se que as tubulações que são responsáveis por aproximadamente 80% dos maiores riscos, em caso de explosões, são aquelas nomeadas por: trecho 3, trecho 5, trecho 4, trecho 2 e trecho 1. Viu-se, também, que nem sempre as proporções estabelecidas no princípio de Pareto são mantidas, porém, a aplicação teórica e prática mostram resultados semelhantes, que contribuem para o estudo.

Frisa-se que, as tubulações que processam o petróleo que vem do Campo de Carabobo, na Venezuela, são as mesmas que foram classificadas como as mais críticas. Assim, torna-se viável que as medidas mitigadoras de manutenção sejam priorizadas nesses gasodutos.

5 MEDIDAS MITIGADORAS

Recomenda-se que as empresas petroquímicas façam uso do *software* ALOHA com o intuito de reduzirem frequências de acidentes indesejáveis. Além disso, conseguindo reduzir riscos com a aplicação desse programa computacional, é possível eliminar indenizações que poderiam surgir, advindas de acidentes sociais e ambientais.

Sugere-se ainda que refinarias de petróleo deem prioridade a segurança, incentivando o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), Equipamento de Proteção Coletiva (EPC's), bem como realizando treinamentos de *softwares* específicos para análises de riscos, bem como técnicas eficazes, à exemplo da Tabela 2.

Paralelo, é louvável que indústrias desse porte elaborem planos de emergências para evacuação das pessoas no entorno, que possam ser afetadas por explosões, além de adotarem políticas de esclarecimento sobre os riscos e ações emergenciais para a sociedade residente nas proximidades. Métodos como esses possuem baixos valores de investimentos e ajudam a reduzir e/ou prevenir mortes.

Por fim, toda empresa necessita melhorar processos e projetos internos (através de planos de ações concretas, aliados ao digrama de Ishikawa) baseados em fatos observados, acidentes e incidentes catastróficos, o que facilitará a detecção de possíveis problemas que venham a ocorrer (como explosões), otimizando gastos e mantendo uma boa imagem da organização.

6 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que sejam realizadas mais simulações qualitativas e quantitativas com o *software* ALOHA, bem como com os *softwares* RISKCURVES e EFFECTS, ambos da TNO, recomendados para profissionais de segurança, que podem calcular e analisar os efeitos de múltiplos cenários e desenvolver os protocolos de prevenção ou contenção adequados.

Em sequência, propõe-se que sejam estimados riscos através da curva FN (frequência acumulada *versus* número de vítimas fatais). O número de fatalidades poderá ser determinado a partir de equações Probit, baseando-se nos dados de frequência da TNO. Para isso, recomenda-se utilizar os “*Coloured Books*” da TNO, livros usados em todo o mundo como valioso material de referência padrão em estudos de segurança, compostos por várias funções Probit.

Em outro momento, pode-se utilizar da técnica de PROMETHEE II para determinar os tempos de inspeção (alternativas), de um único componente (mais crítico) dos gasodutos petroquímicos, com um único modo de falha. Fazendo isso, será mais fácil de avaliar critérios de custo e disponibilidade de equipamento através do método *delay time*.

Para problemáticas de escolha e de ordenação, segundos Santos (2015), a aplicação do método PROMETHEE II, em conjunto como *delay time*, torna-se relevante para determinar os melhores tempos de inspeção através do uso do fluxo líquido, focando na redução de custos e disponibilidade dos equipamentos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho concluiu seu objetivo geral que era realizar uma simulação dos danos de explosões, em decorrência de vazamentos acidentais de diesel, em alguns trechos de gasodutos da Refinaria Abreu e Lima (RNEST), utilizando o *software* ALOHA, trazendo resultados específicos como: a caracterização da empresa, o manual da aplicação dos *softwares*, aplicar uma APR, estimar consequências e frequências, diagnosticar as tubulações mais críticas, através de uma adaptação do Princípio de Pareto para gasodutos de diesel e propor medidas preventivas mitigadoras.

Vale ressaltar que, o estudo permitiu, a partir do desenvolvimento de um manual, que os leitores possam utilizar os *softwares* para outras análises de risco, sem que haja dúvidas quanto as suas funcionalidades. Dessa maneira, docentes poderão otimizar aulas e obter mais disponibilidades de tempos em suas disciplinas, pois não necessitarão detalhar passo a passo como funcionam os programas computacionais.

Por conseguinte, as estimativas de alcances permitiram identificar os cenários que estão nas zonas amarelas (baixa criticidade), laranjas (médias criticidades) e vermelhas (altas criticidades), além de detalhar, com auxílio da bibliografia, as consequências das sobrepressões, que incidem diretamente em pessoas, estruturas e equipamento, meio ambiente e na imagem da empresa.

Ademais, foram estabelecidas as categorias de risco para todos os cenários simulados, o que permite identificar tanto os gasodutos que não necessitam de medidas adicionais, além de monitoração, como também aqueles que carecem de métodos alternativos para reduzirem a probabilidade de ocorrência, trazendo os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões toleráveis ou ALARP).

Em vista disso, foram determinados os trechos das tubulações que são mais críticos. É importante ressaltar o fato de que na Análise Preliminar de Riscos, os trechos que foram classificados como não toleráveis foram três: trecho 1, 7 e 8. Já na Curva ABC para gasodutos, destacaram-se os trechos 1, 2, 3, 4 e 5. Todavia, na APR as tubulações foram analisadas em duplos cenários (20% e 100% dos diâmetros), enquanto na Curva ABC houve uma generalização, analisando as condições das tubulações para um cenário único (100% dos diâmetros). Semelhantemente, são métodos que instigam o profissional a priorizar manutenções em tubulações mais perigosas.

Destarte, é notável a importância de mensurar os riscos, pois segundo Royer (2000), não é possível ter dinheiro, tempo ou recursos para tratar todos os riscos envolvidos em um

projeto, sendo, portanto, necessário verificar as prioridades dos riscos, de acordo com as classificações quantificadas.

Por fim, foram sugeridas medidas preventivas mitigadoras, que auxiliarão as empresas a reduzir possíveis explosões ou outros cenários que venham a ocorrer, e em sequência foram feitas propostas para trabalhos futuros, que incentivam e fomentam estudos relacionados com análises de riscos em refinarias de petróleo, dando ênfase a duas temáticas: manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e decisões multicritério.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Rebeca Tibau. **Caracterização física, química e microbiológica do diesel, biodiesel e suas misturas durante a logística de distribuição**. 2013. 76f. Mestrado em Engenharia de Química – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2013. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/7084/1/Arquivototal.pdf>>. Acesso em 30 de jan. 2018.
- ANP - Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis. Resolução 65. Brasília: ANP, 2011.
- ANP. **Resolução nº 65, 09/12/2011**. Brasil: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2011.
- ARAÚJO, P. J. G. **Avaliação da resposta estrutural de anteparas corrugadas sujeitas a carregamento de explosão**. 2011. 145f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- BALDIN, Marcella Garcia. **Análise preliminar de perigo de incêndios em armazém de açúcar VHP para exportação**. 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.
- BARBOZA, D V.; TEIXEIRA, M. A.; LIMA, G. B. A. Análise de riscos de um posto de combustíveis em Itaipuaçu utilizando a técnica HazOp. **R. Gest. Industr.**, Ponta Grossa, v. 13, n. 2, p. 126-145, jun./ago. 2017. Disponível em: <<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/5367/4517>>. Acesso em: 04 de fev. 2018.
- BONCZ, Marc Árpád; MACENTE, Douglas Fernando Carlos; SKOWRONSKI, Josué. Análise preliminar de riscos sobre o gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde de uma instituição de ensino em Mato Grosso do Sul: estudo de caso. **Rev. bras. Saúde ocup**, v. 35, n. 122, p. 340-352, 2010.
- CAETANO, Lucas Pereira. **Mapeamento e Projeção do Consumo de Óleo Diesel no Brasil**. 2013. 67 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia de Produção – Escola Politécnica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10009174.pdf>>. Acesso em: 30 de jan. 2017.
- CALIXTO, E. **Uma metodologia para gerenciamento de risco em empreendimentos: um estudo de caso na Indústria de petróleo**. In Anais do XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção – XXVI ENEGEP, Fortaleza, 2006.
- CALIXTO, Eduardo; SCHIMITT, William. Análise Ram do Projeto Cenpes II. **ESREL, Estoril**, 2006.
- CANEPPELE, Guilherme Buhl. **Sistema de custos e análise de preços para uma indústria de confecções**. 2012. 112 f. Trabalho de Conclusão de Curso – UNIJUI, Três Passos, Rio Grande do Sul, 2012.
- CARVALHO, Christian Diniz. **Sensor capacitivo para determinação da concentração de biodiesel na mistura diesel/biodiesel**. 2016. 80f. Tese de Doutorado - Universidade Federal

do Maranhão, São Luís, MA, 2016. Disponível em: <<https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/1407/2/ChristianCarvalho.pdf>>. Acesso em: 01 de fev. 2018.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual P4.261 de orientação para elaboração de estudos de análise de riscos**. São Paulo, maio, 2003.

CUNHA, Carlos Eduardo Soares Canejo Pinheiro da. **Gestão de resíduos perigosos em refinarias de petróleo**. 2009. 148f. Dissertação de mestrado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2009. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2009/carloseduardoSCanejodacunhaPEA_MB_2009.pdf>. Acesso em: 01 de fev. 2018.

DE SOUZA, K. S. F., DA SILVA RODRIGUES, A. J., DE BRITO ROCHA, M. F., DA SILVA SALES, R. O., & DE FARIAS, D. O. Análise quantitativa e qualitativa dos riscos de uma refinaria de petróleo. **Revista Gestão Industrial**, v. 13, n. 2, 2017.

DUARTE, Heitor de Oliveira; DROGUETT, Enrique Andrés López. Análise Quantitativa de Risco de uma unidade de recuperação de enxofre em uma refinaria de petróleo. **Revista GEPROS**, n. 2, p. 23, 2012.

EIA/RIMA. **Estudo e Relatório de Impacto Ambiental do Empreendimento "REFINARIA DO NORDESTE - RNEST"**. v.8, 2006.

FAHIM, Mohammed A.; AL-SAHHAF, Taher A.; ELKILANI, Amal S. **Introdução ao refino de petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2012.

FARIAS, Daniel Oliveira de. **Avaliação quantitativa de risco de uma refinaria de petróleo**. 2010. 109f. Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2010. Disponível em: <<http://www.ppgep.org.br/dissertacoes/MA-0213.pdf>>. Acesso em: 28 de nov. 2017.

FELETTI, Fábio Pereira. **Técnicas para aumento de disponibilidade de Conversores de Frequência de Média Tensão Topologia CHBI no acionamento de BCSS**. 2017. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

FERNANDES, M. E.; NAMBA, C. E. Y.; GOZZI, M. P. Estudo de prevenção de acidentes por explosões verticais para abastecimento de cereais. In: XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** 2011.

FERREIRA, S. L.; DOS SANTOS, A. M.; DE SOUZA, G. R.; POLITO, W. L.; MODOLO, D. L. Análise por cromatografia gasosa de BTEX nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). **Química Nova**, v. 31, n. 3, p. 539-545, 2008.

FLEMING, Paulo Victor; GARCIA, C. De B. **Avaliação de riscos industriais e ambientais com a análise preliminar de perigos (APP) e lógica**. Fuzzy. UNIFACS. PRINCIPIA. Salvador - BA, 2012. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1999_a0521.pdf>. Acesso em: 30 de nov. 2017.

FONTOLAN, Eder; GALAN, Crislaine Rodrigues; OLIVEIRA, Eduardo Alves de; CASTILHO, Ana Carolina Britto. **APLICAÇÃO DE FMEA PARA ANÁLISE DE RISCOS E OPORTUNIDADES NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE COSMÉTICOS. REVISTA UNINGÁ REVIEW**, v. 32, n. 1, p. 114-124, 2017.

FRANÇA, Sergio Luiz Braga; TOZE, Marco Antônio. A gestão de pessoas como contribuição à implantação da gestão de riscos: o caso da indústria da construção civil. **Revista Produção Online**, v. VIII, n. IV, 2008.

FREITAS, Carlos Machado de; PORTO, Marcelo Firpo. **Saúde, ambiente e sustentabilidade**. SciELO-Editora FIOCRUZ, 2006.

FUCCIA, I. R.; MATSUFUGI, M. T.; MARTINS, M. C.; SFORSIN, A. C. P.; PINTO, V. B. Estudo de viabilização e proposta de implantação de sistema kanban em uma central de atendimento por dose individualizada. **Revista de Administração em Saúde**, v. 17, n. 67, 2017.

GARCES, S. B. B. **Classificação e Tipos de Pesquisas**. Universidade de Cruz Alta – Unicruz: 2010. Disponível em: <<http://www.redepoc.com/jovensinovadores/ClassificacaoeTiposdePesquisas.doc>>. Acesso em: 06 de fev. 2018.

GEOGRAFIA ATUAL. **Orientação no Espaço Geográfico e Coordenadas Geográficas**. 2015. Disponível em: <<http://liramirian10.blogspot.com.br/2015/06/orientacao-no-espaco-geografico-e.html>>. Acesso em: 14 de fev. 2018.

GURGEL, A. M. Framework dos cenários de risco no contexto da implantação de uma refinaria de petróleo em Pernambuco. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.14, n. 6, p. 2027-2038, dez. 2009.

HAUGHEY, Duncan. **Pareto analysis step by step**. ProjectSmart. co. uk, 2010. Disponível em: <<https://www.projectsmart.co.uk/pareto-analysis-step-by-step.php>>. Acesso em: 05 de fev. 2018.

JUNIOR, E. J. P. M.; GUTRIM, S. S. Análise de risco aplicada à segurança do trabalho na indústria de petróleo e gás. In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** 2013. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_180_028_22911.pdf>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

KRAUSE, Bruno Barufi. **Simulação da desativação de catalisadores NIMO/AL₂O₃ em uma unidade industrial de hidrotreatamento**. 2011. 162 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2011.

LIMA, Regineide de Oliveira. **Pirólise térmica e catalítica de resíduos de vácuo gerados no refino de petróleo**. 2012. 127 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2012. Disponível em: <http://www.nupeg.ufrn.br/documentos_finais/dissertacoes_de_mestrado/dissertacoes/regineide.pdf>. Acesso em: 21 de jan. 2018.

LOPRETE, D.; PARINOS, L.; PACHECO, L. F.; PEREIRA, L. H. B.; VENDRAME, F. Gestão de Estoque e a Importância da Curva ABC. In: ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO. **Anais...** 2009. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/encontro2009/trabalho/aceitos/CC35509178809.pdf>>.

Acesso em: 05 de fev. 2018.

MARIANO, Jacqueline Barboza. **Impactos ambientais do refino de petróleo.** 2001. 298 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2001. Disponível em: <<http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/jbmariano.pdf>>. Acesso em 28 de nov. 2017.

MARTINS, Marcelo Ramos; NATACCI, Faustina Beatriz. **Metodologia para análise preliminar de riscos de um navio de transporte de gás natural comprimido.** In: Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transporte Marítimo e Engenharia Portuária, p. 1-15, 2009.

MARTINS, S. S. S.; DE AZEVEDO, M. O.; DA SILVA, M. P.; DA SILVA, V. P. Produção de petróleo e impactos ambientais: algumas considerações. **HOLOS**, v. 6, 2015.

MATIAS JR., R. **Análise quantitativa de risco baseada no método de Monte Carlo: abordagem PMBOK.** In: I Congresso Brasileiro de Gerenciamento de Projetos–Florianópolis. 2006. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Rivalino_Matias_Jr/publication/228773958_Analise_Quantitativa_de_Risco_Baseada_no_Mtodo_de_Monte_Carlo_Abordagem_PMBOK/links/0fcfd50756856560fa000000.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2017.

MATOS, Renata Pinto da Silva. **DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA A ESTIMATIVA DA MÁXIMA SOBREPRESSÃO GERADA EM UMA EXPLOSÃO DE GÁS.** 2014. 191f. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, São Paulo, 2014.

MATTOS, D. L. A.; CAMPOS, I. M. **Riscos da instabilidade do poço durante a perfuração offshore.** 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.uff.br/jspui/bitstream/1/5475/1/Diogo%20Louro%20e%20Igor%20Madureira.pdf>>. Acesso em: 04 de fev. 2018.

MEIRELLES, Carmen Lúcia de Almeida; GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. O apoio multicritério à decisão como instrumento de gestão do conhecimento: uma aplicação à indústria de refino de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 2, p. 451-470, 2009.

MOREIRA, Juliana Fisher Marques. **Acidentes na indústria de petróleo e seus impactos na segurança operacional e preservação ambiental.** 2017. 99f. Monografia (Graduação em Engenharia de Petróleo). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.uff.br/jspui/handle/1/4134>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

MOUTINHO, L. M. G.; ESTADUAL, C.; CAMPOS, L. H. R.; DE ARRUDA RAPOSO, I. P.; DE SOUZA LEÃO, É. L. **Impactos dos grandes projetos federais na economia de Pernambuco e proposições de políticas.** Análise do mapeamento e das políticas para Arranjos Produtivos Locais no Norte, Nordeste e Mato Grosso e dos impactos dos grandes projetos federais no Nordeste, p. 163-182, 2011.

NEPOMUCENO FILHO, F. AND SUSLICK, S. B. Alocação de recursos financeiros em projetos de risco na exploração de petróleo. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 76-87, 2000.

NUNES, Tamires da Mata; BARBOSA, Renato Vieira. Gerenciamento de riscos em projetos: aplicação prática em um projeto da construção civil. **Revista Petra**, v. 2, n. 2, 2016.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. A. R. **Geoprocessamento como ferramenta de análise integrada de riscos de acidentes industriais**. 2008. 119 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/D.6.2008.tde-10102008-103054>>. Acesso em: 13 nov. 2017.

OLIVEIRA, Matheus Silva de; SILVA, Devanildo Braz da. Aplicação da Curva ABC para Definição dos Itens de Maior Relevância na Composição da Receita de Vendas em uma Empresa do Segmento de Reciclagem de Materiais em Campo Grande/MS. **ANAIS-ENCONTRO CIENTÍFICO DE ADMINISTRAÇÃO, ECONOMIA E CONTABILIDADE**, v. 1, n. 1, 2018.

PEDRA, F. L.; SILVA, F. H.; SOARES, M. S.; RESENDE, M. C. F. Análise preliminar de riscos de acidentes na indústria de panificação: estudo de caso em uma padaria de Esmeraldas-MG. **Sinapse Múltipla**, v. 5, n. 2, p. 88, 2016.

PEDROSO, L. H. T. R. **Uma sistemática para a identificação, análise qualitativa e análise quantitativa dos riscos em projetos**. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado em engenharia naval e oceânica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PEREIRA, Antonio Fernando de A. Navarro; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. **Os acidentes industriais e suas conseqüências**. In: 4th International Conference On Industrial Engineering and Industrial Management. 2010. p. 652-661.

PETROBRAS. **N-2782: Técnicas Aplicáveis à Análise de Riscos Industriais**. 2008.

_____. **Refinaria Abreu e Lima inicia operação da Unidade de Hidrotratamento de Diesel**. 2015, Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/refinaria-abreu-e-lima-inicia-operacao-da-unidade-de-hidrotratamento-de-diesel.htm>>. Acesso em 08 de fev. 2018.

_____. **Refinaria Abreu e Lima**. 2018. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/refinaria-abreu-e-lima.htm>>. Acesso em: 07 de fev. 2018.

_____. **Refino de Petróleo e Gás**. 2015. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>>. Acesso em: 28 de nov. 2017.

PMI – Project Management Institute, Inc. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (guia PMBOK)**. 5ed. São Paulo: Saraiva, P. 589, 2014.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza; FREITAS, Carlos Machado de. Análise de riscos tecnológicos ambientais: perspectivas para o campo da saúde do trabalhador. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 13, p. S59-S72, 1997.

RAMOS, A. P.; FREIRE, D. C.; VILLAR, S. B. B. L.; CHAVES, C. V. L.; ALVES, J. J. N.; TAVARES NETO, J. I. H. O Uso da Modelagem para Predizer a Dispersão de Nuvens Poluentes na Atmosfera. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 9006-9012, 2015.

REGO, M. A. M. Metodologia qualitativa de avaliação de riscos operacionais de segurança, meio ambiente e saúde ocupacional: uma contribuição ao gerenciamento de riscos das organizações. In: III SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. **Anais...** Rio de Janeiro: AEDB, 2006. Disponível em: <http://www.economia.aedb.br/seget/artigos06/374_Artigo-%20III%20SEGET%20.pdf>. Acesso em: 22 de jan. 2018.

ROCHA Jr, Edson; COSTA, Maria Carolina Maggiotti; GODINI, Maria Dorotéa. Acidentes ampliados à luz da “Diretiva Seveso” e da convenção Nº 174 da Organização Internacional do Trabalho–OIT. **InterfaceEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, 2013.

ROYER, P. S. Risk management: The undiscovered dimension of project management. **Project Management Journal**, v. 31, n. 1, p. 6-13, 2000.

RUPPENTHAL, J. E. **Gerenciamento de Riscos**. Colégio Técnico Industrial da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2013. Disponível em: <<http://canal.unigranrio.com.br/enade2016/gestao-ambiental/biblioteca/gestao-de-produtos-perigosos-e-analise-de-risco.pdf>>. Acesso em: 03 de fev. 2018.

SALVIANO, F. K.; SOUZA NETO, A. M. DE. **Análise das divergências entre o projeto executivo e o realizado em campo de uma unidade de geração de energia de uma refinaria**. In: Anais do XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - João Pessoa – PB, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_226_320_28794.pdf>. Acesso em: 07 de fev. 2018.

SANTOS, A. C. Q. **Abordagem multicritério para classificação de equipamentos críticos e determinação de tempos de inspeções para manutenção**. 2017. 114 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/13838>>. Acesso em: 14 de fev. 2018.

SANTOS, L. C. B.; ALMEIDA, C.; FARIAS, J. L.; FRANCISCO, C. S. G.; DOS SANTOS, B. M. C. Risco da Fauna na Aviação Brasileira: Aplicação da Análise de Correspondência para análise da relação entre Fase de Voo e Tipo de Reporte. **Revista Conexão SIPAER**, v. 8, n. 3, p. 58-65, 2017.

SCOTON, Filipe Montefusco. **Power Laws na modelagem de caches de microprocessadores**. 2011. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2011. <doi:10.11606/D.3.2011.tde-31082011-163312>. Acesso em: 05 de fev. 2018.

SIQUEIRA, I. Patriota de. **Manutenção centrada na confiabilidade**. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2012.

SOUZA, André Luiz Loureiro Peyneau de. **Estudo qualitativo de riscos aplicado a empreendimentos terrestres de óleo e gás em áreas remotas**. 2016. 87 f. Trabalho (Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Química e de Petróleo – Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2016.

TERENCE, A. C. F.; ESCRIVÃO FILHO, E. Abordagem quantitativa, qualitativa e a utilização da pesquisa-ação nos estudos organizacionais. In: XXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP2006_TR540368_8017.PDF>. Acesso em: 06 de fev. 2018.

TNO - **The Netherlands Organization of Applied Scientific Research**. Guidelines for Quantitative Risk Assessment - Guideline for Quantitative Risk Assessment "Purple Book". 3ª ed. The Hague, 2005.

UGAYA, Cássia Maria Lie; HENSCHER, Jefferson. **Metodologia para identificação de aspectos ambientais significativos nos processos de refino de petróleo**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Florianópolis, 2004. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enesep2004_enesep1002_1457.pdf>. Acesso em 27 de nov. 2017.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.

VERITAS, Det Norske. **Módulo 5: Modelos de Avaliação de Consequência de Acidentes (vazamentos, incêndios, explosões, contaminação ambiental)**. Curso sobre estudo de análise de riscos e programa de gerenciamento de riscos. 2006. Disponível em: <http://srvrev1.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/_7.pdf>. Acesso em: 29 de nov. 2017.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Penso Editora, 2016.

ZAMBONI, L. G.; QUARESMA, T. L. S. “**Cálculo dos alcances dos efeitos físicos danosos decorrentes do fluxo de radiação térmica emitido por um incêndio em jato devido a um vazamento de gás natural em um gasoduto**”. 2017. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2017.

ZIMMERMANN, A. T. **Análise de riscos de um vazamento de gás natural em um gasoduto**. 2009. 120f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92259/262421.pdf>>. Acesso em: 27 de nov. 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados de entrada e saída do trecho 1: ruptura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 50.3 sq in**
 Pipe Press: 124.55 atmospheres Pipe Temperature: 250.3° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 129 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 7.71 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 Red : 21 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 25 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 44 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE B – Dados de entrada e saída do trecho 1: fissura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 10.06 sq in
 Pipe Press: 124.55 atmospheres Pipe Temperature: 250.3° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 129 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 7.71 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 Red : 21 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 25 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 44 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE C – Dados de entrada e saída do trecho 2: ruptura

```

Text Summary
SITE DATA:
  Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.01 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018 1019 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5           Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm      PAC-2: 73 ppm      PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm      UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.2° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,786 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                 Stability Class: C
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches                 Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth                 Hole Area: 50.3 sq in
  Pipe Press: 122.75 atmospheres         Pipe Temperature: 359.3° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 7.4 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 444 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Heavy Gas
  Red   : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 61 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 76 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE D – Dados de entrada e saída do trecho 2: fissura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.01 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1019 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.2° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,786 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: C
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 10.06 sq in
 Pipe Press: 122.75 atmospheres Pipe Temperature: 359.3° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 7.4 kilograms/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 444 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Heavy Gas
 Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 62 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 77 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE E – Dados de entrada e saída do trecho 3: ruptura

SITE DATA:	
Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL	
Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)	
Time: February 14, 2018 0108 hours ST (using computer's clock)	
CHEMICAL DATA:	
Chemical Name: N-DECANE	
CAS Number: 124-18-5	Molecular Weight: 142.28 g/mol
PAC-1: 6.6 ppm	PAC-2: 73 ppm
LEL: 7500 ppm	UEL: 54000 ppm
Ambient Boiling Point: 174.1° C	
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm	
Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%	
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)	
Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters	
Ground Roughness: urban or forest	Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C	Stability Class: D
No Inversion Height	Relative Humidity: 5%
SOURCE STRENGTH:	
Flammable gas escaping from pipe (not burning)	
Pipe Diameter: 8 inches	Pipe Length: 41 meters
Unbroken end of the pipe is closed off	
Pipe Roughness: smooth	Hole Area: 50.3 sq in
Pipe Press: 121.25 atmospheres	Pipe Temperature: 359.3° C
Release Duration: 1 minute	
Max Average Sustained Release Rate: 7.31 kilograms/sec (averaged over a minute or more)	
Total Amount Released: 438 kilograms	
THREAT ZONE:	
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion	
Type of Ignition: ignited by spark or flame	
Level of Congestion: congested	
Model Run: Heavy Gas	
Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)	
Orange: 73 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)	
Yellow: 87 meters --- (1.0 psi = shatters glass)	

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE F – Dados de entrada e saída do trecho 3: fissura

```

SITE DATA:
  Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018  0108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5           Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm      PAC-2: 73 ppm      PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm      UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                 Stability Class: D
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches                 Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth                 Hole Area: 10.06 sq in
  Pipe Press: 121.25 atmospheres         Pipe Temperature: 359.3° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 7.31 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 438 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Heavy Gas
  Red   : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 73 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 87 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE G – Dados de entrada e saída do trecho 4: ruptura

```

Text Summary
SITE DATA:
  Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018  0108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5           Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm      PAC-2: 73 ppm      PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm      UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                 Stability Class: D
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches      Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth      Hole Area: 50.3 sq in
  Pipe Press: 119.15 atmospheres      Pipe Temperature: 359.3° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 7.18 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 431 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Heavy Gas
  Red   : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 72 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 85 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE H – Dados de entrada e saída do trecho 4: fissuras

```

Text Summary
SITE DATA:
  Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018 0108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5
  Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm      PAC-2: 73 ppm      PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm      UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                  Stability Class: D
  No Inversion Height                     Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches      Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth      Hole Area: 10.06 sq in
  Pipe Press: 119.15 atmospheres      Pipe Temperature: 359.3° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 7.18 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 431 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Heavy Gas
  Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 72 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 85 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE I – Dados de entrada e saída do trecho 5: ruptura

```

Text Summary
SITE DATA:
  Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018 0108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5           Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm      PAC-2: 73 ppm      PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm      UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest      Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                 Stability Class: D
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches                 Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth                 Hole Area: 50.3 sq in
  Pipe Press: 118.3 atmospheres          Pipe Temperature: 356° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 7.16 kilograms/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 430 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Heavy Gas
  Red   : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
  Orange: 73 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 87 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE J – Dados de entrada e saída do trecho 5: fissura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: RNEST, IPOJUCA - PE, BRASIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 0108 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 10.06 sq in**
 Pipe Press: 118.3 atmospheres Pipe Temperature: 356° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 7.16 kilograms/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 430 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Heavy Gas
 Red : LOC was never exceeded --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 73 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 87 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE K – Dados de entrada e saída do trecho 6: ruptura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 50.3 sq in
 Pipe Press: 9.35 atmospheres Pipe Temperature: 244.3° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 8.79 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 527 grams

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE L – Dados de entrada e saída do trecho 6: fissura

Text Summary

SITE DATA:
Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: N-DECANE
CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
Ambient Boiling Point: 174.1° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 10.06 sq in**
Pipe Press: 9.35 atmospheres Pipe Temperature: 244.3° C
Release Duration: 1 minute
Max Average Sustained Release Rate: 8.79 grams/sec
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 527 grams

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
Type of Ignition: ignited by spark or flame
Level of Congestion: congested
Model Run: Gaussian
No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE M – Dados de entrada e saída do trecho 7: ruptura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 50.3 sq in
 Pipe Press: 80.85 atmospheres Pipe Temperature: 180° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 95.9 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 5.76 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 Red : 18 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 21 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 38 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE N – Dados de entrada e saída do trecho 7: fissura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth Hole Area: 10.06 sq in
 Pipe Press: 80.85 atmospheres Pipe Temperature: 180° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 95.9 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 5.76 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 Red : 18 meters --- (8.0 psi = destruction of buildings)
 Orange: 21 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
 Yellow: 38 meters --- (1.0 psi = shatters glass)

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE O – Dados de entrada e saída do trecho 8: ruptura

```

Text Summary
SITE DATA:
  Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5          Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm          PAC-2: 73 ppm          PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm          UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest          Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C          Stability Class: D
  No Inversion Height          Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches          Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth          Hole Area: 50.3 sq in
  Pipe Press: 26.5 atmospheres          Pipe Temperature: 250° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 26.5 grams/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 1.59 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Gaussian
  Red : less than 10 meters(10.9 yards) --- (8.0 psi = destruction of building)
  Orange: 10 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 20 meters --- (1.0 psi = shatters glass)
  
```

Fonte: Aatoria própria (2018)

APÊNDICE P – Dados de entrada e saída do trecho 8: fissura

```
Text Summary
SITE DATA:
  Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
  Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
  Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-DECANE
  CAS Number: 124-18-5
  Molecular Weight: 142.28 g/mol
  PAC-1: 6.6 ppm    PAC-2: 73 ppm    PAC-3: 440 ppm
  LEL: 7500 ppm    UEL: 54000 ppm
  Ambient Boiling Point: 174.1° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest    Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 25° C                Stability Class: D
  No Inversion Height                    Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
  Flammable gas escaping from pipe (not burning)
  Pipe Diameter: 8 inches                Pipe Length: 41 meters
  Unbroken end of the pipe is closed off
  Pipe Roughness: smooth                Hole Area: 10.06 sq in
  Pipe Press: 26.5 atmospheres          Pipe Temperature: 250° C
  Release Duration: 1 minute
  Max Average Sustained Release Rate: 26.5 grams/sec
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 1.59 kilograms

THREAT ZONE:
  Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
  Type of Ignition: ignited by spark or flame
  Level of Congestion: congested
  Model Run: Gaussian
  Red : less than 10 meters(10.9 yards) --- (8.0 psi = destruction of building
  Orange: 10 meters --- (3.5 psi = serious injury likely)
  Yellow: 20 meters --- (1.0 psi = shatters glass)
```

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE Q – Dados de entrada e saída do trecho 9: ruptura

Text Summary

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 50.3 sq in**
 Pipe Press: 20.35 atmospheres Pipe Temperature: 239.5° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 20.5 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 1.23 kilograms

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE R – Dados de entrada e saída do trecho 9: fissura

Text Summary

SITE DATA:
Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
Time: February 14, 2018 1231 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: N-DECANE
CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
Ambient Boiling Point: 174.1° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%


ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
Air Temperature: 25° C Stability Class: D
No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
Flammable gas escaping from pipe (not burning)
Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
Unbroken end of the pipe is closed off
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 10.06 sq in
Pipe Press: 20.35 atmospheres Pipe Temperature: 239.5° C
Release Duration: 1 minute
Max Average Sustained Release Rate: 20.5 grams/sec
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 1.23 kilograms

THREAT ZONE:
Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
Type of Ignition: ignited by spark or flame
Level of Congestion: congested
Model Run: Gaussian
No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autoria própria (2018)

APÊNDICE S – Dados de entrada e saída do trecho 10: ruptura

 ALOHA 5.4.6 - [Text Summary]

File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1707 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%


ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 50.3 sq in**
 Pipe Press: 3.9 atmospheres Pipe Temperature: 160° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 3.65 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 219 grams

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Aatoria própria (2018)

APÊNDICE T – Dados de entrada e saída do trecho 10: fissura

 ALOHA 5.4.6 - [Text Summary]

File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

SITE DATA:
 Location: REFINARIA ABREU E LIMA, BRAZIL
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.00 (unsheltered single storied)
 Time: February 14, 2018 1707 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: N-DECANE
 CAS Number: 124-18-5 Molecular Weight: 142.28 g/mol
 PAC-1: 6.6 ppm PAC-2: 73 ppm PAC-3: 440 ppm
 LEL: 7500 ppm UEL: 54000 ppm
 Ambient Boiling Point: 174.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.0018 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,793 ppm or 0.18%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from ESE at 3 meters
 Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 0 tenths
 Air Temperature: 25° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 5%

SOURCE STRENGTH:
 Flammable gas escaping from pipe (not burning)
 Pipe Diameter: 8 inches Pipe Length: 41 meters
 Unbroken end of the pipe is closed off
 Pipe Roughness: smooth **Hole Area: 10.06 sq in**
 Pipe Press: 3.9 atmospheres Pipe Temperature: 160° C
 Release Duration: 1 minute
 Max Average Sustained Release Rate: 3.65 grams/sec
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 219 grams

THREAT ZONE:
 Threat Modeled: Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion
 Type of Ignition: ignited by spark or flame
 Level of Congestion: congested
 Model Run: Gaussian
 No explosion: no part of the cloud is above the LEL at any time

Fonte: Autorial própria (2018)