

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
ESCOLA DE QUÍMICA

Larissa Nátali Menezes Costa



UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALOHA[®] PARA O
ESTUDO DE CENÁRIOS DE VAZAMENTOS QUÍ-
MICOS EM UMA UNIDADE DE COQUEAMENTO
RETARDADO

RIO DE JANEIRO

2023

Larissa Nátali Menezes Costa

UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALOHA[®] PARA O ESTUDO DE CENÁRIOS DE VAZAMENTOS QUÍMICOS EM UMA UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Orientadora: Kese Pontes Freitas Alberton

Rio de Janeiro

2023

CIP - Catalogação na Publicação

M543u Menezes Costa, Larissa Nátali
UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALOHA® PARA O ESTUDO DE
CENÁRIOS DE VAZAMENTOS QUÍMICOS EM UMA UNIDADE DE
COQUEAMENTO RETARDADO / Larissa Nátali Menezes
Costa. -- Rio de Janeiro, 2023.
111 f.

Orientadora: Kese Pontes Freitas Alberton.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Química, Bacharel em Engenharia Química, 2023.

1. Vazamentos Químicos. 2. Dispersão Atmosférica.
3. Segurança Operacional. 4. Software ALOHA. 5.
Análise de Vulnerabilidade. I. Pontes Freitas
Alberton, Kese, orient. II. Título.

Larissa Nátali Menezes Costa

UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALOHA[®] PARA O ESTUDO DE CENÁRIOS DE VAZAMENTOS QUÍMICOS EM UMA UNIDADE DE COQUEAMENTO RETARDADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Aprovado em 13 de janeiro de 2023.

Kese Pontes Freitas Alberton, DSc., UFRJ

Carlos André Vaz Jr., DSc., UFRJ

Ketly Pontes Soares, DSc., UFRRJ

Rio de Janeiro

2023

*Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus
que me sustentou neste processo e a você, familiar
ou amigo que contribuiu muito nesta trajetória.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que foi o meu sustento, por meio da fé, nos dias mais difíceis da construção deste trabalho e da minha trajetória acadêmica. Sem Ele nada seria.

Aos meus pais e avó materna, por toda paciência, esforço, amor e afeto durante minha trajetória acadêmica, que desde cedo investiram na minha formação e contribuíram para a realização dos meus sonhos, celebrando cada um deles.

À minha irmã, minha companheira de vida, que sempre me auxiliou e esteve comigo durante os grandes desafios da vida.

Ao meu marido, por toda compreensão, suporte e pelos conselhos durante esta trajetória acadêmica e pela parceria de vida.

À professora Kese Alberton, toda minha gratidão neste projeto final de curso. Desde as aulas de EQE-592 – Segurança de Processos e Prevenção de Perdas – SPPP, o olhar crítico para a segurança operacional foi sendo moldado juntamente com as discussões que eram fomentadas em aula. Agradeço, ainda, por todo cuidado com este trabalho, do início ao fim! E, principalmente, por todo suporte emocional e apoio que me foram prestados sempre que eu precisei. Tenho lembranças afetivas que ficarão eternamente guardadas em minha memória e coração.

Aos colegas da ANP por todos os momentos de troca de conhecimento, pela paciência e pelas trocas de experiências profissionais durante todo meu período de estágio.

Aos professores da banca por se disponibilizarem a contribuir com este trabalho.

À todas as minhas amigas e amigos que me deram suporte nos momentos difíceis da escrita deste trabalho, pelos conselhos, pela companhia e por todos os momentos de diversão.

*“Os cientistas estudam o mundo como ele é.
Os engenheiros criam um mundo como ele nunca havia sido.”
(Theodore Von Kármán)*

RESUMO

COSTA, Larissa Nátali Menezes. **Utilização do software ALOHA[®] para o estudo de cenários de vazamentos químicos em uma unidade de coqueamento retardado.** Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

O petróleo, uma das principais fontes de energia do mundo, necessita ser processado para que sua forma bruta seja convertida em derivados de alto valor agregado, através das operações unitárias que, em conjunto, são denominadas refino. A indústria de combustíveis fósseis desempenha importante papel na economia Brasileira, tendo em vista que o uso e aplicabilidades de óleo e gás são expressivos ante as energias renováveis. No entanto, riscos de incidentes e acidentes graves são iminentes a rotina deste setor e podem gerar danos ao meio ambiente, às instalações, aos trabalhadores e às populações circunvizinhas. Neste contexto, ressalta-se a importância da adoção de boas práticas no ambiente de trabalho e, principalmente, da implementação de um sistema de gestão de segurança de processo eficiente; de modo a preservar a vida humana, o meio ambiente e a continuidade operacional. Este trabalho visa avaliar o comportamento do propano, butano e n-hexano – substâncias representativas para os produtos de uma Unidade de Coqueamento Retardado (UCR) – durante um vazamento acidental nesta unidade, através do software ALOHA[®] para a modelagem da dispersão atmosférica da nuvem de vapor. Os resultados obtidos forneceram informações que podem auxiliar na identificação e prevenção dos riscos e, ainda, em ações emergenciais, estimando as consequências decorrentes da perda de contenção.

Palavras-chave: dispersão de poluentes; vazamento químico; software ALOHA.

ABSTRACT

COSTA, Larissa Nátali Menezes. **Utilização do software ALOHA® para o estudo de cenários de vazamentos químicos em uma unidade de coqueamento retardado.** Rio de Janeiro, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

Petroleum, one of the main sources of energy in the world, needs to be processed so that its raw form is converted into derivatives of high added value, through unit operations that, together, are called refining. The fossil fuel industry plays an important role in the Brazilian economy, given that the use and applicability of oil and gas are significant in relation to renewable energies. However, risks of incidents and serious accidents are imminent in the routine of this sector and can cause damage to the environment, facilities, workers and surrounding populations. In this context, it is important to adopt good practices in the work environment and, mainly, the implementation of an efficient process safety management system; to preserve human life, the environment and the operational continuity. This piece intends to evaluate the behavior of propane, butane and n-hexane – representative substances for the products of a Delayed Coke Unit (UCR) – during an accidental leak in this unit, through the ALOHA® software for the modeling of the atmospheric dispersion of the vapor cloud. The obtained results provided information that can help identifying and preventing risks and, furthermore, in emergency actions, estimating the consequences resulting from the loss of containment.

Keywords: dispersion of pollutant; chemical leak; software ALOHA.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Parque industrial de uma Refinaria de Petróleo.....	18
Figura 2.1 - Cartograma Produção de petróleo, segundo regiões geográficas (milhões de barris/dia) – 2021.....	23
Figura 2.2 - Gráfico Participação de países selecionados no consumo mundial de petróleo – 2021.....	26
Figura 2.3 - Cartograma Consumo de petróleo, segundo regiões geográficas (milhões de barris/dia) – 2021.....	26
Figura 2.4 - Gráfico Evolução da Capacidade Global de Refino por Região – 2000-2021.....	28
Figura 2.5 - Gráfico Participação das refinarias no refino de petróleo – 2021.....	30
Figura 2.6 - Gráfico de distribuição percentual da produção de derivados energéticos de petróleo – 2021.....	32
Figura 2.7 - Gráfico de distribuição percentual da produção de derivados não energéticos.....	32
Figura 2.8 - Gráfico de preços médios ponderados de produtores de gasolina A, por regiões – 2012-2021.....	33
Figura 2.9 - Gráfico de preços médios ponderados de produtores e importadores de óleo diesel, por regiões – 2012-2021.....	34
Figura 2.10 - Gráfico de preços médios ponderados de produtores e importadores de GLP, por regiões – 2012-2021.....	34
Figura 2.11 - Parque de esferas de armazenamento de GLP em uma refinaria Petrobras.....	37
Figura 2.12 - Diagrama de blocos da produção da GLP.....	38
Figura 2.13 - Diagrama de blocos da produção da gasolina.....	40
Figura 2.14 – Diagrama de blocos da produção de Diesel.....	41
Figura 2.15 - Diferentes tipos de coque.....	43
Figura 2.16 – Fluxograma de processos simplificado de uma Unidade de Coqueamento Retardado.....	45
Figura 2.17 - Esquema do forno de coqueamento.....	46
Figura 2.18 - Esquema de preenchimento da câmara de coqueamento.....	47
Figura 2.19 - Processo de descoqueificação.....	48
Figura 2.20 - Ilustração da teoria do queijo suíço.....	51
Figura 2.21 - Acidente na Refinaria Duque de Caxias.....	53
Figura 2.22 - Acidente P-36.....	54
Figura 2.23 - Acidente na Refinaria Texas City.....	56
Figura 2.24 - Acidente FPSO Cidade de São Mateus.....	57
Figura 2.25 - Distribuição gaussiana (esquerda) e propagação gaussiana (direita).....	66
Figura 3.1 - Moléculas de propano, butano e hexano em 3D.....	69
Figura 3.2 - Limitações do Software ALOHA®.....	72
Figura 3.3 - Configuração da localização e fuso horário da região de simulação.....	72

Figura 3.4 - Topografia do local escolhido para realização das simulações.....	73
Figura 3.5 - Escolha da substância química pura e opções de soluções disponíveis no Software.....	74
Figura 3.6 - Seção resumo – <i>Text Summary</i>	74
Figura 3.7 - Configuração das condições meteorológicas para as simulações.....	75
Figura 3.8 - Configuração da liberação de conteúdo.....	76
Figura 3.9 - Condições da substância química e temperatura.....	76
Figura 3.10 - Quantidade de produto químico em massa ou volume.....	77
Figura 3.11 - Situação acidental 1 – O produto químico não queima ao escapar para a atmosfera.....	77
Figura 3.12 - Formato e tamanho da abertura do orifício de vazamento.....	78
Figura 3.13 - Altura do orifício de vazamento.....	78
Figura 3.14 - Dados calculados para situação acidental 1 – Seção resumo – <i>Text Summary</i> ..	79
Figura 3.15 - Gráfico de intensidade da fonte para este cenário.....	79
Figura 3.16 - Cenário 1 – Área inflamável da nuvem de vapor.....	80
Figura 3.17 - Nível de Preocupação Inflamável – LOC.....	80
Figura 3.18 - Situação acidental 2 - Tanque explode e químico queima em uma bola de fogo..	81
Figura 3.19 - Dados calculados para situação acidental 2 – Seção resumo – <i>Text Summary</i>	81
Figura 3.20 - Opções de modelos de cálculo.....	81
Figura 3.21 - Nível de Preocupação de Radiação Térmica – LOC.....	82
Figura 3.22 - Dados primários de liberação do butano.....	82
Figura 3.23 - Gráfico de perfil de liberação do butano.....	83
Figura 3.24 - Nível de Preocupação Inflamável – LOC.....	84
Figura 3.25 - Nível de Preocupação de Radiação Térmica – LOC.....	84
Figura 3.26 - Propriedades químicas do N-Hexano – Seção resumo – <i>Text Summary</i>	85
Figura 3.27 - Configurações da liberação química com N-Hexano.....	85
Figura 3.28 - Dados calculados para a liberação acidental de N-Hexano - <i>Text Summary</i>	85
Figura 3.29 - Cenários considerados para uma dispersão acidental de N-Hexano.....	86
Figura 3.30 - Nível de Preocupação Inflamável – LOC.....	86
Figura 3.31 - Nível de Preocupação de Sobrepressão – LOC.....	87
Figura 4.1 - Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 1 Aplicação no mapa.....	89
Figura 4.2 - Modelagem de dispersão do BLEVE para o cenário 2 Aplicação no mapa.....	90
Figura 4.3 - Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 3 Aplicação no mapa.....	91
Figura 4.4 - Modelagem de dispersão do BLEVE para o cenário 4 Aplicação no mapa.....	92
Figura 4.5 - Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 5 / Aplicação no mapa.....	93
Figura 4.6 - Modelagem de dispersão da sobrepressão da explosão da nuvem de vapor para o cenário 6 / Aplicação no mapa.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Total de Reservas Provadas Por Regiões – Até 2020.....	20
Tabela 2.2 – Total de Reservas Provadas – 10 Maiores Reservas – Até 2020.....	20
Tabela 2.3 – Reservas totais ¹ de petróleo, por localização (terra e mar), segundo unidades da federação ² – 2012-2021.....	21
Tabela 2.4 – Reservas provadas ¹ de petróleo, por localização (terra e mar), segundo unidades da federação ² – 2012-2021.	22
Tabela 2.5 – Produção de Petróleo – 10 Maiores Produtores – 2011-2020.....	24
Tabela 2.6 – Consumo de Petróleo – 10 Maiores Consumidores – 2011-2020.....	27
Tabela 2.7 – Evolução Da Capacidade De Refino, Segundo Refinarias – 2012-2021.....	29
Tabela 2.8 – Produção de derivados de petróleo, energéticos e não energéticos – 2012-2021.....	31
Tabela 2.9 – Produção de derivados de petróleo, energéticos e não energéticos, por tipo de unidade produtora – 2021.....	31
Tabela 2.10 – Cronologia dos eventos com relação causal com o acidente.....	54
Tabela 3.1 - Propriedades físicas e químicas do Isobutano e do Tolueno.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CCPS	Center for Chemical Process Safety
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CUT	Central Única dos Trabalhadores
DDS	Diálogo de Segurança
DDSMS	Diálogo Diário de Segurança, Meio Ambiente e Saúde
DEA	Dietanolamina
EPA	United States Environmental Protection Agency
FCC	Craqueamento Catalítico Fluido
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
HAZOP	Hazard and Operability Studies
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás
ISO	International Organization for Standardization
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NFPA	National Fire Protection Association
NR	Norma Regulamentadora
OD	Óleo Decantado
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PSM	Process Safety Management
P2R2	Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos
RAT	Resíduo Atmosférico
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
REPAR	Refinaria Presidente Getúlio Vargas
REPLAN	Refinaria de Paulínia
REVAP	Refinaria Henrique Lage
RNEST	Refinaria Abreu e Lima
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes
RV	Resíduo de Vácuo
UCR	Unidade de Coqueamento Retardado
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO E CONSUMO MUNDIAL.....	19
2.1.1 Reservas de Petróleo (2011-2021).....	19
2.1.1.1 Perspectiva Nacional	20
2.1.2 Produção de Petróleo (2011-2021).....	22
2.1.3 Consumo de Petróleo (2011-2021).....	25
2.1.4 Refino.....	28
2.1.5 Produção de Derivados	30
2.1.6 Preço	33
2.2 ANÁLISE DO PROCESSO – COQUEAMENTO RETARDADO	35
2.2.1 Histórico	35
2.2.2 Matéria-prima.....	36
2.2.3 Produtos.....	36
2.2.4 O processo	43
2.2.5 Equipamentos envolvidos e princípio de funcionamento.....	45
2.3 SEGURANÇA DE PROCESSOS COM HIDROCARBONETOS	48
2.3.1 Diferença entre Segurança de Processo e Ocupacional.....	48
2.3.2 Contextualização	48
2.3.3 Camadas de proteção.....	50
2.3.4 Sistema de Gestão de Segurança de Processo.....	52
2.3.5 acidentes em refinarias.....	52
2.4 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS	57
2.4.1 Classificação de Incidentes	58
2.4.2 Legislação ANP	59
2.4.2.1 Comunicação Inicial de Incidentes	60
2.4.2.2 Relatório de Investigação – RI	61
2.4.3 Legislações ambientais	61
2.4.4 Normas Técnicas.....	63
2.4.5 Normas Regulamentadoras	64
2.5 MODELOS DE DISPERSÃO.....	64
3 METODOLOGIA	69

3.1 LIMITAÇÕES DO SIMULADOR ALOHA®	70
3.2 CONFIGURAÇÃO DO SIMULADOR ALOHA®	73
4 RESULTADOS	88
5 CONCLUSÕES	95
5.1 CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
6 REFERÊNCIAS.....	97
ANEXO A – FISPQ PROPANO	102
ANEXO A – FISPQ PROPANO	103
ANEXO A – FISPQ PROPANO	104
ANEXO B – FISPQ BUTANO	105
ANEXO B – FISPQ BUTANO	106
ANEXO B – FISPQ BUTANO	107
ANEXO C – FISPQ HEXANO.....	108
ANEXO C – FISPQ HEXANO.....	109
ANEXO C – FISPQ HEXANO.....	110
ANEXO D – INFORMAÇÕES PARA COMUNICAÇÃO INICIAL DE INCIDENTE	111
ANEXO E – CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTE	112

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, abordar temas de Segurança de Processo e Prevenção de Perdas se tornou mais do que necessário e presente no dia a dia das empresas e indústrias, em especial, as do âmbito do óleo e gás.

A rotina das refinarias de petróleo, em específico, são de alta complexidade devido aos numerosos processos de refino empregados na produção de derivados, exigindo condições de trabalho adequadas juntamente com procedimentos de segurança. É fundamental a implantação da cultura de segurança, com o estabelecimento de boas práticas no ambiente de trabalho atrelada a frequentes ações de conscientização da força operacional através de diálogos de segurança – DDSMS, associada a gestão de riscos, previamente estudada e planejada.

Do ponto de vista de segurança de processos, dentre os vários problemas comuns no refino que colocam em risco a vida de colaboradores e a integridade da planta industrial, podem ser destacados: produção próximo aos limites operacionais, falta de efetivos, falta ou mal planejamento de manutenções preventivas, falta ou mal planejamento de inspeções de equipamentos e instalações, corrosão/erosão de equipamentos e estruturas, projeto mal elaborado ou mal executado, desinvestimento, falha de monitoramento, falha dos dispositivos de controle e de segurança (e.g., válvulas de segurança, alarmes e malhas de intertravamento).

Segundo Farah (2012), o refino subdivide-se em três grandes grupos: (i) processos de separação, (ii) processos de conversão e (iii) processos de tratamento.

Nos processos de separação não ocorrem transformações químicas dos componentes da carga. Em geral, seu principal objetivo é selecionar um ou mais componentes presentes em uma mistura, em detrimento dos demais. Estes processos são baseados nas propriedades físicas, características dos componentes envolvidos, que facilite a remoção deles da corrente em que se encontra. Por exemplo, na destilação, tem-se seleção de componentes por separação das fases que se dá por diferença de ponto de ebulição dos componentes envolvidos. Outros exemplos de processos de separação presentes no refino, são a desaromatização e a desasfaltação, cuja propriedade física predominante é a solubilidade. Já no processo de desparafinação, o ponto de fusão é o mecanismo determinante da separação de componentes.

Nos processos de conversão, ocorrem transformações químicas nos constituintes da carga por meio de processos químicos que podem ser catalíticos ou não. Neste tipo de processo, os componentes da carga são convertidos em outros componentes de interesse, em geral são mais valiosos. Por exemplo, no craqueamento catalítico fluido – FCC as frações pesadas são transformadas em leves por meio da quebra de moléculas com uso de catalisador. No processo

de coqueamento retardado acontece o craqueamento térmico das moléculas de cadeia aberta e as moléculas aromáticas polinucleadas, resinas e asfaltenos são coqueados nas câmaras de coqueamento.

Processos de tratamento tipicamente são combinações dos processos de separação e de conversão, e tem por objetivo remoções ou transformações de contaminantes que possam existir na carga. Tal processo ocorre em sequência, após os processos de separação e conversão e é conhecido como processo de acabamento. Processos de hidrotreatamento, por exemplo, são responsáveis pela redução dos teores de enxofre e estabilização térmica e química dos derivados de petróleo. Existem ainda os tratamentos convencionais, utilizados para remoção de compostos sulfurados e oxigenados, são eles: tratamento cáustico, tratamento com aminas, tratamento benzer e tratamento cáustico regenerativo.

O fato é que todos os processos presentes na refinaria, desde a carga ao produto final, envolvem componentes químicos usualmente tóxicos, voláteis, reativos, inflamáveis e/ou explosivos.

No que se refere à dispersão atmosférica, em um cenário de operação normal, sem acidente de processos, as refinarias são consideradas fontes fixas, pois as emissões fixas ocorrem através das chaminés e, também, por meio de emissões fugitivas nas válvulas e juntas das tubulações. Do ponto de vista ambiental, o principal impacto neste cenário provém dos poluentes que são provenientes da queima de combustível, principalmente, em fornos e caldeiras, sendo esses: Compostos Orgânicos Voláteis (COV), Amônia (NH_3), Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Carbono (CO_2), Óxidos de Nitrogênio (NO_x), Dióxido de Enxofre (SO_2), particulados, entre outros. As emissões fugitivas são comumente compostas por COVs e hidrocarbonetos leves (LUBONGO E SCHMITT, 2019).

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem o objetivo de estudar os efeitos em populações circunvizinhas, oriundos de possíveis emissões de poluentes a partir de uma refinaria de petróleo – Refinaria Duque de Caxias (REDUC), localizada em Duque de Caxias, Rio de Janeiro – Brasil (Figura 1.1); de modo a gerar os modelos de dispersão dos poluentes, aplicando modos de cálculo do software ALOHA[®] em diferentes cenários de inflamabilidade e explosividade, com a finalidade de dimensionar os danos e as concentrações dos poluentes de acordo com as direções das dispersões, o que auxilia na prevenção e possíveis consequências de um incidente – Gestão de riscos.

Neste trabalho, abordaremos os incidentes e acidentes que podem ocorrer em refinarias de petróleo, na área de tancagem e armazenamento, porém considerando em específico os produtos obtidos em uma Unidade de Coqueamento Retardado – UCR.

Figura 1.1 – Parque industrial de uma Refinaria de Petróleo.



Fonte: PetroNotícias (2021). Disponível em: <https://petronoticias.com.br/petrobras-anuncia-investimentos-para-reduc-e-revap-e-preve-r-25-bilhoes-para-o-segmen-to-de-refino/>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As atividades de exploração de petróleo e produção de derivados possuem riscos inerentes às etapas dos processos envolvidos devido à alta complexidade operacional das unidades, além da necessidade de um prévio e estruturado gerenciamento de riscos de toda a planta industrial. A capacidade de inflamabilidade e explosividade do petróleo e de seus derivados é fator de alerta para a segurança de processos, além da elevada toxicidade desses compostos. É possível citar acidentes (e.g., zonas tomadas por nuvem e pluma tóxicas, incêndios, explosões), que resultam em catástrofes como consequências da complexidade operacional tanto em processos *onshore* como *offshore*.

É importante destacar, a diferença entre perigo e risco. O perigo pode ser definido como característica de uma substância ou atividade que expressa o potencial causador de danos às pessoas, instalações ou meio ambiente. Já o risco, é a medida da facilidade que um perigo tem de culminar em um acidente. Uma analogia interessante de ser feita é a de causa e efeito, considerando o perigo como a causa e o risco como o efeito. Por exemplo, a gasolina ou um outro derivado de petróleo pode ser considerado como um perigo e o risco seria um possível incêndio ou explosão (ALBERTON, 2020) (ROQUE, 2021).

2.1 HISTÓRICO DE PRODUÇÃO E CONSUMO MUNDIAL

2.1.1 Reservas de Petróleo (2011-2021)

A extração de petróleo tem se mostrado ícone de extrema importância na economia mundial, representando parte significativa do PIB de muitos países. Na última década vemos um crescimento relevante na exploração e comercialização do petróleo bruto em barris. Dentre os países que detém as maiores reservas de petróleo no mundo, temos a Venezuela, liderando o ranking com 303,8 b/b (17,5%), Arábia Saudita com 297,5 b/b (17,2%), Canadá 168,1 (9,7%), Irã 157,8 b/b (9,1%), Iraque 145 b/b (8,4) e Rússia 107,8 b/b (6,2%) (ANP, 2022).

Tabela 2.1 – Total de Reservas Provadas Por Regiões – Até 2020.

Petróleo: Total de Reservas Provadas - Regiões						
	Até 2000	Até 2010	Até 2019	Até 2020		
	Bilhões de Barris				Total	R/P Ratio
Total América do Norte	236,5	220,3	243,9	242,9	14,0%	28,2
Total América do Sul e Central	96,0	320,1	324,0	323,4	18,7%	151,3
Total Europa	21,0	13,6	14,2	13,6	0,8%	10,4
Total CEI	120,1	144,2	146,2	146,2	8,4%	29,6
Total Oriente Médio	696,7	765,9	836,0	835,9	48,3%	82,6
Total África	92,9	124,9	125,0	125,1	7,2%	49,8
Total Ásia-Pacífico	37,7	47,8	45,3	45,2	2,6%	16,6

Fonte: ANP (2022, p.29).

Tabela 2.2 – Total de Reservas Provadas – 10 Maiores Reservas – Até 2020.

Total de Reservas Provadas – 10 Maiores Reservas						
	Até 2000	Até 2010	Até 2019	Até 2020		
	Bilhões de Barris				Total	R/P ratio
Venezuela	76,8	296,5	303,8	303,8	17,5%	*
Arábia Saudita	262,8	264,5	297,6	297,5	17,2%	73,6
Canadá	181,5	174,8	169,1	168,1	9,7%	89,4
Irã	99,5	151,2	157,8	157,8	9,1%	139,8
Iraque	112,5	115,0	145,0	145,0	8,4%	96,3
Rússia	112,1	105,8	107,8	107,8	6,2%	27,6
Kuwait	96,5	101,5	101,5	101,5	5,9%	103,2
Emirados Árabes Unidos	97,8	97,8	97,8	97,8	5,6%	73,1
Líbia	36,0	47,1	48,4	48,4	2,8%	339,2
Nigéria	29,0	37,2	36,9	36,9	2,1%	56,1

Fonte: ANP¹ (2022, p.29).

2.1.1.1 Perspectiva Nacional

¹ * (BP Statistical Review of World Energy, 2022) Inclui petróleo bruto, óleo de xisto, areias betuminosas, condensados (condensados de arrendamento ou condensados de gás que requerem refino adicional) e LGNs (líquidos de gás natural - etano, GLP e nafta separados da produção de gás natural).

Exclui combustíveis líquidos de outras fontes, como biocombustíveis e derivados sintéticos de carvão e gás natural. Isso também exclui fatores de ajuste de combustível líquido, como ganho de processamento de refinaria. Exclui xistos betuminosos/querogênio extraídos na forma sólida.

Menos de 0,05%.

Menos de 0,05%.

Nota: As variações anuais e as participações no total são calculadas usando valores diários de mil barris.

Segundo ANP, 2022 o Brasil é responsável por 0,7% da reserva global, e produz 2.987 milhões de barris/dia (3,3%). Com a retomada do mercado, a perspectiva é que o setor de Petróleo e Gás volte a aquecer. No final de 2021, o Brasil tinha 24,3 bilhões de barris em reservas totais de petróleo, número este 20,3% maior que 2020. Já as reservas provadas totalizaram 13,3 bilhões de barris, alta de 11% quando comparado a 2020.

Tabela 2.3 – Reservas totais¹ de petróleo, por localização (terra e mar), segundo unidades da federação² – 2012-2021.

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	RESERVAS TOTAIS DE PETRÓLEO (MILHÕES DE BARRIS)										21/20 %
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
BRASIL		28.555,2	30.181,1	31.106,6	24.252,0	22.563,8	23.566,3	23.852,8	21.914,2	20.238,4	24.346,6	20,30
Subtotal	Terra	1.475,5	1.444,8	1.169,8	1.021,0	960,2	932,8	753,4	702,8	661,2	703,3	6,37
	Mar	27.079,6	28.736,3	29.936,8	23.231,0	21.603,6	22.633,5	23.099,3	21.211,3	19.577,2	23.643,3	20,77
Amazonas	Terra	168,6	167,0	89,6	61,9	49,7	45,8	45,7	47,6	51,5	52,4	1,63
Maranhão	Terra	-	0,1	0,0	0,2	0,1	0,3	0,3	0,2	2,0	4,5	126,31
Ceará	Terra	31,0	31,2	30,4	19,6	4,1	0,7	3,6	2,6	0,2	0,6	138,64
	Mar	66,2	79,9	61,7	25,2	44,6	12,6	28,3	27,8	-	-	..
Rio Grande do Norte	Terra	355,6	335,9	326,6	268,0	252,1	236,9	169,1	173,4	178,3	184,5	3,50
	Mar	191,6	186,8	176,6	110,1	108,1	110,3	102,5	101,0	84,1	90,5	7,52
Alagoas	Terra	14,6	16,1	14,0	12,3	7,9	6,7	5,4	5,2	3,9	4,6	17,54
	Mar	0,6	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	..
Sergipe	Terra	306,9	294,2	296,1	317,5	334,3	345,0	262,1	236,0	172,8	201,4	16,55
	Mar	126,1	104,9	98,9	78,0	46,6	9,7	9,2	25,4	22,0	1,5	-93,39
Bahia	Terra	522,6	531,4	343,2	288,6	261,4	248,1	219,5	188,6	198,5	206,0	3,79
	Mar	127,1	124,0	96,0	90,7	90,9	90,6	90,9	89,9	89,9	35,8	-60,16
Espírito Santo	Terra	76,3	69,0	69,9	53,0	50,6	49,4	47,7	49,3	54,0	49,3	-8,55
	Mar	2.676,4	2.446,9	2.300,6	2.245,2	1.910,3	1.788,7	1.630,0	1.343,6	1.235,2	1.359,4	10,05
Rio de Janeiro ³	Mar	22.135,8	24.017,6	25.618,8	19.519,7	18.441,1	19.693,4	20.184,1	18.692,7	16.064,0	20.063,2	24,90
São Paulo ⁴	Mar	1.665,4	1.685,3	1.535,5	1.161,4	961,5	927,8	1.054,0	930,7	2.081,9	2.093,0	0,53
Paraná ⁵	Terra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	..
	Mar	42,6	42,2	-	-	-	-	-	-	-	-	..
Santa Catarina ⁶	Mar	47,8	47,8	47,8	-	-	-	-	-	-	-	..

Fonte: ANP/SDP, conforme a Resolução ANP no 47/2014².

² 1. Reservas em 31/12 dos anos de referência.

2. Inclui condensado.

3. Ver em Notas Gerais item sobre “Reservas Brasileiras de Petróleo e Gás Natural”.

1 Incluindo as reservas dos campos cujos Planos de Desenvolvimento estão em análise.

2 As reservas estão apropriadas totalmente ao estado em que cada campo tem sua área majoritariamente situada.

3 As reservas do campo de Roncador e Frade estão apropriadas totalmente no estado do Rio de Janeiro, por simplificação.

4 As reservas do campo de Sapinhoá estão apropriadas totalmente no estado de São Paulo, por simplificação.

5 As reservas do campo de Caravela estão apropriadas totalmente no estado do Paraná, por simplificação.

6 As reservas do campo de Tubarão estão apropriadas totalmente no estado de Santa Catarina, por simplificação.

Tabela 2.4 – Reservas provadas¹ de petróleo, por localização (terra e mar), segundo unidades da federação² – 2012-2021.

UNIDADES DA FEDERAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	RESERVAS PROVADAS DE PETRÓLEO (MILHÕES DE BARRIS)										21/20 %
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
BRASIL		15.314,2	15.544,4	16.184,1	13.012,6	12.606,0	12.793,2	13.240,8	12.728,5	11.932,3	13.328,6	11,70
Subtotal	Terra	920,4	885,6	832,2	689,3	629,8	599,3	520,9	485,0	453,5	435,1	-4,06
	Mar	14.393,9	14.658,9	15.351,9	12.323,3	11.976,2	12.193,9	12.719,8	12.243,5	11.478,8	12.893,5	12,32
Amazonas	Terra	104,8	101,3	80,6	57,7	47,0	43,2	43,5	41,0	47,1	50,1	6,39
Maranhão	Terra	-	0,1	0,0	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	1,9	4,4	125,97
Ceará	Terra	16,6	16,1	15,0	7,7	3,8	0,7	3,6	2,6	0,2	0,6	138,64
	Mar	46,3	42,0	40,2	25,2	15,6	11,0	27,6	27,1	-	-	..
Rio Grande do Norte	Terra	277,8	246,2	229,2	207,4	198,7	178,0	134,7	124,6	120,6	136,8	13,45
	Mar	117,1	119,3	116,5	93,2	76,9	81,7	63,7	65,9	55,2	61,0	10,60
Alagoas	Terra	6,3	7,0	6,4	4,3	3,7	3,6	3,2	3,1	2,5	2,0	-17,66
	Mar	0,6	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	-72,83
Sergipe	Terra	240,1	237,4	231,7	216,8	196,2	202,3	181,3	171,1	113,6	89,2	-21,48
	Mar	32,3	27,3	17,2	6,0	2,4	5,3	5,4	6,6	8,4	0,8	-90,40
Bahia	Terra	239,9	245,0	235,8	173,4	156,4	146,0	126,5	112,7	122,3	111,6	-8,76
	Mar	69,4	32,6	26,1	24,5	24,6	24,3	24,1	23,5	23,5	0,3	-98,56
Espírito Santo	Terra	34,9	32,5	33,5	21,6	23,9	25,4	27,9	29,6	45,3	40,4	-10,75
	Mar	1.334,3	1.313,0	1.292,3	1.105,2	973,3	943,2	982,9	844,2	607,1	773,1	27,35
Rio de Janeiro ³	Mar	12.211,5	12.416,8	13.252,8	10.542,2	10.403,0	10.682,2	11.189,6	10.812,3	9.652,2	10.910,5	13,04
São Paulo ⁴	Mar	545,9	670,4	605,9	526,3	479,9	445,9	426,2	463,7	1.132,2	1.147,7	1,37
Paraná ⁵	Terra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0	..
	Mar	31,3	31,1	-	-	-	-	-	-	-	-	..
Santa Catarina ⁶	Mar	5,3	5,3	-	-	-	-	-	-	-	-	..

Fonte: ANP/SDP, conforme a Resolução ANP no 47/2014³.

2.1.2 Produção de Petróleo (2011-2021)

De acordo com o Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2022), a produção de petróleo mundial em 2021 apresentou crescimento de 1,6% quando comparada a 2020.

Na OPEP houve um crescimento de 2,9% de produção, sendo a Líbia o maior responsável pelo desenvolvimento de produção, quando aumentou em 198,4% sua produção de petróleo em 2021, comparado a 2020. A nação norte-africana tem papel importante no cenário de energia da África-Eurásia, fechando o ano de 2021 com 1,4% da produção global de Petróleo (ANP, 2022).

³ 1. Reservas em 31/12 dos anos de referência.

2. Inclui condensado.

3. Ver em Notas Gerais item sobre “Reservas Brasileiras de Petróleo e Gás Natural”.

1 Incluindo as reservas dos campos cujos Planos de Desenvolvimento estão em análise.

2 As reservas estão apropriadas totalmente ao estado em que cada campo tem sua área majoritariamente situada.

3 As reservas do campo de Roncador e Frade estão apropriadas totalmente no estado do Rio de Janeiro, por simplificação.

4 As reservas do campo de Sapinhoá estão apropriadas totalmente no estado de São Paulo, por simplificação.

5 As reservas do campo de Caravela estão apropriadas totalmente no estado do Paraná, por simplificação.

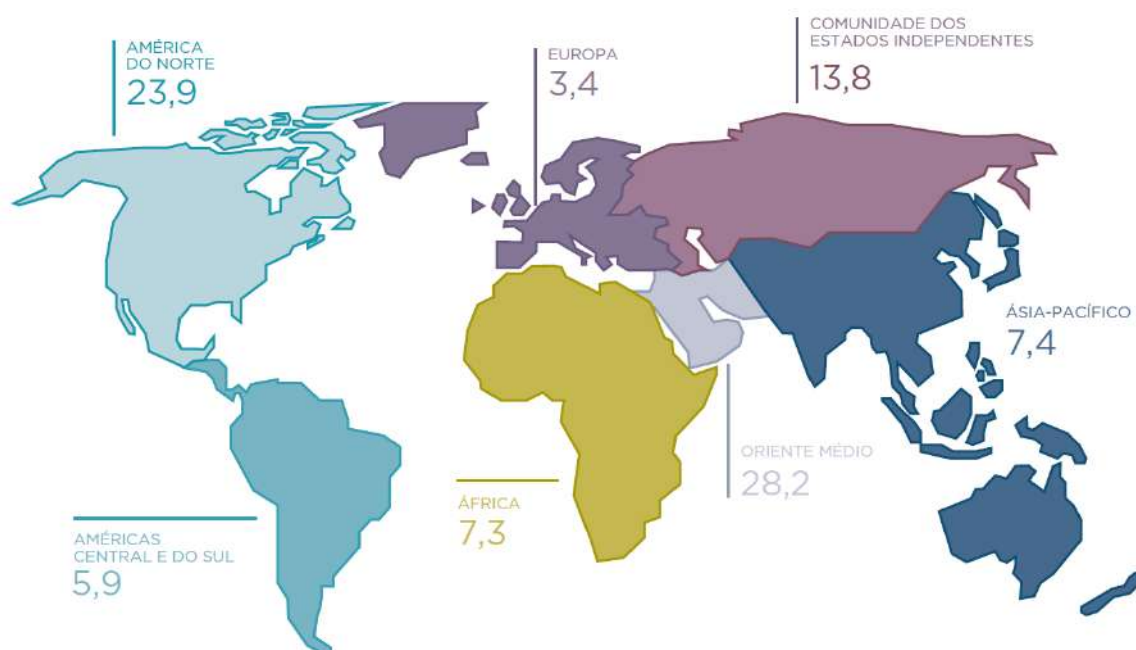
6 As reservas do campo de Tubarão estão apropriadas totalmente no estado de Santa Catarina, por simplificação.

Em países não participantes da OPEP, a Síria é a maior responsável no que tange ao crescimento de produção, atingindo 123,3%. No contexto global, apesar de ter 4% da reserva global, os Estados Unidos lideram a produção, com 16.585 milhões de barris por dia, sendo responsável por 18,5% da produção global, Arábia Saudita com 11 milhões de barris/dia (12,2% do volume mundial), Rússia em terceiro lugar com 10,9% de barris/dia (12,2% do volume mundial), Canadá com 5.429 milhões de barris por dia (6%), Iraque com 4.102 milhões de barris por dia (4,6%) e China com 3.994 milhões de barris por dia (4,4%) (Dados do BP Statistical Review of World Energy e Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP, 2021).

A Rússia tende a perder espaço no mercado de energia europeu, em decorrência das sanções recebidas pela guerra contra a Ucrânia. Muitos países europeus estão congelando acordos comerciais Russos e buscando meios alternativos de importar energia, uma vez que a Rússia é o principal produtor de gás natural para a Europa, fornecendo 40% do gás europeu e um importante exportador de petróleo. O intuito dos europeus é reduzir a importância da Rússia na provisão de energia.

O Brasil ocupou o 9º lugar no ranking de produção global, sendo responsável por 3,3% do volume mundial, com 3 milhões de barris/dia. Já o Oriente Médio que é a região de maior relevância na produção de petróleo, produziu o equivalente a 31,3% do volume mundial, com 28,2 milhões de barris/dia (ANP, 2022).

Figura 2.1 – Cartograma Produção de petróleo, segundo regiões geográficas (milhões de barris/dia) – 2021.



Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022.

Tabela 2.5 – Produção de Petróleo – 10 Maiores Produtores – 2011-2020.

Produção de Petróleo – 10 Maiores Produtores														
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Taxa de Crescimento por ano		Total
	Bilhões de Barris											2021	2011-21	2021
Estados Unidos	7890	8931	10103	11807	12783	12354	13140	15310	17114	16458	16585	0,8%	7,7%	18,5%
Arábia Saudita	11079	11622	11393	11519	11998	12406	11892	12261	11832	11039	10954	-0,8%	-0,1%	12,2%
Rússia	10533	10656	10807	10927	11087	11342	11374	11562	11679	10667	10944	2,6%	0,4%	12,2%
Canadá	3515	3740	4000	4271	4388	4464	4813	5244	5372	5130	5429	5,819%	4,4%	6,0%
Iraque	2773	3079	3099	3239	3986	4423	4538	4632	4779	4114	4102	-0,3%	4,0%	4,6%
China	4074	4155	4216	4246	4309	3999	3846	3802	3848	3901	3994	2,4%	-0,2%	4,4%
Emirados Árabes Unidos	3300	3425	3566	3603	3898	4038	3910	3912	3999	3693	3668	-0,7%	1,1%	4,1%
Iran	4452	3810	3609	3714	3853	4578	4854	4608	3399	3084	3620	17,4%	-2,0%	4,0%
Brasil	2179	2145	2110	2341	2525	2607	2731	2691	2890	3030	2987	-1,4%	3,2%	3,3%
Kuwait	2918	3173	3134	3106	3069	3150	3009	3050	2976	2695	2741	1,7%	-0,6%	3,0%

Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022⁴.

⁴ * Includes crude oil, shale oil, oil sands, condensates (lease condensate or gas condensates that require further refining) and NGLs (natural gas liquids - ethane, LPG and naphtha separated from the production of natural gas).

Excludes liquid fuels from other sources such as biofuels and synthetic derivatives of coal and natural gas. This also excludes liquid fuel adjustment factors such as refinery processing gain. Excludes oil shales/kerogen extracted in solid form.

Less than 0.05.

Less than 0.05%.

Note: Annual changes and shares of total are calculated using thousand barrels daily figures.

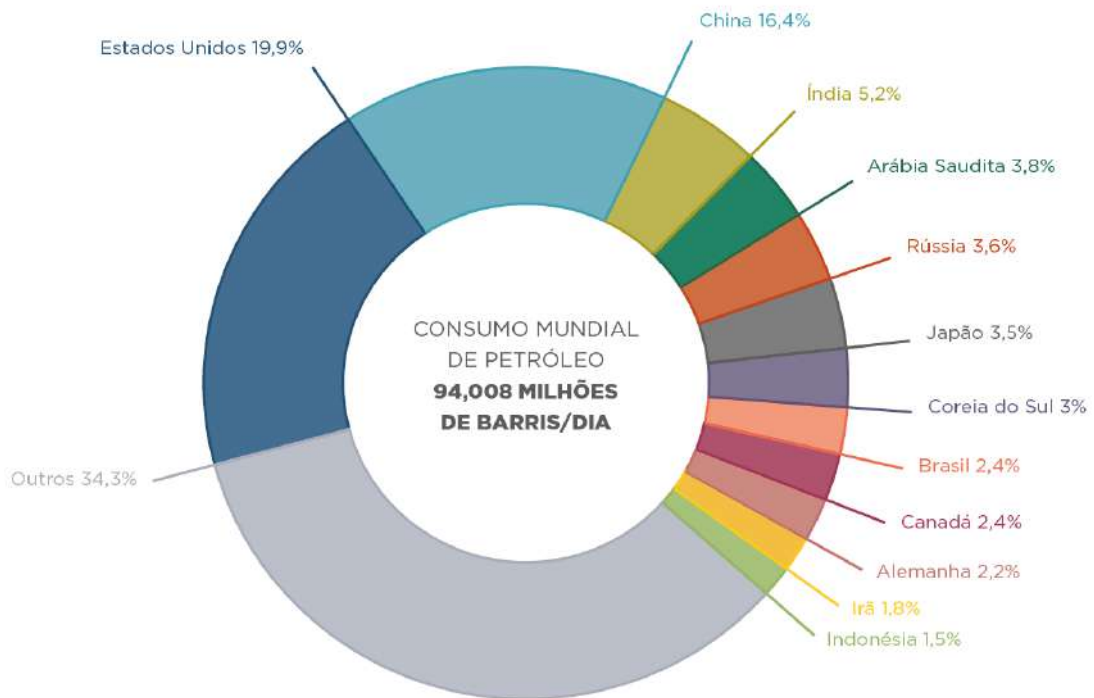
2.1.3 Consumo de Petróleo (2011-2021)

Entre os países que mais consomem petróleo em barris no mundo, temos o Estados Unidos com 18.684 milhões de barris dia (19,9%), China com 15.442 milhões de barris dia (16,4%), Índia com 4.878 milhões de barris dia (5,2%) e Arábia Saudita com 3.595 milhões de barris dia (3,8%) – Figura 2.2.

O Brasil ocupou o oitavo lugar, no consumo global de petróleo, com 2,3 milhões de barris/dia (2,4% do volume mundial). Apesar de explorar mais petróleo que consome, o Brasil ainda realiza importações de petróleo. Isso se dá, pela variação dos tipos de petróleo, uns são mais densos, e outros mais leves. Estas diferenças são importantes no processo de transformação do óleo bruto em combustíveis e derivados porque óleos mais pesados acabam requerendo maior esforço operacional para o fracionamento, enquanto os leves produzem frações de alto valor agregado com mais facilidade (Dados do BP Statistical Review of World Energy e Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP, 2021).

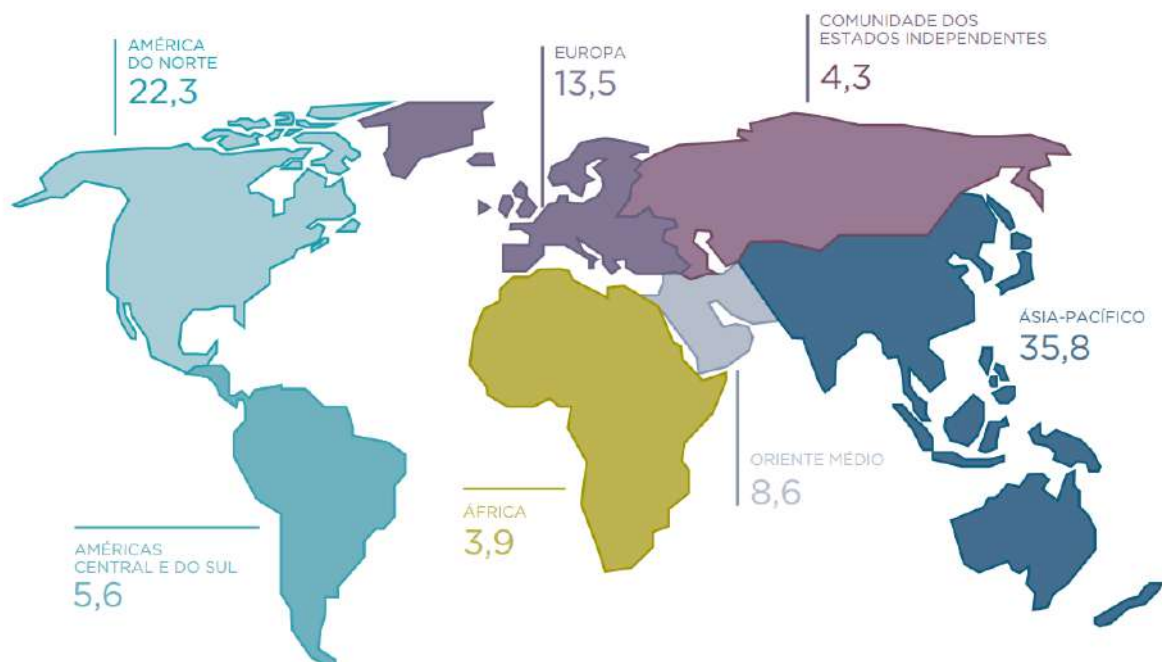
A Ásia-Pacífico é a região com maior consumo de petróleo global, com 35,8 milhões de barris/dia. 43,1% desse consumo vem da China, com 15,4 milhões de barris/dia. A América do Norte consome 22,3 milhões de barris/dia, que corresponde a 23,7% do volume global. Europa consome 13,5 milhões de barris/dia, (14,4% do total global). O Oriente Médio, região de maior produção de petróleo, consome 8,6 milhões de barris/dia equivalente a 9,2% do volume global. As Américas Centrais e do Sul consomem 5,6 milhões de barris/dia, equivalente a 6% do volume global. A Comunidade dos Estados Independentes consome 4,3 milhões de barris/dia, o equivalente a 5,9% do volume global. E para finalizar, temos a região da África consumindo 3,9 milhões de barris/dia, o equivalente a 4,2% do volume global – Figura 2.3 (ANP, 2022).

Figura 2.2 – Gráfico Participação de países selecionados no consumo mundial de petróleo – 2021.



Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022.

Figura 2.3 – Cartograma Consumo de petróleo, segundo regiões geográficas (milhões de barris/dia) – 2021.



Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022.

Tabela 2.6 - Consumo de Petróleo – 10 Maiores Consumidores – 2011-2020.

Consumo de Petróleo – 10 Maiores Consumidores														
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Taxa de Crescimento por Ano		Total
	Milhões de Barris											2021	2011-21	2021
Estados Unidos	17993	17581	17992	18111	18499	18593	18845	19417	19424	17183	18684	8,7%	0,4%	19,9%
China	9630	10061	10563	11018	11890	12297	13003	13642	14321	14408	15442	7,2%	4,8%	16,4%
Índia	3475	3674	3717	3832	4147	4544	4724	4974	5150	4701	4878	3,8%	3,5%	5,2%
Arábia Saudita	3285	3451	3444	3779	3901	3962	3870	3762	3691	3552	3595	1,2%	0,9%	3,8%
Rússia	3094	3140	3163	3300	3197	3275	3280	3310	3376	3210	3407	6,1%	1,0%	3,6%
Japão	4410	4676	4499	4283	4116	3983	3949	3815	3692	3269	3341	2,2%	-2,7%	3,6%
Coreia do Sul	2388	2466	2476	2473	2586	2811	2804	2800	2789	2630	2813	6,9%	1,6%	3,0%
Brasil	2434	2519	2656	2729	2488	2370	2407	2293	2303	2134	2252	5,5%	-0,8%	2,4%
Canadá	2400	2426	2422	2420	2443	2453	2424	2501	2491	2191	2229	1,7%	-0,7%	2,4%
Alemanha	2294	2276	2336	2273	2269	2307	2374	2255	2270	2049	2045	-0,2%	-1,1%	2,2%

Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022⁵.

⁵ * Demanda interna mais aviação internacional e bunkers marítimos e combustível e perda de refinaria. O consumo de biogolina (como etanol) e biodiesel são excluídos, enquanto derivados de carvão e gás natural são incluídos.

Menos de 0,05%.

A URSS inclui a CEI, a Geórgia, a Ucrânia e os Estados Bálticos.

Exclui Estônia, Letônia e Lituânia antes de 1985 e Croácia e Eslovênia antes de 1990.

Notas: As diferenças entre estes valores de consumo mundial e as estatísticas de produção mundial são explicadas por variações de estoque, consumo de aditivos não petrolíferos e combustíveis substitutos

e disparidades inevitáveis na definição, medição ou conversão de dados de oferta e demanda de petróleo.

As variações anuais e as participações no total são calculadas usando valores diários de mil barris.

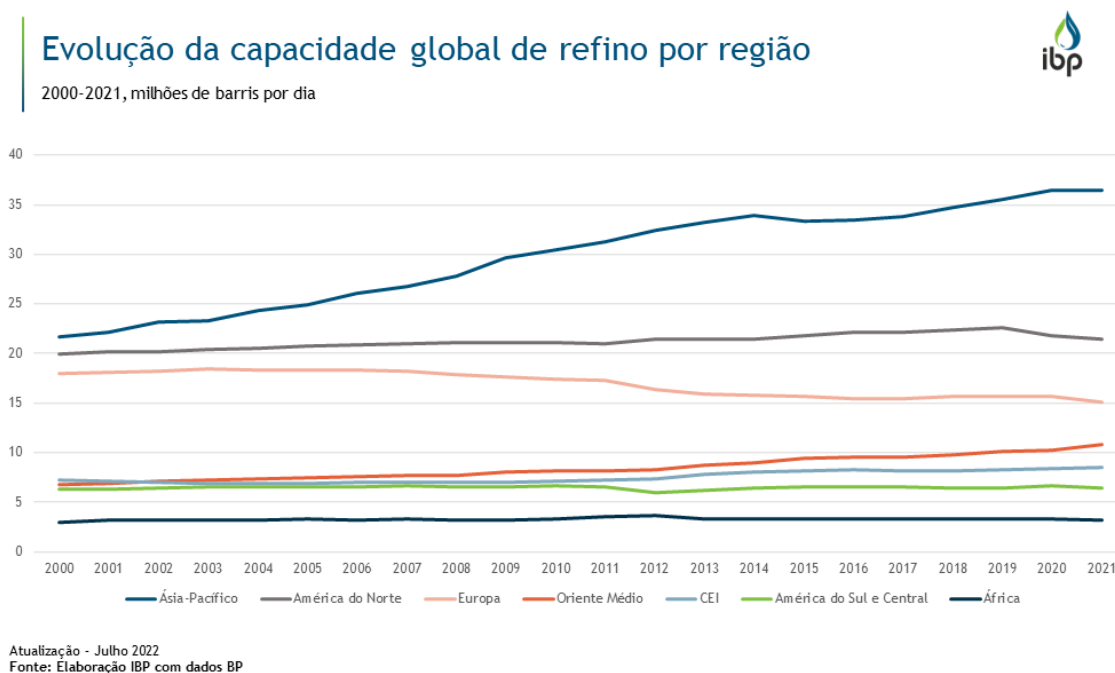
2.1.4 Refino

Nas últimas décadas é possível notar significativo crescimento na capacidade de refino global. No início dos anos 90, a capacidade global girava em torno de 75 milhões de barris/dia, atualmente está em 101,9 milhões de barris/dia.

Dentre os países que mais se destacaram na capacidade de refino em 2021, temos os Estados Unidos com 17,9 milhões de barris/dia, China com 17 milhões de barris/dia, Rússia com 6,9 milhões de barris/dia, a Índia com 5 milhões de barris/dia e a Coreia do Sul com 3,6 milhões de barris/dia. A capacidade dos cinco países representa 49,4% da capacidade global de refino (Dados do BP Statistical Review of World Energy e Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP, 2021).

Ao analisar o cenário de refino por região, a Ásia-Pacífico lidera o ranking com 36,4 Milhões de barris/dia. A construção de mega refinarias na China, com alta capacidade de refino e qualidade no processo, tem impulsionado essa região. Em seguida, a América do Norte, com 21,4 milhões de barris/dia, Europa com 15 milhões de barris/dia, Oriente Médio com 10,7 milhões de barris/dia, CEI com 8,4 milhões de barris/dia, América Central e Sul com 6,3 milhões de barris/dia, e a África com 3,2 milhões de barris/dia (ANP, 2022).

Figura 2.4 – Gráfico Evolução da Capacidade Global de Refino por Região – 2000-2021.



Fonte: BP Statistical Review of World Energy 2022.

O Brasil ocupou a nona posição global com 2,3 milhões de barris/dia, contando com cerca de 18 refinarias de petróleo, sendo 13 de domínio da Petrobrás, além da unidade de processamento de xisto com capacidade de processar 7.800 t/dia. Medido em barris/dia-calendário a capacidade de refino em 2021 foi de 2,3 milhões de barris/dia (ANP, 2022).

Tabela 2.7 – Evolução Da Capacidade De Refino, Segundo Refinarias – 2012-2021.

REFINARIAS (UNIDADE DA FEDERAÇÃO)	CAPACIDADE DE REFINO (BARRIS/DIA)									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
TOTAL¹	2.101.953	2.199.445	2.348.418	2.393.704	2.401.567	2.401.567	2.401.567	2.406.926	2.406.926	2.423.727
Riograndense (RS)	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014	17.014
Lubnor (CE)	8.177	8.177	8.177	9.435	10.378	10.378	10.378	10.378	10.378	10.378
Manguinhos (RJ)	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	14.000	10.001	10.001	14.303
Recap (SP)	53.463	53.463	53.463	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898	62.898
Reduc (RJ)	242.158	242.158	242.158	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592
Refap (RS)	201.274	201.274	201.274	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143	220.143
Regap (MG)	150.955	150.955	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051	166.051
Reman (AM)	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916	45.916
Repar (PR)	207.564	207.564	207.564	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854	213.854
Replan (SP)	415.127	415.127	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996	433.996
Revap (SP)	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592	251.592
Mataripe (BA) (ex-Rlam)	279.897	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388	377.388
RPBC (SP)	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	169.825	179.184	179.184	179.184
RPCC (RN)	37.739	37.739	37.739	37.739	44.658	44.658	44.658	44.658	44.658	44.658
Rnest (PE) ²	-	-	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009	115.009
Univen (SP)	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158	5.158
Dax Oil (BA)	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095	2.095
Ssoil (SP)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.498
Six (PR) ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL⁴ (BARRIL/DIA-CALENDÁRIO)	1.996.855	2.089.472	2.230.997	2.274.019	2.281.488	2.281.488	2.281.488	2.286.580	2.286.580	2.302.540
FATOR DE UTILIZAÇÃO⁵ (%)	96,5	98,4	94,4	87,2	80,3	76,2	75,7	76,4	77,3	79,0

Fonte: ANP/SPC, conforme as Resoluções ANP no 16/2010 e 17/2010⁶.

⁶ 1 Capacidade nominal em barris/dia.

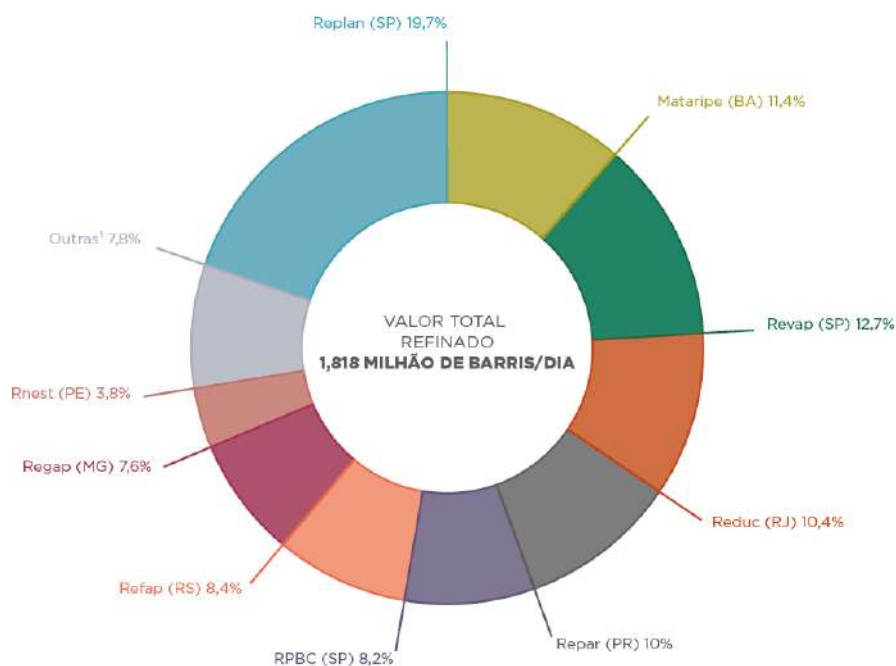
² Autorizada a processar 100 mil barris/dia, conforme exigência da Renovação da Licença de Operação, emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco.

³ A capacidade de processamento e de 7.800 t/dia de xisto bruto.

⁴ Capacidade de refino calendário-dia, considerando-se o fator médio de 95%.

⁵ Fator de utilização das refinarias, considerando o petróleo processado no ano.

Figura 2.5 – Gráfico Participação das refinarias no refino de petróleo – 2021.



Fonte: ANP/SPC, conforme a Resolução ANP n° 729/2018 (Tabela 2.31)⁷.

No refino do petróleo têm-se um conjunto de processos que atuam na transformação do óleo cru (petróleo) em derivados de valor comercial, como a gasolina, GLP, diesel, querosene, entre outros. Por representar parte significativa da produção de energia global, o mercado mundial ainda é muito dependente dos derivados do petróleo.

2.1.5 Produção de Derivados

O Petróleo bruto ao ser refinado, produz diversas matérias-primas essenciais para a vida em sociedade. Em 2021 a produção brasileira de derivados de petróleo atingiu 115,8 milhões de m³. Desse volume, 95,8% foram produzidos em refinarias e o restante dividido em centrais petroquímicas, UPGNs e outros produtores.

Os derivados energéticos representam 87,6% do total produzido. Enquanto os não energéticos 13,4% (ANP, 2022).

⁷ Inclui Recap (SP), RPCC (RN), Reman (AM), Riograndense (RS), Manguihos (RJ), Lubnor (CE) e Dax Oil (BA).

Tabela 2.8 – Produção de derivados de petróleo, energéticos e não energéticos – 2012-2021.

DERIVADOS DE PETRÓLEO	PRODUÇÃO (M³)										21/20 %
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
TOTAL	120.203.986	127.299.882	130.152.722	122.120.793	114.418.187	110.358.366	108.309.562	108.335.341	112.024.495	115.778.241	3,35
Energéticos	102.528.383	110.160.883	112.717.562	106.717.844	100.230.490	96.725.331	94.285.616	94.009.496	96.047.553	101.446.027	5,62
Gasolina A	27.061.075	29.720.707	30.078.550	26.923.072	27.719.573	27.774.987	25.169.472	25.257.431	23.395.022	27.903.803	19,27
Gasolina de aviação	77.606	93.685	93.762	72.486	53.902	59.662	46.220	-	2.216	55.899	..
GLP	10.361.616	10.228.151	10.050.965	9.897.467	9.663.122	10.336.423	9.979.417	9.815.071	9.858.567	9.600.855	-2,61
Óleo combustível	13.691.084	14.761.276	16.267.891	14.339.295	11.506.738	11.691.291	10.751.048	11.866.979	17.238.550	16.952.832	-1,66
Óleo diesel	45.504.004	49.539.186	49.675.057	49.457.609	45.369.807	40.625.830	41.957.390	40.998.507	42.215.122	42.852.980	1,51
QAV	5.422.769	5.554.391	6.079.114	5.656.859	5.789.278	6.168.600	6.376.333	6.066.674	3.332.770	4.074.103	22,24
Querosene iluminante	23.885	15.393	12.005	7.396	7.668	5.830	5.736	4.834	5.306	5.554	4,66
Outros	386.345	248.094	460.217	363.660	120.403	62.709	-	-	-	-	..
Não energéticos	17.675.603	17.138.999	17.435.160	15.402.949	14.187.697	13.633.035	14.023.947	14.325.845	15.976.942	14.332.214	-10,29
Asfalto	2.569.635	2.653.348	3.248.853	2.015.366	2.152.075	1.955.427	1.899.816	1.721.537	2.318.275	1.875.770	-19,09
Coque	4.452.350	4.810.510	4.748.864	4.958.620	5.076.586	4.928.529	4.468.572	4.411.889	4.332.411	4.367.408	0,81
Nafta	6.440.115	5.354.014	5.074.640	4.608.816	3.175.691	3.086.305	4.046.483	4.480.133	6.194.691	4.623.048	-25,37
Óleo lubrificante	607.979	689.214	682.053	640.490	616.529	593.536	602.881	566.063	454.679	621.662	36,73
Parafina	123.445	122.647	134.636	136.934	162.366	120.051	126.197	124.131	73.600	57.115	-22,40
Solvente	290.241	454.262	384.262	358.134	336.158	326.117	330.009	312.790	317.674	411.408	29,51
Outros	3.191.837	3.055.004	3.161.852	2.684.589	2.668.293	2.623.069	2.549.988	2.709.302	2.285.612	2.375.803	3,95

Fonte: ANP, conforme a Resolução ANP nº 729/2018⁸.

Tabela 2.9 – Produção de derivados de petróleo, energéticos e não energéticos, por tipo de unidade produtora – 2021.

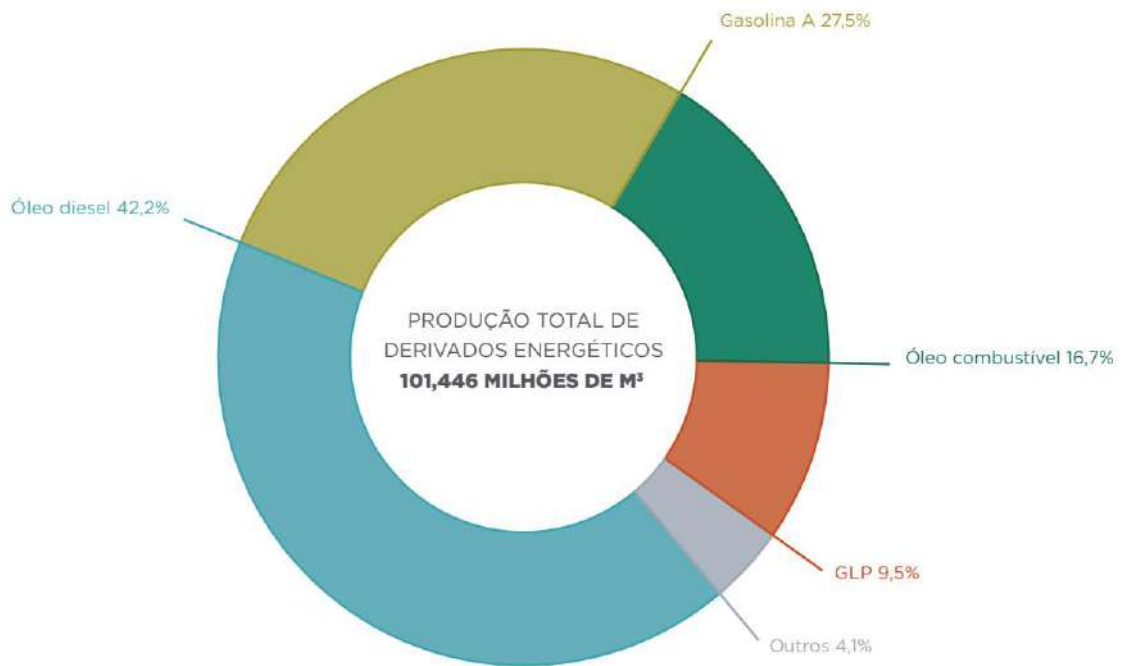
DERIVADOS DE PETRÓLEO	PRODUÇÃO (M³)					TOTAL
	REFINARIAS	CENTRAIS PETROQUÍMICAS	UPGNs	OUTROS PRODUTORES		
TOTAL	110.901.155	1.644.452	2.163.100	1.069.533	115.778.241	
Energéticos	96.572.388	1.644.452	2.163.100	1.066.087	101.446.027	
Gasolina A	25.402.865	1.434.851	-	1.066.087	27.903.803	
Gasolina de aviação	55.899	-	-	-	55.899	
GLP	7.228.154	209.601	2.163.100	-	9.600.855	
Óleo combustível	16.952.832	-	-	-	16.952.832	
Óleo diesel	42.852.980	-	-	-	42.852.980	
QAV	4.074.103	-	-	-	4.074.103	
Querosene iluminante	5.554	-	-	-	5.554	
Não energéticos	14.328.768	-	-	3.446	14.332.214	
Asfalto	1.875.770	-	-	-	1.875.770	
Coque	4.367.408	-	-	-	4.367.408	
Nafta	4.623.048	-	-	-	4.623.048	
Óleo lubrificante	621.662	-	-	-	621.662	
Parafina	57.115	-	-	-	57.115	
Solvente	407.962	-	-	3.446	411.408	
Outros	2.375.803	-	-	-	2.375.803	

Fonte: ANP, conforme a Resolução ANP nº 729/2018⁹.

⁸ Não inclui a produção de gás combustível.

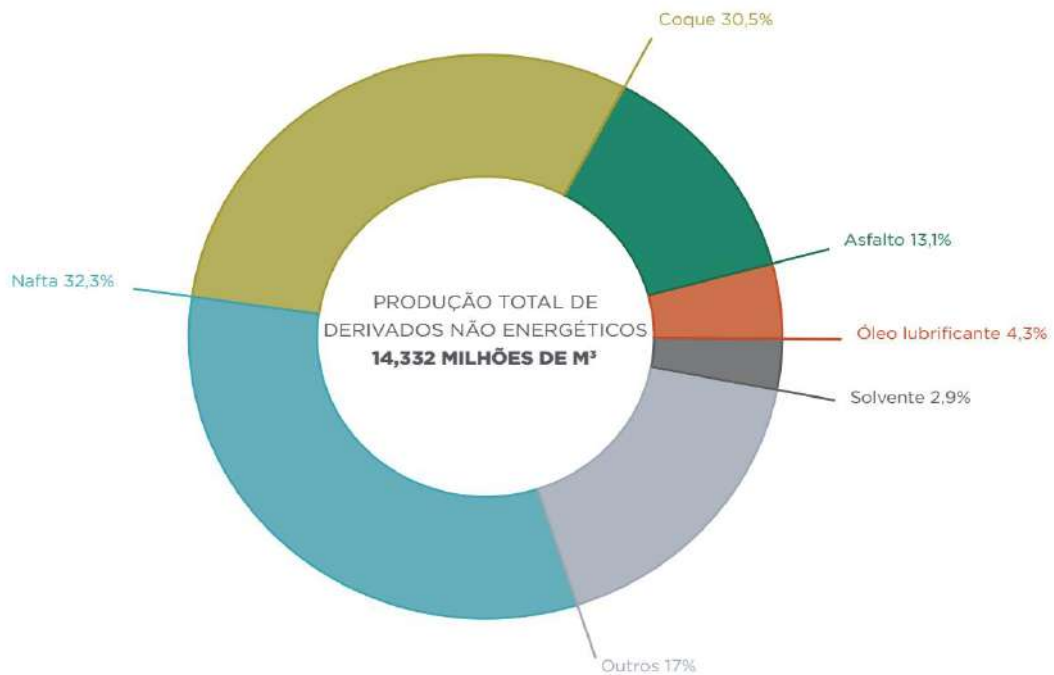
⁹ Não inclui a produção de gás combustível.

Figura 2.6 – Gráfico de distribuição percentual da produção de derivados energéticos de petróleo – 2021.



Fonte: ANP, conforme a Resolução ANP nº 729/2018 (Tabela 2.37).

Figura 2.7 – Gráfico de distribuição percentual da produção de derivados não energéticos.

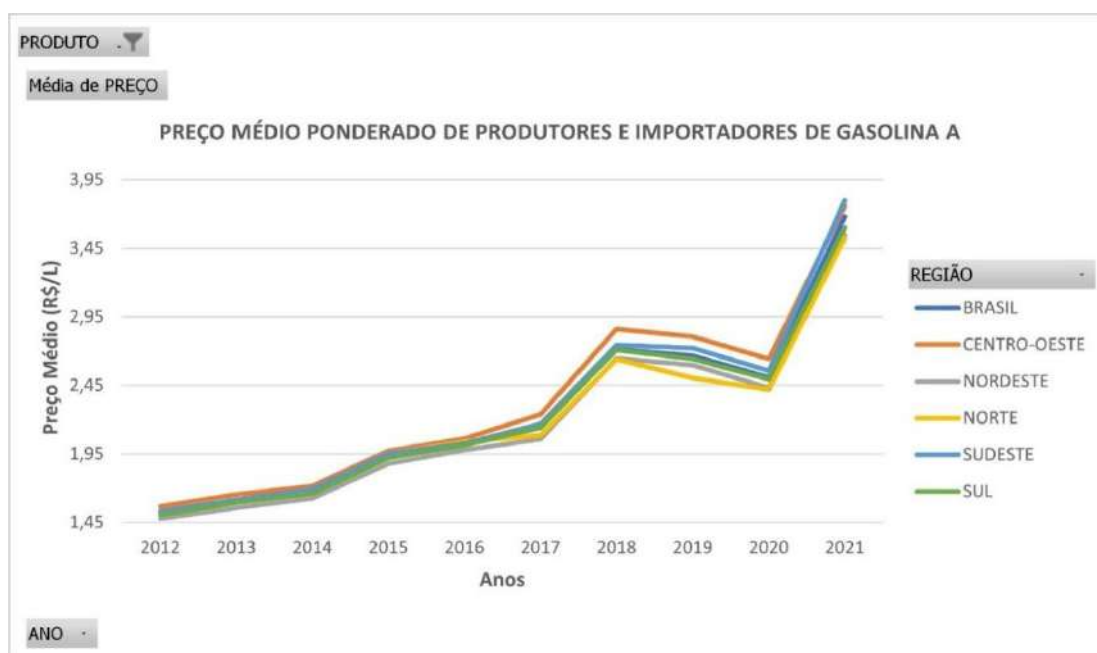


Fonte: ANP, conforme a Resolução ANP nº 729/2018 (Tabela 2.37).

2.1.6 Preço

Os preços médios ponderados retratam as flutuações semanais, de acordo com o cenário econômico, dos produtores (refinarias, centrais petroquímicas e formuladores) e importadores de derivados, em especial gasolina A, óleo diesel e GLP. Nesses preços já estão embutidos os devidos impostos de âmbito nacional. Ressalta-se o aumento dos preços quando se compara os dados dos dois últimos anos – gasolina A (+46,7%); óleo diesel (+47,9%); GLP (+52,8%) – além da expressiva tendência ao longo dos anos como é possível ver nos gráficos abaixo para gasolina A, diesel e GLP.

Figura 2.8 – Gráfico de preços médios ponderados de produtores de gasolina A, por regiões – 2012-2021.

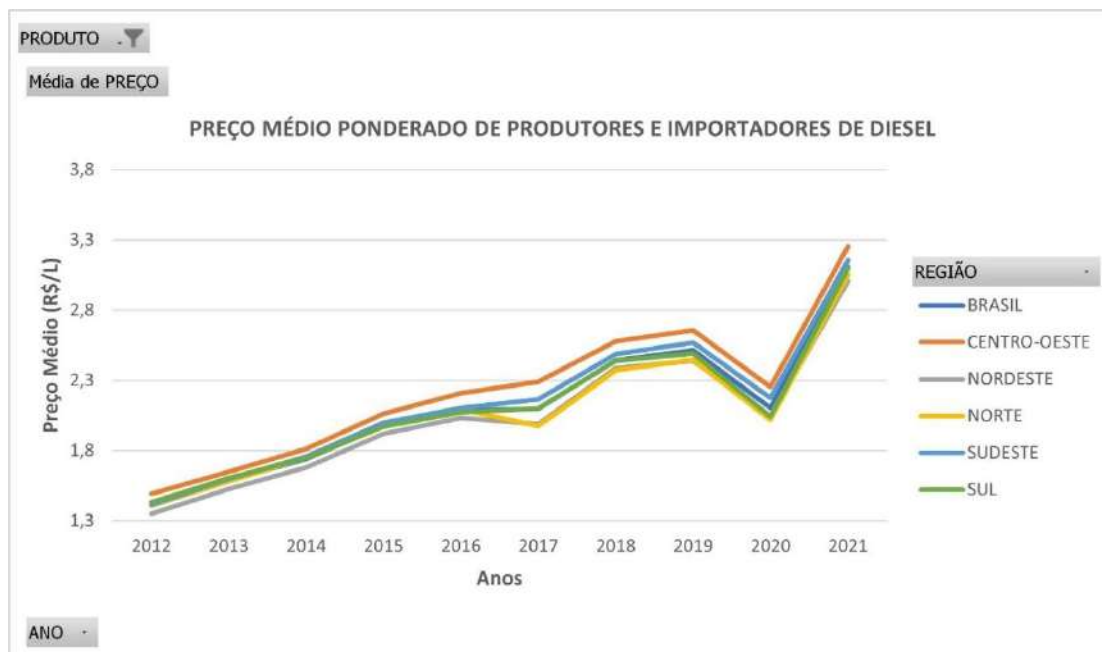


Fonte: Elaborado pelo autor, baseado em ANP (2022)¹⁰.

¹⁰ 1. Preços em valores correntes.

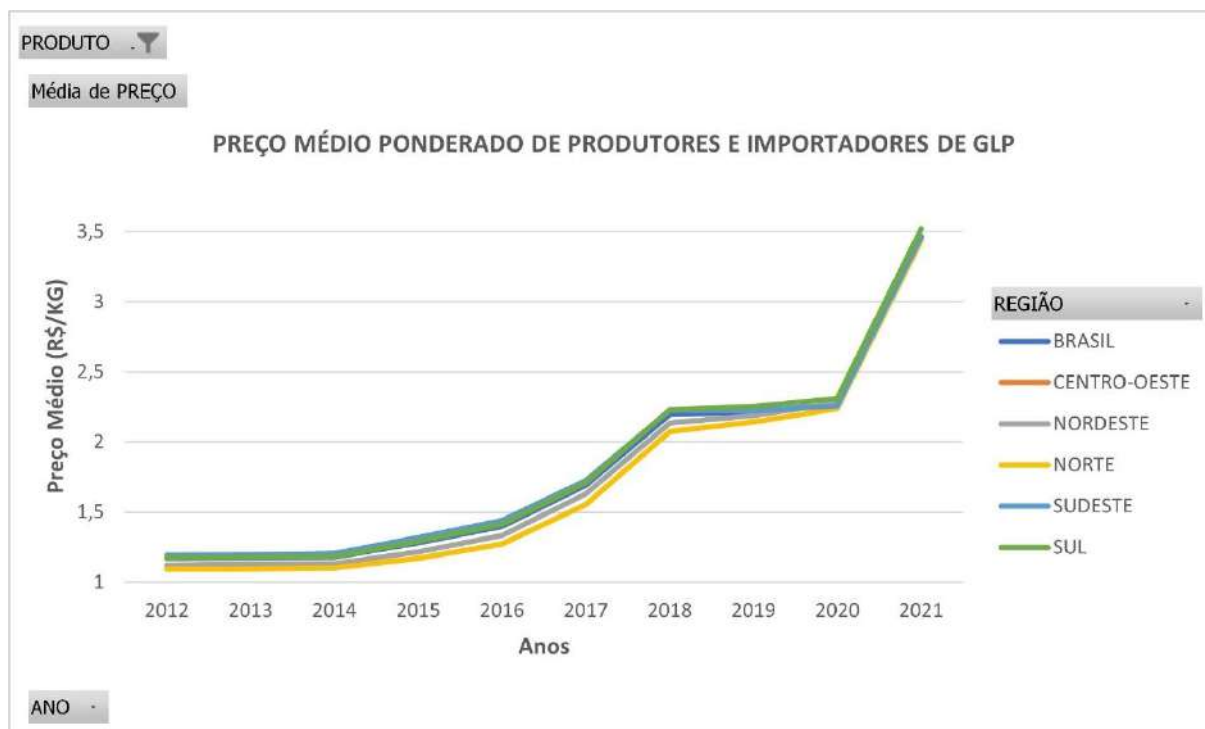
2. Os preços incluem, quando cabíveis, as parcelas de Cide, PIS/Pasep e COFINS. Não incluem ICMS.

Figura 2.9 - Gráfico de preços médios ponderados de produtores e importadores de óleo diesel, por regiões – 2012-2021.



Fonte: ANP (2022)¹¹ – Elaboração própria.

Figura 2.10 – Gráfico de preços médios ponderados de produtores e importadores de GLP, por regiões – 2012-2021.



Fonte: ANP (2022) – Elaboração própria¹².

¹¹ 1. Preços em valores correntes.

2. Os preços incluem, quando cabíveis, as parcelas de Cide, PIS/Pasep e COFINS. Não incluem ICMS.

¹² 1. Preços em valores correntes.

2. Preços médios de venda dos botijões de 13 kg e outros.

2.2 ANÁLISE DO PROCESSO – COQUEAMENTO RETARDADO

2.2.1 Histórico

Após a Segunda Guerra Mundial surgiu o processo de coqueamento retardado, que foi originalmente projetado para craquear resíduos a fim de produzir mais gásóleo para craqueamento. O coque produzido era considerado um subproduto e vendido ao preço do carvão mineral. Com o desenvolvimento da indústria do alumínio, o coque demonstrou ser uma ótima matéria-prima para a produção dos eletrodos necessários para obtenção do metal e para a siderurgia na obtenção de aços especiais. Desta forma, o coque torna-se mais importante e, portanto, mais caro (UNICENP, 2002).

Com a crise do petróleo, o processo de coqueamento retardado se tornou cada vez mais importante, processo que converte uma fração pesada e depreciada, geralmente resíduo de vácuo, em outros derivados de valor comercial expressivo, como: gás liquefeito de petróleo, nafta, diesel e gásóleo. A flexibilidade de converter o resíduo das destilações, em frações leves e médias, concedeu um outro olhar para o processo, que até então, não era reconhecido por sua grande rentabilidade e flexibilidade operacional. Assim, o coqueamento que caminhava para a inevitável obsolescência, recuperou sua importância, sendo atualmente um processo sempre cogitado em qualquer estudo relacionado à modernização, expansão ou implantação de uma nova refinaria. O coqueamento retardado é o processo responsável por atender à crescente demanda de diesel do país. Atualmente existem unidades instaladas na RPBC (2 trens), RNEST (2 trens, mas só 1 ativo), REDUC (1 trem), REGAP (1 trem), REPLAN (2 trens), REFAP (1 trem), REVAP (1 trem) e REPAR (1 trem) (UNICENP, 2002).

Quando comparado com outras unidades de craqueamento térmico ou craqueamento catalítico, o investimento necessário para implementar uma unidade de coqueamento retardado não é alto. A depender do tamanho da unidade, pode ser feito um investimento de US \$50.000.000,00 a US \$100.000.000,00, amortizado em um curto período devido à alta rentabilidade (UNICENP, 2002).

3. Os preços incluem, quando cabíveis, as parcelas de Cide, PIS/Pasep e COFINS. Não incluem ICMS.

2.2.2 Matéria-prima

Na Unidade de Coqueamento Retardado – UCR são aceitos alguns tipos de matérias-primas que se enquadram na categoria de frações pesadas, são elas: resíduo de vácuo, resíduo atmosférico, gasóleos de vácuo e óleo decantado.

O Resíduo de Vácuo – RV, a carga mais utilizada no processo, é proveniente da seção de fundo da torre de destilação a vácuo e pode ser associado ao gasóleo de vácuo. Por se tratar de um resíduo, sua fórmula molecular não é facilmente identificada, mas possui em sua composição substâncias poliaromáticas, resinas, gasóleo de alta viscosidade, asfaltenos, saturados e contaminantes (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Outros subprodutos oriundos do processo de refino podem ser combinados com o Resíduo de Vácuo – RV, como por exemplo, o Resíduo Atmosférico – RAT. Este, por sua vez, é oriundo da destilação atmosférica e possui em sua composição substâncias poliaromáticas, resinas, asfaltenos, saturados e contaminantes. Porém, divergem entre si em suas frações, pois no RV existe uma “elevada quantidade de asfaltenos” (OLIVEIRA *et al.*, 2015), já no RAT, “elevada quantidade de resinas”.

O Óleo Decantado – OD, oriundo do FCC, possui em sua composição grande parcela de aromáticos e pode ser combinado a outras cargas da unidade de coqueamento retardado corroborando para produção de coque agulha, o melhor para a fabricação de eletrodos (UNICENP, 2002).

2.2.3 Produtos

Apesar da carga da unidade ser uma fração pesada, procedente de outros processos da refinaria, a UCR é capaz de extrair frações leves e de alto valor agregado. Os produtos são: gás combustível, GLP, nafta de coqueamento, gasóleo leve de coqueamento, gasóleo pesado de coqueamento e coque.

O gás combustível, também conhecido como gás de refinaria, pode ser definido como uma mistura gasosa que engloba compostos de um a dois átomos de carbono em sua composição, tais como: metano (CH_4), etano (C_2H_6), eteno (C_2H_4) e hidrogênio (H_2). Sua maior aplicação é ser utilizado como utilidade na planta industrial sendo direcionado para combustão nos diversos fornos e caldeiras, por isso não é armazenado como outros produtos. No caso de ser empregado na fabricação de enxofre, o gás combustível passa por um tratamento com monoe-tanolamina – MEA e dietanolamina – DEA para que ocorra a formação de sulfeto de hidrogênio/ácido sulfídrico (H_2S), a matéria-prima do processo. O craqueamento catalítico fluido –

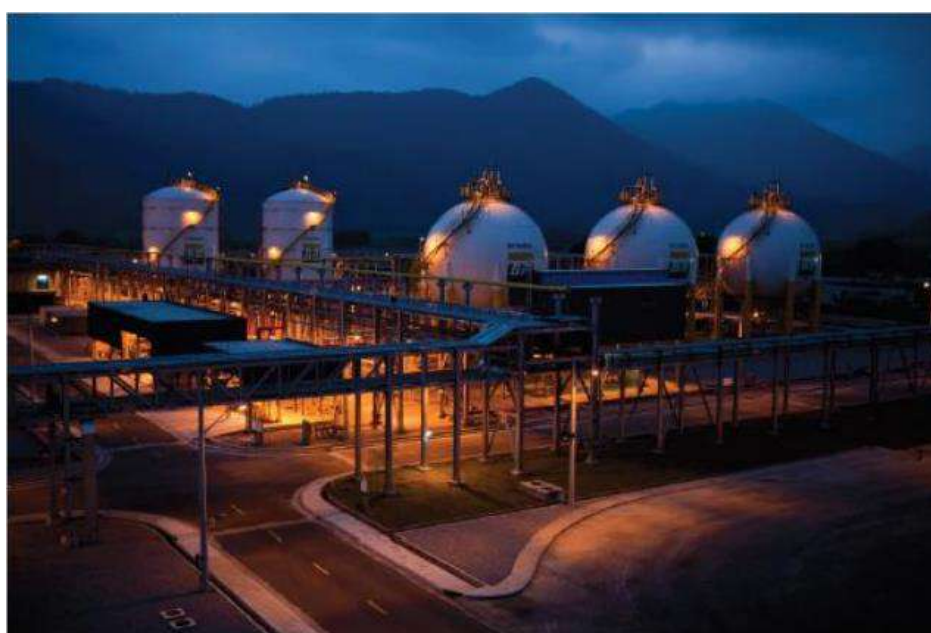
FCC é o processo produtor majoritário de gás combustível na refinaria (UNICENP, 2002) (FA-RAH, 2012).

O Gás Liquefeito de Petróleo – GLP é uma mistura gasosa composta, majoritariamente, por hidrocarbonetos que possuem três a quatro átomos de carbono em sua composição, como: propano (C_3H_8), propeno (C_3H_6), n-butano (C_4H_{10}), isobutano (C_4H_{10}), buteno (C_4H_8), podendo conter baixos teores de etano (C_2H_6) e pentano (C_5H_{12}). A presença desses é limitada pois podem elevar suas pressões de vapor e o ponto final de ebulição. Apesar de, a condições de temperatura e pressão ambientes, estar em estado gasoso, pode ser liquefeito por meio de pressurização do sistema que reduz em até 250 vezes o seu volume, o que facilita questões logísticas, e sua armazenagem é feita em esferas (PETROBRAS, 2022) – Figura 2.11.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, através da Resolução ANP nº 825/2020, o GLP se subdivide em:

- I - *propano comercial*: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção propano e/ou propeno;
- II - *butano comercial*: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção butano e/ou buteno;
- III - *propano/butano*: mistura de hidrocarbonetos contendo em maior proporção, em percentuais variáveis, propano e/ou propeno e butano e/ou buteno; e
- IV - *propano especial*: mistura de hidrocarbonetos contendo, no mínimo, 90% de propano em volume e, no máximo, 5% de propeno em volume.

Figura 2.11 – Parque de esferas de armazenamento de GLP em uma refinaria Petrobras.



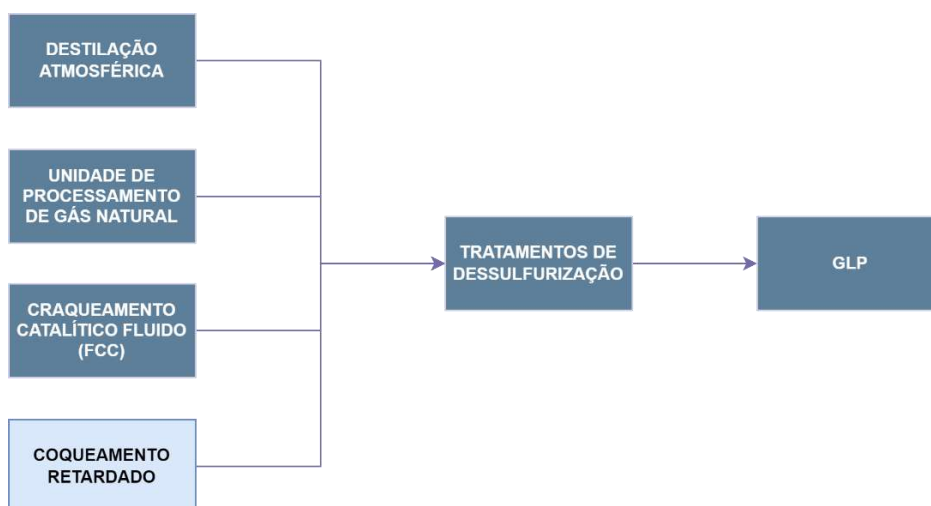
Fonte: PETROBRAS (2022, p. 12).

Quanto a aplicabilidade do GLP, pode-se fragmentar suas correntes a depender da finalidade. A mistura propano/butano, possui grande aplicabilidade na cocção de alimentos, combustível de empilhadeiras, entre outros. Nos casos mencionados, a mistura gasosa é armazenada em botijões ou cilindros na forma liquefeita. Para a indústria petroquímica são comercializadas duas matérias-primas, propeno e buteno, que participam da fabricação de borracha, polímeros, álcoois e éteres. O craqueamento catalítico fluido – FCC é o processo que mais produz GLP em uma refinaria (FARAH, 2012) (PETROBRAS, 2022).

O gás liquefeito de petróleo é incolor e inodoro devido ao seu baixo teor de enxofre, por este motivo um composto de enxofre (etilmercaptan) é adicionado a sua composição para que em um cenário de vazamento acidental, através do odor, seja identificado para devidas tratativas (PETROBRAS, 2022).

O GLP queima de forma mais limpa, com menores emissões de material particulado, óxidos de enxofre – SO_x e óxidos de nitrogênio – NO_x , quando comparado a combustíveis de cadeias carbônicas mais longas. Devido à sua alta proporção hidrogênio - carbono, também produz baixas emissões de CO_2 por unidade de energia gerada, com relação a combustíveis líquidos. Uma característica de destaque para este combustível é a facilidade com que o GLP pode mudar facilmente do estado gasoso para o líquido e vice-versa (PETROBRAS, 2022).

Figura 2.12 – Diagrama de blocos da produção da GLP.



Fonte: Petrobras (2022) – Elaboração própria.

A nafta leve pode ser definida como uma mistura que engloba hidrocarbonetos de cinco a doze átomos de carbono em sua composição, tais como: pentano (C_5H_{12}), hexano (C_6H_{14}), heptano (C_7H_{16}), octano (C_8H_{18}), nonano (C_9H_{20}), decano ($C_{10}H_{22}$), undecano ($C_{11}H_{24}$), dodecano ($C_{12}H_{26}$), aromáticos, entre outras variações (isômeros) destes. A principal aplicação da

nafta é como gasolina, combustível veicular, mas também possui aplicabilidade na indústria petroquímica, com alto valor agregado, e é subdividida em (PETROBRAS, 2021):

- Parafínica – Formada por mais de 75% em massa por hidrocarbonetos parafínicos;
- Naftênica – Composta em até 65% em massa por hidrocarbonetos parafínicos.

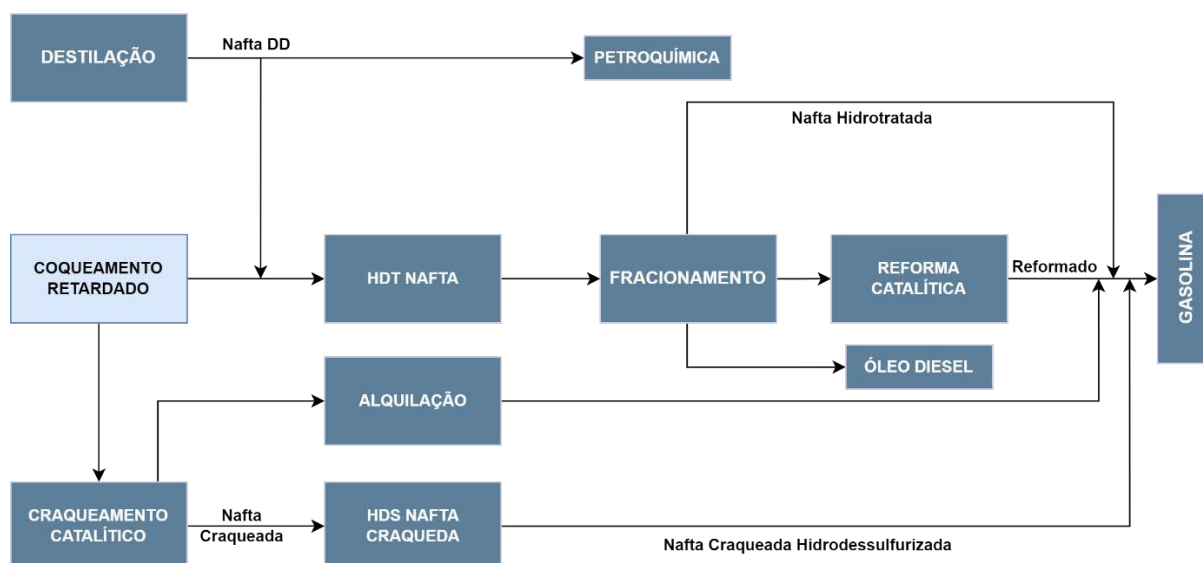
Grande parte da nafta petroquímica produzida no Brasil é oriunda de unidades de destilação atmosférica, porém uma pequena parcela é proveniente de processos de craqueamento catalítico ou térmico ou unidades de recuperação de aromáticos.

A nafta de coqueamento possui baixa estabilidade devido a presença de contaminantes como: enxofre e elevado teor de olefinas e diolefinas. Com isso, após a obtenção deste produto é necessário o processo de hidrotratamento para remover compostos sulfurados e quebrar ligações nos hidrocarbonetos olefínicos e diolefínicos, de modo que se tornem saturados através da adição de hidrogênios nas moléculas. Por consequência, há redução significativa do número de octano e se faz necessário encaminhar a nafta ao processo de reforma catalítica ou isomerização com o intuito de aprimorar a qualidade antidetonante, para que assim esta nafta seja utilizada no *pool* de gasolina juntamente com as naftas oriundas dos processos de destilação direta, craqueamento catalítico, reforma catalítica, hidrocrackeamento catalítico, alquilação e isomerização (FARAH, 2012).

Por fim, com redução de hidrocarbonetos aromáticos e olefínicos, além do baixo teor de enxofre (50 mg/kg máx.), as gasolinas Petrobras possuem características que permitem o uso de tecnologias mais avançadas para minimizar as emissões de gases poluentes, como monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, resultando em um menor impacto ambiental¹³.

¹³ Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/gasolina/>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.

Figura 2.13 – Diagrama de blocos da produção da gasolina.



Fonte: Baseado em Farah (2012) – Elaboração própria.

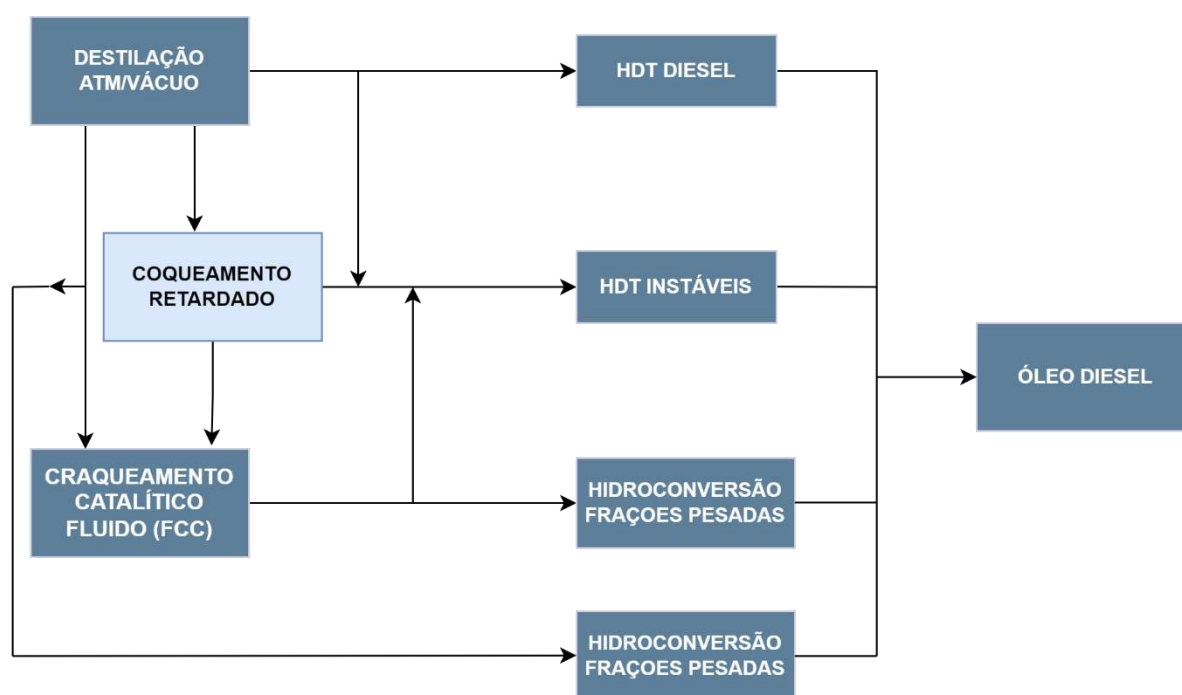
O diesel é um derivado do petróleo que possui 10 a 25 átomos em sua cadeia carbônica e pode ser obtido por meio da estabilização de gasóleos oriundos da destilação, do craqueamento catalítico e coqueamento retardado. A unidade de processo fundamental na produção de diesel é a destilação, onde frações de gasóleos atmosféricos, leve e pesado, são obtidas na faixa de 150 °C e 400 °C e encaminhadas para o processo de hidrodessulfurização. No entanto, outras unidades de processo, também contribuem com a produção de diesel por meio de gasóleos que precisam passar por um processo de hidrotreamento para que o número de cetano, principalmente, seja ajustado segundo especificações de qualidade. Os gasóleos obtidos na UCR (leve e pesado) são frações que necessitam passar por processo de hidrotreamento e sofrem suaves mudanças de redução na faixa de ebulição, densidade, lubricidade, viscosidade, aumento da estabilidade à oxidação e do número de cetano – característica de ignição do diesel (FARAH, 2012).

Em geral, o gasóleo pesado é utilizado de forma conjunta com o gasóleo leve e podem servir como carga das unidades de craqueamento catalítico ou pirólise. Tais frações possuem considerável teor de cadeias aromáticas, devido a dificuldade do catalisador em quebrar anéis benzênicos. Com isso, de acordo com as respectivas faixas de destilação, três frações são obtidas: Óleo Leve de Reciclo – *Light Cycle Oil* – LCO, Óleo Pesado de Reciclo – *Heavy Cycle Oil* – HCO e Óleo Clarificado ou Óleo Decantado – CLO. A fração mais leve pode ser adicionada ao diesel, sem passar por mais algum processo, se o teor de enxofre estiver dentro das especificações e se não atender, o LCO pode ser utilizado para ajustar a viscosidade de óleos combustíveis. A fração intermediária tem toda sua vazão reciclada ao conversor para que ocorra

um segundo processo de craqueamento das moléculas. Já a fração residual possui elevada quantidade de aromáticos policondensados, característica esta que corrobora para a obtenção de negro de fumo – carga para produção de borracha ou produção de coque de petróleo que é empregado na produção de eletrodos de grafite. Caso o CLO não seja destinado a uma das finalidades anteriores, será adicionado à corrente de óleo combustível (UNICENP, 2002).

O uso principal é como combustível automotivo, mas também pode ser utilizado como fonte de energia para máquinas agrícolas, ferroviárias, marítimas, transportes rodoviários e calefação. Destaca-se que o diesel recebe adição de 10%¹⁴ de biodiesel para atender às especificações da ANP. (FARAH, 2012)

Figura 2.14 – Diagrama de blocos da produção de Diesel.



Fonte: Baseado em Farah (2012) – Elaboração própria.

O coque de petróleo é um sólido de cor negra, possui forma granular semelhante ao carvão mineral, elevados teores de carbono em sua composição e residual de hidrocarbonetos pesados. Sua obtenção é dada pelo processamento de frações pesadas de petróleo na unidade de coqueamento retardado – UCR e diferentes formas de coque são obtidas, a depender do tipo de carga utilizada (FARAH, 2012, p. 237) (UNICENP, 2002) (PETROBRAS, 2019):

¹⁴ Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/cnpe-mantem-percentual-de-10-de-biodiesel-no-diesel-em-2022. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

- *Shot coke* (Coque bala): Possui forma esférica de diferentes dimensões, obtido a partir de resíduo de vácuo com altos teores de asfaltenos, enxofre e metais;
- Coque esponja: Tem pequenos poros em sua estrutura e paredes com diferentes espessuras, possui baixa qualidade e sua obtenção é resultante de resíduos de vácuo com baixo a moderado teor de asfaltenos, enxofre e metais;
- Coque esponja grau anodo: Os poros possuem forma de elipse e são uniformemente distribuídos em camadas alinhadas, aparentando nitidamente um favo-de-mel quando cortado transversalmente; tem qualidade razoável e pode produzir anodos; proveniente de cargas com baixos teores de resinas, asfaltenos, enxofre e metais;
- Coque agulha: O coque de melhor qualidade com relação aos outros, possui estrutura cristalina com a forma de agulhas e poros direcionais. É empregado na fabricação de eletrodos de grafite e resulta de cargas altamente aromáticas, como óleo decantado e alcatrão de craqueamento térmico, contendo baixos teores de asfaltenos, enxofre, resinas e metais.

Além desses, o coque pode ser aplicado na produção de titânio, carburetos, nos eletrodos de fornos elétricos de siderurgia, na recarbonetação do ferro e aço, na produção de abrasivos, entre outros. E, ainda é aproveitado como combustível, agente redutor e em misturas com carvão-de-pedra na produção de coque siderúrgico.

Figura 2.15 – Diferentes tipos de coque.



Fonte: PETROBRAS (2019, p. 5).

2.2.4 O processo

A Unidade de Coqueamento Retardado é responsável pela conversão de frações pesadas do petróleo em produtos de maior valor agregado, especialmente em diesel. Esta unidade pode ser operada com o foco em produção de frações mais leves e de alto valor agregado ou com o foco em produção de *Bunker*, óleo combustível marítimo. Este processo é bem consolidado e é categorizado como um processo de fundo de barril pelo tipo de carga processada, Resíduo de Vácuo (RV), obtendo frações leves e coque por meio de craqueamento térmico, como apresentado pela Figura 2.16. Quando comparado ao Craqueamento Catalítico Fluido (FCC), este processo não possui as mesmas limitações operacionais por não possuir reações catalíticas em seu fluxo de processo, conforme aponta Farah (2012).

Considerando a operação da unidade com o foco em obtenção de coque e frações mais leves, que possuem maior valor agregado, tem-se que a carga da unidade é o Resíduo de Vácuo (RV), oriundo de um processo anterior denominado Destilação a Vácuo, contendo compostos

poliaromáticos, resinas, gasóleo de alta viscosidade, asfaltenos, saturados e contaminantes. No entanto, o Coqueamento Retardado pode processar outras cargas, como: Resíduo Atmosférico (RAT), oriundo da Destilação Atmosférica, Gasóleos de Vácuo e o Óleo Decantado (OD) oriundo do FCC, que possui grande parcela de aromáticos em sua composição (UNICENP, 2002).

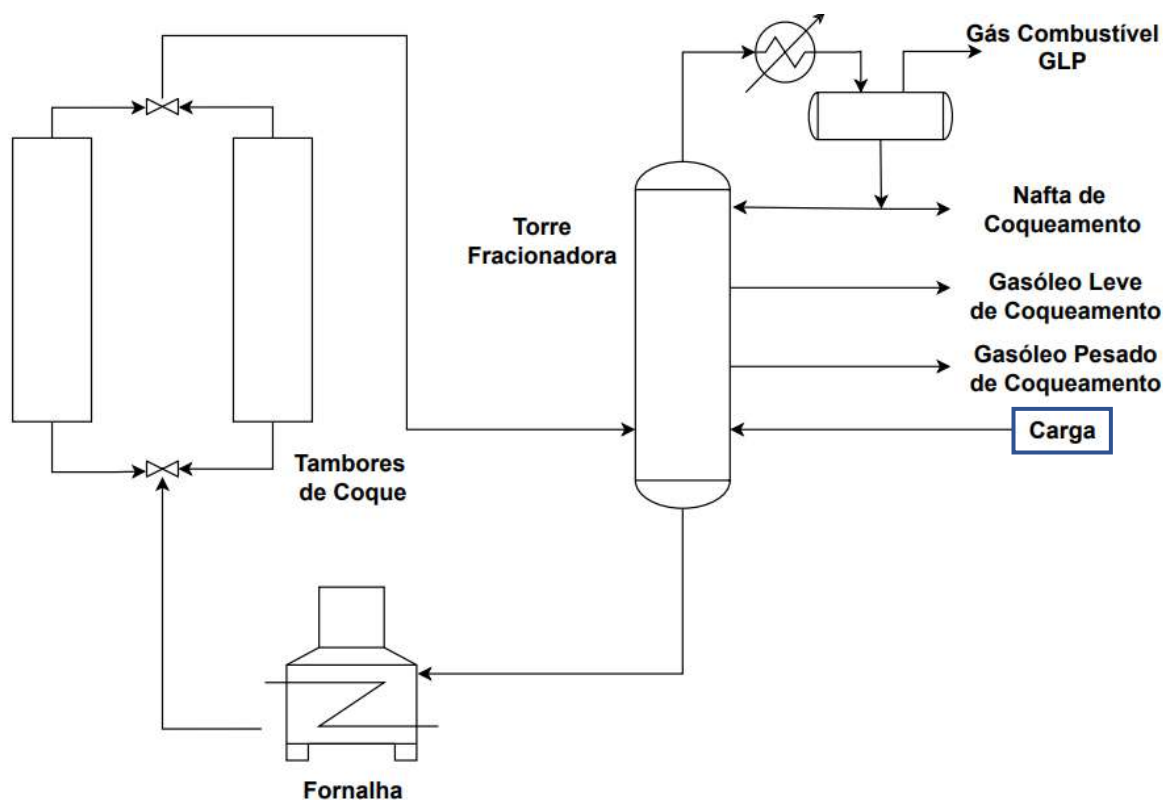
O processo inicia-se com o pré-aquecimento da carga para posterior introdução no fundo da torre fracionadora, onde os componentes mais voláteis sofrem um flash térmico e os pesados se juntam com a corrente de reciclo da fracionadora e são bombeados até o forno para passarem pelo processo de craqueamento térmico – *cracking* – em que as temperaturas chegam até 500 °C, sob injeção de vapor d'água para aumentar a velocidade do fluxo pelos tubos do forno e evitar que ocorra a formação de coque no interior desses tubos, o que causaria entupimentos e paradas de unidade (FARAH, 2012). A temperatura de operação do forno é suficiente para propiciar o craqueamento térmico, ou seja, a quebra de moléculas de cadeia aberta por meio da elevada temperatura a que são expostas. Nesse processo, as moléculas aromáticas polinucleadas, resinas e asfaltenos são coqueados nas câmaras de coqueamento, popularmente conhecidas como tambores de coque. No fluxograma do processo (Figura 2.16) é possível perceber a presença de duas câmaras de coqueamento em paralelo, tal configuração é adotada para que, enquanto um equipamento esteja operando, o outro esteja no processo de descoqueificação. Esta é a fase mais prolongada do processo porque é quando ocorre a deposição de coque, enquanto as frações mais leves seguem junto com o vapor d'água para a torre fracionadora. Por fim, obtém-se como produtos desta unidade de processo: o gás combustível, o Gás Liquefeito de Petróleo – GLP, nafta de coqueamento, gasóleo leve de coqueamento, gasóleo pesado de coqueamento e coque de petróleo (UNICENP, 2002).

Os produtos obtidos na UCR apresentam menores rendimentos e maiores teores de enxofre e outros contaminantes quando comparados às frações oriundas do craqueamento catalítico. Devido ao elevado teor de contaminantes e elevado teor de diolefinas, a nafta e o gasóleo precisam passar por um processo de estabilização para compor a gasolina e o diesel, respectivamente. No caso da nafta, a capacidade antidetonante é inferior quando comparada à nafta proveniente do FCC. Já no caso do gasóleo, o número de cetano (qualidade de ignição do óleo diesel) é muito inferior quando comparado ao diesel obtido em outros processos, conforme Farah (2012).

O projeto deste tipo de unidade pode objetivar o máximo de gasóleo pesado ou o máximo de nafta. A escolha por produzir o máximo de gasóleo pesado exige condições operacio-

nais como baixas pressões e baixos reciclos; para o máximo de produção de gasolina, os parâmetros são altas pressões, altos reciclos e altas temperaturas, ou combinações de todas estas variáveis (UNICENP, 2002).

Figura 2.16 – Fluxograma de processos simplificado de uma Unidade de Coqueamento Retardado.



Fonte: Baseado em Farah (2012) – Elaboração própria.

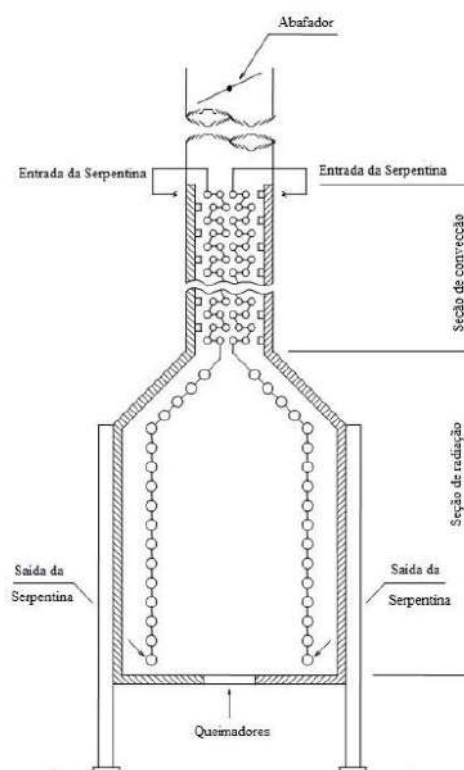
2.2.5 Equipamentos envolvidos e princípio de funcionamento

Os principais equipamentos envolvidos no processo operacional da Unidade de Coqueamento Retardado são: Torre Fracionadora, Forno e Tambores de Coque.

A Torre Fracionadora opera com base na temperatura de ebulição dos componentes da mistura homogênea para que ocorra a separação das fases, de forma que as frações mais voláteis são as primeiras a deixarem a coluna pelo topo e as frações mais pesadas, deixam a coluna pelo fundo. Vale ressaltar que a coluna funciona com refluxo de correntes, de modo que este favorece a transferência de massa quando vapor e líquido se encontram a cada estágio de equilíbrio, sendo esse o princípio físico de separação desse equipamento.

No forno ocorre o craqueamento térmico das moléculas de cadeia aberta, ou seja, a quebra de moléculas por meio de elevadas temperaturas e, por sua vez, é o equipamento crítico do processo devido a possibilidade de deposição de coque nas paredes da serpentina (Figura 2.17). Para evitar que isso ocorra, já que a carga será aquecida acima das condições de craqueamento inicial, vapor d'água é injetado na fornalha para que aconteça vigorosa turbulência nas zonas críticas e seja impeditivo para que o coque não se deposite na serpentina, o que causaria problemas de entupimento, reduzindo assim, a eficiência do equipamento, acarretando longa parada de unidade para limpeza devido aos percalços para manutenção deste equipamento. O processo de coqueamento “não ocorre no forno, porém é “retardado” para acontecer no tambor, fato que denominou o nome do processo” (UNICENP, 2002. p. 38).

Figura 2.17 – Esquema do forno de coqueamento.



Fonte: ROSAL (2013, p. 48).

As câmaras de coqueamento, conhecidas como tambores de coque, são projetadas em paralelo para atender o fluxo do processo. De acordo com o andamento, um tambor vai sendo preenchido, segue para o processo de descoqueificação e o outro tambor é colocado em operação. O tempo médio para alternar entre os tambores e ocorrer a descoqueificação é de 24 horas, aproximadamente. No passado, o coque depositado era retirado do tambor com o auxílio de

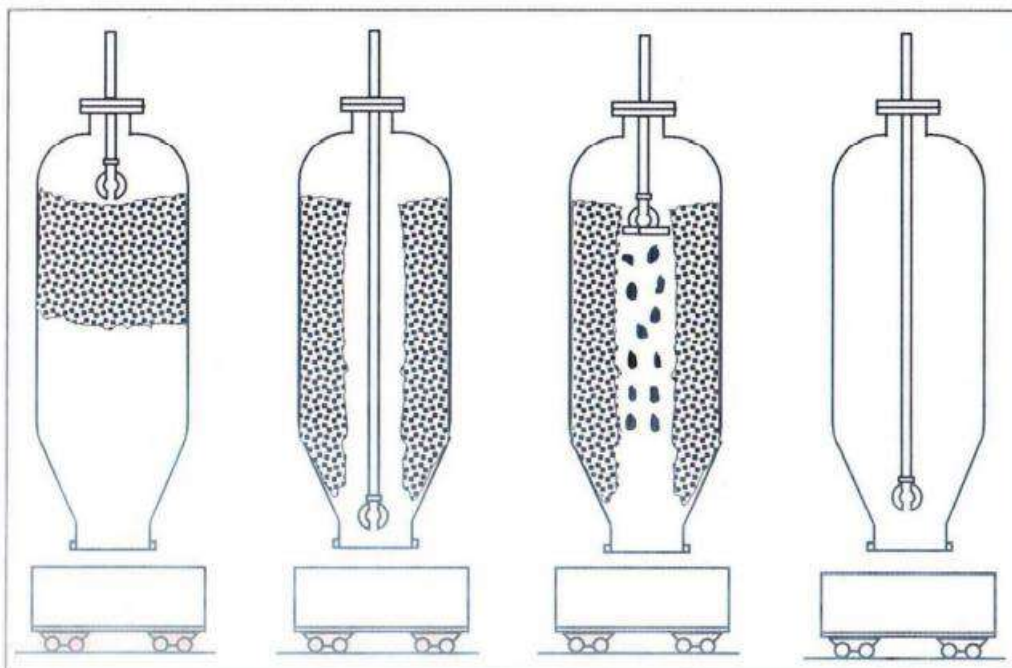
correntes enroladas no interior, que quando puxadas quebravam o coque, que era removido mecanicamente. Porém, os percalços dessa etapa eram muitos e ocasionavam parada de unidade porque nem sempre o tambor já havia sido esvaziado e o segundo já estava cheio. Para contornar esse problema e prevenir a ocorrência, algumas unidades trabalhavam com um número maior de câmaras de coqueamento. O processo de descoqueificação mais atual é o hidráulico, que é mais seguro e confere redução de até 50% do tempo de descarga do coque. Neste caso, um furo é feito no centro de todo coque acumulado através de equipamento hidráulico que opera a pressões de água na faixa de 1000 a 3000 psig, na sequência, alarga-se o diâmetro deste furo através de um mandril para então descer outra ferramenta hidráulica com jato d'água à alta pressão, cortando e soltando o coque das paredes das câmaras (Figura 2.18 e Figura 2.19). A retirada do coque é feita pelo fundo do tambor e o nível controlado por meio de dispositivo radioativo com Co 60, que emite raios gama (FARAH, 2012) (UNICENP, 2002).

Figura 2.18 - Esquema de preenchimento da câmara de coqueamento.



Fonte: ROSAL (2013, p. 43).

Figura 2.19 – Processo de descoqueificação.



Fonte: ROSAL (2013, p. 45).

2.3 SEGURANÇA DE PROCESSOS COM HIDROCARBONETOS

2.3.1 Diferença entre Segurança de Processo e Ocupacional

Dada a importância de uma boa gestão de segurança de processos, tem-se que as principais atribuições são prevenir, atenuar e responder a incidentes com perdas de contenção primária de hidrocarbonetos ou de outros produtos químicos perigosos, que podem ocasionar efeitos adversos com relação à toxicidade, incêndios, explosões, lesões ocupacionais danos materiais, perda de produção ou impactos socioambientais.

Vale ressaltar que a segurança do trabalho – ocupacional – possui abordagem distinta da segurança de processo, pois tem o objetivo de resguardar o trabalhador, minimizar acidentes de trabalho, doenças ocupacionais e proteger sua integridade e capacidade para o trabalho. Abrange uma série de ocorrências pessoais, que produzem efeito em um único colaborador, tais como: quedas, cortes, queimaduras, lacerações, escorregões, entre outros. Em contrapartida, riscos de processo podem culminar em um incidente de grandes proporções com liberação de substâncias tóxicas, inflamáveis e/ou explosivas.

2.3.2 Contextualização

Os efeitos de acidentes de processo de grandes proporções propiciaram avanços quanto a legislação, regulamentação, mudanças a nível de gestão industrial e produção científica no que tange ao tema de segurança de processo em escala mundial. É de conhecimento que muitos acidentes catastróficos ocorreram no passado, como por exemplo a liberação de nuvem tóxica de dioxina em Seveso na Itália, em 1976. Neste sinistro, regiões habitadas circunvizinhas foram afetadas e, a partir desta ocorrência foram criadas as diretivas de Seveso com a finalidade de instrução para evacuação, remoção de pessoas do local do incidente, dentre outras tratativas importantes diante de ocorrências dessa magnitude.

Igualmente, o acidente em Bhopal na Índia, em 1984, este considerado o acidente de maior severidade para a indústria química mundial, onde ocorreu liberação de cerca de 40 toneladas de isocianato de metila e ocasionou, inicialmente, 3 mil fatalidades e de acordo com estimativas, este número chegou a 20 mil pessoas, além das mais de 150 mil pessoas contaminadas. Devido a severidade e magnitude deste acidente químico, o Centro de Segurança de Processos Químicos – CCPS foi criado com o intuito de informar e alertar no que diz respeito a segurança de processos químicos.

Outros incidentes que ocorreram ao longo da história foram o incidente de outubro de 1989 na *Phillips Petroleum Company*, Pasadena, TX, resultando em 23 mortes e 132 feridos; o incidente de julho de 1990 da BASF, Cincinnati, OH, resultando em 2 mortes, e o incidente de maio de 1991 do IMC, *Sterlington*, LA, resultando em 8 mortes e 128 feridos.

Segundo a *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA, 2000), órgão americano responsável pelas legislações de segurança e saúde ocupacional no trabalho, o setor de segurança de processos de uma indústria que faça manejo com produtos químicos perigosos é responsável por prevenir a ocorrência de possíveis incidentes, e estabelece um padrão de gerenciamento de segurança de processo – *Process Safety Management* – PSM, sendo este um programa de gerenciamento de riscos abrangente, que integra tecnologias, procedimentos e práticas de gerenciamento, com a finalidade de identificar os riscos, mitigá-los e implementar a cultura da segurança, de modo a evitar que um incidente ocorra, uma vez que um evento tem a capacidade de afetar a integridade mecânica das instalações industriais, a força de trabalho, o meio ambiente e populações circunvizinhas, com prejuízos à saúde financeira da corporação, fatalidades, prejuízos perda da continuidade operacional do negócio e do valor de mercado da empresa.

Por meio da Convenção sobre a Prevenção de Acidentes Industriais Maiores (Convenção 174), a Organização Internacional do Trabalho – OIT descreveu acidente ampliado como

todo evento subitâneo, como emissão, incêndio ou explosão de grande magnitude, no curso de uma atividade em instalação sujeita a riscos de acidentes maiores, envolvendo uma ou mais substâncias perigosas e que implica grave perigo, imediato ou retardado, para os trabalhadores, a população ou o meio ambiente.

Com isso, é válido elucidar que perda de contenção primária é a liberação ou vazamento que ocorre de forma não planejada e/ou não controlada de hidrocarbonetos ou outros produtos químicos perigosos para além da sua contenção primária (e.g., vaso, tanque, linha ou outro equipamento projetado para servir de primeira contenção do produto), mesmo que o fluido seja direcionado para instalações projetadas como contenção secundária (e.g., bacias de contenção e diques).

2.3.3 Camadas de proteção

As camadas de proteção podem ser definidas como sistemas que possuem o objetivo de prevenir incidentes ou ao menos atenuar os impactos, sendo perda de contenção primária – vazamento – um tipo de ocorrência comum nas unidades de processos de uma refinaria. As camadas podem ser um sistema de gestão, um sistema físico ou até mesmo o sistema de controle de emergência e para que sejam consideradas independentes, necessitam atender a alguns requisitos, são eles:

- Efetividade, com foco em prevenção ou em atenuar os efeitos da ocorrência de um incidente de acordo com o planejado;
- Independência, de modo que uma camada de proteção não seja interligada a outra para que possam atuar livremente em uma dada situação e sem a dependência de um evento iniciador;
- Disponibilidade, para atuar sempre que houver necessidade;
- Auditabilidade, com a finalidade de monitorar seu funcionamento e efetividade.

Vale destacar que alguns pontos de atenção da segurança de processo, além dos fatores humanos, são oriundos da preocupação com a fase de projeto, engenharia das instalações, análise de perigos e riscos, investigação de incidentes de processo, gestão de mudanças, inspeção, testes e manutenção dos equipamentos.

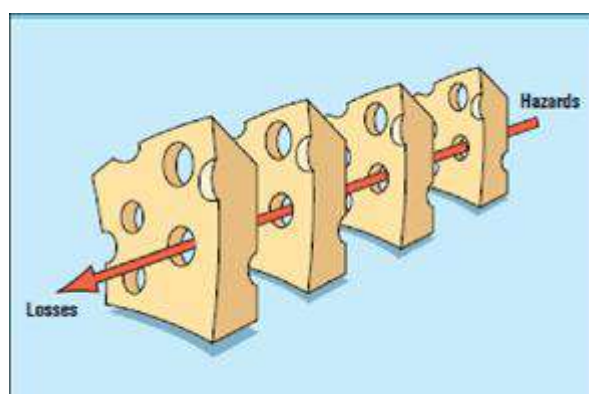
Na segurança de processo é possível analisar e estudar os incidentes ocorridos de modo que um cenário catastrófico não é necessário para a ocorrência de acidentes, geralmente estes

estão associados a uma sequência de falhas. Com isso, ressalta-se a importância da implementação adequada e, principalmente, o monitoramento das camadas de proteção com foco em reduzir a ocorrência de incidentes.

Os conceitos das camadas de proteção podem ser elucidados por meio da teoria do queijo suíço, onde cada fatia faz referência a uma camada preventiva e cada furo a uma falha. Assim, o alinhamento dessas falhas pode causar um incidente, mas se houver uma camada de proteção funcionando, evitará a ocorrência do acidente.

Através da Figura 2.20 é possível visualizar os conceitos das camadas de proteção, onde para que ocorra um dano, diversas falhas precisam acontecer nos elementos do sistema de gestão de segurança de processo.

Figura 2.20 – Ilustração da teoria do queijo suíço.



Fonte: Reis (2015). Disponível em: O modelo de queijo suíço de como as defesas, barreiras e... | Download Scientific Diagram (researchgate.net). Acesso em: 07 de dezembro de 2022.

Estudos realizados relatam que os incidentes de grandes magnitudes e perdas, na maioria das vezes aconteceram devido a uma sequência de falhas simultâneas de sistemas ou barreiras da gestão de segurança de processo e dificilmente foram gerados por falha em uma única barreira.

De acordo com o CCPS, as cinco primeiras camadas preventivas visam atuar na redução da probabilidade de ocorrência de incidentes. Na primeira camada considera-se o projeto do processo, integridade da instalação, controles de processo, alarmes críticos e a intervenção humana, intertravamento de segurança e por fim, a proteção física e as válvulas de alívio (e.g., PSVs).

As últimas camadas objetivam atenuar ou suprimir os impactos e consequências caso ocorra um incidente. Nessas barreiras mitigadoras é possível encontrar os sistemas que visam a proteção pós liberação (e.g., diques, bacias de contenção, canaletas de drenagem, sistema de

detecção de fogo, chuveiros automatizados e/ou dilúvios, além do sistema de resposta a emergência da unidade, brigadas de emergência, extintores, hidrantes, canhões fixos e móveis, entre outros.)

Por isso as proteções identificadas em análises de risco como Hazop, APP, *What if*, etc. somadas àquelas confirmadas em cenários críticos, necessitam ser definidas como camadas de proteção independentes, e precisam de gerenciamento adequado durante todo o tempo de campanha da instalação, focando em minimizar incidentes de processo.

2.3.4 Sistema de Gestão de Segurança de Processo

De acordo com a Resolução ANP n° 05/2014, a principal exigência legal é auditar Sistemas de Gestão de Segurança Operacional – SGSO e objetiva identificar se o operador cumpre de fato as boas práticas de gestão, e se coloca em prática a cultura de segurança no ambiente de trabalho. No Brasil, o Regulamento Técnico do SGSO se aplica às instalações produtoras de petróleo, gás natural e de perfuração marítima. O SGSO é orientado por 16 práticas de gestão que visam o desempenho e a gestão de risco, de forma a conduzir o processo produtivo com foco em melhoria contínua da operação.

No âmbito internacional, dispõe-se da norma OSHA 3231/2000, a qual estabelece que os operadores tenham uma versão do *Process Safety Management* – PSM, em português, Gestão de Segurança de Processo. O principal foco da PSM é analisar os riscos inerentes ao processo, recomendando que operadores identifiquem quais seriam os cenários de maiores riscos e façam uma avaliação para posterior tratamento. Ainda, essa norma se baseia no uso de um sistema de gestão que possui 14 elementos, que podem ser aplicados durante todo o tempo de campanha da instalação. O sistema auxilia na prevenção e mitigação dos efeitos de liberações indesejadas de produtos químicos e energia, provenientes de um processo contendo produtos perigosos.

2.3.5 Acidentes em refinarias

- **Refinaria Duque de Caxias – REDUC:** Ocorrido em 30 de março de 1972, o maior acidente na história da Refinaria de Duque de Caxias, um vazamento em um tanque esférico, produziu uma série de três explosões. Com o impacto da explosão, uma parte das esferas de 25cm de diâmetro foi arremessada a mais de um quilômetro. Chapas metálicas de 3 toneladas foram arremessadas longe e

alguns petroleiros atirados ao chão com o deslocamento de ar da explosão e alguns consumidos pelas chamas (ALVES, 2019).

Figura 2.21 – Acidente na Refinaria Duque de Caxias.



Fonte: Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: pt.wikipedia.org/wiki/Explos%C3%A3o_na_Refinaria_Duque_de_Caxias. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

- **Plataforma P-36:** Conhecida como a maior plataforma de produção de petróleo offshore do mundo, em 2001, a P-36, com capacidade de produzir 180.000 barris de petróleo por dia, sofreu 3 explosões no dia 15 de março de 2001, deixando 11 mortos. Segundo relatório de análise do acidente da ANP, as falhas foram causadas por erros operacionais, de manutenção e de projeto. A explosão provocou uma inclinação de 16 graus na plataforma. Na tentativa de evitar o naufrago da plataforma, profissionais da Petrobras utilizaram diversos procedimentos para alinhar a plataforma. Contudo, não obtiveram êxito e no dia 20 de março a P-36 afundou com aproximadamente 1500 toneladas de óleo a bordo. De acordo com a análise da Comissão de Investigação da ANP o relatório aponta "a operação de esgotamento do tanque de drenagem de emergência da coluna de popa bombordo como o fator crítico diretamente relacionado com as explosões ocorridas na plataforma P-36" (ANP, 2001).

Figura 2.22 – Acidente P-36.

Fonte: Agência O Globo (2001). Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/em-2001-ex-plosao-da-plataforma-36-deixou-11-mortos-na-bacia-de-campos-9483525>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.

Tabela 2.10 – Cronologia dos eventos com relação causal com o acidente.

Data	Hora	Evento
-	-	Transbordamento do vaso de dreno aberto com alimentação de água contaminada para os TDE's e presença de grande volume de água nos TDE's de bombordo e boreste.
-	-	Movimentação frequente de água contaminada com resíduos oleosos nos TDE's.
10/02/2001	-	Retirada para manutenção da bomba de esgotamento do TDE de boreste.
14/03/2001	19:00	Abertura e manutenção das elipses abertas, do tanque de lastro (25 S) e caixa de estabilidade (61 S).
14/03/2001	22:21	Início da operação de esgotamento do TDE de bombordo, com abertura da válvula do manifolde de produção e tentativa de partir sua bomba de esgotamento.
14/03/2001	23:15	Início do funcionamento da bomba de esgotamento do TDE de bombordo.

- 15/03/2001 00:22 Evento relatado como primeira explosão, com detecção imediata de gás no convés e alagamento no compartimento do quarto nível da coluna de popa boreste.
- - Alarme de alagamento em salas do flutuador de popa boreste, rompimento da linha de recalque de água salgada com despressurização do anel de incêndio, detecção do adernamento da plataforma e admissão deliberada de água de lastro nos tanques de proa bombordo.
 - - Inspeção do local do acidente pelos técnicos de segurança com a equipe da brigada de incêndio, abertura da escotilha de acesso do terceiro para o quarto nível e detecção de fumaça / névoa branca sem presença de calor e chama, na coluna de popa boreste.
- 15/03/2001 00:39 Ocorrência da segunda explosão provocada por ignição de gás natural liberado da coluna atingindo áreas do convés do tank top e segundo convés.
- - Submersão contínua da plataforma por alagamento da coluna, tanque de lastro, caixa de estabilidade e salas do flutuador de popa boreste, além de água de lastro sendo admitida nos tanques de proa bombordo
- 15/03/2001 06:03 Abandono final da plataforma.
- 15/03/2001 08:15 Início do processo de alagamento progressivo da plataforma devido ao nível do mar atingir as aberturas do paiol de amarras e suspiros de compartimentos ainda vazios.
- 20/03/2001 11:40 Afundamento da plataforma.

Fonte: ANP (2001).

- **Refinaria de Texas City:** Em 23 de março de 2005, na refinaria de BP de Texas, ocorreu uma catástrofe, resultado de explosões de vapores de hidrocarbonetos, seguidas de incêndios. O acidente deixou 15 mortos e 180 feridos. A Refinaria de Texas City era a terceira maior refinaria de petróleo dos EUA. Os instrumentos de alarme não funcionaram, o que ocasionou num impedimento de comunicação entre as áreas responsável pela segurança do trabalho. O Relatório CSB sinaliza que houve irresponsabilidade da gestão da empresa e diversas quebras de seguranças. Por vários anos, foi possível notar risco de desastres, e não houve intervenção da gestão da companhia (BP, 2007).

Figura 2.23 – Acidente na Refinaria Texas City.



Fonte: BP Texas City (2007).

- **FPSO Cidade de São Mateus:** Em fevereiro de 2015, foi identificado vazamento de condensado de gás natural na casa de bomba da plataforma FPSO Cidade de São Mateus, localizada em Camarupim no Espírito Santos. Os alarmes sonoros e visuais foram acionados e as equipes enviadas para o ponto de encontro. Três equipes distintas foram enviadas ao local do vazamento, em momentos diferentes, mesmo tendo sido detectada presença de atmosfera explosiva, pelos detectores de gás. Enquanto a terceira equipe realizava uma investigação da ocorrência, limpeza do local e manutenção nos parafusos, houve uma grande explosão, deixando 9 mortos, 26 feridos.

A plataforma era operada pela empresa norueguesa BW Offshore sob concessão da Petrobrás. O relatório de análise da ANP apontou diversos erros quanto ao sistema de gestão de risco (ANP, 2015). Foram encontrados 7 fatores causais (FC):

FC01 - Estocagem Inadequada De Condensado

FC02 - Degradação Do Sistema De Armazenamento Do FPSO CDSM

FC03 – Degradação da Equipe de Marinha do FPSO CDSM.

FC04 – Operar A Bomba De Stripping Com Sua Descarga Fechada.

FC05 – Perda de Contenção em Flange na Descarga da Bomba de Stripping

FC06 – Exposição de Pessoas

FC07 – Ignição da Atmosfera Explosiva

Após análise da ANP notou-se que decisões gerenciais tomadas pela Petrobras, Prosafe e BW Offshore, ao longo dos anos, introduziram riscos à operação da plataforma FPSO CDSM (ANP, 2015).

Figura 2.24 – Acidente FPSO Cidade de São Mateus.



Fonte: Redação Folha Vitória (2017) / Disponível em: <https://www.folhavitória.com.br/geral/noticia/02/2017/explosao-de-navio-plataforma-cidade-sao-mateus-completa-dois-anos-neste-sabado>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

2.4 LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

No que diz respeito a legislação nacional com o foco em emergências químicas, pode-se destacar:

- O Decreto nº 5.098/2004, que trata de emergências químicas e foi estabelecido pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA. Nele se estabeleceu a criação do Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos – P2R2 com a finalidade de prevenir quaisquer ocorrências de acidentes com substâncias químicas perigosas e aperfeiçoar o sistema de preparação e resposta aos mais diversos cenários que envolvem emergência química no Brasil.

Para que o estabelecido por esse decreto de fato aconteça, é preciso definir ações, projetos e tarefas que deverão ser executados com colaboração e integração das quatro esferas do governo (União, Estados, Distrito Federal e Municípios) e, do mesmo modo, pela sociedade.

- A lei 6.938/1981 aborda a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA e estabelece diretrizes e instrumentos para conservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental. Alguns dos princípios da PNMA são: a manutenção do equilíbrio ecológico; racionalização, planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; proteção dos ecossistemas; controle das atividades potencial poluidoras; entre outros. Esta é a lei mais importante na proteção ambiental e possui objetivo de regulamentar diversas atividades que envolvam o meio ambiente.

2.4.1 Classificação de Incidentes

Da definição, tem-se que incidente é um evento inesperado de potencial risco para a segurança operacional, que pode vir a causar danos às pessoas, meio ambiente e instalações industriais.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, os incidentes podem ser divididos em: acidentes e quase acidentes. De acordo com a Resolução ANP nº 44/2009 e a sua atualização, Resolução ANP nº 882/2022, as definições são:

Incidente: Ocorrência que cause ou tenha potencial de causar poluição ou danos ao meio ambiente ou à saúde humana, prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros ou interrupção das operações da instalação, sendo, portanto, considerados incidentes os quase acidentes e os acidentes;

Quase acidente: Ocorrência que tenha potencial de causar poluição ou danos ao meio ambiente ou à saúde humana, prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros ou interrupção das operações da instalação;

Acidente: Ocorrência que resulte em poluição ou danos ao meio ambiente ou à saúde humana, prejuízos materiais ao patrimônio próprio ou de terceiros ou interrupção das operações da instalação;

Acidente grave: Tipo de acidente em que ocorre ferimento grave, fatalidade, descarga maior, incêndio, explosão, falha estrutural, colisão, abalroamento, adernamento, afundamento, naufrágio, queda de helicóptero ou perda de controle de poço.

Vale ressaltar que números elevados de incidentes retratam a integridade das unidades de processo, sendo necessário, previamente, despender tempo em Gestão de Risco para que os objetivos operacionais e institucionais não sejam afetados de forma significativa. A Gestão de Risco compreende atividades de planejamento que antecipam eventuais incidentes de forma que estas atividades são divididas em etapas que visam reconhecer ou identificar riscos, analisá-los, avaliá-los e priorizá-los, estabelecer estratégias de resposta aos riscos significativos e, por fim, monitorá-los.

2.4.2 Legislação ANP

Considerando um cenário de incidente, alguns órgãos devem ser comunicados, dentre eles a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP para que as devidas tratativas sejam tomadas e, principalmente, as ações de emergência visem preservar a força de trabalho, o meio ambiente e o patrimônio.

A Resolução ANP Nº 882, de 27 de julho de 2022, atualização da Resolução ANP nº 44/2009 que entrará em vigor em 1º de fevereiro de 2023, estabelece o procedimento para a comunicação de incidentes e envio de relatórios de investigação por parte das empresas exploradoras e produtoras de petróleo e gás natural e pelas companhias autorizadas a exercerem as atividades da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Além disso, define os seguintes termos:

(...)

III - causa-raiz: falha do sistema de gestão que possibilitou a ocorrência ou a existência dos fatores causais do incidente investigado;

IV - descarga maior: evento de perda de contenção de óleo, misturas oleosas, derivados, biocombustíveis ou outras substâncias perigosas, com volume igual ou superior a 8m³ e que tenha atingido o mar, ou que atinja áreas ecologicamente sensíveis, pontos de captação de água, áreas urbanas, unidades de conservação e áreas de importância socioeconômica;

V - fato relevante: deficiência, erro ou falha não diretamente relacionado com o incidente, mas que foi identificado durante o curso da investigação e pode representar uma oportunidade de melhoria;

VI - fator causal: ocorrência ou condição indesejada que, caso fosse eliminada, evitaria a ocorrência do incidente ou reduziria a sua severidade;

VII - ferimento grave: qualquer ocorrência, decorrente de fato ou ato intencional ou acidental, envolvendo:

a) fratura de ossos que não seja de dedos;

b) amputação;

c) perda de consciência devido à asfixia ou à exposição a substâncias nocivas ou perigosas;

d) sintoma agudo que requeira tratamento médico, devido a exposição a substâncias nocivas ou perigosas;

e) lesão de órgãos internos;

f) deslocamento de articulações;

g) perda de visão;

h) hipotermia ou outras doenças relacionadas à exposição a temperaturas extremas;

i) necessidade de internação por mais de vinte e quatro horas;

j) queimadura química ou por metal quente no olho ou qualquer lesão penetrante no olho; ou

l) qualquer outra lesão que requeira procedimento de ressuscitação;

(...)

IX - investigação: abordagem sistemática para determinar os fatores causais e as causas-raiz do incidente, visando prevenir a recorrência do evento e propiciar o aprendizado com a experiência;

X - manual de comunicação de incidentes: documento orientativo, destinado aos agentes regulados, contendo instruções, por tipologia de incidente e instalação, para comunicação inicial e envio de relatório de investigação de incidentes à ANP;

(...)

XII - recomendação: proposição que tenha por finalidade desenvolver, modificar ou aprimorar sistemas de gestão, de forma a evitar a recorrência ou minimizar a probabilidade de ocorrência de incidentes semelhantes.

2.4.2.1 Comunicação Inicial de Incidentes

De acordo com a ocorrência de incidentes, os agentes regulados enviam os Comunicados de Incidentes – CI, sendo as paradas não programadas, por período superior a 24 horas de uma determinada unidade de processo, uma das tipologias mais recorrentes. Dependendo do detalhamento das informações enviadas e a severidade do incidente, a equipe técnica pode vir a solicitar informações adicionais, documentações, relatórios fotográficos da área afetada, entre outros.

Segundo a Resolução ANP nº 44/2009 e a sua atualização, Resolução ANP nº 882/2022, temos que de acordo com os artigos 3º - 7º o procedimento de comunicação inicial de um incidente é estabelecido, juntamente com os prazos para cada etapa desta fase inicial.

Art. 3º Os agentes regulados definidos no art. 1º deverão realizar a comunicação inicial à ANP dos incidentes envolvendo instalações próprias ou de terceiros, com a estrutura e as informações listadas no Anexo I.

§ 1º A comunicação inicial dos incidentes deverá ser realizada o mais breve possível, dentro dos seguintes prazos, a contar da constatação do evento:

I - quatro horas, para os acidentes graves, exceto no caso do inciso II;

II - doze horas, para os acidentes graves ocorridos nas instalações produtoras de biocombustíveis;

III - doze horas, para incidentes que possam representar risco ao abastecimento nacional de combustíveis; ou

IV - quarenta e oito horas, para os demais incidentes.

§ 2º De forma a garantir o atendimento aos prazos estabelecidos no § 1º, a comunicação inicial deverá ser realizada com as informações disponíveis no momento da comunicação.

Art. 4º A comunicação inicial dos incidentes deverá ser realizada conforme o Manual de Comunicação de Incidentes, contendo procedimentos específicos por tipo de instalação, disponível no sítio eletrônico da ANP na internet (www.gov.br/anp).

Parágrafo único. A ANP divulgará em seu sítio eletrônico qualquer alteração no Manual de Comunicação de Incidentes.

Art. 5º Em caso de alterações nas informações constantes da comunicação inicial, a ANP deverá ser informada.

Art. 6º A ANP poderá, a qualquer tempo, exigir a correção ou a complementação das informações fornecidas na comunicação inicial de incidente.

Art. 7º A ANP poderá incluir orientações adicionais para a comunicação inicial de acidente grave, em caráter de urgência, por meio dos canais de comunicação especificados no sítio eletrônico da ANP na internet.

Parágrafo único. A ANP dará publicidade por meio oficial aos agentes regulados sobre quaisquer modificações nas orientações adicionais a que se refere o caput.

Após tramitação interna dos incidentes, junto de possíveis informações adicionais que possam ter sido solicitadas, a equipe técnica avalia a necessidade do envio do Relatório de Investigação – RI.

2.4.2.2 Relatório de Investigação – RI

O Relatório de Investigação – RI, anteriormente chamado de Relatório Detalhado de Incidente – RDI, é previsto desde a Resolução ANP nº 44/2009 e na sua atualização, Resolução ANP nº 882/2022 destaca-se que houve alterações de nomenclatura e prazo de entrega. Para envio deste, o agente regulado dispõe de 30 dias para entrega, a contar da data de acontecimento do incidente reportado à ANP, sendo possível solicitar postergação de prazo mediante justificativa técnica. Porém, a partir de 1º de fevereiro de 2023, o prazo para entrega será de até 90 dias.

No RDI, os agentes regulados descrevem a sequência de falhas que aconteceram até a ocorrência do incidente, sendo a Árvore de Falhas uma das metodologias de análise mais utilizadas, de forma que é possível a identificação da causa raiz ou das causas raízes. Após o envio do RDI com o desenvolvimento da metodologia utilizada, uma análise minuciosa das documentações enviadas é feita. Através dessas análises é possível ter noção de como estão as condições operacionais da unidade em que ocorreu o incidente e, até mesmo a integridade mecânica desta.

Art. 8º Os agentes regulados definidos no art. 1º deverão encaminhar à ANP o relatório de investigação para todos os acidentes ocorridos em suas instalações, após a conclusão da investigação, no prazo máximo de noventa dias, a contar da data da constatação inicial do evento.

§ 1º A ANP poderá determinar que o agente regulado realize a investigação de quase acidente que julgue ser relevante em função do potencial de dano ou recorrência.

§ 2º A ANP poderá antecipar ou prorrogar o prazo para envio do relatório de investigação de que trata o caput.

§ 3º O relatório de investigação deverá conter, no mínimo, o descrito no Anexo II.

§ 4º A ANP poderá designar uma equipe para acompanhar a investigação.

§ 5º A ANP poderá exigir a apresentação de relatório de investigação elaborado por terceira parte.

Art. 9º A ANP poderá, a qualquer tempo, solicitar informações adicionais ou o acesso a dados e documentos gerados durante o processo de investigação, incluindo alertas de segurança, para disseminação das lições aprendidas.

Art. 10. O agente regulado deverá informar à ANP, em até quarenta e oito horas, qualquer alteração referente às informações prestadas no relatório de investigação de incidente.

Seção II

Recomendações de Incidentes

Art. 11. A ANP poderá emitir recomendações a serem implementadas pelos agentes regulados, os quais serão notificados por meio de ofício.

Art. 12. A partir do recebimento do ofício contendo as recomendações de que trata o art. 11, o agente regulado cuja instalação estiver abrangida no ato, poderá se manifestar no prazo de dez dias contados do recebimento do ofício.

Parágrafo único. Quando houver manifestação por parte do agente regulado, a recomendação de investigação terá seus efeitos suspensos até a decisão da ANP.

2.4.3 Legislações ambientais

- Resolução CONAMA nº 237/1997: Define procedimentos e critérios para o licenciamento ambiental e no exercício da competência, assim como as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental.
- Lei nº 9.605/1998: Conhecida como Lei de Crimes Ambientais, define penalidades para agressões ao meio ambiente. É uma legislação rigorosa, que exige compreensão do conceito legal de crime ambiental por parte da empresa para não cometer práticas que ameçam a fauna e a flora e para evitar qualquer tipo de poluição ambiental (ar, solo e água). A emergência química no caso do vazamento de produtos perigosos se dá devido ao fato de que pode ocorrer contaminação do solo e/ou da água, além de impactar diretamente na vida de animais, vegetação e dos trabalhadores.
- Resolução CONAMA nº 460/2013: Altera a CONAMA nº 420/2009. Estabelece critérios para análise do solo em relação a compostos químicos. Orienta quanto a medidas contra vazamentos de produtos químicos e o conhecimento desta resolução na íntegra é a melhor forma de não cometer uma infração.
- Resolução CONAMA nº 5/89: Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR.
- Resolução CONAMA nº 3/90: Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.
- Resolução CONAMA nº 8/90: Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.
- Resolução CONAMA nº 382/06: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas após 02 de Janeiro de 2007.
- Resolução CONAMA nº 436/11: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007.

O INEA dispõe de um grupo técnico multidisciplinar e especializado em atendimentos *in loco* de ocorrências ambientais emergenciais decorrentes de vazamento de produtos químicos, ou outras substâncias nocivas ao meio ambiente. A equipe de resposta a emergência trabalha em regime de plantão 24 horas por dia, sete dias por semana, em todo o Estado do Rio de Janeiro, de acordo com o padrão NFPA-472 – *Hazmat Operations*, e *International Maritime Organization*.

Dada a ocorrência de um evento inesperado, qualquer pessoa pode comunicar ao órgão um evento envolvendo óleo ou outro produto perigoso, como nos casos de incêndios, explosões, colisões, vazamentos, além de situações de descarte clandestino de resíduos.

Empresas ou atividades licenciadas ou autorizadas pelo INEA possuem a responsabilidade e a obrigação de comunicação imediata em caso de incidentes ambientais, independente das medidas adotadas para controle, de acordo com as licenças emitidas pelo órgão.

2.4.4 Normas Técnicas

No Brasil, as normas técnicas que tratam de emergências químicas e fornecem diretrizes quanto ao protocolo a ser seguido pelos profissionais de emergência são as NBRs da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Podemos destacar as seguintes NBRs que abordam o assunto:

- NBR ABNT nº 14725-4/ 2014: Produtos Químicos – Informações sobre segurança, saúde e meio ambiente Parte 4 (Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ) fornece informações sobre os perigos de produtos químicos (substâncias puras ou misturas), instruindo quanto as medidas necessárias relativas à segurança, saúde e meio ambiente em caso de emergência. O uso correto corrobora para a prevenção de acidentes e para a segurança e saúde do trabalhador, com o objetivo de reduzir doenças ocupacionais;
- NBR ABNT nº 14064/ 2006: Estabelece procedimentos operacionais e requisitos mínimos que precisam ser considerados nas respostas emergenciais rápidas em incidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos. É importante ressaltar os protocolos definidos nessa NBR, já que a maioria dos acidentes com materiais perigosos acontece nas rodovias brasileiras. Não se aplica a produtos perigosos das classes de risco 1 (explosivos) e 7 (radioativos).

No âmbito internacional a *National Fire Protection Association* – NFPA estabelece normas técnicas que são utilizadas como referência no mundo inteiro e o objetivo dos protocolos desenvolvidos é assegurar os colaboradores e as instalações onde aconteceu o sinistro. Equipes de resposta a emergência seguem as regras estabelecidas pelas NFPA. A associação orienta desde códigos de segurança contra incêndios, até emergências químicas com produtos perigosos, resgate de vítimas, vazamentos ou derramamento de produtos, e entre outros.

A NFPA-472 normatiza que os profissionais de resposta a emergência devem fazer uso de equipamentos específicos para detecção de presença e quantidade de substâncias químicas no local do acidente, para assim determinar a complexidade do problema. Essa norma abrange procedimentos de segurança com produtos perigosos ou armas químicas de destruição em massa.

2.4.5 Normas Regulamentadoras

Algumas das Normas Regulamentadoras emitidas pelo Ministério do Trabalho, que são pertinentes para a segurança do trabalho e que devem ser implementadas em indústrias petrolíferas são (MINASPETRO, 2017):

- NR 20 – Segurança e saúde no trabalho com inflamáveis e combustíveis: Determina os requisitos mínimos para que a segurança e saúde dos colaboradores seja garantida;
- NR 15 – Atividades e operações insalubres: Conceitua agentes insalubres e estabelece os casos de insalubridade para fins de concessão do devido adicional, se necessário;
- NR 16 – Atividades e operações perigosas: Define o que são atividades perigosas e estabelece os casos de periculosidade para fins de concessão do devido adicional, quando necessário;
- NR Equipamentos de proteção individual – EPI: Aborda o conceito de EPI, sua aplicação e importância.

2.5 MODELOS DE DISPERSÃO

Da literatura, temos que os modelos de dispersão visam prever a proporção e trajetória dos materiais particulados tóxicos para regiões além daquela onde ocorreu o acidente. Todo material lançado na atmosfera, logo após a emissão, será transportado de acordo com a direção do vento no local da ocorrência do sinistro de acordo com dois tipos de mecanismos: (i) pluma, que é o resultado de uma contínua liberação de produto e se dissipa na direção do vento, reduzindo a concentração quanto mais distante estiver do foco do acidente ou fonte de liberação ou (ii) puff, que é o resultado de uma vigorosa liberação de conteúdo que será transportada na direção do vento, mantendo elevada concentração ao longo do tempo (ALBERTON, 2020).

Os modelos de dispersão, por sua vez, visam estimar as concentrações de material particulado tóxico na direção do vento – *downwind*. Por meio da modelagem desses eventos é possível ter uma gestão de riscos bem planejada com foco nas ações de segurança, em caso de ocorrência. Algumas das ações que podem ser previamente planejadas estão listadas abaixo (ALBERTON, 2020).

- Elaborar plano de emergência interno, de forma clara e detalhada;
- Elaborar plano de emergência junto a comunidade vizinha com as principais diretrizes a serem seguidas em caso de ocorrência;
- Dimensionar e controlar o inventário de materiais perigosos para que em caso de acidente, a quantidade emitida seja a menor possível;
- Sugerir modificações de engenharia para monitorar a fonte de emissão;
- Projetar sistemas de detecção e monitoramento de campo para detectar possíveis vazamentos incipientes e dispor de válvulas de bloqueio e malha de intertravamento para assegurar que cenários acidentais não ocorram.

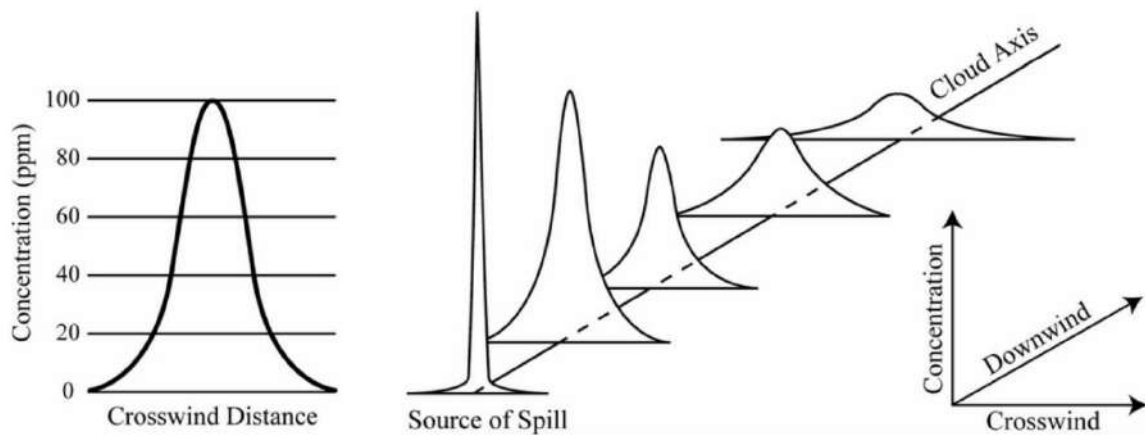
Tem-se que dispersão é um termo comumente usado em simulações e este abrange a advecção (movimento) e difusão (espalhamento). Por exemplo, uma nuvem de vapor se moverá na direção do vento e se espalhará no vento cruzado e na direção vertical, sendo vento cruzado a direção perpendicular ao vento. No caso de uma liberação de gás denso, observa-se que pode ocorrer um espalhamento contrário a direção do vento, mas em pequena proporção (EPA, 2007).

Para modelar a dispersão química no ALOHA[®] dispomos de dois modelos: gaussiano e gás denso. O modelo gaussiano é usado para prever a dispersão de gases de flutuação neutra, que possuem densidades semelhantes à do ar. Neste modelo, admite-se que o vento e a turbulência atmosférica são fatores responsáveis pelo movimento da nuvem de gás na direção do vento e, a mistura turbulenta segue na direção do vento cruzado e ascendente. O gráfico de

concentração de gás em uma parte do vento cruzado de um poluente possui forma semelhante à de um sino, com o pico de concentração no centro e mais baixas nas laterais (EPA, 2007).

Na região da fonte do vazamento químico, o teor de poluente é elevado e o gás não se espalhou muito além de suas adjacências, com isso o gráfico obtido é semelhante a um pico. Conforme a nuvem poluente se move na direção do vento, ocorre o espalhamento e a forma de sino vai se tornando mais larga e plana conforme ilustrado na Figura 2.25.

Figura 2.25 – Distribuição gaussiana (esquerda) e propagação gaussiana (direita).



Fonte: Manual ALOHA®.

As equações que o ALOHA® utiliza para descrever esse tipo de dispersão são oriundas do modelo gaussiano desenvolvido por Palazzi, conforme a seguir:

$$C(x, y, z, t) = \begin{cases} \frac{\chi}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-U_t}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right], & t \leq t_r \\ \frac{\chi}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{x-U(t-t_r)}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{x-U_t}{\sigma_x \sqrt{2}} \right) \right], & t_r < t < \infty \end{cases} \quad (2.5.1)$$

Onde: σ_x , σ_y e σ_z são parâmetros de intrínsecos a liberação; t_r é o tempo de duração da liberação; U variável relacionada com o vento; h_s é a altura da emissão. Sendo χ a variável que descreve a distribuição gaussiana, considerando fonte pontual conhecida e estado estacionário, conforme apresentado na Equação 2.5.2 (HANNA *et al.*, 1982).

$$\chi(x, y, z, t) = \left(\frac{Q(t)}{U} \right) \cdot g_y(x, y) \cdot g_z(x, y) \quad (2.5.2)$$

Sendo,

$$g_y(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \cdot \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y(x)} \right)^2 \right] \quad (2.5.3)$$

$$g_z(x, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z(x)} \left\{ \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z-h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] + \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{z+h_s}{\sigma_z(x)} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.5.4)$$

Em casos de modelagem para gases densos (substâncias que possuem peso molecular maior que o do ar, 29 kg/kgmol), temos que quando ocorre uma liberação deste tipo, o comportamento do gás é muito diferente de um gás de flutuação neutra. Primeiramente, o gás pesado ficará em níveis baixos porque é mais pesado que o ar. Conforme a nuvem de gás for se movendo na direção do vento, a ação da gravidade fará com que ocorra o espalhamento, mas pode acontecer de parte do vapor ir contra o sentido inicial. À medida que a nuvem poluente se dispersa a favor do vento, mais diluída e próxima da densidade do ar, conseqüentemente, passa a ter comportamento de gás de flutuação neutra. Este perfil de dispersão só ocorrerá se a concentração de gás denso no ar estiver abaixo de 10000 ppm – cerca de 1%, considerando cenários de lançamentos pequenos, isso ocorrerá logo nos primeiros metros e para lançamentos extensos, possivelmente, acontecerá a favor do vento (EPA, 2007).

De acordo com ALBERTON, 2020, para modelagem deste tipo de dispersão, da literatura tem-se o modelo de Britter e MCQuaid (1988), mais apropriado para eventos onde a liberação é instantânea e contínua, no nível do solo. Porém, algumas das limitações deste é admitir apenas a emissão em temperatura ambiente, sem aerossóis e em zonas rurais com o terreno plano, além de não considerar a estabilidade atmosférica. Este modelo solicita algumas informações difíceis de se obter (e.g., vazão volumétrica inicial, volume da nuvem inicial, duração da emissão, entre outros) e se baseia na razão das concentrações da mistura e inicial (C_m/C_0), de modo a comparar com dados tabelados já existentes para estabelecer correlação.

Após a emissão atmosférica de um gás denso, à medida que a pluma se movimenta há redução da concentração, e é possível assumir que em determinado ponto ocorre a transformação para um gás de empuxo neutro, sendo possível assumir que a partir do ponto de transformação os modelos gaussianos de Pasquill-Gifford são adequados (ALBERTON, 2020).

O armazenamento de algumas substâncias gasosas sob condições pressões e temperaturas ambientes é feito sob altas pressões até que sejam liquefeitas. Gases que são exemplos desse tipo de confinamento são: butano e propano, estes possuem comportamento gasoso em pressões e temperaturas normais, mas geralmente são armazenados na forma líquida por meio de pressurização do sistema. Quando ocorre uma perda de contenção, a pressão decai em uma esfera de gás liquefeito, ocasionando uma ebulição violenta, de forma que todo o conteúdo do tanque espuma, e a partir disso duas fases coexistem no tanque – gás e gotículas finas de líquido (aerossol). Quando essa mistura escapa para o ambiente, ocorre o fluxo bifásico, e a taxa de liberação pode ser significativamente maior do que para a liberação de gás puro (EPA, 2007).

A nível de conhecimento, o modelo de cálculo para gases densos que o ALOHA[®] usa como base de cálculo é o DEGADIS (Spicer e Havens 1989), um modelo já consolidado na literatura.

$$C(x, y, z) = \begin{cases} C_c(x) \cdot \exp \left[-\left(\frac{|y| - b(x)}{S_y(x)} \right)^2 - \left(\frac{z}{S_z} \right)^{1+n} \right], & |y| > b(x) \\ C_c(x) \cdot \exp \left[-\left(\frac{z}{S_z} \right)^{1+n} \right], & |y| \leq b(x) \end{cases} \quad (2.5.5)$$

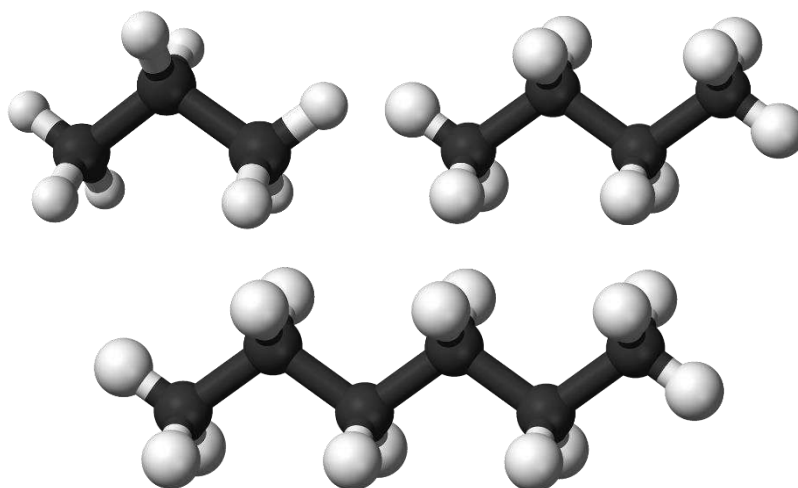
Onde: S_y e S_z são os parâmetros oriundos da dispersão, b é a metade da largura da parte homogênea central e $C_c(x)$ a concentração na linha central da pluma ao nível do solo (SALAZAR, 2016).

3 METODOLOGIA

Para o presente trabalho, utilizou-se o simulador da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – United States Environmental Protection Agency – EPA, ALOHA[®], com a finalidade de dimensionar possíveis danos causados por um acidente químico. Os dados necessários para a realização das simulações foram obtidos da base de dados do órgão responsável pela meteorologia, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, considerando o período em que as simulações foram realizadas.

No estudo dos aspectos de segurança para a unidade de coqueamento retardado, optou-se pela escolha de três componentes presentes neste processo, propano, butano e hexano (Figura 3.1), para o desenvolvimento da modelagem de uma dispersão tóxica acidental destes. A escolha destes foi motivada com base nos produtos da unidade de coqueamento retardado considerando-se que o propano e butano, principais constituintes do propano comercial e butano comercial, respectivamente, são classificados como GLP por especificação da ANP. O hexano, por sua vez, foi escolhido por ser o principal constituinte da nafta leve.

Figura 3.1 - Moléculas de propano, butano e hexano em 3D.



Fonte: Wikipedia: a enciclopédia livre.

De acordo com dados da Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ, tais compostos apresentam características tóxicas e inflamáveis, o que os coloca em categoria de atenção em uma planta industrial como é possível visualizar na Tabela 3.1. Em uma rápida visualização, temos que algumas propriedades conseguem expressar a facilidade de

um produto químico pegar fogo (e.g., volatilidade, ponto de fulgor e limites de inflamabilidade). A volatilidade está diretamente ligada a capacidade que um produto químico tem de evaporar. Já o ponto de fulgor – *flash point*, nos revela o comportamento destas substâncias quanto a inflamabilidade, pois essa é a temperatura mais baixa na qual uma quantidade suficiente de vapor é liberada de modo a formar uma mistura de ar e vapor capaz de propagar uma chama, desde que haja o contato com uma fonte de ignição (CETESB). Quanto menor o ponto de fulgor, mais fácil iniciar um incêndio. Os limites de inflamabilidade representam uma faixa onde uma nuvem de vapor é inflamável. Se o vapor químico tiver contato com uma fonte de ignição, a queima ocorrerá somente se a concentração da mistura ar - produto químico estiver entre o limite inferior e superior de inflamabilidade – LEL e UEL, respectivamente. Se a concentração estiver abaixo do LEL não haverá combustível suficiente para sustentar um incêndio ou explosão (EPA, 2007).

Tabela 3.1 - Propriedades físicas e químicas do Isobutano e do Tolueno.

Propriedades Físicas e Químicas			
	Propano	Butano	Hexano
Aspecto	Gás comprimido li- quefeito e sem colora- ção	Gás comprimido liquefeito e sem coloração	Líquido e sem colora- ção
Odor	Inodoro. Pode ter odor de gambá se adicio- nado odorizante	Odor fraco e desa- gradável de petró- leo	Odor de gasolina
Fórmula molecular	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₆ H ₁₄
Peso molecular	44,09 g/mol	58,12 g/mol	86,17 g/mol
Ponto de fulgor (Vaso fechado)	-104 °C	-60 °C	22 °C
Ponto de fusão	-187,1 °C	-138 °C	-94,0 °C
Ponto de ebulição	-42,1 °C	-0,5 °C	68,7 °C
Temperatura de ignição	450 °C	287,8 °C	225 °C
Solubilidade em água	Insolúvel	Insolúvel	0,0013 g/100 ml de água a 20 °C
Limite de inflamabili- dade inferior	2,1%	1,8%	1,1%
Limite de inflamabili- dade superior	9,5%	8,4%	7,5%

Fonte: Baseado nas FISPQ de cada composto – Elaboração própria (2022).

3.1 LIMITAÇÕES DO SIMULADOR ALOHA®

O software ALOHA® adotado como base para as simulações possui limitações que precisam ser mencionadas para fins de conhecimento. Ao inicializar o programa, uma mensagem

é exibida com o detalhamento das condições em que as simulações não serão confiáveis (Figura 3.2), tais como: baixas velocidades de vento, condições atmosféricas muito estáveis, mudança de direção do vento com relação ao terreno e quando o perfil de concentração dos materiais tóxicos não obedece ao previsto pelos modelos de dispersão, principalmente próximo da fonte. Vale ressaltar que o modelo de simulação do ALOHA[®], segundo (EPA, 2007) não contempla os efeitos de subprodutos de incêndios, explosões, reações químicas, partículas, terreno, misturas de substâncias químicas e fragmentos perigosos.

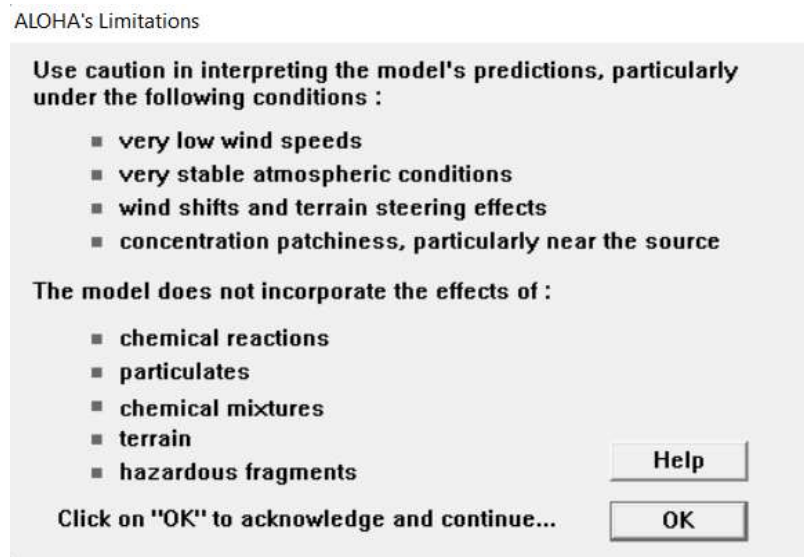
Em detalhes,

- Para o caso de subprodutos de incêndios, explosões ou reações químicas o ALOHA[®] não leva em consideração os resíduos da combustão (e.g., fumaça) e as reações químicas. O software admite que os poluentes que foram emitidos não reagem com os gases existentes a atmosfera (e.g., vapor d'água e oxigênio), mas muitas substâncias químicas são capazes de reagir quando em contato com eles mesmos, ar seco ou úmido e outros produtos químicos que possam estar presentes no momento do incidente.

Em decorrência das reações químicas que podem acontecer, o poluente que se dispersará na direção do vento pode ser muito diferente da substância química original. Com isso, as previsões de dispersão do ALOHA[®] nesses cenários tornam-se imprecisas.

- Para partículas, o ALOHA[®] não considera possíveis processos que possam vir a afetar a dispersão de materiais particulados, inclusive partículas radioativas.
- Os efeitos de mistura de substâncias químicas não são contemplados pelo ALOHA[®] devido à dificuldade de predição do modelo com relação ao comportamento de soluções ou misturas químicas, dado que é difícil mensurar com precisão as propriedades químicas (e.g., pressão de vapor para soluções ou misturas). Por isso, o software foi projetado para descrever, com base em modelos, a liberação de substâncias químicas puras.
- Quanto ao terreno, o ALOHA[®] admite que o solo abaixo de um tanque com perda de contenção é plano, de modo que o fluido possa se espalhar uniformemente em todas as direções. Com isso, não considera acúmulo em quaisquer desnível ou escoamento de líquido em terrenos inclinados.
- Por fim, se houver uma explosão decorrente do incidente, a trajetória dos fragmentos não será modelada pelo ALOHA[®].

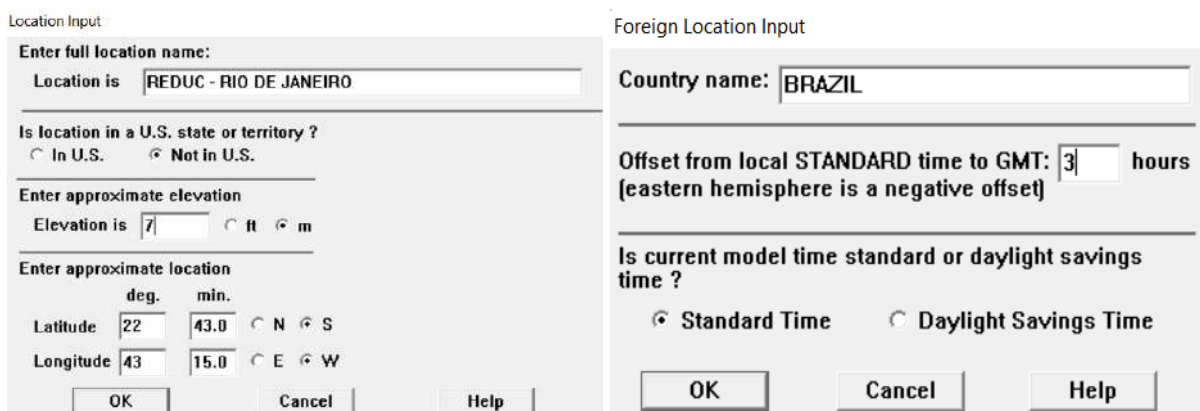
Figura 3.2 - Limitações do Software ALOHA®.



Fonte: Software ALOHA®.

Na sequência, outra limitação que pode ser citada é com relação à base de dados geográfica do software. Por se tratar de um programa desenvolvido pelo órgão ambiental do governo dos Estados Unidos, se faz necessário configurar os dados de elevação com relação ao nível do mar, latitude, longitude e ajustar o horário GMT com o horário de Brasília (horário oficial brasileiro) da cidade desejada para realizar as simulações. Para as simulações, considerou-se que a diferença entre o horário GMT para o horário de Brasília é de - 3 horas, se fosse considerar horário de verão, a diferença seria de - 2 horas. Este passo a passo é demonstrado de forma detalhada na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Configuração da localização e fuso horário da região de simulação.

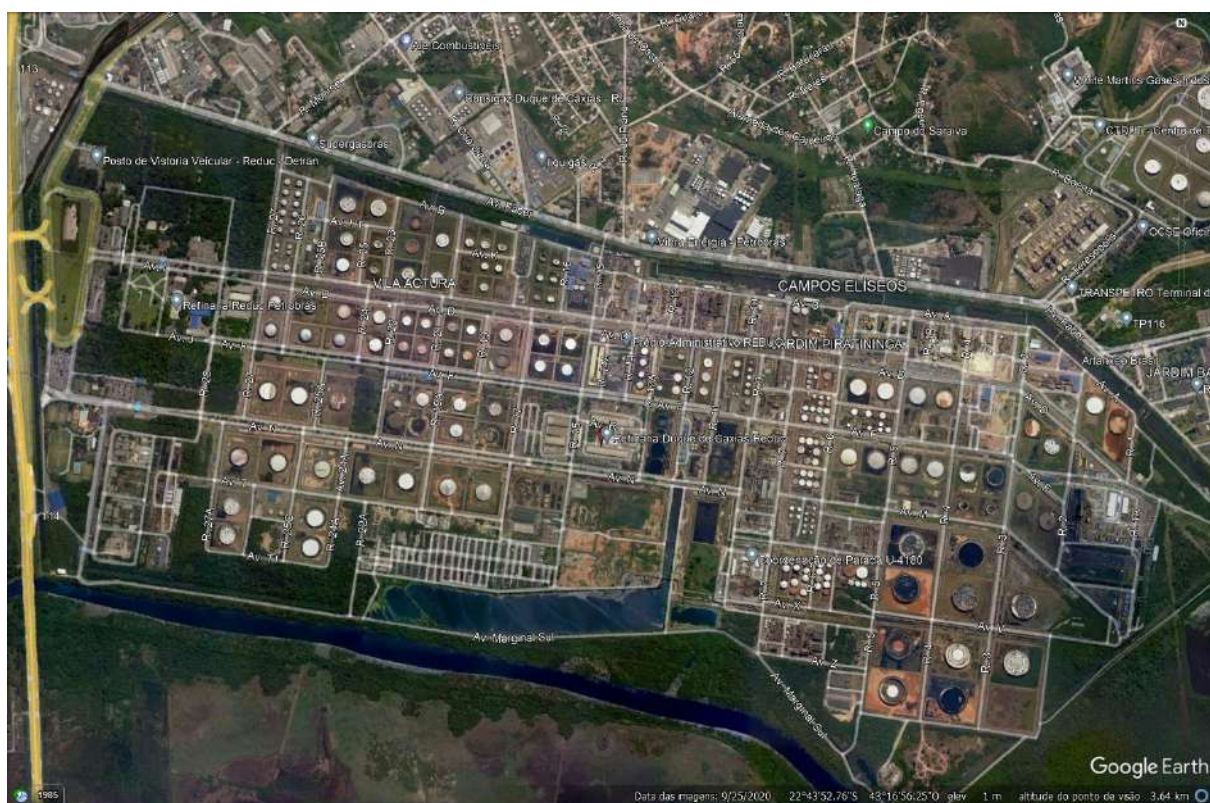


Fonte: Software ALOHA®.

3.2 CONFIGURAÇÃO DO SIMULADOR ALOHA®

Para o caso do presente trabalho, considerou-se a região da Petróleo Brasileiro S.A. – Refinaria Duque de Caxias – REDUC, em Duque de Caxias – Rio de Janeiro (Latitude: 22°42'48.07" Sul | Longitude: 43°16'39.20" Oeste), como o local para a realização das simulações (Figura 3.4) devido à proximidade de outras empresas do parque industrial e da área residencial de Campos Elíseos – RJ, além da capacidade de processamento deste parque industrial e sua pluralidade de processos que consequentemente necessitam de muitos reagentes químicos e de um amplo parque de tancagem para estocagem dos derivados de petróleo produzidos.

Figura 3.4 – Topografia do local escolhido para realização das simulações.

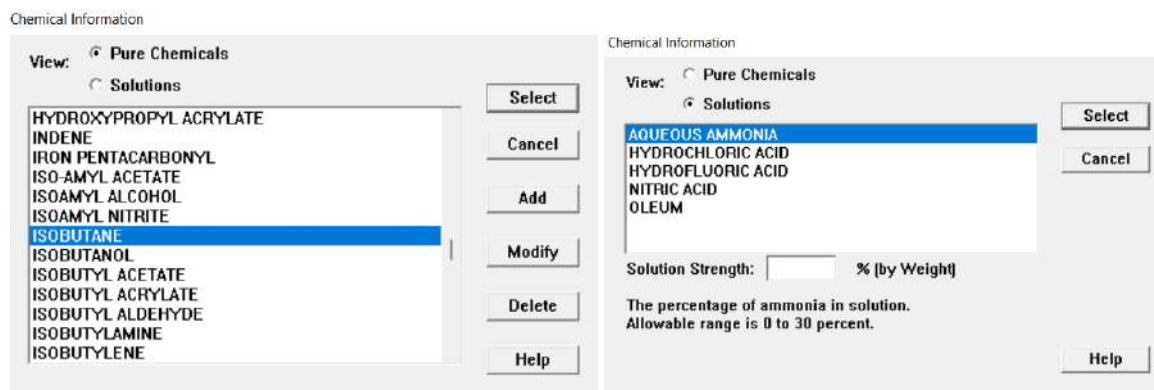


Fonte: Google Earth, 2022.

Em seguida, é necessário escolher a substância química que será liberada no menu configuração do software, para as simulações realizadas utilizou-se químicos puros (Figura 3.5). Vale ressaltar que a opção de soluções do simulador não possui grande variedade disponível (Figura 3.5), o que impossibilita estudos com derivados do petróleo, já que estes são misturas de hidrocarbonetos que compreendem uma determinada faixa de carbonos em sua composição.

Alguns dados e propriedades do composto são registrados na seção resumo – *Text Summary* (Figura 3.6) e na sequência, configuram-se os parâmetros meteorológicos haja vista que a dispersão de material tóxico depende dos fatores meteorológicos e da direção do vento que irá propagar o poluente pelas imediações do local de ocorrência do acidente.

Figura 3.5 – Escolha da substância química pura e opções de soluções disponíveis no Software.



Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.6 – Seção resumo – *Text Summary*.

```

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: PROPANE
  CAS Number: 74-98-6
  Molecular Weight: 44.10 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 5500 ppm
  AEGL-2 (60 min): 17000 ppm
  AEGL-3 (60 min): 33000 ppm
  IDLH: 2100 ppm
  LEL: 21000 ppm
  UEL: 95000 ppm
  Ambient Boiling Point: -42.0° C
  Freezing Point: -187.7° C
  
```

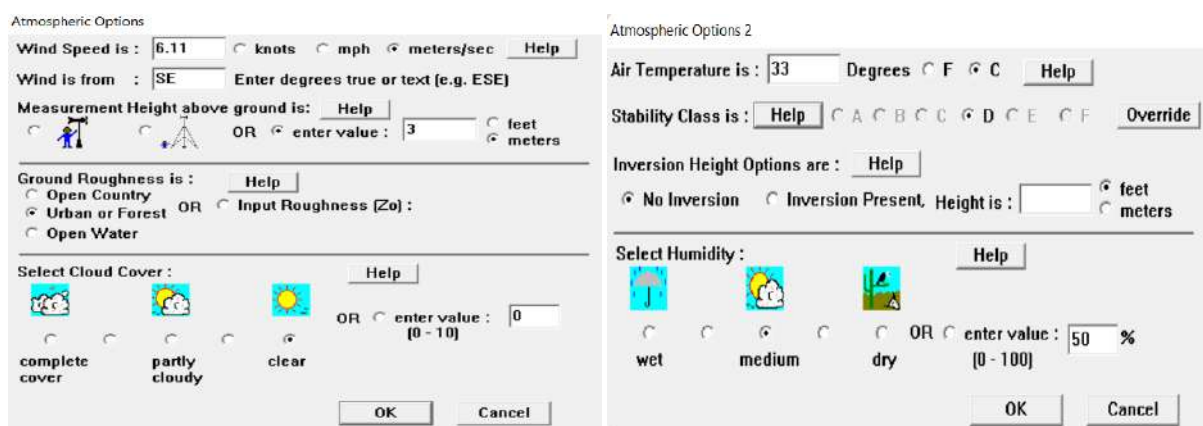
Fonte: Software ALOHA®.

O próximo passo é a configuração das condições atmosféricas para executar a simulação, com a especificação da velocidade e direção do vento, altura de medição acima do solo, a rugosidade do solo e a cobertura de nuvens. As condições do vento especificadas foram 6,11 m/s de velocidade, direção sudeste e são medidas a uma altura de 3 metros. O parque industrial tem poucos edifícios, mas existem outras empresas alocadas e residências nas imediações, por isso a escolha da opção urbano ou florestal e sem cobertura de nuvens, tempo ensolarado.

A seguir, é necessário configurar mais alguns parâmetros, como: temperatura, altura de inversão e umidade. Para a inversão seleciona-se que não há, considerando-se que os perfis de temperatura estão dentro do esperado ao longo do dia e de acordo com a sazonalidade. A inversão térmica é um fenômeno em que os perfis de temperatura são afetados e ocorre um aumento da temperatura com a altura, o que dificulta o movimento vertical das massas de ar. Note que o

ALOHA[®] utiliza as informações de velocidade do vento, cobertura de nuvens, data e hora para automaticamente classificar o cenário de estabilidade atmosférica como D. A estabilidade é um fator que expressa o nível de turbulência na atmosfera local, sendo assim, quanto mais turbulento estiver o ar na região do acidente, mais rapidamente a nuvem tóxica dispersará. A classe de estabilidade D está associada a velocidades de vento relativamente fortes e radiação solar moderada, o que resulta em uma estabilidade neutra, ou seja, turbulência moderada. Esta propriedade tem forte influência nas previsões do ALOHA[®] quanto a tamanho da área exposta ao perigo em cenários de dispersão. Em condições mais instáveis, a nuvem tóxica se mistura rapidamente com o ar ao seu redor. Espera-se que a nuvem tóxica não se estenda tanto quanto em condições mais estáveis porque o poluente é logo disperso abaixo do seu Nível de Preocupação – LOC, e o ALOHA[®] apresentará uma zona de ameaça mais curta do que em condições mais estáveis. Destaca-se que a estabilidade atmosférica é capaz de interferir diretamente no tipo de pluma a ser formada como consequência de um incidente (e.g., serpenteante, cônica, tubular, fumegante e antifumegante) (EPA, 2007).

Figura 3.7 – Configuração das condições meteorológicas para as simulações.



Fonte: Software ALOHA[®].

Por fim, admitiu-se que propano comercial – GLP está armazenado sob efeito de altas pressões em uma esfera onde ocorre o vazamento por meio de uma abertura ampla de 20 cm a 8 m do fundo, considerando o rompimento da esfera (Figura 3.12) (Figura 3.13). Para modelar a liberação a partir de uma esfera – *Tank Size Orientation*, considerou-se volume de 3000 m³ e automaticamente o software calculou o diâmetro de 17,9 m (Figura 3.8). Como foram considerados os efeitos de altas pressões, o propano encontra-se liquefeito e armazenado sob as condições atmosféricas mencionadas anteriormente (Figura 3.9). Além disso, também foi levado em consideração que a esfera estava 85% preenchida, em decorrência disso, a massa de propano estimada foi de 1.229.546 quilogramas (Figura 3.10).

Figura 3.8 – Configuração da liberação de conteúdo.

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder Vertical cylinder Sphere

Enter one of two values:

diameter feet meters

volume liters cu meters

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.9 – Condições da substância química e temperatura.

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Tank contains liquid Tank contains gas only Unknown

Enter the temperature within the tank: Chemical stored at ambient temperature Chemical stored at degrees F C

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.10 – Quantidade de produto químico em massa ou volume.

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is: pounds
 tons(2,000 lbs)
 kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

The liquid volume is: gallons
 cubic feet
 liters
 cubic meters

% full by volume

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.11 – Situação acidental 1 – O produto químico não queima ao escapar para a atmosfera.

Type of Tank Failure

Scenario:
 Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere
 Leaking tank, chemical is burning as a jet fire
 BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from flammable chemical which is not burning as it leaks from tank:

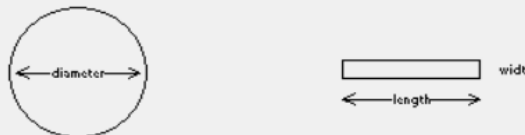
- Downwind toxic effects
- Vapor cloud flash fire
- Overpressure (blast force) from vapor cloud explosion

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.12 – Formato e tamanho da abertura do orifício de vazamento.

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting



Circular opening
 Rectangular opening

inches
 feet
 centimeters
 meters

Opening diameter:

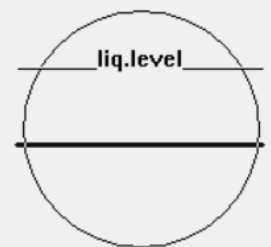
Is leak through a hole or short pipe/valve?

Hole
 Short pipe/valve

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.13 – Altura do orifício de vazamento.

Height of the Tank Opening



The bottom of the leak is:

in
 ft
 cm
 m

above the bottom of the tank

OR

% of the way to the top of the tank

Fonte: Software ALOHA®.

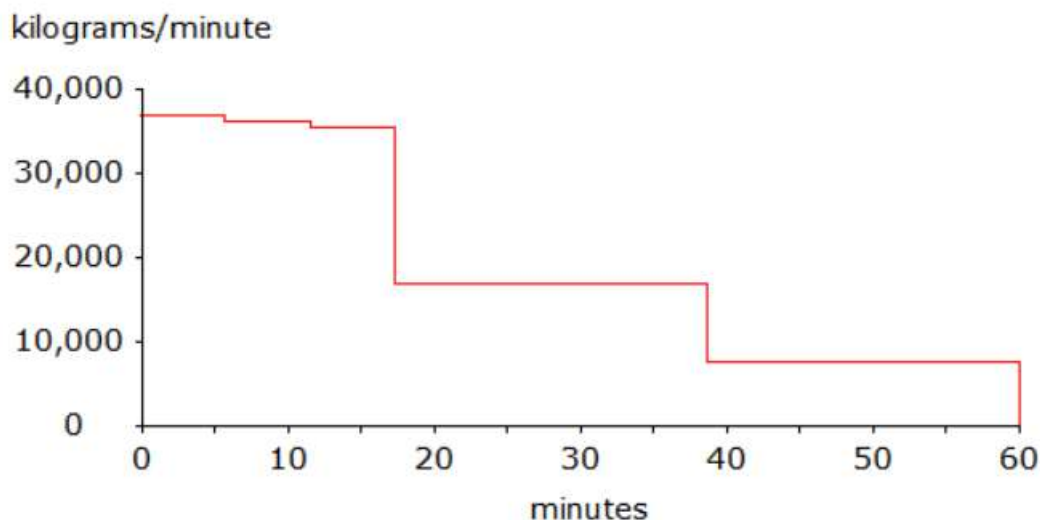
Com esses parâmetros configurados, o ALOHA® é capaz de calcular a taxa de liberação de propano do tanque, o tempo de liberação e a quantidade total liberada, estes dados constam na Figura 3.14. Além disso, o software exibe um gráfico para demonstrar a força da fonte, o perfil de liberação da substância química de acordo com o que foi configurado (Figura 3.15).

Figura 3.14 – Dados calculados para situação acidental 1 – Seção resumo – *Text Summary*.

SOURCE STRENGTH:
 Leak from hole in spherical tank
 Flammable chemical escaping from tank (not burning)
 Tank Diameter: 17.9 meters Tank Volume: 3000 cubic meters
 Tank contains liquid Internal Temperature: 33° C
 Chemical Mass in Tank: 1,229,546 kilograms
 Tank is 85% full
 Circular Opening Diameter: 20 centimeters
 Opening is 8 meters from tank bottom
 Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
 Max Average Sustained Release Rate: 36,800 kilograms/min
 (averaged over a minute or more)
 Total Amount Released: 1,143,983 kilograms
 Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.15 – Gráfico de intensidade da fonte para este cenário.



Fonte: Software ALOHA®.

Do gráfico, temos que o tempo desde o início da liberação (de 0 a 60 minutos) é representado no eixo horizontal (minutos) e a taxa de liberação é demonstrada no eixo vertical (quilogramas/minuto). Em uma rápida visualização, é perceptível que, como o propano está escapando de uma esfera pressurizada, o ALOHA® prevê que a taxa de liberação começa alta, devido a rápida transição de fase (líquido – gás) juntamente com a emissão de aerossóis e, com o passar do tempo há uma redução da liberação em decorrência da redução de pressão do recipiente. O patamar mais elevado do gráfico representa a Taxa Média Máxima de Liberação Sustentada, e o ALOHA® usa apenas a(s) taxa(s) média(s) de liberação para fazer suas estimativas de zona de ameaça.

Em seguida, selecionou-se a opção de decisão do modo de cálculo pelo software para que a dispersão fosse descrita pelo modelo mais apropriado para os cenários e simulou-se diferentes cenários no software para avaliação da severidade e efeitos em populações circunvizinhas (extramuros) e na opção.

Figura 3.16 – Cenário 1 – Área inflamável da nuvem de vapor.

Hazard To Analyze

Scenario:
Flammable chemical escaping from tank.
Chemical is NOT on fire.

Choose Hazard to Analyze:

Toxic Area of Vapor Cloud

Flammable Area of Vapor Cloud
Local areas of flame can occur even though the average concentration is below the LEL. ALOHA finds the flammable area by using 60% of the LEL.

Blast Area of Vapor Cloud Explosion

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.17 – Nível de Preocupação Inflamável – LOC.

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 12600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets

Orange Threat Zone
LOC: [none]

Yellow Threat Zone
LOC: 2100 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.18 – Situação acidental 2 – Tanque explode e químico queima em uma bola de fogo.

Type of Tank Failure

Scenario:
Tank containing a pressurized flammable liquid.

Type of Tank Failure:

Leaking tank, chemical is not burning as it escapes into the atmosphere

Leaking tank, chemical is burning as a jet fire

BLEVE, tank explodes and chemical burns in a fireball

Potential hazards from BLEVE:

- Thermal radiation from fireball and pool fire
- Hazardous fragments and blast force from explosion [cannot be modeled by ALOHA]
- Downwind toxic effects of fire byproducts [cannot be modeled by ALOHA]

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.19 – Dados calculados para situação acidental 2 – Seção resumo – *Text Summary*.

SOURCE STRENGTH:

BLEVE of flammable liquid in spherical tank

Tank Diameter: 17.9 meters Tank Volume: 3000 cubic meters

Tank contains liquid

Internal Storage Temperature: 33° C

Chemical Mass in Tank: 1,229,546 kilograms

Tank is 85% full

Percentage of Tank Mass in Fireball: 100%

Fireball Diameter: 621 meters Burn Duration: 30 seconds

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.20 – Opções de modelos de cálculo

Calculation Options

Select the Spreading Algorithm for Downwind Dispersion:

Let ALOHA decide [select this if unsure]

Use Gaussian dispersion only

Use Heavy Gas dispersion only

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.21 – Nível de Preocupação de Radiação Térmica – LOC.

Thermal Radiation Level of Concern

Select Thermal Radiation Level of Concern:

Red Threat Zone
 LOC: 10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec

Orange Threat Zone
 LOC: 5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec

Yellow Threat Zone
 LOC: 2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Para a configuração dos parâmetros e obtenção dos cenários para o butano, repetimos o mesmo procedimento já descrito para o propano, de forma que os dados primários de liberação na seção resumo – *Text Summary* foram:

Figura 3.22 – Dados primários de liberação do butano.

```

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: BUTANE
  CAS Number: 106-97-8           Molecular Weight: 58.12 g/mol
  AEGL-1 (60 min): 5500 ppm     AEGL-2 (60 min): 17000 ppm   AEGL-3 (60 min): 53000 ppm
  LEL: 16000 ppm                UEL: 84000 ppm
  Ambient Boiling Point: -0.5° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
  Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

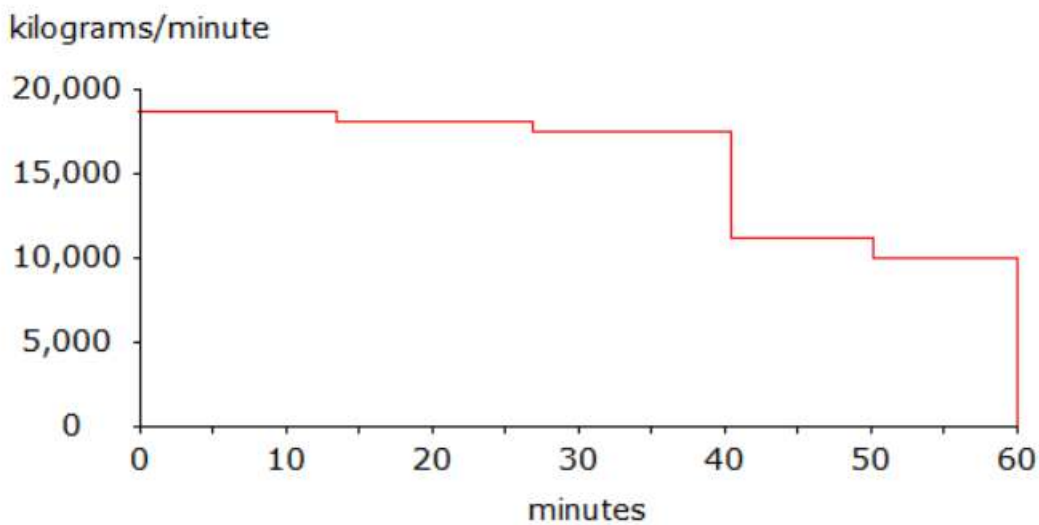
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
  Wind: 6.11 meters/second from SE at 3 meters
  Ground Roughness: urban or forest   Cloud Cover: 0 tenths
  Air Temperature: 33° C              Stability Class: D
  No Inversion Height                 Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
  Leak from hole in spherical tank
  Flammable chemical escaping from tank (not burning)
  Tank Diameter: 17.9 meters         Tank Volume: 3000 cubic meters
  Tank contains liquid              Internal Temperature: 33° C
  Chemical Mass in Tank: 1,440,493 kilograms
  Tank is 85% full
  Circular Opening Diameter: 20 centimeters
  Opening is 8 meters from tank bottom
  Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
  Max Average Sustained Release Rate: 18,600 kilograms/min
  (averaged over a minute or more)
  Total Amount Released: 936,518 kilograms
  Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).
  
```

Fonte: Software ALOHA®.

Considerou-se o armazenamento de butano – GLP em esfera de 3000 m³ com a capacidade ocupada de 85% e temperatura interna igual ao ambiente externo. Para a simulação do vazamento, orifício de 20 cm a 8 m do fundo. Com isso, o ALOHA[®] consegue calcular a taxa máxima de liberação sustentada, estima a duração do vazamento, a quantidade mássica de produto químico que foi liberada e plota um gráfico que demonstra o perfil da perda de contenção (Figura 3.23).

Figura 3.23 – Gráfico de perfil de liberação do butano.



Fonte: Software ALOHA[®].

Para um cenário em que a butano é liberado, mas não queima – Situação acidental 3, uma nuvem de vapor inflamável e/ou um *flash fire* podem ocorrer, de forma combinada ou individual, e possui níveis de preocupação inflamável de acordo com o padrão do software conforme a Figura 3.24.

Figura 3.24 – Nível de Preocupação Inflamável – LOC.

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
 LOC: 9600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets

Orange Threat Zone
 LOC: [none]

Yellow Threat Zone
 LOC: 1600 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Em um cenário hipotético BLEVE – Situação acidental 4, temos que a esfera explode e o produto químico queima em uma bola de fogo de maneira violenta. Os níveis de preocupação de radiação térmica são configurados de acordo com o padrão do software conforme a Figura 3.24.

Figura 3.25 – Nível de Preocupação de Radiação Térmica – LOC.

Thermal Radiation Level of Concern

Select Thermal Radiation Level of Concern:

Red Threat Zone
 LOC: 10.0 kW/(sq m) = potentially lethal within 60 sec

Orange Threat Zone
 LOC: 5.0 kW/(sq m) = 2nd degree burns within 60 sec

Yellow Threat Zone
 LOC: 2.0 kW/(sq m) = pain within 60 sec

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Para o caso da nafta, utilizou-se n-hexano para simular a liberação tóxica acidental. Como a nafta tem aplicabilidade para indústria petroquímica ou combustíveis, seu armazenamento é feito em tanques cilíndricos, os quais não possuímos dimensões e não é algo que é imposto de maneira rigorosa em resolução, por isso, a simulação deste foi feita como fonte direta contínua conforme a ordem das configurações expostas a seguir:

Figura 3.26 – Propriedades químicas do N-Hexano – Seção resumo – *Text Summary*.

```

CHEMICAL DATA:
  Chemical Name: N-HEXANE
  CAS Number: 110-54-3
  Molecular Weight: 86.18 g/mol
  AEGL-1 (60 min): N/A   AEGL-2 (60 min): 2900 ppm   AEGL-3 (60 min): 8600 ppm
  IDLH: 1100 ppm       LEL: 12000 ppm       UEL: 72000 ppm
  Ambient Boiling Point: 68.7° C
  Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.28 atm
  Ambient Saturation Concentration: 280,292 ppm or 28.0%

```

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.27 – Configurações da liberação química com N-Hexano.

The screenshot shows two panels from the ALOHA software. The left panel, titled 'Direct Source', contains several sections: 'Select source strength units of mass or volume:' with radio buttons for grams, kilograms, pounds, tons(2,000 lbs), cubic meters, liters, cubic feet, and gallons; 'Select an instantaneous or continuous source:' with radio buttons for instantaneous source and continuous source; 'Enter the amount of pollutant ENTERING THE ATMOSPHERE:' with a text box containing '150', radio buttons for cubic meters/sec, cubic meters/min (selected), and cubic meters/hr, and a text box containing '60' for minutes; and 'Enter source height [0 if ground source]:' with a text box containing '0' and radio buttons for feet and meters. The right panel, titled 'Volume Input Information', contains: 'Is the chemical stored as a gas or liquid?' with radio buttons for Gas and Liquid (selected); and 'Enter the temperature at which the chemical is stored.' with radio buttons for Ambient temperature and Chemical temperature is (selected), followed by a text box containing '33' and radio buttons for degrees F and C. Both panels have 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons at the bottom.

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.28 – Dados calculados para a liberação acidental de N-Hexano - *Text Summary*.

```

SOURCE STRENGTH:
  Direct Source: 150 cubic meters/min   Source Height: 0
  Source State: Liquid
  Source Temperature: 33° C
  Release Duration: 60 minutes
  Release Rate: 97,300 kilograms/min
  Total Amount Released: 5,838,765 kilograms

```

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.29 – Cenários considerados para uma dispersão acidental de N-Hexano.

Hazard To Analyze

Scenario:
Flammable chemical escaping directly into atmosphere.
Chemical is NOT on fire.

Choose Hazard to Analyze:

Toxic Area of Vapor Cloud

Flammable Area of Vapor Cloud

Blast Area of Vapor Cloud Explosion

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.30 – Nível de Preocupação Inflamável – LOC.

Flammable Level of Concern

Select Flammable Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 7200 ppm = 60% LEL = Flame Pockets

Orange Threat Zone
LOC: [none]

Yellow Threat Zone
LOC: 1200 ppm = 10% LEL

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

Figura 3.31 – Nível de Preocupação de Sobrepressão – LOC.

Overpressure Level of Concern

Select Overpressure Level of Concern:

Red Threat Zone
LOC: 8.0 psi = destruction of buildings

Orange Threat Zone
LOC: 3.5 psi = serious injury likely

Yellow Threat Zone
LOC: 1.0 psi = shatters glass

Show wind direction confidence lines:
 only for longest threat zone
 for each threat zone

OK Cancel Help

Fonte: Software ALOHA®.

4 RESULTADOS

Como produto dos parâmetros inseridos no software ALOHA[®], obteve-se o perfil gráfico das nuvens de dispersão acidental do propano. A modelagem da liberação do gás demonstra a concentração em partes por milhão – ppm de propano apresentando linhas que delimitam a concentração de acordo os níveis de preocupação inflamável e relaciona a distância e a largura das plumas referentes a cada evento.

Para a condição meteorológica de tempo ensolarado (direção do vento: sudeste – SE, velocidade do vento: 6,11 m/s, 33 °C e 50% de umidade) foram obtidos os cenários acidentais de nuvem de vapor inflamável e risco de radiação térmica de um BLEVE.

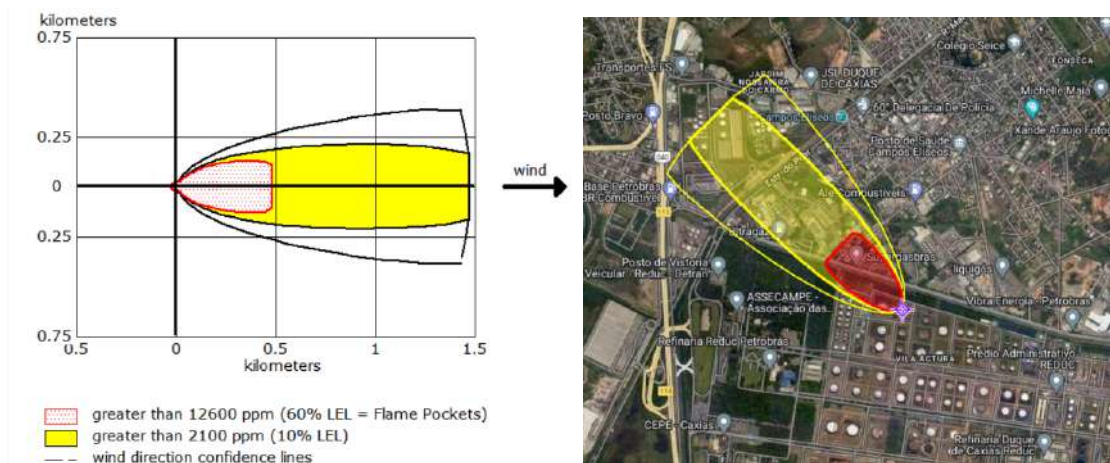
Da definição temos que um *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion* – BLEVE, em português – explosão por expansão de líquido em ebulição, normalmente acontece em esferas de armazenamento com um gás liquefeito submetido a altas pressões, haja vista que um gás também pode ser liquefeito por meio de resfriamento a uma temperatura abaixo de seu ponto de ebulição. O ALOHA[®] apenas modela BLEVEs de líquidos inflamáveis. O propano, por exemplo, é um composto químico que ocasionou muitos acidentes BLEVE no passado. Em geral, o propano está liquefeito nas esferas de armazenamento das refinarias, mas como não há um sistema de resfriamento, o conteúdo líquido está à temperatura ambiente, ou seja, acima do ponto de ebulição do propano (-42,1 °C) e necessitam de altas pressões (EPA, 2007). É válido salientar que para o cenário de simulações estabelecido, a ocorrência de um BLEVE pode provocar explosões em outras esferas ou tanques de armazenamento nos limites da refinaria ou nas adjacências.

A nuvem de vapor quando encontra uma fonte de ignição pode pegar fogo e queimar muito rápido, o que se denomina *flash fire*. Os riscos associados a casos deste tipo envolvem fumaça, subprodutos tóxicos da combustão e radiação térmica. O ALOHA[®] estima a região onde possivelmente ocorrerá um incêndio após a liberação química, porém a área é delimitada pelo limite de inflamabilidade inferior e superior – LEL e UEL. Estes são expressos por porcentagens que indicam a concentração do químico no ar (EPA, 2007).

No cenário 1, desejou-se avaliar a ameaça de perda de contenção seguida da formação de uma nuvem de vapor inflamável. Nesta situação, a liberação ocasionou uma descarga inicial de 36800 kg/min da substância química com formação de uma nuvem de vapor podendo ocorrer um *flash fire*, desde que haja uma fonte de ignição. O ALOHA[®] considera que áreas locais de chama possam ocorrer mesmo que a concentração média esteja abaixo do LEL e consegue encontrar a área inflamável usando 60% do LEL.

O gráfico da zona de ameaça obtido no software para este primeiro cenário mostra duas zonas de ameaça inflamáveis, vermelha e amarela. A zona de ameaça vermelha representa a área inflamável estimada onde um incêndio inesperado ou uma explosão de nuvem de vapor pode ocorrer em algum momento após o início da liberação química. O software avalia através do modelo de dispersão de gás denso que a zona de ameaça vermelha se propagará por 485 metros (12600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets) na direção do vento. A zona de ameaça amarela se espalhará por 1,5 quilômetros e representa a área estimada onde as concentrações de propano podem exceder 10% LEL (2100 ppm), um nível frequentemente usado pelos socorristas, como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1 – Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 1 | Aplicação no mapa.



Fonte: Software ALOHA® e MARPLOT®.

No cenário 2, foram avaliadas as ameaças provocadas pela radiação térmica oriundas de um BLEVE. Nesta situação, o ALOHA® estima que todo o conteúdo do tanque é direcionado para a bola de fogo e de acordo com a simulação, a bola de fogo – BLEVE possui um diâmetro de 621 metros e a queima tem duração de 30 segundos.

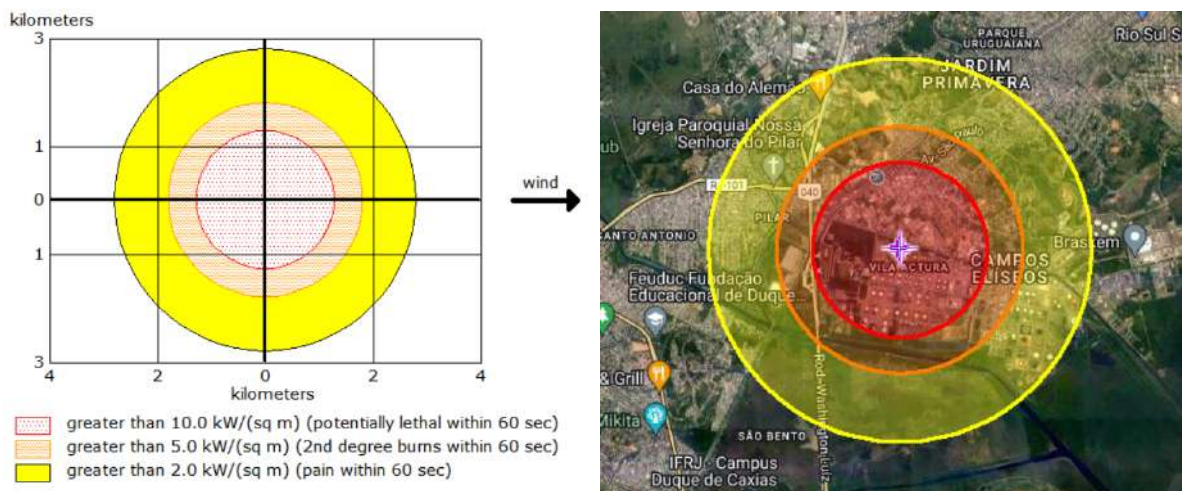
O gráfico da zona de ameaça para este cenário mostra três zonas de ameaça de radiação térmica, vermelha, laranja e amarela. O ALOHA® estima que a zona de ameaça vermelha, o pior nível de perigo, se estenderá por 1,3 quilômetros em todas as direções de forma radial. As zonas de ameaça laranja e amarela se propagam por 1,8 quilômetros e 2,8 quilômetros, respectivamente, e representam áreas de perigo decrescente. Para este cenário, é válido ressaltar que pode haver perigos adicionais que o software não é capaz de descrever o comportamento, incluindo fragmentos perigosos, sobresspressão e incêndios e explosões secundários.

O ALOHA[®] utiliza três valores limite (medidos em quilowatts por metro quadrado e indicados como kW/m²) para criar as zonas de ameaça padrão:

- Vermelho: 1,3 km – 10 kW/m² (potencialmente letal em 60 seg);
- Laranja: 1,8 km – 5 kW/m² (queimaduras de segundo grau em 60 seg);
- Amarelo: 2,8 km – 2 kW/m² (dor em 60 seg).

As consequências da exposição à radiação térmica que as pessoas experimentam dependem diretamente do período em que estão expostas a um nível específico de radiação térmica. Mesmo em baixos níveis de radiação térmica, exposição mais longas, podem produzir efeitos fisiológicos severos. As zonas de ameaça exibidas por ALOHA[®] representam níveis de radiação térmica e os efeitos nas pessoas expostas que conseguem buscar abrigo em um minuto (Figura 4.2).

Figura 4.2 – Modelagem de dispersão do BLEVE para o cenário 2 | Aplicação no mapa.



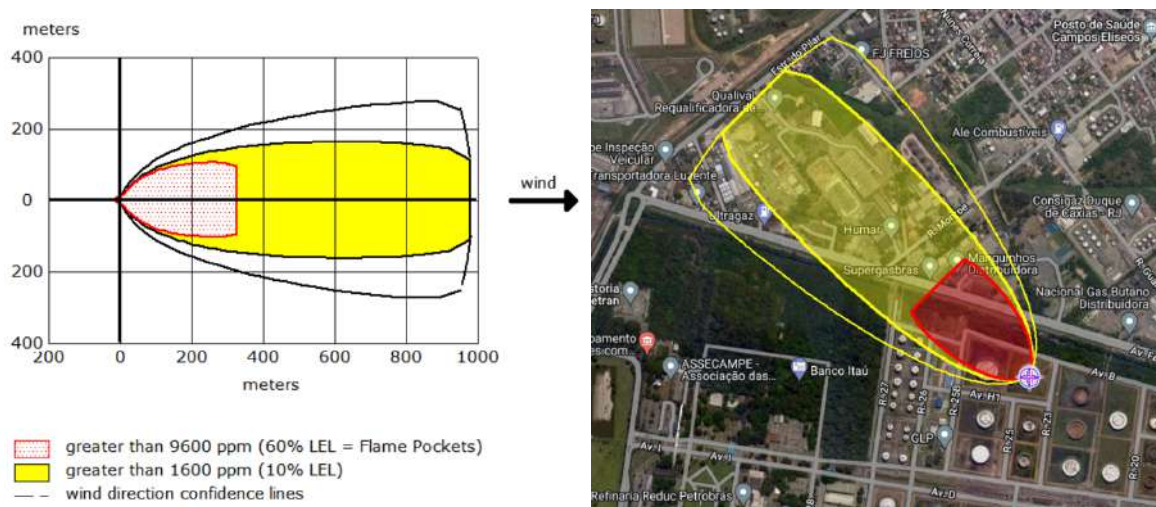
Fonte: Software ALOHA[®] e MARPLOT[®].

No cenário 3 foi possível avaliar ameaças de perda de contenção juntamente com a formação de uma nuvem de vapor inflamável e/ou um *flash fire*. Com base nisso, a perda de contenção ocasionou uma descarga inicial de 18600 kg/min de butano com formação de uma nuvem de vapor e possibilidade de um *flash fire*, desde que haja uma fonte de ignição para desencadear o processo de combustão. O ALOHA[®] considera que áreas locais de chama possam ocorrer mesmo que a concentração média esteja abaixo do LEL e consegue encontrar a área inflamável usando 60% do LEL.

O gráfico da zona de ameaça que o software forneceu para este terceiro cenário mostra duas zonas de ameaça inflamáveis, vermelha e amarela. A zona de ameaça vermelha representa

a área inflamável estimada de pior risco para a ocorrência de um incêndio inesperado ou uma explosão de nuvem de vapor logo após o início do vazamento. O software utiliza o modelo de dispersão de gás denso e estima que a zona de ameaça vermelha se moverá por 328 metros (9600 ppm = 60% LEL = Flame Pockets) na direção do vento. Já a zona de ameaça amarela irá se mover por 981 metros e representa a área estimada onde as concentrações de butano podem exceder 10% LEL (1600 ppm), como mostra a Figura 4.3.

Figura 4.3 – Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 3 | Aplicação no mapa.



Fonte: Software ALOHA® e MARPLOT®.

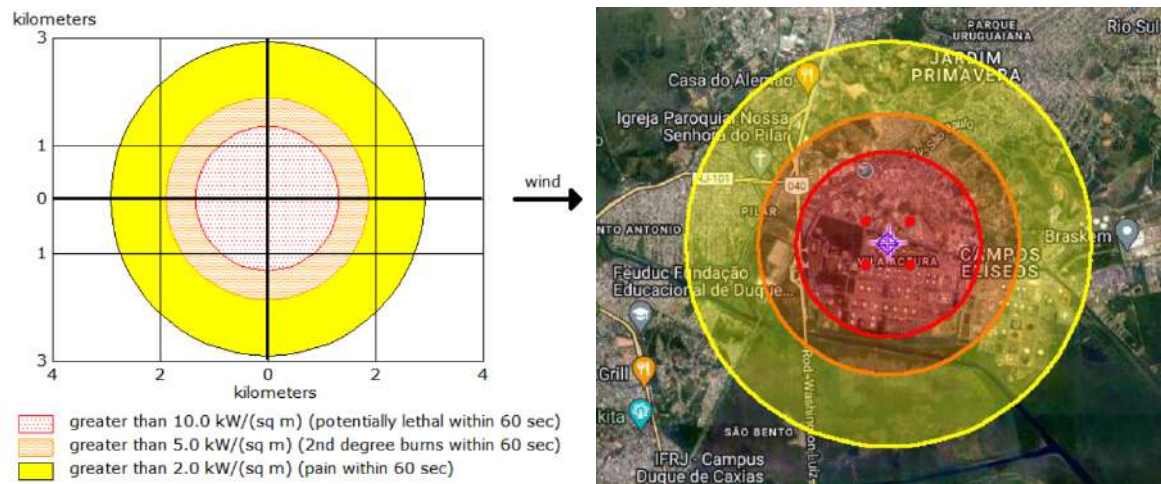
Através do cenário 4 foi possível estimar os perigos de radiação térmica oriundos de um BLEVE. Com base nas informações inseridas, o ALOHA® estima que todo o conteúdo da esfera é direcionado para a bola de fogo e de acordo com a simulação, a bola de fogo – BLEVE possui um diâmetro de 655 metros e sua queima tem duração de 31 segundos.

O gráfico que demonstra as zonas de ameaça para este cenário possui três zonas de perigo de radiação térmica – vermelha, laranja e amarela (Figura 4.4). O ALOHA® estima que a zona de ameaça vermelha, o pior nível de perigo, se estenderá por 1,3 quilômetros em todas as direções de forma radial. As zonas de ameaça laranja e amarela se propagam por 1,9 quilômetros e 2,9 quilômetros, respectivamente, e representam áreas de perigo decrescente. Para o cenário BLEVE, é válido ressaltar que perigos adicionais podem ocorrer e que o software não é capaz de descrever o comportamento, incluindo fragmentos perigosos, sobrepressão e incêndios e explosões secundários.

O ALOHA® utiliza três valores limite (medidos em quilowatts por metro quadrado e indicados como kW/m^2) para criar as zonas de ameaça padrão:

- Vermelho: 10 kW/m^2 (potencialmente letal em 60 seg);
- Laranja: 5 kW/m^2 (queimaduras de segundo grau em 60 seg);
- Amarelo: 2 kW/m^2 (dor em 60 seg).

Figura 4.4 – Modelagem de dispersão do BLEVE para o cenário 4 | Aplicação no mapa.

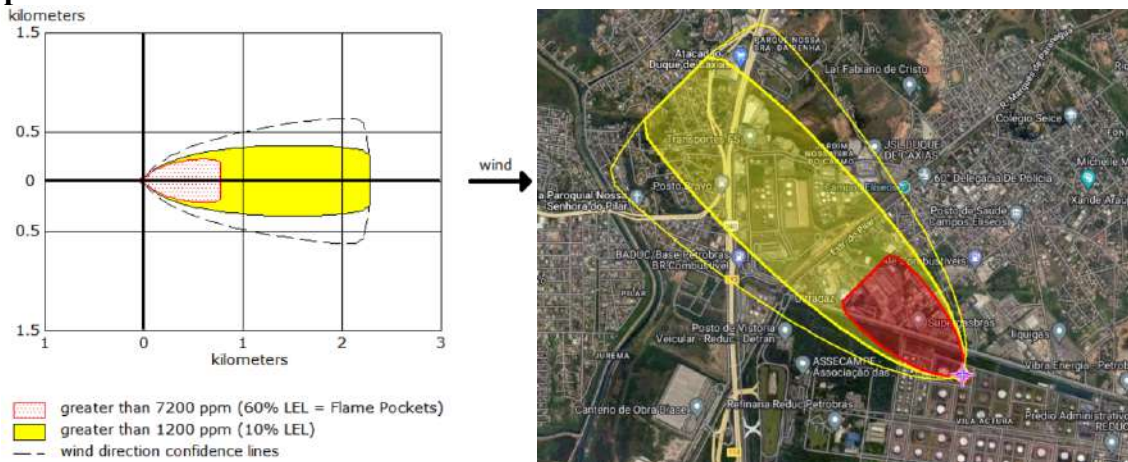


Fonte: Software ALOHA® e MARPLOT®.

No cenário 5, desejou-se avaliar a ameaça de perda de contenção de n-hexano seguida da formação de uma nuvem de vapor inflamável, considerando uma fonte direta contínua. De acordo com a simulação, a liberação ocasionou uma descarga inicial de 97300 kg/min desse produto químico resultando na formação de uma nuvem de vapor e podendo ocorrer um *flash fire*, desde que haja uma fonte de ignição.

O gráfico da zona de ameaça obtido no software para este cenário mostra duas zonas de ameaça inflamáveis, vermelha e amarela. A zona de ameaça vermelha representa a área inflamável estimada onde um incêndio inesperado ou uma explosão de nuvem de vapor pode ocorrer em algum momento após o início da liberação química. O software avalia através do modelo de dispersão de gás denso que a zona de ameaça vermelha se propagará por 773 metros ($7200 \text{ ppm} = 60\% \text{ LEL} = \text{Flame Pockets}$) na direção do vento. A zona de ameaça amarela se espalhará por $2,3 \text{ quilômetros}$ e representa a área estimada onde as concentrações de propano podem exceder $10\% \text{ LEL}$ (1200 ppm), um nível frequentemente usado pelos socorristas, como mostra a Figura 4.5.

Figura 4.5 – Modelagem de dispersão da nuvem de vapor para o cenário 5 / Aplicação no mapa.



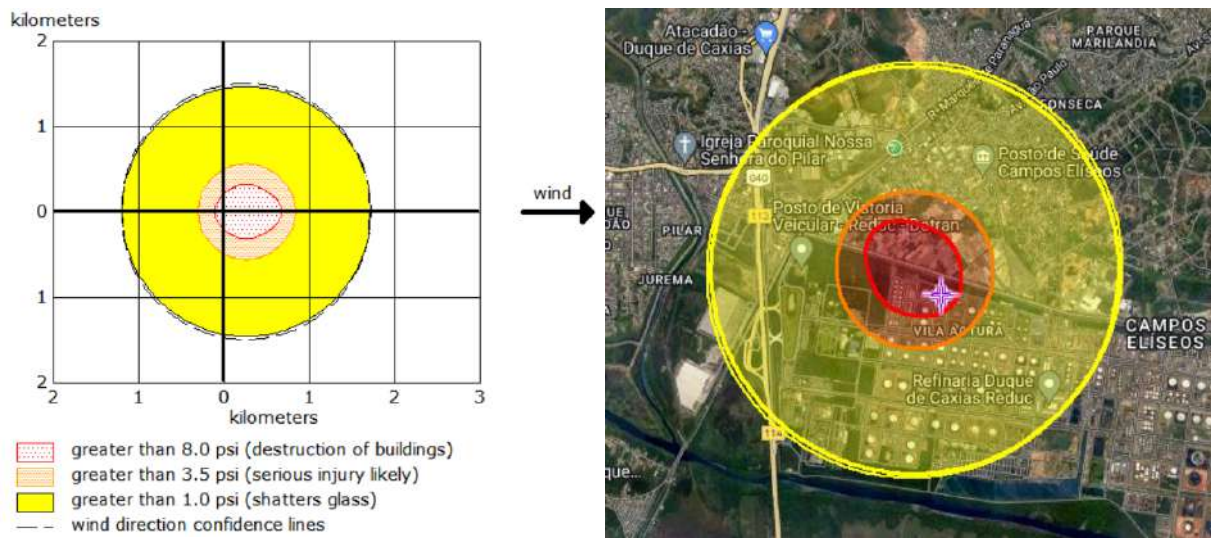
Fonte: Software ALOHA® e MARPLOT®.

No último cenário, através da modelagem da explosão da nuvem de vapor, foi possível dimensionar os danos que seriam causados frente a ocorrência de uma explosão de nuvem de vapor com geração de sobrepressão perigosa de acordo com as configurações pré-definidas. Existe a possibilidade, segundo (EPA, 2007), da nuvem queimar como um incêndio instantâneo, mas a onda de explosão violenta não seria gerada. As condições favoráveis para tal acontecimento são áreas congestionadas ou em caso de ignição por uma detonação.

Com isso, desejou-se avaliar a ameaça de perda de contenção de n-hexano seguida da explosão devido a ignição por detonação de uma nuvem de vapor inflamável, considerando uma fonte direta contínua. De acordo com a simulação, a liberação ocasionou uma descarga inicial de 97300 kg/min, liberação total de 5838765 quilogramas e duração de 60 minutos.

O gráfico da zona de ameaça obtido no software para tal cenário mostra três zonas de ameaça inflamáveis, vermelha, laranja e amarela (Figura 4.6). A zona de ameaça vermelha (8,0 psi) representa a área aproximada onde pode ocorrer, em algum momento após o início da liberação química, destruição de edifícios. Na zona laranja (3,5 psi), existe a possibilidade de lesão grave e na zona amarela (1,0 psi), existe o risco de estilhaçar vidros.

Figura 4.6 – Modelagem de dispersão da sobrepressão da explosão da nuvem de vapor para o cenário 6 / Aplicação no mapa.



Fonte: Software ALOHA® e MARPLOT®.

5 CONCLUSÕES

Neste contexto, o presente trabalho objetivou simular e analisar os efeitos do comportamento previsto pela modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos, emitidos por uma refinaria de petróleo localizada em Duque de Caxias, Rio de Janeiro – Brasil, porém com a ciência de que os eventos simulados acontecem raramente. Os modelos de dispersão dos poluentes foram gerados através do software americano ALOHA[®], que viabilizou a obtenção de dados quantitativos de concentração, quantidade liberada e alcance dos poluentes que foram objetos de estudo – propano, butano e n-hexano. Com base nos resultados obtidos para os cenários hipotéticos de vazamentos químicos, foi possível observar que determinadas situações acidentais resultaram em maior impacto nas regiões circunvizinhas.

É de conhecimento geral que os processos que envolvem hidrocarbonetos possuem diversos riscos significativos associados às instalações industriais, ao meio ambiente, a força de trabalho e às zonas periféricas.

Na análise dos cenários observou-se que comparando os modelos de dispersão por nuvem de vapor inflamável, a liberação de n-hexano foi a de maior impacto – cenário 5, com liberação de 97300 kg/min e com alcance máximo da pluma de aproximadamente 2,3 km. Já para a avaliação das modelagens de BLEVEs, o vazamento de butano – cenário 4 mostrou-se mais expressivo quando comparado ao propano nas mesmas condições, com propagação de poluentes por 2,9 km. Para o n-hexano, no cenário de explosão da nuvem de vapor – cenário 6 houve liberação de 97300 kg/min e os danos se propagaram por 1,7 km.

Diante da avaliação dos cenários acidentais, pode-se concluir que os resultados obtidos são importantes para gerenciamento de riscos e análises de vulnerabilidades em refinarias, já que possibilita a identificação de riscos e estima as consequências de possíveis situações acidentais que podem ocorrer em esferas ou tanques de armazenamento.

É importante mencionar que o software opera com hipóteses que influenciam diretamente nos gráficos obtido para os cenários de vazamento químico, de modo que em algumas situações o resultado é além do real. Em uma rápida comparação dos resultados obtidos para os casos de BLEVE com o acidente histórico de 1972, relatado neste trabalho, tem-se que a população vizinha não foi afetada, mas ocorreu o lançamento de partes do casco da esfera, que pesavam toneladas, a uma distância de 1 km, aproximadamente. A trajetória de fragmentos perigosos não é modelada pelo ALOHA[®], o que limita a previsão dessas ocorrências.

Ressalta-se a importância das práticas de Segurança de Processo e dos Sistemas de Gestão de Segurança Operacional para que as atividades produtivas de uma determinada instalação

obedeça aos padrões exigidos pelas autoridades que regulamentam o setor de óleo e gás, em específico no refino de petróleo. Padrões de melhoria contínua referentes à segurança, saúde e políticas ambientais claras e atuais, assim como as práticas em sistemas de qualidade e produtividade devem ser incorporadas pelas organizações com o objetivo de prevenir que incidentes, independentemente de sua magnitude, aconteçam.

Por fim, é possível afirmar que a implantação de um sistema de gestão de segurança não deveria ser resumida apenas a uma exigência legal, porém deveria ser vista como uma boa prática na busca da redução e/ou minimização de impactos aos seres humanos, ao meio ambiente e à sociedade como um todo.

5.1 CONSIDERAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Considerar diferentes condições meteorológicas para as simulações;
- Analisar efeitos da sazonalidade na dispersão atmosférica de poluentes;
- Considerar outros cenários de toxicidade, inflamabilidade e explosividade;
- Comparar os resultados dos diferentes cenários, nas diferentes condições meteorológicas.

6 REFERÊNCIAS

ALBERTON, K. P. F.. Segurança de Processos e Prevenção de Perdas: Apostila de Sala de Aula. Rio de Janeiro, 2020.

ALVES, Marroni. **O dia em que a REDUC explodiu. Diário do Rio.** Rio de Janeiro, 1, abril, 2019. Disponível em: <https://diariodorio.com/o-dia-em-que-a-reduc-explodiu/>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

ANP. Resolução ANP 1nº 882/2022. Estabelece o procedimento para a comunicação de incidentes e o envio de relatórios de investigação pelos operadores de contrato de exploração e produção de petróleo e gás natural e pelas empresas autorizadas a exercer as atividades da indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Brasília, 2022. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-882-2022-estabelece-o-procedimento-para-a-comunicacao-de-incidentes-e-o-envio-de-relatorios-de-investigacao-pelos-operadores-de-contrato-de-exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas-natural-e-pelas-empresas-autorizadas-a-exercer-as-atividades-da-industria-do-petroleo-e-gas-natural-e-biocombustiveis?origin=instituicao>. Acesso em 04 de setembro de 2022.

ANP. Relatório Anual de Segurança Operacional das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/arq/raso/v0_2021_relatorio-anual-de-seguranca-operacional.pdf. Acesso em: 09 de setembro de 2022.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2022 /** Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP, 2022.

ANP. **CNPE mantém percentual de 10% de biodiesel no diesel em 2022.** Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/cnpe-mantem-percentual-de-10-de-biodiesel-no-diesel-em-2022. Acesso em: 18 de novembro de 2022.

ANP. Relatório de Investigação do Incidente de Explosão ocorrido em 11/02/2015 no FPSO Cidade de São Mateus. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – Superintendência de Segurança Operacional e Meio Ambiente – SSM. ANP, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/fpso-cidade-de-sao-mateus/relatorio-de-investigacao-fpso-cidade-de-sao-mateus.pdf>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.

ANP. Resolução ANP nº 47/2014. Instituiu o Regulamento Técnico de Estimativa de Recursos e Reservas de Petróleo e Gás natural, que define os termos relacionados com os recursos e reservas e estabelece diretrizes para a elaboração do Boletim Anual de Recursos e Reservas (BAR). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, 2014. Disponível em: Resolução 47 2014 da ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis BR (atosoficiais.com.br). Acesso em: 10 de setembro de 2022.

ANP. Resolução ANP nº 5, de 29/01/2014, DOU 30 de janeiro de 2014. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ANP, 2014. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-5-2014?origin=instituicao>. Acesso em: 11 de setembro de 2022.

ANP. Resolução ANP nº 44/2009. Estabelece o procedimento para comunicação de incidentes, a ser adotado pelos concessionários e empresas autorizadas pela ANP a exercer as atividades da indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis, bem como distribuição e venda. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Brasília, 2009. Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-44-2009>. Acesso em 04 de setembro de 2022.

ANP. Análise do acidente com a plataforma P-36. Relatório da Comissão de Investigação ANP / DPC. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ANP, 2001. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional-e-meio-ambiente/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/relatorio-do-acidente-com-a-p-36/relatorio_p-36.pdf. Acesso em: 13 de setembro de 2022.

BP. BP Statistical Review of World Energy 2022. 71ª edição. 2022. Disponível em: Statistical Review of World Energy 2022 (bp.com). Acesso em: 05 de novembro de 2022.

BP. Refinery Explosion and Fire. Final Investigation Report. BP Texas City, 2007. Disponível em: <https://www.csb.gov/file.aspx?DocumentId=5596>. Acesso em: 03 de dezembro de 2022.

BRASIL. Lei nº 9.605/1998 – Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/topicos/28001795/artigo-50a-da-lei-n-9605-de-12-de-fevereiro-de-1998>. Acesso em: 06 de dezembro de 2022.

CETESB. **Emergências Químicas.** Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/aspectos-gerais/perigos-associados-as-substancias-quimicas/liquidos-inflamaveis/#:~:text=Ponto%20de%20Fulgur%20\(Flash%20Point,com%20uma%20fonte%20de%20igni%C3%A7%C3%A3o](https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/aspectos-gerais/perigos-associados-as-substancias-quimicas/liquidos-inflamaveis/#:~:text=Ponto%20de%20Fulgur%20(Flash%20Point,com%20uma%20fonte%20de%20igni%C3%A7%C3%A3o). Acesso em: 10 de dezembro de 2022.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 237/1997 – Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.

CONAMA. Resolução CONAMA nº 460/2013: Altera a CONAMA nº 420/2009. Estabelece critérios para análise do solo em relação a compostos químicos. Orienta quanto a medidas contra vazamentos de produtos químicos e o conhecimento desta resolução na íntegra é a melhor forma de não cometer uma infração. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2013. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=131499>. Acesso em: 16 de Dezembro de 2022.

EM 2001, explosão da plataforma P-36 deixou 11 mortos na Bacia de Campos. Agência O Globo, 12, agosto, 2016. Economia. Disponível em: <https://acervo.oglobo.globo.com/fatos-historicos/em-2001-explosao-da-plataforma-36-deixou-11-mortos-na-bacia-de-campos-9483525>. Acesso em: 14 de dezembro de 2022.

EXPLOSÃO de navio-plataforma cidade são mateus completa dois anos neste sábado. Redação Folha Vitória, Vitória, 11, fevereiro, 2017. Disponível em: <https://www.folhavitoria.com.br/geral/noticia/02/2017/explosao-de-navio-plataforma-cidade-sao-mateus-completa-dois-anos-neste-sabado>. Acesso em: 18 de dezembro de 2022.

EXPLOSÃO na reduc em 1972. In: WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: pt.wikipedia.org/wiki/Explos%C3%A3o_na_Reduc_em_1972. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

EXPLOSÕES destroem reservatórios da Petrobras. Folha de São Paulo. São Paulo, 31, março, 1972. Disponível em: <https://acervo.folha.com.br/leitor.do?numero=4345&anchor=4396143&origem=busca&originURL=&pd=6806679fccff908a84254008500284b0>. Acesso em: 05 de dezembro de 2022.

FARAH, Marco Antônio. **Petróleo e seus derivados:** definição, constituição, aplicação, especificação, características de qualidade. Rio de Janeiro : LTC, 2012.

IEA. **Previsão de Demanda de Petróleo, 2010-2026, Pré-Pandemia e em Petróleo 2021.** out/2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/oil-demand-forecast-2010-2026-pre-pandemic-and-in-oil-2021>. Acesso em: 10 de setembro de 2022.

INEA. **Emergências Ambientais.** Instituto Estadual do Meio Ambiente (INEA). Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/emergencias-ambientais/>. Acesso em: 15 de outubro de 2022.

EPA. **Manual de Usuário ALOHA®.** 2007. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1003UZB.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2006%20Thru%202010&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&ToCRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CIN-DEX%20DATA%5C06THRU10%5CTXT%5C00000008%5CP1003UZB.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=2> Acesso em: 30 de setembro de 2022.

HANNA, S. R., GARY, A. B., RAYFORD. P. H., United States. Dept. of Energy. Office of Energy Research., and United States. Dept. of Energy. Office of Health and Environmental Research. 1982. *Handbook on atmospheric diffusion: prepared for the Office of Health and Environmental Research, Office of Energy Research, U.S. Department of Energy.* [Oak Ridge, TN]: Technical Information Center, U.S. Dept. of Energy.

LUBONGO, E.J.B; SCHMITT, M.A.. **Simulação da dispersão de poluentes atmosféricos usando Excel:** estudo de caso em uma refinaria de petróleo”. 59º Congresso Brasileiro de Química – Química, Energia e Sustentabilidade. João Pessoa/PB, 2019.

NORMAS reguladoras. **Minaspetro Blog**. 2017. Disponível em: <http://minaspetro.com.br/blog/2017/12/27/quais-sao-as-principais-leis-e-normas-para-postos-de-combustivel/>. Acesso em: 16 de outubro de 2022.

OLIVEIRA Regineide de; PEIXOTO, Camila Gisele Damasceno; GONDIM, Amanda D.; ARAUJO, Antônio S. de; JÚNIOR, Valter José Fernandes. **Estudo térmico e caracterização de cargas de fundo das torres de destilação a vácuo e atmosférica**. I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. Campina Grande – PB, 2015. Pp. 1-5. Disponível em: Estudo térmico e caracterização de cargas de fundo das torres de destilação a vácuo e atmosférica | plataforma espaço digital (editorarealize.com.br). Acesso em: 30 de outubro de 2022.

OSHA. **OSHA 3132: Process Safety Management**. 2000. Disponível em: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/osha3132.pdf>. Acesso em 28 dezembro 2022.

P2R2. Plano Nacional de Prevenção, Preparação e Resposta Rápida a Emergências Ambientais com Produtos Químicos Perigosos. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/41/Plano%20Nacional%20de%20prevencao,%20preparacao%20e%20resposta%20rapida%20a%20emergencias%20ambientais%20com%20produtos%20quimicos%20perigosos.pdf>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.

PALAZZI, E., M. Defaveri, G. Fumarola, and G. Ferraiolo. 1982. "*Diffusion from a Steady Source of Short Duration*." *Atmospheric Environment* no. 16 (12):2785- 2790.

PETROBRAS anuncia investimentos para REDUC e REVAP e prevê R\$ 2,5 bilhões para o segmento de refino. **Petronotícias**. Rio de Janeiro, 06, julho, 2021. Disponível em: <https://petronoticias.com.br/petrobras-anuncia-investimentos-para-reduc-e-revap-e-preve-r-25-bilhoes-para-o-segmento-de-refino/>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

PETROBRAS. **Coque Verde de Petróleo: Informações Técnicas**. Manual de Assistência Técnica. Petrobras, dez/2019. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/04/83/10/3C/5A39C710E2EF93B7B8E99EA8/Coque-Informacoes-Tecnicas.pdf>. Acesso em: 28 de outubro de 2022.

PETROBRAS. **Gás Liquefeito de Petróleo: Informações técnicas**. Manual de Assistência Técnica Petrobras. Petrobras, 2022. Disponível em: https://petrobras.com.br/data/files/47/63/18/74/EB62F7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20GLP_%20fevereiro%202022.pdf. Acesso em: 04 de novembro de 2022.

PETROBRAS. **Gasolinas Petrobras**. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/gasolina/>. Acesso em: 15 de novembro de 2022.

PETROBRAS. **Naftas Petroquímicas: Informações Técnicas**. Manual de Assistência Técnica Petrobras. Petrobras. dez/2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/data/files/14/13/1A/EA/FFC8E7105FC7BCD7E9E99EA8/Manual%20de%20Naftas%20Petroquimicas%202021.pdf>. Acesso em: 16 de dezembro de 2022.

REIS, Marcos Aurélio Seixas dos. **Gerenciamento de risco para medicamentos potencialmente perigosos em serviços hospitalares. 2015.**

Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Reis-5/publication/299409683/figure/fig3/AS:365612929961984@1464180323030>. Acesso em: 07 de dezembro de 2022.

ROCHA, Marco Aurélio da. **Segurança de Processo x Segurança Ocupacional – Parte 1. 2021.** Disponível em: <https://revistaemergencia.com.br/blogs/seguranca-de-processo-x-seguranca-ocupacional-parte-1/>. Acesso em 15 de dezembro de 2022.

ROCHA, Marco Aurélio da. **Segurança de Processo x Segurança Ocupacional – Parte 2. 2021.** Disponível em: <https://revistaemergencia.com.br/blogs/seguranca-de-processo-x-seguranca-ocupacional-parte-2/>. Acesso em 15 de dezembro de 2022.

ROSAL, Andréa Carneiro Galindo. **Desenvolvimento de modelo matemático e simulação do forno de uma unidade de coqueamento retardado.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2013.

ROQUE, A. C. B. O.. **Introdução à Segurança de Processos Gerenciamento de Riscos.** 20º Seminário Brasileiro Agroindustrial – A Usina da Transformação. Ribeirão Preto/SP, 2021. Power Point Apresentação.

SALAZAR, Márcio Piovezan. **Estudo sobre a modelagem da dispersão atmosférica de gases densos decorrente de liberações acidentais em análise quantitativa de risco.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2016.

UNICENP. **Processos de Refino.** Apostila do Curso de Formação de Operadores de Refinaria Petrobras. UnicenP. Curitiba, 2002. Disponível em: [Processo de Refino - Apostila - \[PDF Document\] \(fdocuments.net\)](#). Acesso em: 17 de dezembro de 2022.

ANEXO A – FISPQ PROPANO

23/12/2022 16:35

Produtos Químicos - CETESB

Ficha de Resposta a Emergência Química

CETESB



1. Identificação

Nome do produto		Número CAS
PROPANO		74-98-6
Sinônimos Dimetilmetano		
Principais características Gás comprimido liquefeito ; sem coloração ; inodoro ; pode ter odor de gambá devido a odorizante adicionado ao gás ; flutua e ferve na água ; produz nuvem inflamável mais densa que o ar		
Fórmula molecular C3 H8	Família / Natureza química Hidrocarboneto	
Usos Fabricação de etileno ; sínteses orgânicas ; combustível doméstico e industrial ; solvente ; propelente de aerosol ; agente de extração		

1.1 Identificação para Transporte Terrestre

Número ONU	Classe ou subclasse de risco	Grupo de embalagem (GE) I - Alto Risco II - Médio Risco III - Baixo Risco	Número de risco	Rótulo(s) de risco
1978	2.1 - Gases inflamáveis		23 - Gás inflamável	

1.2 Sistema Globalmente Harmonizado (GHS)

Classificação de perigo <ul style="list-style-type: none"> Gases inflamáveis, Categoria 1 Gases sob pressão, Gás liquefeito Toxicidade para órgãos-alvo específicos - Exposição única, Categoria 3
Pictogramas
Palavra de advertência Perigo
Frase(s) de perigo <ul style="list-style-type: none"> H220 - Gás extremamente inflamável H280 - Contém gás sob pressão: pode explodir sob ação do calor H336 - Pode provocar sonolência ou vertigem
Frase(s) de precaução (somente no contexto de emergência) <ul style="list-style-type: none"> P304 + P340 - EM CASO DE INALAÇÃO: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração. P308 + P311 - EM CASO DE exposição ou suspeita de exposição: Contate um CENTRO DE INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA/médico. P377 - Vazamento de gás com chamas: não apague, a menos que se possa conter o vazamento com segurança. P381 - Elimine todas as fontes de ignição se puder ser feito com segurança.

ANEXO A – FISPQ PROPANO

23/12/2022 16:35

Produtos Químicos - CETESB

2. Medidas de Segurança

<p>Controle de emergências</p> <p>1. Evitar contato com o produto (líquido e gás). 2. Eliminar todas as fontes de ignição. 3. Manter-se sempre de costas para o vento, tomando como referência o ponto de vazamento. 4. Isolar a área e manter as pessoas afastadas. 5. Acionar os órgãos públicos e privados pertinentes. 6. Avaliar a necessidade de promover a evacuação da área. 7. Alertar a população do entorno quanto aos riscos. 8. Utilizar equipamentos de proteção individual (ver item "EPI"). 9. Monitorar as áreas atingidas. 10. Promover ventilação adequada em caso de confinamento do gás. 11. Utilizar ferramentas antifaliscantes e equipamentos intrinsecamente seguros e à prova de explosão (exaustores, lanternas, rádios, detectores, etc.). 12. Promover o aterramento em todos os sistemas utilizados no manuseio do produto. 13. Estancar o vazamento. Do contrário posicionar o recipiente de modo a permitir apenas a saída do gás. Caso essas ações não possam ser realizadas, avaliar a possibilidade de direcionar o fluxo para área aberta ou remover os recipientes para local seguro. 14. Utilizar neblina d'água para abatimento do gás. 15. Não aplicar água diretamente no ponto de vazamento e na poça do produto. 16. Conter e recolher a água de abatimento do gás. 17. Conter o líquido derramado e controlar a sua dispersão. 18. Evitar o contato do produto com corpos d'água, infiltração em redes de esgotos, galerias e áreas confinadas.</p>
<p>Equipamento de Proteção Individual (EPI)</p> <p>Utilizar roupas, botas e luvas de proteção térmica, equipamento autônomo de respiração ou máscara facial com elemento filtrante compatível com o produto. Em caso de incêndio utilizar sempre equipamento autônomo de respiração. Os EPIs não oferecem proteção contra os efeitos de explosões.</p>

3. Riscos ao Fogo

<p>Prevenção e combate ao fogo</p> <p>1. O produto é inflamável. 2. Extinguir o fogo se o fluxo de gás puder ser estancado. 3. Combater o fogo a partir de local seguro. Do contrário, deixar queimar e controlar os impactos nas imediações. 4. Resfriar os recipientes expostos ao fogo ou ao calor com jato ou neblina d'água. Manter o resfriamento mesmo após a extinção do fogo. 5. Remover os recipientes expostos para uma área segura. 6. Os recipientes podem explodir em decorrência de fogo ou calor. Sons crescentes de dispositivos de segurança ou descoloração dos recipientes indicam tal possibilidade. A explosão poderá projetar estilhaços a grandes distâncias e com alto poder de destruição. 7. Evitar que a água de combate ao fogo atinja sistemas de drenagem. 8. Conter e recolher a água de combate. 9. Risco de explosão em caso de confinamento dos gases, inclusive gases gerados na combustão. Promover ventilação adequada. 10. O gás pode se deslocar a uma distância considerável e, caso haja contato com uma fonte de ignição qualquer, poderá ocorrer o retrocesso da chama.</p>		
<p>Produtos perigosos da reação de combustão</p> <p>Produz gases tóxicos e asfixiantes como monóxido de carbono e dióxido de carbono.</p>		
<p>Agentes de extinção que podem ser usados</p> <p>Água nebulizada, pó químico seco, dióxido de carbono ou espuma resistente ao álcool.</p>		
<p>Limites de inflamabilidade no ar (% em volume)</p>		<p>Ponto de fulgor (°C)</p> <p>-104,0 (vaso fechado)</p>
Limite Inferior	2,1	Temperatura de ignição (°C)
Limite Superior	9,5	450,0
<p>NFPA (National Fire Protection Association)</p>		<p>Diagrama</p>
Saúde (Azul)	2	Pode causar incapacidade temporária ou sequelas
Inflamabilidade (Vermelho)	4	Extremamente inflamável
Reatividade (Amarelo)	0	Normalmente estável, mesmo se exposto ao fogo
Perigo especial (Branco)		

4. Propriedades Físicas, Químicas e Ambientais

Peso molecular (g/mol)	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de fusão (°C)
44,09	-42,1	-187,1
Densidade relativa do gás ou da mistura vapor-ar	Densidade relativa do líquido ou sólido	Pressão do vapor
1,5	0,59 a -50 °C (líquido)	760 mmHg a -42,1 °C
Viscosidade (cP)	Potencial de ionização (eV)	pH
Dado não disponível	11,07	Não pertinente
Solubilidade na água	Coefficiente de partição octanol/água - logKow	Temperatura de armazenamento (°C)
Insolúvel	2,36	Ambiente
<p>Reatividade com água</p> <p>Não reage.</p>		
<p>Reatividade com materiais comuns</p> <p>Não reage.</p>		
<p>Polimerização</p> <p>Não ocorre.</p>		
<p>Peroxidação</p> <p>Não ocorre.</p>		

ANEXO A – FISPQ PROPANO

23/12/2022 16:35

Produtos Químicos - CETESB

Reações perigosas com outros produtos químicos Incompatível com oxidantes fortes.
Meia vida (anos) Não pertinente

5. Informações Toxicológicas

Valores de Referência - Ocupacional

LT: Brasil - Valor Médio 48h Asfixiante simples	LT: EUA - TWA 1000 ppm
LT: Brasil - Valor Teto Não pertinente	LT: EUA - STEL Não estabelecido
Limite de Percepção Olfativa 5.000 - 20.000 ppm	IDLH/IPVS 2100 ppm (LII)

Valores de Referência - Público em Geral

Exposição aguda (AEGL) (ppm)			
Período de exposição	AEGL-1 Efeito temporário, não incapacitante	AEGL-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	AEGL-3 Ameaça à vida
10 min	10000	17000	33000
30 min	6900	17000	33000
60 min	5500	17000	33000
4 horas	5500	17000	33000
8 horas	5500	17000	33000
Exposição aguda (PAC) (ppm)			
Período de exposição	PAC-1 Efeito temporário, não incapacitante	PAC-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	PAC-3 Ameaça à vida
60 min	5500	17000	33000

6. Observações

ANEXO B – FISPQ BUTANO

07/12/2022 11:34

Produtos Químicos - CETESB

Ficha de Resposta a Emergência Química

CETESB



1. Identificação

Nome do produto		Número CAS
BUTANO		106-97-8
Sinônimos n-Butano ; Mistura de Butanos		
Principais características Gás comprimido liquefeito ; sem coloração ; odor fraco e desagradável de petróleo ; flutua e ferve na água ; produz nuvem inflamável mais densa que o ar		
Fórmula molecular C4 H10	Família / Natureza química Hidrocarboneto	
Usos Fabricação de borrachas sintéticas ; sínteses orgânicas ; solvente ; gás refrigerante ; aerosol		

1.1 Identificação para Transporte Terrestre

Número ONU	Classe ou subclasse de risco	Grupo de embalagem (GE) I - Alto Risco II - Médio Risco III - Baixo Risco	Número de risco	Rótulo(s) de risco
1011	2.1 - Gases inflamáveis		23 - Gás inflamável	

1.2 Sistema Globalmente Harmonizado (GHS)

Classificação de perigo <ul style="list-style-type: none"> Gases inflamáveis, Categoria 1 Gases sob pressão, Gás liquefeito Toxicidade para órgãos-alvo específicos - Exposição única, Categoria 3
Pictogramas
Palavra de advertência Perigo
Frase(s) de perigo <ul style="list-style-type: none"> H220 - Gás extremamente inflamável H280 - Contém gás sob pressão: pode explodir sob ação do calor H336 - Pode provocar sonolência ou vertigem
Frase(s) de precaução (<i>somente no contexto de emergência</i>) <ul style="list-style-type: none"> P304 + P340 - EM CASO DE INALAÇÃO: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração. P308 + P311 - EM CASO DE exposição ou suspeita de exposição: Contate um CENTRO DE INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA/médico. P377 - Vazamento de gás com chamas: não apague, a menos que se possa conter o vazamento com segurança. P381 - Elimine todas as fontes de ignição se puder ser feito com segurança.

ANEXO B – FISPQ BUTANO

07/12/2022 11:34

Produtos Químicos - CETESB

2. Medidas de Segurança

<p>Controle de emergências</p> <p>1. Evitar contato com o produto (líquido e gás). 2. Eliminar todas as fontes de ignição. 3. Manter-se sempre de costas para o vento, tomando como referência o ponto de vazamento. 4. Isolar a área e manter as pessoas afastadas. 5. Acionar os órgãos públicos e privados pertinentes. 6. Avaliar a necessidade de promover a evacuação da área. 7. Alertar a população do entorno quanto aos riscos. 8. Utilizar equipamentos de proteção individual (ver item "EPI"). 9. Monitorar as áreas atingidas. 10. Promover ventilação adequada em caso de confinamento do gás. 11. Utilizar ferramentas antifalantes e equipamentos intrinsecamente seguros e à prova de explosão (exaustores, lanternas, rádios, detectores, etc.). 12. Promover o aterramento em todos os sistemas utilizados no manuseio do produto. 13. Estancar o vazamento. Do contrário posicionar o recipiente de modo a permitir apenas a saída do gás. Caso essas ações não possam ser realizadas, avaliar a possibilidade de direcionar o fluxo para área aberta ou remover os recipientes para local seguro. 14. Utilizar neblina d'água para abatimento do gás. 15. Não aplicar água diretamente no ponto de vazamento e na poça do produto. 16. Conter e recolher a água de abatimento do gás. 17. Conter o líquido derramado e controlar a sua dispersão. 18. Evitar o contato do produto com corpos d'água, infiltração em redes de esgotos, galerias e áreas confinadas.</p>
<p>Equipamento de Proteção Individual (EPI)</p> <p>Utilizar roupas, botas e luvas de proteção térmica, equipamento autônomo de respiração ou máscara facial com elemento filtrante compatível com o produto. Em caso de incêndio utilizar sempre equipamento autônomo de respiração. Os EPIs não oferecem proteção contra os efeitos de explosões.</p>

3. Riscos ao Fogo

<p>Prevenção e combate ao fogo</p> <p>1. O produto é inflamável. 2. Extinguir o fogo se o fluxo de gás puder ser estancado. 3. Combater o fogo a partir de local seguro. Do contrário, deixar queimar e controlar os impactos nas imediações. 4. Resfriar os recipientes expostos ao fogo ou ao calor com jato ou neblina d'água. Manter o resfriamento mesmo após a extinção do fogo. 5. Remover os recipientes expostos para uma área segura. 6. Os recipientes podem explodir em decorrência de fogo ou calor. Sons crescentes de dispositivos de segurança ou descoloração dos recipientes indicam tal possibilidade. A explosão poderá projetar estilhaços a grandes distâncias e com alto poder de destruição. 7. Evitar que a água de combate ao fogo atinja sistemas de drenagem. 8. Conter e recolher a água de combate. 9. Risco de explosão em caso de confinamento dos gases, inclusive gases gerados na combustão. Promover ventilação adequada. 10. O gás pode se deslocar a uma distância considerável e, caso haja contato com uma fonte de ignição qualquer, poderá ocorrer o retrocesso da chama.</p>		
<p>Produtos perigosos da reação de combustão</p> <p>Produz gases irritantes e tóxicos como monóxido de carbono e dióxido de carbono.</p>		
<p>Agentes de extinção que podem ser usados</p> <p>Água nebulizada, pó químico seco, dióxido de carbono ou espuma resistente ao álcool.</p>		
<p>Limites de inflamabilidade no ar (% em volume)</p>		
Limite Inferior	1,8	Ponto de fulgor (°C) -60,0 (vaso fechado)
Limite Superior	8,4	Temperatura de ignição (°C) 287,8
<p>NFPA (National Fire Protection Association)</p>		<p>Diagrama</p>
Saúde (Azul)	1	Pode causar irritação significativa
Inflamabilidade (Vermelho)	4	Extremamente inflamável
Reatividade (Amarelo)	0	Normalmente estável, mesmo se exposto ao fogo
Perigo especial (Branco)		

4. Propriedades Físicas, Químicas e Ambientais

Peso molecular (g/mol) 58,12	Ponto de ebulição (°C) -0,5	Ponto de fusão (°C) -138,0
Densidade relativa do gás ou da mistura vapor-ar 2,0	Densidade relativa do líquido ou sólido 0,57 a 25 °C (líquido)	Pressão do vapor 760 mmHg a -0,5 °C
Viscosidade (cP) 7,5 a 27 °C	Potencial de ionização (eV) 10,63	pH Não pertinente
Solubilidade na água Insolúvel	Coefficiente de partição octanol/água - logKow 2,89	Temperatura de armazenamento (°C) Ambiente
<p>Reatividade com água</p> <p>Não reage.</p>		
<p>Reatividade com materiais comuns</p> <p>Não reage.</p>		
<p>Polimerização</p> <p>Não ocorre.</p>		
<p>Peroxidação</p> <p>Não ocorre.</p>		

ANEXO B – FISPQ BUTANO

07/12/2022 11:34

Produtos Químicos - CETESB

Reações perigosas com outros produtos químicos Incompatível com oxidantes fortes.
Meia vida (anos) Dado não disponível

5. Informações Toxicológicas

Valores de Referência - Ocupacional

LT: Brasil - Valor Médio 48h 470 ppm	LT: EUA - TWA 800 ppm
LT: Brasil - Valor Teto 587,5 ppm	LT: EUA - STEL 1.000 ppm
Limite de Percepção Olfativa 6,16 ppm	IDLH/IPVS Dado não disponível

Valores de Referência - Público em Geral

Exposição aguda (AEGL) (ppm)			
Período de exposição	AEGL-1 Efeito temporário, não incapacitante	AEGL-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	AEGL-3 Ameaça à vida
10 min	10000	24000	77000
30 min	6900	17000	53000
60 min	5500	17000	53000
4 horas	5500	17000	53000
8 horas	5500	17000	53000
Exposição aguda (PAC) (ppm)			
Período de exposição	PAC-1 Efeito temporário, não incapacitante	PAC-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	PAC-3 Ameaça à vida
60 min	5500	17000	53000

6. Observações

ANEXO C – FISPQ HEXANO

23/12/2022 16:56

Produtos Químicos - CETESB

Ficha de Resposta a Emergência Química

CETESB



1. Identificação

Nome do produto		Número CAS
HEXANO		110-54-3
Sinônimos n-Hexano		
Principais características Líquido ; sem coloração ; odor de gasolina ; flutua na água ; produz vapores inflamáveis		
Fórmula molecular	Família / Natureza química	
C ₆ H ₁₄	Hidrocarboneto	
Usos		
Solvente para extração de óleos vegetais e gorduras ; diluente		

1.1 Identificação para Transporte Terrestre

Número ONU	Classe ou subclasse de risco	Grupo de embalagem (GE) I - Alto Risco II - Médio Risco III - Baixo Risco	Número de risco	Rótulo(s) de risco
1208	3 - Líquidos inflamáveis	II	33 - Líquido muito inflamável (PFg < 23°C)	

1.2 Sistema Globalmente Harmonizado (GHS)

Classificação de perigo <ul style="list-style-type: none"> Líquidos inflamáveis, Categoria 2 Corrosão/irritação à pele, Categoria 2 Lesões oculares graves/irritação ocular, Categoria 2A Toxicidade à reprodução, Categoria 2 Toxicidade para órgãos-alvo específicos - Exposição única, Categoria 3 Toxicidade para órgãos-alvo específicos - Exposição repetida, Categoria 1 Perigo por aspiração, Categoria 1 Perigoso ao ambiente aquático - Agudo, Categoria 2
Pictogramas
Palavra de advertência Perigo
Frase(s) de perigo <ul style="list-style-type: none"> H225 - Líquido e vapores altamente inflamáveis H315 - Provoca irritação à pele H319 - Provoca irritação ocular grave H361 - Suspeita-se que prejudique a fertilidade ou o feto H335 - Pode provocar irritação das vias respiratórias H372 - Provoca danos aos órgãos (sistema nervoso central e sistema periférico) H304 - Pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias H401 - Tóxico para os organismos aquáticos

ANEXO C – FISPQ HEXANO

23/12/2022 16:56

Produtos Químicos - CETESB

Frase(s) de precaução (**somente** no contexto de emergência)

- P301 + P310 - EM CASO DE INGESTÃO: Contate imediatamente um CENTRO DE INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA/ médico.
- P302 + P352 - EM CASO DE CONTATO COM A PELE: Lave com água e sabão em abundância.
- P303 + P361 + P353 - EM CASO DE CONTATO COM A PELE (ou com o cabelo): Retire imediatamente toda a roupa contaminada. Enxágue a pele com água/tome uma ducha.
- P304 + P340 - EM CASO DE INALAÇÃO: Remova a pessoa para local ventilado e a mantenha em repouso numa posição que não dificulte a respiração.
- P305 + P351 + P338 - EM CASO DE CONTATO COM OS OLHOS: Enxágue cuidadosamente com água durante vários minutos. No caso de uso de lentes de contato, remova-as, se for fácil. Continue enxaguando.
- P308 + P311 - EM CASO DE exposição ou suspeita de exposição: Contate um CENTRO DE INFORMAÇÃO TOXICOLÓGICA/médico.
- P331 - NÃO provoque vômito.
- P333 + P313 - Em caso de irritação ou erupção cutânea: Consulte um médico.
- P337 + P313 - Caso a irritação ocular persista: consulte um médico.
- P361 + P364 - Retire imediatamente toda a roupa contaminada e lave-a antes de usá-la novamente.
- P370 + P378 - Em caso de incêndio: Para a extinção verifique item 3 desta ficha.

2. Medidas de Segurança

Controle de emergências

1. Evitar contato com o produto (líquido e vapor). 2. Eliminar todas as fontes de ignição. 3. Manter-se sempre de costas para o vento, tomando como referência o ponto de vazamento. 4. Isolar a área e manter as pessoas afastadas. 5. Acionar os órgãos públicos e privados pertinentes. 6. Avaliar a necessidade de promover a evacuação da área. 7. Alertar a população do entorno quanto aos riscos. 8. Utilizar equipamentos de proteção individual (ver item "EPI"). 9. Monitorar as áreas atingidas. 10. Promover ventilação adequada em caso de confinamento de vapores. 11. Utilizar ferramentas antifascantes e equipamentos intrinsecamente seguros e à prova de explosão (exaustores, lanternas, rádios, detectores, etc.). 12. Promover o aterramento em todos os sistemas utilizados no manuseio do produto. 13. Estancar o vazamento. 14. Conter e recolher o líquido derramado. 15. Utilizar neblina d'água para abatimento dos vapores. 16. Evitar o contato do produto com corpos d'água, infiltração em redes de esgotos, galerias e áreas confinadas. 17. Utilizar barreiras para conter ou absorver o líquido derramado em água. 18. Remover e providenciar a destinação adequada dos resíduos.

Equipamento de Proteção Individual (EPI)

Utilizar Nível A de proteção química associado à proteção térmica. A roupa, botas e luvas devem ser confeccionadas em materiais compatíveis com o produto. Os EPIs não oferecem proteção contra os efeitos de explosões.

3. Riscos ao Fogo

Prevenção e combate ao fogo

1. O produto é inflamável. 2. Combater o fogo a partir de local seguro. Do contrário, deixar queimar e controlar os impactos nas imediações. 3. Resfriar os recipientes expostos ao fogo ou ao calor com jato ou neblina d'água. Manter o resfriamento mesmo após a extinção do fogo. 4. Remover os recipientes expostos para uma área segura. 5. Os recipientes podem explodir em decorrência de fogo ou calor. Sons crescentes de dispositivos de segurança ou descoloração dos recipientes indicam tal possibilidade. A explosão poderá projetar estilhaços a grandes distâncias e com alto poder de destruição. 6. Evitar que a água de combate ao fogo atinja sistemas de drenagem. 7. Conter e recolher a água de combate. 8. Risco de explosão em caso de confinamento dos vapores, inclusive aqueles gerados na combustão. Promover ventilação adequada. 9. O vapor pode se deslocar a uma distância considerável e, caso haja contato com uma fonte de ignição qualquer, poderá ocorrer o retrocesso da chama.

Produtos perigosos da reação de combustão

Produz vapores irritantes.

Agentes de extinção que podem ser usados

Água nebulizada, pó químico seco, dióxido de carbono ou espuma resistente ao álcool.

Limites de inflamabilidade no ar (% em volume)

Limite Inferior 1,1

Limite Superior 7,5

Ponto de fulgor (°C)

-22,0 (vaso fechado)

Temperatura de ignição (°C)

225,0

NFPA (National Fire Protection Association)

Diagrama

Saúde (Azul)	1	Pode causar irritação significativa	
Inflamabilidade (Vermelho)	3	Igniza na temperatura ambiente	
Reatividade (Amarelo)	0	Normalmente estável, mesmo se exposto ao fogo	
Perigo especial (Branco)			

4. Propriedades Físicas, Químicas e Ambientais

Peso molecular (g/mol)	Ponto de ebulição (°C)	Ponto de fusão (°C)
86,17	68,7	-94,0
Densidade relativa do gás ou da mistura vapor-ar	Densidade relativa do líquido ou sólido	Pressão do vapor
3,0	0,659 a 20 °C (líquido)	153 mmHg a 25 °C

ANEXO C – FISPQ HEXANO

23/12/2022 16:56

Produtos Químicos - CETESB

Viscosidade (cP) 0,32 a 20 °C	Potencial de ionização (eV) 10,18	pH Não pertinente
Solubilidade na água 0,0013 g/100 ml de água a 20 °C	Coefficiente de partição octanol/água - logKow 3,9	Temperatura de armazenamento (°C) Ambiente
Reatividade com água Não reage.		
Reatividade com materiais comuns Não reage.		
Polimerização Não ocorre.		
Peroxidação Não ocorre.		
Reações perigosas com outros produtos químicos Incompatível com oxidantes fortes, halogênios e peróxido de sódio.		
Meia vida (anos) Dado não disponível		

5. Informações Toxicológicas

Valores de Referência - Ocupacional

LT: Brasil - Valor Médio 48h Não estabelecido	LT: EUA - TWA 50 ppm (pele)
LT: Brasil - Valor Teto Não estabelecido	LT: EUA - STEL Não estabelecido
Limite de Percepção Olfativa 0,0018 ppm	IDLH/IPVS 1100 ppm (LII)

Valores de Referência - Público em Geral

Exposição aguda (AEGL) (ppm)			
Período de exposição	AEGL-1 Efeito temporário, não incapacitante	AEGL-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	AEGL-3 Ameaça à vida
10 min	Não estabelecido	4000	12000
30 min	Não estabelecido	2900	8600
60 min	Não estabelecido	2900	8600
4 horas	Não estabelecido	2900	8600
8 horas	Não estabelecido	2900	8600
Exposição aguda (PAC) (ppm)			
Período de exposição	PAC-1 Efeito temporário, não incapacitante	PAC-2 Efeito incapacitante, impede a fuga	PAC-3 Ameaça à vida
60 min	Não estabelecido	2900	8600

6. Observações

ANEXO D – INFORMAÇÕES PARA COMUNICAÇÃO INICIAL DE INCIDENTE

COMUNICAÇÃO INICIAL DE INCIDENTE	
I - Identificação da embarcação ou instalação que originou o incidente	
<input type="checkbox"/> Sem condições de informar	
Nome da embarcação ou instalação:	
CNPJ:	
Número IMO:	
Código da Instalação:	
Número da Autorização ou do Contrato de E&P:	
II - Data e hora da constatação do incidente	
Dia/Mês/Ano: ___/___/___ Hora: ____:____	
III - Data e hora estimadas do incidente	
<input type="checkbox"/> Sem condições de informar	
Dia/Mês/Ano: ___/___/___ Hora: ____:____	
IV - Localização geográfica do incidente	
Latitude: _____' Longitude: _____' ou Endereço da instalação cadastrado na ANP: _____	
V - Substância descarregada ou produtos envolvidos no incidente	
Tipo de Substância:	
Volume estimado:	_____ m ³
Tempo estimado:	_____ h
	<input type="checkbox"/> Sem estimativa de tempo/instantânea
VI - Situação atual da descarga	
<input type="checkbox"/> Não houve descarga <input type="checkbox"/> Sem condições de informar <input type="checkbox"/> Paralisada <input type="checkbox"/> Não foi paralisada	
VII - Breve descrição do incidente	
VIII - Causa provável do incidente	
<input type="checkbox"/> Sem condições de informar	
IX - Número de feridos e fatalidades	
Número de Feridos:	
Número de Fatalidades:	
<input type="checkbox"/> Sem condições de informar	
X - Ações iniciais que foram tomadas	
<input type="checkbox"/> Acionado plano de emergência <input type="checkbox"/> Foram tomadas outras providências, a saber: _____ <input type="checkbox"/> Sem evidência de ação ou providência até o momento	
XI - Data e hora da comunicação	
Dia/Mês/Ano: ___/___/___ Hora: ____:____	
XII - Identificação do comunicante	
Nome completo:	
Função:	
Telefone de contato (1):	
Telefone de contato (2) (Opcional):	
E-mail:	
XIII - Outras informações julgadas úteis	

ANEXO E – CONTEÚDO MÍNIMO DO RELATÓRIO DE INVESTIGAÇÃO DE INCIDENTE

<p>I - Dados iniciais</p> <p>a) Nome e endereço do concessionário ou da empresa autorizada;</p> <p>b) Identificação da pessoa responsável pela emissão do relatório, incluindo seu cargo, empresa e telefone de contato;</p> <p>c) Denominação e identificação das instalações ou unidades envolvidas (CNPJ, nº IMO, Código da instalação, nº da Autorização da ANP ou do Contrato de E&P);</p> <p>d) Localização, em coordenadas geográficas no referencial geodésico SIRGAS 2000, das instalações ou unidades envolvidas e da área geográfica atingida;</p> <p>e) Demais autoridades comunicadas; e</p> <p>f) Croqui, desenho ou foto esclarecedora sobre o incidente, quando aplicável.</p>
<p>II - Descrição do incidente</p> <p>a) Descrição técnica do incidente;</p> <p>b) Cronologia dos principais fatos relacionados ao evento; e</p> <p>c) Descrição das medidas mitigadoras tomadas e resultados esperados no curto prazo, inclusive a quantidade de substância recuperada (se aplicável).</p>
<p>III - Consequências</p> <p>a) Descrição das consequências do evento quanto à continuidade operacional e aos danos ao patrimônio próprio ou de terceiros;</p> <p>b) Número de feridos e fatalidades decorrentes do incidente, discriminados por empregados da empresa, de firmas contratadas e das comunidades (se aplicável);</p> <p>c) Substância liberada, suas características, quantidade estimada, previsão ou data da interrupção da liberação e previsão de deslocamento do óleo ou substâncias nocivas ou perigosas (se aplicável);</p> <p>d) Identificação dos ecossistemas afetados (se aplicável); e</p> <p>e) Outras consequências não citadas.</p>
<p>IV - Investigação</p> <p>a) Identificação dos componentes da Comissão de Investigação de incidentes, incluindo seus cargos e empresa;</p> <p>b) Metodologia utilizada para a investigação;</p> <p>c) Descrição dos fatores causais;</p> <p>d) Descrição das causas-raiz;</p> <p>e) Descrição de fatos relevantes (se aplicável);</p> <p>f) Descrição das recomendações elaboradas pela comissão de investigação; e</p> <p>g) Descrição de potenciais consequências do evento, incluindo medidas preventivas (se aplicável).</p>
<p>V - Providências adotadas até o momento e lições aprendidas</p> <p>a) Descrição das medidas adotadas até o momento da emissão do relatório (se aplicável); e</p> <p>b) Descrição das lições aprendidas com o incidente, incluindo avaliação das ações de resposta a emergência (se aplicável).</p>
<p>VI - Outras informações julgadas relevantes</p>