



Avaliação dos impactos de um incêndio em parque de tancagem sobre as áreas do entorno

Vivianne Borges Mendonça

Monografia em Engenharia Química

Orientador:

Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc.

Fevereiro de 2018

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE UM INCÊNDIO EM PARQUE DE TANCAGEM SOBRE AS ÁREAS DO ENTORNO

Vivianne Borges Mendonça

Monografia em Engenharia Química submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado por:

Prof. Armando Lucas Cherem da Cunha, D.Sc

Mônica Sichel Gurvitz, Eng Qui

Yasmin Soares Gavioli, MSc.

Orientado por:

Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Fevereiro de 2018

Mendonça, Vivianne Borges

Avaliação dos impactos de um incêndio em parque de tancagem sobre as áreas do entorno. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

x, 71 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientador: Carlos André Vaz Júnior

1. Incêndio. 2. Líquidos Inflamáveis. 3. Petrogold. 4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Carlos André Vaz Júnior. I. Título.

*À Deus, ao meu pai, Pedro, minha mãe, Rosenir
e minha irmã, Tatiany.*

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus. Esses seis anos e meio não foram fáceis e em vários momentos, saber que ele existia e olhava por mim me deram mais força pra seguir em frente.

Agradeço também, e muito, aos meus pais, que lutaram muito pra que eu tivesse a chance que eles não tiveram de cursar uma faculdade, e também à minha irmã, que doou muitas vezes o tempo dela me ajudar quando a faculdade não me deixava muito tempo de sobra.

Agradeço ao meu namorado, Matheus, que apareceu nesse último ano de faculdade pra me dar apoio e me ensinar a ser mais calma e confiante.

Não poderia nunca deixar de agradecer às melhores amigas que eu poderia fazer na faculdade, que vou levar pra vida: Mônica, Dani, Mari, Alice, Nat, Luisa: não tenho palavras para agradecer todo o apoio que vocês me deram, cada uma da sua forma.

Agradeço a todos os professores maravilhosos que encontrei na EQ, a Prof. Andrea Valdman, a Prof. Heloisa, a Prof. Verônica, o Prof. Fred, o Prof. Carlos André, o Prof. Armando, dentre outros.

Agradeço à Mit, ao Pedro, ao Hermman e ao Tiago por tornarem meu intercâmbio mais feliz e também por me confirmarem que ainda é possível sermos íntegros, mesmo em uma sociedade corrompida, e que temos apenas que fazer a nossa parte.

Agradeço também a todas as pessoas incríveis que eu conheci no Colégio Pedro II, em Niterói. Aos amigos, Mylena e Luma, principalmente, e também aos professores incríveis que me despertaram para a química, Tônico, Salma, Anderson, Guilherme e Walber.

Agradeço aos amigos que eu fiz no estágio na Shell e tornaram meus dias mais alegres, Pedro e Samir, e também a todas as pessoas do time que tiveram paciência para me ensinar coisas novas, principalmente o Phil e o Arthur.

Por fim, mas não menos importante, agradeço muito à toda a paciência, solicitude, apoio e orientação que recebi do meu orientador, o Prof. Carlos André. Não foi fácil conciliar estágio, processos seletivos e monografia, e o apoio dele foi essencial para que eu concluísse esse trabalho.

Agradeço também à banca, que disponibilizou seu tempo para avaliar o meu trabalho e por todas as contribuições que possam vir a surgir.

Resumo da Monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química

SISTEMAS DE PREVENÇÃO CONTRA INCÊNDIO EM TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE LÍQUIDOS INFLAMÁVEIS E COMBUSTÍVEIS

Vivianne Borges Mendonça

Fevereiro, 2018

Prof. Carlos André Vaz Júnior, D.Sc

A instalação e a manutenção de um depósito de líquidos inflamáveis e combustíveis envolve riscos inerentes devido aos produtos armazenados, sobretudo de incêndios, o que é comprovado pelos acidentes passados. Para garantir que esses riscos sejam apropriadamente endereçados, existem legislações nacionais e estaduais, como o COSCIP, e também órgãos nacionais, como a ANP (Agência Nacional de Petróleo e Gás Natural), e estaduais, como o Inea (Instituto Estadual de Ambiente) e o Corpo de Bombeiros, responsáveis pela fiscalização do cumprimento dessas normas. O trabalho apresenta dois acidentes de destaque nos últimos cinco anos no Brasil: o incêndio na empresa Petrogold e o incêndio no terminal da empresa Ultracargo. O estudo tem como foco a avaliação da radiação emitida em um acidente do tipo incêndio em poça, avaliando como este evento perturba a região situada ao redor dos tanques por três métodos: uma simulação no software ALOHA, a aplicação de uma modelagem matemática convencional em uma planilha de cálculo e por fim, uma terceira avaliação com um modelo alternativo proposto pelo NIST. Foram obtidos resultados similares pela simulação no ALOHA e pela modelagem matemática e ambos os métodos mostraram que a localização da Petrogold apresentava riscos à população que habitava ao redor.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	x1
CAPÍTULO 2. ACIDENTES	4
2.1 Incêndio na Petrogold (Rio de Janeiro)	4
2.2 Incêndio na Ultracargo (Santos)	9
CAPÍTULO 3. LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE A PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS EM DEPÓSITOS DE LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS	13
3.1 COSCIP	13
3.1.1 Capítulos III e IV do COSCIP	13
3.1.2 Capítulo XIII do COSCIP	16
3.1.3 Capítulo XI do COSCIP	20
3.2 Normas Regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego	21
3.2.1 NR 20	22
3.2.2 NR 23	25
3.3 ABNT	26
3.3.1 NBR 17505 - 1	26
3.3.2 NBR 17505 – 5 e NBR 17505 - 7	27
CAPÍTULO 4. MODELAGEM MATEMÁTICA PARA INCÊNDIO EM POÇA	30
4.1 Modelos de Chama	31
4.1.1 Modelo de Radiação de Fonte Pontual (<i>Point Source Model</i>)	31
4.1.2 Modelo de Radiação de Chama Sólida (<i>Solid Flame Model</i>)	32
4.2 Cálculo da Potência Emitida	34
4.3 Cálculo do Fator de Configuração	40
4.4 Software de Simulação	44
CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO	45
5.1 Simulação	45
5.1.1 Dados da Simulação	45
5.1.2 Resultados	50
5.2 Modelo teórico	54
5.2.1 Cálculo da Potência Emitida	55
5.2.2 Fluxo de calor radiante	59
5.2.3 Fator de Configuração	59
5.3 NIST – Modelo Modificado	62

CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Acidentes registrados pelo IBAMA por classe de risco em 2014.....	2
Figura 2 - Acidentes registrados pelo IBAMA por tipo de evento em 2014.....	2
Figura 3 - Incêndio na Petrogold	5
Figura 4 - Imagem de satélite dos tanques da Petrogold Fonte: Google Maps	5
Figura 5 - Imagem de satélite dos tanques da Ultracargo	10
Figura 6 - Incêndio nos tanques da Ultracargo.....	11
Figura 7 - Combate ao incêndio por uso da espuma cold fire.....	12
Figura 8 - Área aproximada ocupada pelos Tanques da Petrogold	15
Figura 9 - Localização do terminal da Ultracargo	15
Figura 10 - Localização do Terminal da Ultracargo e do Depósito da Petrogold	18
Figura 11 - Incêndio em poça nos diques e tanques da Petrogold	30
Figura 12 - Representação do Modelo de Fonte Pontual	32
Figura 13 - Ilustração do Modelo de Chama Sólida na ausência e presença de vento, respectivamente	33
Figura 14 - Representação para o cálculo do Fator de Configuração.....	41
Figura 15 - Representação para o Fator de Configuração tabelado	41
Figura 16 - Dados de Localização da Petrogold utilizados na simulação	46
Figura 17 - Condições Atmosféricas para o Cenário 3 - Parte 1.....	48
Figura 18 - Condições Atmosféricas para o Cenário 3 - Parte 2.....	48
Figura 19 - Definição da poça de líquido inflamável	49
Figura 20 - Zonas de perigo para o cenário 1	50
Figura 21 - Zonas de perigo para o cenário 2	51
Figura 22 - Zonas de perigo para o cenário 3	51
Figura 23 - Distâncias do centro da chama para o cenário 1.....	52
Figura 24 - Distâncias do centro da chama para o cenário 2.....	53
Figura 25 - Distâncias do centro da chama para o cenário 3.....	53
Figura 26 - Representação das zonas de ameaça para o cenário 1 pelo modelo de Hamilton e Morgan	61
Figura 27 - Redução de luminosidade da chama devido à fumaça	63
Figura 28 - Modelo de Chama Sólida convencional e modificado	63
Figura 29 - Relação entre a altura da chama e o diâmetro da poça para gasolina	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Acidentes em Plantas Químicas	1
Tabela 2 - Capacidade de Armazenamento permitida nos tanques.....	6
Tabela 3 - Exigências aplicáveis a instalações industriais	14
Tabela 4 - Exigências para extintores de acordo com o risco	21
Tabela 5 - Classificação das Instalações de acordo com a NR 20.....	24
Tabela 6 - Dados de taxa de queima para incêndio em poça	39
Tabela 7 - Fator de Configuração para razão entre a altura e o diâmetro da chama até 0,142	
Tabela 8 - Fator de Configuração para razão entre a altura e o diâmetro da chama até 1 ..	43
Tabela 9 - Velocidades do vento avaliadas na simulação.....	46
Tabela 10 - Classe de Estabilidade para os três cenários	47
Tabela 11 - Classificação das Zonas de Perigo de acordo com a radiação e as consequências.....	50
Tabela 12 - Distâncias aproximadas para as zonas de ameaça dos cenários 1, 2 e 3	52
Tabela 13 - Fator de Configuração para as três zonas de perigo pelo método teórico	60
Tabela 14 - Distância do centro da chama ao alvo pelo modelo de Hamilton e Morgan	60
Tabela 15 - Comparação entre os resultados obtidos pelo modelo de Hamilton e Morgan e pelo ALOHA.....	61
Tabela 16 - Dados de incêndio em poça para diferentes líquidos.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRISCO	Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade
ALOHA	Areal Locations of Hazardous Atmospheres
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
AVCP	Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIPA	Comissão Interna de Prevenção de Acidentes
CLT	Consolidação das Leis de Trabalho
COSCIP	Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico
EPA	Environmental Protection Agency
GAEMA	Grupo De Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente
GELRAM	Gerência de Licenciamento de Risco Ambiental Tecnológico
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
LGE	Líquido Gerador de Espuma
MP	Ministério Público
NIST	National Institute of Standards and Technology
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NR	Norma Regulamentadora
PAE	Plano de Ação de Emergência
PAM	Plano de Ajuda Mútua
SESMT	Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho
SFPE	Society of Fire Protection Engineers
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a ABRISCO (Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança de Processos e Confiabilidade), a segurança de processos é definida como “uma área multidisciplinar desenvolvida com o objetivo de assegurar a segurança, saúde e bem-estar das pessoas envolvidas em determinado negócio” (ABRISCO, 2017).

O conceito de segurança atual engloba não apenas o trabalhador, como também a prevenção de perdas. Esses termos podem ser usados como sinônimos e com a tecnologia existente nos dias atuais, espera-se que os perigos de uma planta sejam identificados e eliminados, evitando a ocorrência de um acidente (CROWL E LOUVAR, 2015).

Não apenas o aspecto social, mas também o econômico, justificam o gerenciamento da segurança de processos de forma consciente e eficaz. Gastos iniciais em segurança evitam gastos futuros após a ocorrência de um acidente, que pode resultar em fatalidades, em perda da planta por completo, em multas e também em danos à reputação da companhia (CROWL E LOUVAR, 2015).

Os três tipos de acidentes presentes em plantas químicas são o incêndio, a explosão e a liberação tóxica (CROWL E LOUVAR, 2015). Mais informações sobre esses eventos são fornecidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Acidentes em Plantas Químicas

Tipo de Acidente	Probabilidade de ocorrência	Potencial para fatalidades	Potencial para perdas econômicas
Incêndio	Alta	Baixo	Intermediário
Explosão	Intermediária	Intermediário	Alto
Liberação Tóxica	Baixa	Alto	Baixo

Fonte: CROWL E LOUVAR (2015)

Os três pontos avaliados para cada um dos acidentes, a probabilidade de ocorrência, o potencial para fatalidades e o potencial para perdas econômicas, devem ser analisados de forma combinada. Avaliando-se um incêndio, apesar do potencial

para fatalidades ser baixo, há uma alta probabilidade que ele ocorra e um potencial intermediário para perdas econômicas, evidenciando que sua prevenção deve ser uma prioridade dentre as ações que visam a segurança de processos.

A Figura 1 mostra os acidentes identificados pelo IBAMA no ano de 2014 de acordo com a classe de risco dos produtos e a Figura 2, de acordo com o tipo de evento.

Nota-se a Classe 3, correspondente a líquidos inflamáveis, aparece em primeiro lugar na Figura 1, com mais de 200 ocorrências, ao mesmo tempo em que incêndios e explosões aparecem em segundo, com 142 casos registrados, na Figura 2.

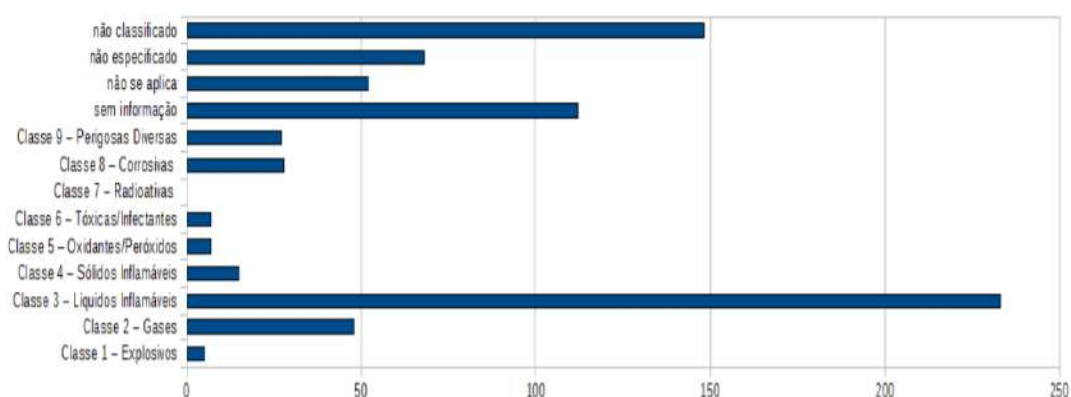


Figura 1 - Acidentes registrados pelo IBAMA por classe de risco em 2014

Fonte: IBAMA (2015).

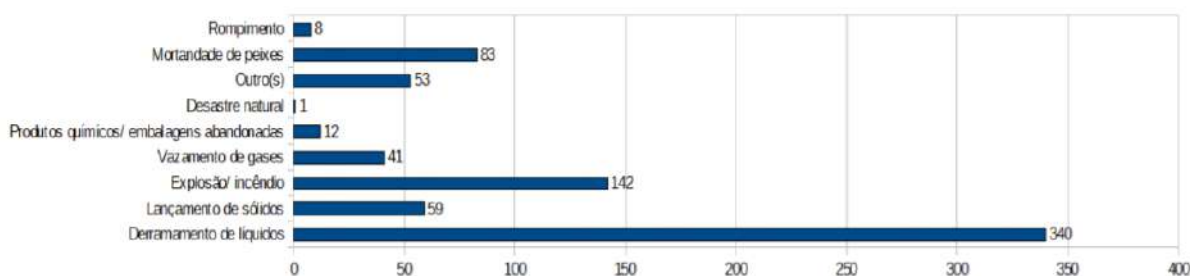


Figura 2 - Acidentes registrados pelo IBAMA por tipo de evento em 2014

Fonte: IBAMA (2015)

A combustão, que dá origem a um incêndio, é iniciada pela combinação de três elementos: combustível, um agente oxidante e uma fonte de ignição. Eles constituem o chamado “triângulo do fogo” (CROWL E LOUVAR, 2015).

O oxigênio está presente no ar. A fonte de ignição pode ter diversas origens, como faíscas, superfícies quentes, eletricidade estática, dentre outros. O combustível, que deve estar na forma gasosa para que a combustão se inicie, é o elemento que constitui efetivamente uma situação de perigo para uma instalação (CROWL E LOUVAR, 2015).

Assim, quando é necessário o manuseio de líquidos inflamáveis e combustíveis, torna-se clara a importância do cumprimento das normas de segurança estabelecidas pelos órgãos responsáveis, no âmbito estadual e/ou federal. Elas devem ser seguidas tanto na instalação de um depósito, planta industrial ou postos de serviço, como também na execução de procedimentos e na adequação desses ambientes com os dispositivos indicados para prevenção, identificação e combate a incêndios.

O presente trabalho aborda a temática da prevenção de incêndios, com o foco em tanques de armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. O objetivo do trabalho foi avaliar os impactos que um incêndio em um parque de tancagem acarreta para as áreas ao redor, o que justifica a importância do seguimento das normas aplicáveis.

No Capítulo 2 são apresentados dois acidentes envolvendo parques de tancagem no Brasil, o incêndio na Petrogold, em Duque de Caxias, e na Ultracargo, em Santos. No Capítulo 3 são citadas e explicadas as principais normas aplicáveis a líquidos inflamáveis e combustíveis para o estado do Rio de Janeiro, a COSCIP, e também para o Brasil, com as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e a ABNT.

No Capítulo 4 é apresentada a modelagem matemática para um incêndio em poça e no Capítulo 5, é feito um estudo de caso utilizando como base o acidente na Petrogold. São avaliados os efeitos para a população exposta a um incêndio em poça por três métodos diferentes: uma simulação no ALOHA, o cálculo pelo modelo matemático e uma terceira abordagem proposta para piscinas de grandes diâmetros.

Finalmente, o sexto e último capítulo apresenta as principais conclusões obtidas a partir do estudo de caso à luz das normas apresentadas e das informações sobre os efeitos da radiação sobre as pessoas, ratificando a importância do enquadramento dos depósitos de líquidos inflamáveis e combustíveis na legislação adequada.

CAPÍTULO 2. ACIDENTES

Para ilustrar a importância do seguimento dos procedimentos adequados para a prevenção de incêndios e do enquadramento nas normas cabíveis, dois acidentes que ocorreram no Brasil nos últimos cinco anos serão apresentados: o incêndio na Petrogold, em Duque de Caxias, Rio de Janeiro e o incêndio na Ultracargo, em Santos, São Paulo.

2.1 Incêndio na Petrogold (Rio de Janeiro)

2.1.1 O acidente

Em maio de 2013, um incêndio alastrou-se por um depósito de combustíveis e lubrificantes da empresa Petrogold, próximo à Rodovia Rio-Teresópolis (BR-116), localizada em Duque de Caxias, no Rio de Janeiro. De acordo com a Defesa Civil de Duque de Caxias (RJ), o acidente ocasionou a morte de um funcionário da companhia, deixou sete feridos e resultou na interdição de mais de 100 casas, afetadas ou ameaçadas pelo incêndio (G1, 2013).

Na Figura 3 é possível ver a proporção que o incêndio teve e também a proximidade que os tanques estavam das casas atingidas.

Ainda de acordo com a agência de notícias G1 (2013), o funcionário que veio a falecer no hospital, com cerca de 90% do corpo queimado, segundo a Secretaria Estadual de Saúde, era motorista de um caminhão de transporte de combustível atingido pelas chamas durante o incêndio.

A Figura 4 apresenta a imagem de satélite dos tanques da Petrogold após o incêndio.



Figura 3 - Incêndio na Petrogold
Fonte: G1 (2013)



Figura 4 - Imagem de satélite dos tanques da Petrogold
Fonte: Google Maps

2.1.2 Relatório de Atendimento do Inea

De acordo com o Relatório de Atendimento do Inea intitulado “PETROGOLD DISTRIBUIDORA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO LTDA.” (INEA, 2013), a Petrogold apresentava uma capacidade de armazenamento de 2.048 m³, conforme a Tabela 2, que consta na Autorização ANP N° 179 de 6 de abril de 2009.

Em relação ao acidente, o Inea informa no relatório que em termos de remediação ambiental foram construídas barreiras de contenção e absorventes para evitar a contaminação do Canal Sá Carvalho, ao lado da empresa, que levaria à contaminação da Baía de Guanabara. Também foram removidos resíduos espalhados no solo da região, para evitar contaminação do lençol freático e para evitar nova combustão, bem como os resíduos presentes nos tanques (INEA, 2013).

O Inea solicitou a emissão de multa de acordo com o Artigo 88, Seção VIII, Capítulo III, da Lei n° 3467 de 14 de setembro de 2000, por causar poluição da água, do ar ou do solo, incômodo ou danos materiais ou morais a terceiros e pelo Artigo 96, Seção VIII, Capítulo III, da Lei n° 3467 de 14 de setembro de 2000, por poluir a água ou o solo por vazamento de óleo ou outros hidrocarbonetos. Segundo o órgão, nenhum representante da Petrogold teria aparecido no local no dia do incêndio ou se disponibilizado para a limpeza da área até o terceiro dia de operação (INEA, 2013).

Tabela 2 - Capacidade de Armazenamento permitida nos tanques

Tanque	Diâmetro (m)	Altura (m)	Volume (m ³)	Produto
1	9,32	7,45	508	Gasolina
2	9,32	7,45	508	Gasolina
3	7,64	7,50	344	AEAC
4	7,64	7,50	344	AEAC
5	7,64	7,50	344	Diesel
6	-	-	-	Água

Fonte: Inea (2013)

O relatório também apresenta a indicação do Inea à GELRAM (Gerência de Licenciamento de Risco Ambiental Tecnológico) para que seja exigido um monitoramento do solo pela Petrogold na área da empresa e no seu entorno para

avaliar a presença de hidrocarbonetos e aplicar as medidas de remediação cabíveis, uma vez que as residências da região utilizam poços artesianos. De acordo com o jornal Baixada Fácil (2013), a multa aplicada seria no valor de R\$ 2.083.713,26.

2.1.3 Licença de Operação

Após o acidente, iniciou-se uma busca para entender se o depósito da Petrogold possuía licença legal ativa para o seu funcionamento. A licença ambiental para funcionamento do depósito foi cassada em 2007 pelo Inea e após dois anos, em 2009, a transportadora obteve uma licença municipal de funcionamento da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMMA) de Duque de Caxias. (Jornal O Globo, 2013)

De acordo com o Ministério Público (MP) do Rio de Janeiro, a licença de operação concedida à Petrogold foi anulada em 2010, sob recomendação do Inea, uma vez que pela legislação, a licença obtida no âmbito municipal com a SMMA que só teria validade em caso de atividades de baixo impacto ambiental, que não era aplicável à atividade da Petrogold (Jornal Extra, 2013).

Em abril de 2012, foi firmado um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre o MP e a empresa, dando um prazo para que a empresa obtivesse licenciamento com o Inea até 28 de setembro do mesmo ano. O prazo foi prorrogado, a liberação não foi concedida e o Inea não foi envolvido, nem na assinatura do TAC nem em sua prorrogação, segundo o então secretário estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro, Carlos Minc. O Ministério Público afirma que esse termo não poderia ser utilizado como autorização para operação, uma vez que esta deveria ser concedida pelo órgão responsável pela mesma (Jornal Extra, 2013).

De acordo com uma reportagem do jornal O Globo (2013), após o acidente, a Promotoria de Justiça afirmou que quem teria o poder para fechar o depósito seria o Inea, enquanto este afirmou que o fechamento deveria ser conduzido pela Justiça.

Segundo o Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro, a transportadora possuía certificado de aprovação instituição, pois cumpria com o laudo de exigências da corporação, como sistemas de combate a incêndio, sistema de espuma e hidrantes duplos (Jornal O Globo, 2013). Apesar de apresentar um sistema de segurança, segundo o coronel Ronaldo de Alcântara, subcomandante geral do Corpo de

Bombeiros, este foi incapaz de conter o incêndio ocorrido em maio de 2013. (Jornal O Globo, 2013)

Segundo o jornal O Globo (2013), o depósito também possuía autorização da Agência Nacional de Petróleo (ANP). A ANP informou que a Petrogold foi fiscalizada quatro vezes no ano em que ocorreu o acidente e nenhuma irregularidade foi encontrada. Contudo, segundo o plano diretor do município, o local do depósito não poderia ter galpões de combustíveis (Jornal O Globo, 2013).

De acordo com outra reportagem do jornal O Globo (2013), em julho do ano anterior ao incêndio, 2012, uma fiscalização do Inea em parceria com a Polícia Federal multou a empresa por jogar óleo na rede pluvial da região e apreendeu combustível com indícios de falsificação. A empresa foi embargada e o caso foi enviado à Delegacia de Proteção ao Meio Ambiente (DPMA), que ainda não havia concluído o inquérito até a data do acidente (Jornal O Globo, 2013).

2.1.4. Fatores Contribuintes para o acidente

Um dia após o acidente o subcomandante geral do Corpo de Bombeiros, coronel Ronaldo Alcântara, afirmou que o caminhão-tanque atingido pelas chamas abastecia um dos tanques antes do início do incêndio, indicando que o incêndio poderia ter sido ocasionado por falha humana (Jornal O Dia, 2013).

Em entrevista concedida à Edição 176 do “Cadernos de Seguro” em julho de 2013, o professor da COPPE/UFRJ especialista em Gerenciamento de Riscos, Planejamento de Emergências e Catástrofes Tecnológicas, Moacyr Duarte de Souza Junior, também considera possível a ocorrência de falha humana. O aterramento do caminhão descarrega a eletricidade estática e caso ele não tenha sido feito, uma centelha gerada pode ter sido a fonte de ignição do combustível, iniciando o incêndio (Cadernos de Seguro, 2013).

Contudo, não foram encontradas informações oficiais sobre o que gerou o incêndio.

Após o incêndio, as atividades da Petrogold foram suspensas pela Secretaria Estadual de Fazenda, uma vez que a companhia não possuía mais base de operação no Rio de Janeiro. Também foi organizada uma força-tarefa para fiscalizar depósitos

de combustível no Rio de Janeiro pela Secretaria de Estado do Ambiente, a fim de evitar que casos semelhantes se repetissem (Jornal O Globo, 2013).

2.2 Incêndio na Ultracargo (Santos)

Em abril de 2015, um outro incêndio envolvendo tanques de combustível ocorreu, dessa vez em Alemoa (Santos). O incêndio, que teve duração de nove dias, atingiu seis tanques do Terminal Ultracargo, que armazenava álcool, gasolina, acrilato de N-Butila, óleo de soja e outros (Inquérito Civil do Grupo De Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente – GAEMA - N.º 28/2015).

A Figura 5 apresenta a imagem de satélite que mostra o arranjo dos tanques da Ultracargo atingidos pelo incêndio, bem como os tanques mais próximos a estes.

Este evento é considerado o segundo maior incêndio da história entre terminais de combustíveis, ficando atrás apenas do incêndio que ocorreu em Hertfordshire, ao sul da Inglaterra, em 2005 (A Tribuna, 2015).

De acordo com o Diário Oficial do Estado de São Paulo de abril de 2015, o incêndio iniciou-se em dois tanques e foi controlado em dois dias, mas reiniciou-se no terceiro dia, envolvendo outros quatro tanques da companhia. Na

Figura 6, podemos ver os tanques atingidos com maior clareza, enquanto o incêndio ainda não havia sido completamente extinto. Cada tanque tinha capacidade para 6.000m³.

Além do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, que contou com cerca de 140 homens, a Defesa Civil do Estado e a do Município de Santos, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) e equipes da Ultracargo, Petrobrás, Braskem, Transpetro e PAM (Plano de Ajuda Mútua) foram mobilizadas para auxiliarem no combate ao incêndio (Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2015).

O acidente não teve vítimas, mas trouxe prejuízos ambientais. Cerca de nove toneladas de peixes foram encontrados mortos após a contaminação das águas e a estimativa feita após o acidente era de que os impactos ambientais pudessem durar pelo menos cinco anos (UOL, 2015).

De acordo com o Inquérito Civil do Grupo De Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente (GAEMA) N.º 28/2015, o incêndio levou à alteração da qualidade do ar,

confirmada por medições realizadas próximo ao local, com a liberação de fumaça tóxica.

Essas condições trazem riscos às pessoas, com doenças alérgicas ou respiratórias, bem como ao ambiente, devido ao risco de chuva tóxica.

O Inquérito também levantou o impacto na qualidade da água, uma vez que a água contaminada por resíduos de LGE (Líquido Gerador de Espuma), utilizado no combate ao incêndio, e por produtos derivados de petróleo armazenados nos tanques, foi drenada para o estuário de Santos.



Figura 5 - Imagem de satélite dos tanques da Ultracargo
Fonte: Google Maps



Figura 6 - Incêndio nos tanques da Ultracargo
Fonte: Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2013)

A Ultracargo afirmou que os tanques possuíam sistema de combate a incêndio, incluindo bombeamento e resfriamento do tanque, realizado pela aspensão de água por anéis externos ao tanque, impedindo a propagação do incêndio. Todo tanque tinha um dispositivo para a injeção de LGE, que aparentemente falhou ou não foi acionado, de acordo com a constatação do Inquérito Civil do Grupo De Atuação Especial de Defesa do Meio Ambiente (GAEMA) N.º 28/2015.

Segundo informado pelo jornal A Tribuna (2015), o terminal da Ultracargo estava em dia com toda a documentação exigida: possuía a licença ambiental do Cetesb, o alvará da Prefeitura de Santos e o Auto de Vistoria do Corpo de Bombeiros (AVCP) e havia sido vistoriado pela ANP no ano anterior, 2014. A construção do terminal e sua ampliação também foram executadas seguindo as Normas Técnicas da Associação de Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em vigor na época, segundo a ANP.

Para o combate do incêndio e também para o resfriamento dos tanques, utilizou-se cerca de 7 a 8 bilhões de litros de água do mar, LGE e 9 mil litros de *cold fire*¹ (a espuma branca vista na Figura 7). Esta espuma é comumente utilizada para combater incêndios em aeronaves e foi fornecida pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) e transportada por um avião da Força Aérea Brasileira (FAB) até o local (Diário Oficial do Estado de São Paulo, 2015).

¹ *Cold fire* é um agente extintor biodegradável que atua interrompendo a reação em cadeia do fogo. Ele remove o calor, um dos elementos do triângulo de fogo, e com isso reduz a temperatura abaixo do *flash point* (quando o líquido inicia a liberação de vapor suficiente para formar uma mistura inflamável com o ar). Simultaneamente, ele também faz o encapsulamento da fonte de combustível, que combinado ao resfriamento, previne a reignição. (NIST, 1999)

Segundo o Sistema Ambiental Paulista (2016), a Ultracargo foi multada pela Cetesb em R\$ 22,5 milhões e pela Prefeitura de Santos em R\$ 2,8 milhões. Além da multa, a Cetesb também impôs o seguimento de cinco exigências:

1. A correta destinação dos resíduos do incêndio;
2. A adoção de medidas para inibir poluição atmosférica e emissão de substâncias odoríferas na operação de rescaldo do incêndio;
3. A realização de um novo licenciamento ambiental;
4. A revisão do Plano de Ação de Emergência e do Plano de Gerenciamento de Riscos;
5. O monitoramento das águas superficiais do estuário de Santos e lagoa contígua ao terminal, da vegetação no entorno, incluindo manguezais, com a adoção das medidas necessárias para sua recuperação.

O laudo do Ministério Público com as investigações do acidente foi divulgado após mais de um ano e meio do acidente, em novembro de 2016. Segundo o laudo, o incêndio foi iniciado após a explosão de uma bomba que não estava em operação e foi ligada imprudentemente. Com as válvulas de sucção e descarga da bomba fechadas e a presença de combustível ocorreu a explosão (Valor, 2016).



Figura 7 - Combate ao incêndio por uso da espuma cold fire
Fonte: Diário Oficial do Estado de São Paulo (2015)

CAPÍTULO 3. LEGISLAÇÃO E NORMAS SOBRE A PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS EM DEPÓSITOS DE LÍQUIDOS COMBUSTÍVEIS E INFLAMÁVEIS

3.1 COSCIP

O COSCIP (Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Rio de Janeiro) foi criado em 1976, estando em vigor até hoje. No momento, o texto está em fase de revisão e uma nova versão foi colocada sob consulta pública em 2017.

O COSCIP é dividido em vinte e quatro capítulos. Neste trabalho serão abordados os principais requisitos aplicáveis à tanques de armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis, no que diz respeito à proteção contra incêndio, ainda na fase de projeto e construção.

Embora detalhe os requisitos técnicos exigidos para o exercício de atividades, o COSCIP também aponta que o Corpo de Bombeiros do Estado do Rio de Janeiro pode fazer exigências complementares, ou seja, impor outros requisitos que julgar convenientes para cada caso. Cabe ao Corpo de Bombeiros o estudo, a análise, o planejamento, a exigência e a fiscalização do Serviço de Segurança Contra Incêndio e Pânico.

3.1.1 Capítulos III e IV do COSCIP

O código apresenta no terceiro capítulo a classificação das Edificações em dez categorias. Para a análise dos requisitos aplicáveis a parques de tancagem, será estudada a Classificação X – De Usos Especiais Diversos (depósitos de explosivos, de munições e de inflamáveis, arquivos, museus e similares).

De acordo com o Capítulo IV, para a Classificação X, os dispositivos de segurança devem seguir o disposto no Art. 11 e no Capítulo XIII, além de outras medidas que o Corpo de Bombeiros julgar necessárias.

As exigências do Art. 11 são apresentadas na Tabela 3.

Não foi possível encontrar a área ocupada pelo depósito da Petrogold. Com o auxílio de um recurso oferecido pelo Google Maps foi possível obter a área aproximada, apresentada na Figura 8. A área encontrada, 0,08 ha (hectares), equivale a 800 m². Assim, a Petrogold enquadraria-se na primeira classificação apresentada

na Tabela 3, que prevê a isenção de dispositivos preventivos fixos contra incêndio. É preciso lembrar que apenas uma medição mais acurada da área do depósito poderia confirmar essa classificação.

Tabela 3 - Exigências aplicáveis a instalações industriais

Descrição	Exigências
No máximo três pavimentos e área até 900 m ²	Isenta de Dispositivos Preventivos Fixos Contra Incêndio.
No máximo três pavimentos e área superior a 900 m ²	Canalização Preventiva Contra Incêndio prevista no Capítulo VI.
Quatro ou mais pavimentos	Canalização Preventiva Contra Incêndio prevista no Capítulo VI; portas tipo corta-fogo leves e metálicas e escadas previstas no capítulo XIX.
Altura superior a 30m do nível do logradouro público ou da via interior.	Canalização Preventiva Contra Incêndio prevista no Capítulo VI; portas tipo corta-fogo leves e metálicas e escadas previstas no capítulo XIX; rede de chuveiros automáticos do tipo “Sprinkler” prevista no capítulo X.
Edificação dotada de elevadores (serviço ou social).	Portas metálica no elevador e no vão do poço de acordo com o artigo 229 da COSCIP.

Fonte: Adaptado de COSCIP (1976)

No site da Ultracargo, é informada uma área de 183.871m² no Terminal de Santos, com capacidade de armazenamento de 338.300m² em um total de 179 tanques, que armazenam não só combustíveis, como álcool, gasolina e óleo diesel, como também, óleos vegetais e fertilizantes líquidos.

A Figura 9 mostra parte do terminal da Ultracargo. A partir das informações disponíveis no site da empresa, acredita-se que a classificação mais adequada seria a correspondente a quatro ou mais pavimentos, devido à sua extensão.

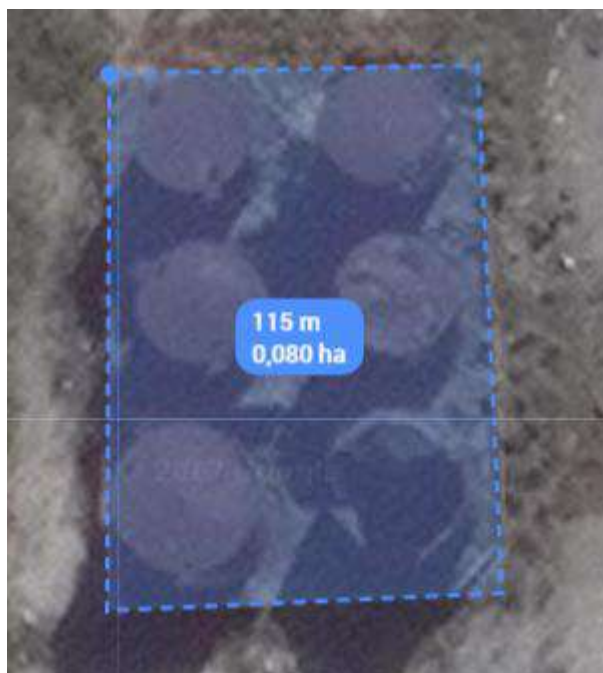


Figura 8 - Área aproximada ocupada pelos Tanques da Petrogold
Fonte: Google Maps

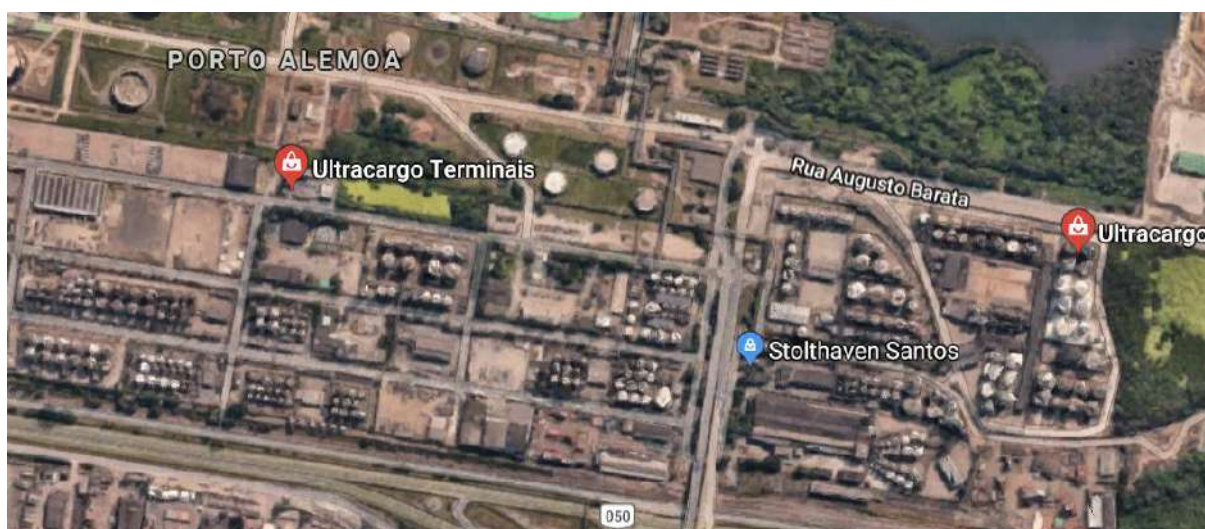


Figura 9 - Localização do terminal da Ultracargo
Fonte: Google Maps

3.1.2 Capítulo XIII do COSCIP

O capítulo XIII do Código trata sobre depósitos de inflamáveis e o primeiro ponto levantado, no Artigo 96, diz respeito à localização dos mesmos. Segundo o COSCIP, o depósito deve estar a uma distância mínima de 100m de escolas, asilos, templos, hospitais, casas de saúde, quartéis, presídios, residências, clubes, cinemas, teatros, prédios tombados, boca-de-túnel, pontes, viadutos e outros locais julgados impróprios na visão do Corpo de Bombeiros.

O capítulo XIII do COSCIP é dividido nas seguintes seções:

- Seção I: Dos Postos de Abastecimento, de Serviços e Garagem
- Seção II: Dos Depósitos de Líquidos, Gases e outros Inflamáveis
- Seção III: Dos Pontos de Consumo e Vendas a Varejo
- Seção IV: Das Instalações Industriais e Recipientes Estacionários
- Seção V: Dos Depósitos de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)

A Seção II é a mais indicada para depósitos e parques de tancagem. De acordo com essa seção, os depósitos são classificados em pequeno, médio ou grande, de acordo com seu limite de armazenamento. Um depósito é dito pequeno quando armazena no máximo 5.616L, médio quando pode armazenar até 22.464L e grande quando apresenta capacidade de armazenamento de 44.928L.

Para depósitos que possuem um limite de armazenamento superior ao correspondente ao depósito grande, como o depósito da Petrogold e da Ultracargo, também são aplicáveis os artigos apresentados na Seção IV.

Alguns dos artigos de maior relevância para as discussões pertinentes aos dois acidentes estudados são:

- a) Art. 112: Os depósitos terão muros de alvenaria de 3m de altura, isolando-os do terreno vizinho e do logradouro.
- b) Art. 121: Os depósitos serão obrigados a possuir extintores e demais equipamentos de segurança contra incêndio, em quantidade suficiente e convenientemente localizados, sempre em perfeitas condições de funcionamento, observadas as exigências, para cada caso, determinadas no respectivo Laudo.

Na Seção IV, também aplicável aos depósitos estudados, é dito que as medidas de segurança contra incêndio são avaliadas para cada caso e deverão ser aprovadas pelo Corpo de Bombeiros, mas algumas são aplicáveis a toda e qualquer instalação industrial ou recipiente estacionário de grande porte, tais como:

I) Localização: Apenas em zonas rurais e agrícolas, com áreas de periculosidade a uma distância mínima de 1.000m “de qualquer ocupação estranha a essas atividades, de rodovias e de outras edificações ou estabelecimentos, a critério do Corpo de Bombeiros”;

Apesar de não ser contemplada pelo COSCIP do Estado do Rio de Janeiro, por estar localizado no estado de São Paulo, o terminal da Ultracargo parece atender aos requisitos estabelecidos pelo código no que diz respeito à localização, em oposição ao depósito da Petrogold.

Não foram encontradas informações para precisar se o depósito da Petrogold foi construído antes ou após a construção das casas e comércios ao redor, mas o fato é que sua operação colocava em risco a população vizinha. A Figura 10 apresenta uma comparação entre a localização dos dois parques de tancagem: à esquerda, o terminal da Ultracargo e à direita, o depósito da Petrogold.

II) Delimitação das áreas de periculosidade: Para as áreas dos recipientes, de bombeamentos, de carga e descarga de veículos e de unidade de refinamento, deve-se utilizar cercas, com no mínimo dois portões de acesso em pontos opostos;

III) Sistema de Contenção:

a) Os tanques devem ser circundados por dique ou outro meio de contenção. É possível observar pela Figura 4 e pela Figura 5 que tanto a Petrogold como a Ultracargo possuíam diques ao redor dos tanques, como prevê o órgão.

b) A capacidade volumétrica do dique deverá ser no mínimo igual à do tanque, caso haja apenas um tanque;

c) A capacidade volumétrica deverá ser no mínimo igual à capacidade do maior tanque com um incremento de 10%, caso haja mais de um tanque;

d) O material do dique ou muro de contenção será terra, chapa de aço, concreto ou alvenaria maciça, hermético e resistente à pressão hidráulica do dique cheio de líquido;

e) A área interna do dique deve permanecer livre, para que sua capacidade de contenção seja assegurada;

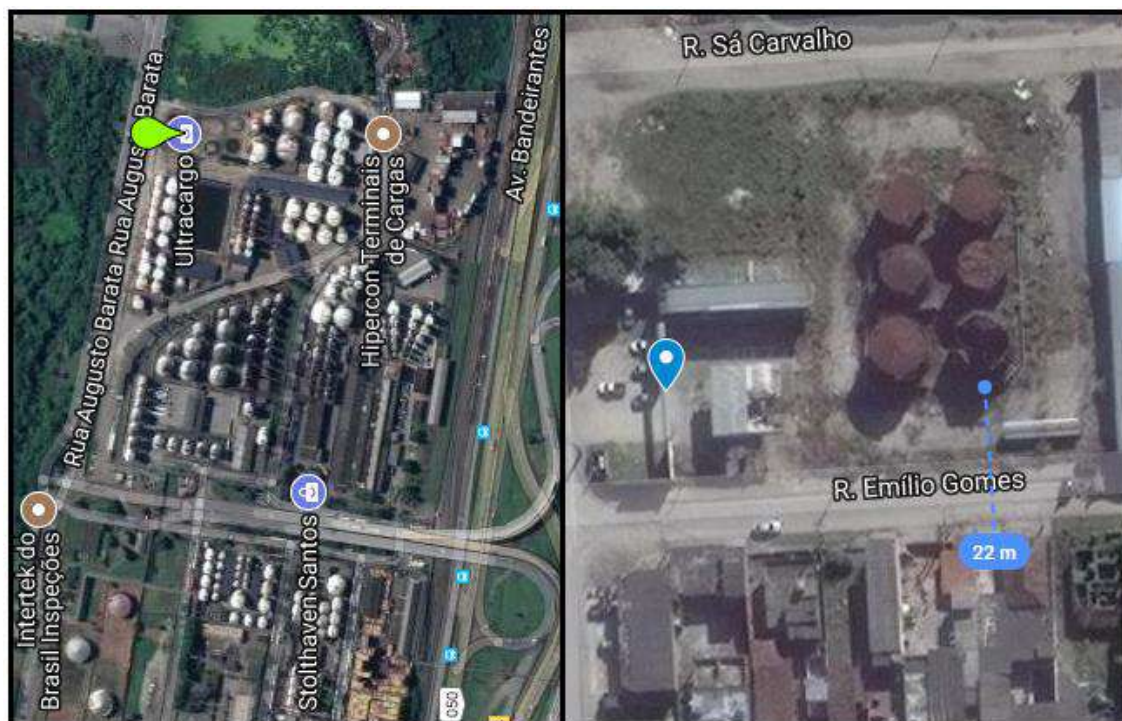


Figura 10 - Localização do Terminal da Ultracargo e do Depósito da Petrogold
Fonte: Google Maps

IV) Drenagem: Os drenos devem permitir rápido escoamento de resíduos, que não pode ser direcionado para esgoto público, cursos d'água, lagos, rios ou mares, a menos que os resíduos recebam tratamento julgado adequado;

V) Construção dos tanques: Deve obedecer às normas específicas e deve permitir transferência de conteúdo para outro recipiente, por meio de comunicação com válvulas de bloqueio;

VI) Válvulas de Bloqueio: Devem ser instaladas em diversos pontos da tubulação para facilitar a extinção do fogo;

VII) Válvulas de retenção: Devem ser instaladas quando a vazão do produto precisar ser feita em um único sentido;

VIII) Válvulas de Segurança: Devem ser instaladas para evitar que a pressão interna dos tanques ultrapasse o limite de segurança;

IX) Identificação: Deve-se identificar com rótulos recipientes e dutos em locais visíveis, com a indicação dos produtos;

X) Fontes de calor e ignição: É proibida a presença de chamas, cigarros, fósforos ou outra qualquer fonte de calor ou de ignição em áreas de periculosidade (armazenamento, refinação e manipulação) e devem ser utilizados nessas áreas, cartazes referentes a essa proibição;

XI) Instalações e Equipamentos Elétricos: Nas áreas de periculosidade, estes deverão ser blindados e à prova de explosão, para evitar o risco de ignição;

XII) Eletricidade Estática: Será evitada pela ligação de equipamentos à terra, para eliminar as cargas elétricas. Deve-se adaptar o fio terra dos veículos de transporte antes de iniciar a operação de transferência;

XIII) Dispositivo de Combate a Incêndio:

a) Rede Preventiva Contra Incêndio, conforme o Capítulo VII do COSCIP, não detalhado neste estudo;

b) Canalização de chuveiros aspersores ou outro sistema automático ou manual de borrifamento de água para resfriamento de recipientes de líquidos ou de gases;

c) Canalização fixa para espuma, de funcionamento automático ou manual;

d) Pode-se utilizar vapor d'água produzido pela indústria para extinção;

e) Pode ser exigida a instalação de rede de chuveiros automáticos do tipo "Sprinkler", em áreas como almoxarifados, depósitos, escritórios, dentre outros, de acordo com o Capítulo X do COSCIP, não detalhado nesse estudo;

f) Em casos especiais, pode ser exigido dispositivo fixo de gás carbônico;

g) Deve-se instalar alarmes, automáticos ou manuais, por toda a área do estabelecimento, com painel que indique o setor do acidente no posto de controle de segurança;

h) Pode-se optar por um sistema de comunicação direta do estabelecimento com o quartel do Bombeiro-Militar mais próximo, para simplificar o aviso de incêndio;

i) Extintores portáteis e sobre-rodas são exigências e sua instalação deve seguir as recomendações apresentadas no Capítulo XI do COSCIP;

XIV) Equipe de Bombeiros: Deve ser organizada uma equipe de bombeiros, com pessoal e material suficientes para cobrir o risco do local.

3.1.3 Capítulo XI do COSCIP

O capítulo XI refere-se aos extintores portáteis e sobre-rodas, que devem ser instalados a critério do Corpo de Bombeiro e atender à classe de incêndio característica do local.

No COSCIP estão definidas as seguintes classes de incêndio:

I - Classe A: Fogo em materiais comuns de fácil combustão (madeira, pano, lixo e similares);

II - Classe B: Fogo em líquidos inflamáveis, óleos, graxas, vernizes e similares;

III - Classe C: Fogo em equipamentos elétricos energizados (motores, aparelhos de ar condicionado, televisores, rádios e similares);

IV - Classe D: Fogo em metais pirofóricos e suas ligas (magnésio, potássio, alumínio e outros).

A quantidade de extintores é determinada no Laudo de Exigências e pode utilizar a Tabela 4 como base.

Em relação à localização dos extintores, ela deve ser escolhida de forma a minimizar a probabilidade de bloqueio do seu acesso pelo fogo e deve ter boa visibilidade, para que operadores se familiarizem com ela.

Deve-se garantir livre acesso para extintores sobre-rodas, de forma que eles possam proteger toda a área que eles foram destinados.

Os locais onde os extintores são colocados devem ser sinalizados, inclusive com marcação de área de 1m² do piso abaixo do extintor pintada em vermelho e mantida livre.

Apenas extintores com o selo de Marca de Conformidade da ABNT, de vistoria ou de inspecionado, dentro das datas de vigência, serão aceitos.

Tabela 4 - Exigências para extintores de acordo com o risco

Risco	Área máxima a ser protegida por unidade extintora	Distância máxima para o alcance do operador
Pequeno	250m (duzentos e cinquenta metros quadrados)	20m (vinte metros)
Médio	150m (cento e cinquenta metros quadrados)	15m (quinze metros)
Grande	100m (cem metros quadrados)	10m (dez metros)

Fonte: COSCIP (1976)

3.2 Normas Regulamentadoras (NR) do Ministério do Trabalho e Emprego

As Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego foram instituídas pela lei N° 6.514 em 1977 e referem-se à segurança e à medicina no trabalho.

Elas devem ser obrigatoriamente seguidas por todas as empresas públicas e privadas, por órgãos públicos de administração direta e indireta e por órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário que possuam empregados contratados sob o regime CLT (Consolidação das Leis de Trabalho).

Atualmente, há 36 NR (Normas Regulamentadoras) e serão apresentadas no presente trabalho somente as de maior relevância para a prevenção de incêndios.

3.2.1 NR 20

A NR 20 – Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis apresenta os requisitos mínimos necessários para a gestão da segurança e saúde no trabalho nas atividades de extração, produção, armazenamento, transferência, manuseio e manipulação de inflamáveis e manuseio de líquidos combustíveis, nas etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção, inspeção e desativação da instalação.

A norma apresenta uma classificação (Classe I, II e III) das instalações quanto à atividade e à sua capacidade de armazenamento, apresentada na Tabela 5, com prioridade para o tipo de atividade como critério de classificação.

Para a Petrogold, com capacidade de armazenamento total igual a 2.048 m², a Classificação mais apropriada é a Classe I. Por outro lado, a Ultracargo, com capacidade de armazenamento de 338.300 m², enquadra-se na Classe III.

De acordo com a norma, são exigidos os seguintes documentos para o projeto da instalação da Classe III:

- a) Descrição das instalações e seus respectivos processos através do manual de operações;
- b) Planta geral de locação das instalações;
- c) Características e informações de segurança, saúde e meio ambiente relativas aos inflamáveis e líquidos combustíveis;
- d) Fluxograma do processo.
- e) Especificação técnica dos equipamentos, máquinas e acessórios críticos em termos de segurança e saúde no trabalho estabelecidos pela análise de riscos;
- f) Plantas, desenhos e especificações técnicas dos sistemas de segurança da instalação;
- g) Identificação das áreas classificadas da instalação, para efeito de especificação dos equipamentos e instalações elétricas;
- h) Medidas intrínsecas de segurança identificadas na análise de riscos do projeto.

Observa-se que os itens “d”, “e” e “h” são dispensáveis para a Classe I.

A Norma aborda ainda aspectos relativos à segurança na construção e montagem da instalação, à segurança operacional e à manutenção e inspeção das instalações. O plano de inspeção e manutenção deve ser revisado e atualizado periodicamente seguindo as Normas Regulamentadoras, normas técnicas nacionais, e na sua ausência, normas internacionais, manuais de inspeção e manuais de fabricantes. Deve englobar, no mínimo, os aspectos listados abaixo:

- a) Equipamentos, máquinas, tubulações e acessórios, instrumentos;
- b) Tipos de intervenção;
- c) Procedimentos de inspeção e manutenção;
- d) Cronograma anual;
- e) Identificação dos responsáveis;
- f) Especialidade e capacitação do pessoal de inspeção e manutenção;
- g) Procedimentos específicos de segurança e saúde;
- h) Sistemas e equipamentos de proteção coletiva e individual.

Também é levantada a necessidade de permissão de trabalho para atividades como:

- a) Atividades que possam gerar chama, calor, centelhas ou que envolvam seu uso;
- b) Atividades em espaços confinados, como aponta a NR 33;
- c) Atividades que exijam isolamento de equipamentos e bloqueio/etiquetagem;
- d) Atividades em locais elevados com risco de queda;
- e) Atividades com equipamentos elétricos, como aponta a NR 10;
- f) Atividades recomendadas, de acordo com as boas práticas de segurança e saúde.

A norma aponta também a necessidade de revisão das análises de risco, quando uma das situações abaixo citadas for aplicável:

- a) Na periodicidade estabelecida para as renovações da licença de operação da instalação;
- b) No prazo recomendado pela própria análise;

- c) Caso ocorram modificações significativas no processo ou processamento;
- d) Por solicitação do SESMT ou da CIPA;
- e) Por recomendação decorrente da investigação de acidentes ou incidentes relacionados ao processo ou processamento;

Tabela 5 - Classificação das Instalações de acordo com a NR 20

Classe I
a) Quanto à atividade:
a.1 - postos de serviço com inflamáveis e/ou líquidos combustíveis.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória:
b.1 - gases inflamáveis: acima de 2 ton até 60 ton;
b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 10 m ³ até 5.000 m ³ .
Classe II
a) Quanto à atividade:
a.1 - engarrafadoras de gases inflamáveis;
a.2 - atividades de transporte dutoviário de gases e líquidos inflamáveis e/ou combustíveis.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória:
b.1 - gases inflamáveis: acima de 60 ton até 600 ton;
b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 5.000 m ³ até 50.000 m ³ .
Classe III
a) Quanto à atividade:
a.1 - refinarias;
a.2 - unidades de processamento de gás natural;
a.3 - instalações petroquímicas;
a.4 - usinas de fabricação de etanol e/ou unidades de fabricação de álcool.
b) Quanto à capacidade de armazenamento, de forma permanente e/ou transitória:
b.1 - gases inflamáveis: acima de 600 ton;
b.2 - líquidos inflamáveis e/ou combustíveis: acima de 50.000 m ³ .

Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego (2012)

A norma define que deve-se atribuir um prazo de implementação para as recomendações concordadas nas análises de risco e o não cumprimento das mesmas no prazo previsto deve ser justificado e documentado.

A norma aborda ainda aspectos que dizem respeito à capacitação do trabalhador e à medidas de prevenção e controle de vazamentos, derramamentos, incêndios, explosões e emissões fugitivas, que requerem a elaboração de um plano com ações que permitam a minimização desses riscos e a redução das consequências, caso o sistema de prevenção e controle falhe.

Finalmente, destaca-se a necessidade de sistemas de contenção de vazamentos ou derramamentos para tanques que armazenam inflamáveis e combustíveis, que devem ser projetados de acordo com as normas em vigor.

Reitera-se ainda a responsabilidade do empregador nas seguintes ações:

a) Na implementação de medidas que impeçam a utilização de fontes de ignição em áreas sujeitas à existência de atmosferas inflamáveis;

b) Na elaboração de um Plano de Resposta a Emergências da Instalação;

c) Na comunicação de ocorrências de vazamento, incêndio ou explosão que tenham como consequência a morte de um ou mais trabalhadores, ferimentos ou queimaduras de 2º ou 3º grau, com necessidade de internação hospitalar, ou em ocorrências que exijam o acionamento do plano de resposta a emergência, requerendo medidas de intervenção e controle;

d) Na atualização do Prontuário da Instalação, que contém a seguinte documentação: Projeto da Instalação, Procedimentos Operacionais, Plano de Inspeção e Manutenção, Certificação de capacitação dos trabalhadores, Análise de Acidentes, Análise de Riscos e Plano de prevenção e controle de vazamentos, derramamentos, incêndios e explosões e identificação das fontes de emissões fugitivas.

3.2.2 NR 23

A NR 23 – Proteção Contra Incêndio aborda algumas das responsabilidades dos empregadores para prevenção de incêndio, que devem estar em conformidade com a legislação estadual e as normas técnicas aplicáveis.

Segundo a norma, é de responsabilidade do empregador instruir os trabalhadores quanto à utilização dos equipamentos de combate ao incêndio, aos procedimentos para evacuação do local de trabalho e dos dispositivos de alarme existentes.

A norma apresenta ainda alguma regulamentação sobre saídas de emergência e sua sinalização, porém sem amplo detalhamento. A versão mais recente da NR 23 se abstém de regular em detalhes estes e outros pontos, já cobertos no COSCIP e pelas normas ABNT.

3.3 ABNT

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é o órgão que define a normalização técnica brasileira. A principal norma que aborda a proteção contra incêndios em parque de tancagem de combustíveis líquidos é a NBR 17505 – “Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis”.

A NBR 17505 foi publicada em 1995 e revisada nos anos de 2000, 2006 e 2013, que corresponde à versão mais atual. Ela é dividida em sete partes:

1. Disposições Gerais;
2. Armazenamento em Tanques, em Vasos e em Recipientes Portáteis com Capacidade Superior a 3000 Litros;
3. Sistemas de Tubulações;
4. Armazenamento em Recipientes e em Tanques Portáteis;
5. Operações;
6. Instalações e Equipamentos Elétricos;
7. Proteção Contra Incêndio para Parques de Armazenamento com Tanques Estacionários.

3.3.1 NBR 17505 - 1

Na Parte 1 da norma são apresentadas algumas definições importantes, dentre elas a definição de líquidos inflamáveis e combustíveis, que são divididos em três classes, cada.

De acordo com a NBR 17505, os líquidos inflamáveis são os líquidos que possuem ponto de fulgor inferior a 37,8°C e pressão de vapor menor ou igual a 275,6kPa (2068,6mmHg). Eles são denominados classe I e subdivididos em:

- a) Classe IA: Líquidos com ponto de fulgor inferior a 22,8°C e ponto de ebulição inferior a 37,8°C;
- b) Classe IB: Líquidos com ponto de fulgor inferior a 22,8°C e ponto de ebulição igual ou superior a 37,8°C;
- c) Classe IC: Líquidos com ponto de fulgor igual ou superior a 22,8°C e inferior a 37,8°C.

Os líquidos combustíveis são definidos como os líquidos que possuem ponto de fulgor igual ou superior a 37,8°C e são subdivididos em:

- a) Classe II: Líquidos com ponto de fulgor igual ou superior a 37,8°C e inferior a 60°C;
- b) Classe IIIA: Líquidos com ponto de fulgor igual ou superior a 60°C e inferior a 93°C;
- c) Classe IIIB: Líquidos com ponto de fulgor igual ou superior a 93°C.

Há ainda na primeira parte da norma a menção a diques, que formem uma bacia de contenção, e a canais de fuga que direcionem produto derramado para uma bacia de contenção, de forma a controlar vazamentos e derrames de produtos. Assim, evita-se que líquidos inflamáveis e combustíveis ameacem as instalações, propriedades adjacentes ou cursos de água.

São descritas também as condições que as bacias de contenção devem atender, no que diz respeito à capacidade volumétrica, ao coeficiente de permeabilidade, ao acesso, ao sistema de drenagem, e outras especificações, com um maior detalhamento, quando comparada ao COSCIP.

3.3.2 NBR 17505 – 5 e NBR 17505 - 7

A Parte 5 da NBR 17505 detalha as operações que envolvem o armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis, como envase, manuseio, transferência e uso, bem como operações de carga e descarga de graneis de caminhões tanque e vagões tanque.

Aborda-se também na Parte 5 a prevenção e o controle de incêndio, que englobam:

a) A análise de risco;

b) O controle das fontes de ignição, onde ressalta-se a obrigatoriedade da emissão de permissão de trabalho para atividades que envolvam soldagem, corte ou que gerem faíscas em áreas onde há líquidos inflamáveis e combustíveis, assim como no COSCIP, bem como dos riscos da eletricidade estática, tratada em uma seção a parte;

c) Os sistemas de detecção e alarme, que incluem observação pessoal, equipamentos de monitoramento que indiquem vazamentos e detectores de gás para áreas desassistidas;

d) Os sistemas de proteção contra incêndio e extinção de fogo, com uma fonte confiável de suprimento de água ou de outro agente de controle de incêndio, hidrantes e proteção fixa, quando requerido, extintores de incêndio portáteis, nos tamanhos, quantidades e tipos necessários, dentre outros.

e) O Planejamento e treinamento para emergência, dado pelo Plano de Ação de Emergência (PAE), que apresenta: os procedimentos a serem seguidos em caso de incêndios ou vazamentos de líquidos e vapores; o planejamento dos exercícios de combate a incêndios, segundo periodicidade preestabelecida; o planejamento, registro e treinamento de pessoas da Brigada de Incêndio; os procedimentos para manutenção e operação dos equipamentos e sistemas de proteção contra incêndios, de sistemas de drenagem e contenção e de sistemas e equipamentos de ventilação; procedimentos para desligamento ou isolamento de equipamentos, para redução ou eliminação de vazamentos de líquidos e vapores; e a adoção de medidas alternativas para garantir a segurança do pessoal;

f) A inspeção e manutenção dos equipamentos do sistema de combate a incêndio;

g) O gerenciamento da segurança patrimonial, objetivando a identificação e avaliação dos riscos à segurança patrimonial, a avaliação do desempenho da segurança patrimonial das instalações e a avaliação da proteção aos empregados, à localidade propriamente dita, às comunidades vizinhas e ao meio ambiente.

Finalmente, a Parte 7 da norma trata sobre a Proteção Contra Incêndio para Parques de Armazenamento com Tanques Estacionários. Ela discorre sobre os requisitos mínimos para os projetos de sistemas de combate a incêndios com água

(rede de hidrantes e bombas de água) e com espuma (líquido gerador de espuma – LGE), o resfriamento dos tanques e a inspeção, ensaio e manutenção do sistema de combate a incêndio.

CAPÍTULO 4. MODELAGEM MATEMÁTICA PARA INCÊNDIO EM POÇA

Neste capítulo, é apresentada a modelagem matemática para entender a severidade de cenários acidentais semelhantes àquele observado no parque de tancagem da empresa Petrogold, ilustrado na Figura 11.



Figura 11 - Incêndio em poça nos diques e tanques da Petrogold
Fonte: G1 (2013)

Assim, deseja-se explorar aqui o fenômeno conhecido por incêndio em poça, em especial, a radiação por ele emitida.

De acordo com a ISO 13702:2015, “Petroleum and natural gas industries - Control and mitigation of fires and explosions on offshore production installations - Requirements and guidelines” de agosto de 2015, o incêndio em poça é um incêndio de difusão turbulenta que queima sobre uma poça horizontal de combustível hidrocarboneto com baixo ou nulo momento inicial.

Essa seção explora modelos e teorias que abordam e descrevem o incêndio em poça e suas consequências, permitindo a estimativa da distância que deveria ser mantida das residências ao redor do depósito de combustíveis para que a sua instalação não representasse nenhum risco à população.

4.1 Modelos de Chama

Muitos modelos foram desenvolvidos para estimar o fluxo de calor emitido por uma chama que atinge um alvo exterior a ela. Abaixo são apresentados dois dos mais conhecidos: o modelo de fonte pontual e o modelo de chama sólida.

4.1.1 Modelo de Radiação de Fonte Pontual (*Point Source Model*)

Esse é o modelo mais simples para o cálculo do fluxo de calor recebido por um alvo.

Ele assume que a fonte de radiação seria o ponto central da chama, e que o fluxo de calor irradiado é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre a fonte e o alvo, como apresentado na Equação (1) (MARCHETTI, 2012)

$$q'' = \frac{\chi_r \dot{Q}}{4 \pi R^2} \quad (1)$$

Tal que:

q'' : Fluxo de calor radiante (kW/m²);

χ_r : Fração da energia total irradiada;

\dot{Q} : Taxa de calor liberado pelo fogo;

L: Distância radial do centro da chama (fonte) até a borda do alvo (m);

O modelo pode ser ilustrado pela Figura 12.

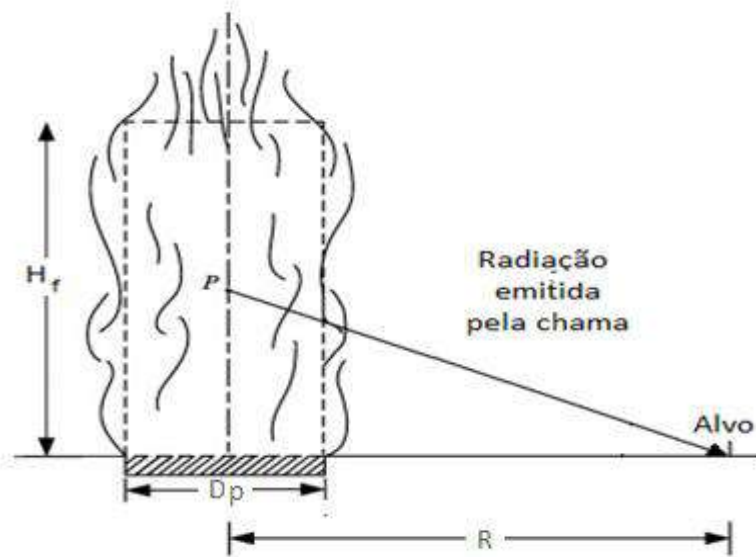


Figura 12 - Representação do Modelo de Fonte Pontual
 Fonte: Adaptada de Zhang *et al.* (2016)

4.1.2 Modelo de Radiação de Chama Sólida (Solid Flame Model)

Embora para alvos afastados da chama a simplificação de assumir fonte pontual possa ser razoavelmente adequada, para cenários como o ocorrido na empresa Petrogold, ele não se mostra apropriado.

Neste caso, o Modelo de Chama Sólida é o modelo mais utilizado para a modelagem de um incêndio em poça e é descrito com base nas seguintes hipóteses:

1. O fogo é representado como um corpo sólido de forma geométrica simples (MARCHETTI, 2012);
2. A radiação térmica é emitida da superfície desse corpo sólido (MARCHETTI, 2012);

Segundo o modelo, o fluxo de calor irradiado pode ser descrito pela Equação 2:

$$q'' = E \varphi \tau \varepsilon \quad (2)$$

Tal que:

- E: Potência Emitida (kW/m^2);
- φ : Fator de Configuração;
- τ : Transmissividade atmosférica;
- ε : Emissividade efetiva.

A potência emitida (E) refere-se à potência total emitida pela superfície do fogo por unidade de área. O fator de configuração (φ) representa a fração da radiação térmica que atinge o alvo. Ele depende da localização do alvo, da altura da chama e do diâmetro da poça. A transmissividade atmosférica (τ) é a fração da radiação emitida pela chama que consegue atravessar a atmosfera e ser assim, transmitida ao alvo. Finalmente, a emissividade efetiva é a capacidade que a superfície da chama tem de emitir radiação térmica. (MARCHETTI, 2012)

Na Figura 13 são apresentadas representações do modelo na ausência e na presença de vento, para um alvo posicionado no nível do solo. Como é observado, na presença de vento a chama sofre uma inclinação.

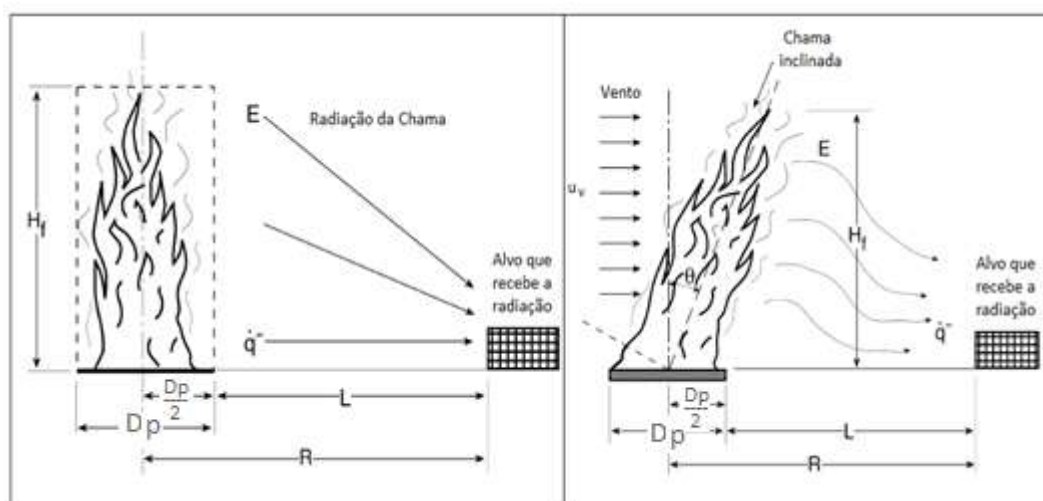


Figura 13 - Ilustração do Modelo de Chama Sólida na ausência e presença de vento, respectivamente

Fonte: Adaptado de Marchetti (2012)

Uma vez que o Modelo da Chama Sólida apresenta uma descrição de chama mais próxima da realidade, ele permite a obtenção de uma estimativa melhor no estudo do incêndio em poça, em especial para alvos próximos. Por isso, ele foi escolhido para a modelagem do cenário acidental aqui estudado.

A partir da Equação 2 existem duas abordagens possíveis para estudar o fluxo de calor que incide sobre o alvo. A primeira consiste em estimar o fluxo de calor sobre um alvo a uma distância predefinida, avaliando-se os efeitos que o alvo sofreria se estivesse localizado na posição analisada, e a segunda corresponde ao estudo da mínima distância segura, onde o fluxo de radiação não representa ameaça. Observa-se que a radiação térmica representa ameaça a pessoas, pois pode gerar queimaduras, e a objetos, pois pode gerar ignição.

Utilizando-se a primeira abordagem, deve-se calcular os termos potência emitida (E), transmissividade atmosférica (τ), emissividade (ϵ) e fator de configuração (ϕ). A partir desses valores é possível utilizar a Equação 2 para calcular o fluxo de calor radiante (q'').

Para a segunda abordagem, deve-se conhecer o fluxo de calor radiante a partir do qual há efeitos para a população, por exemplo, e calcular-se a potência emitida (E), a transmissividade atmosférica (τ) e a emissividade efetiva (ϵ). A partir desses valores é possível utilizar a Equação 2 para calcular o Fator de Configuração e, com ele, pode-se determinar a distância mínima recomendada que o alvo deve estar da chama.

Para poças maiores que alguns metros em diâmetro, pode-se assumir emissividade efetiva igual a 1 e para um cálculo mais conservador, pode-se assumir que a transmissividade atmosférica também é igual a 1 (NIST, 2000). Logo, para a primeira abordagem é necessário calcular-se a potência emitida (E) e o fator de configuração (ϕ) e, para a segunda, apenas a potência emitida (E).

4.2 Cálculo da Potência Emitida

A potência emitida (E) pode ser calculada por diferentes métodos. Para o trabalho, optou-se pelo Método via área superficial da chama, que é compatível com o Método de Chama Sólida.

De acordo com esse modelo, a potência emitida (E) pode ser definida pela Equação 3 (VAZ, 2017).

$$E = \frac{\dot{Q}_{\text{rad}}}{A_f} \quad (3)$$

Tal que:

\dot{Q}_{rad} : Taxa de calor irradiado (KW);

A_f : Área superficial da chama (m^2).

A taxa de calor irradiado (\dot{Q}_{rad}) é uma fração da taxa de calor total liberada, conforme a Equação 4 (VAZ, 2017).

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = x_{\text{rad}} \dot{Q} \quad (4)$$

Tal que:

x_{rad} : Fração do calor total liberado na forma de radiação;

\dot{Q} : Taxa de calor total liberado teórica (KW);

E a taxa de calor total liberado teórica (\dot{Q}) pode ser calculada pela Equação 5 (VAZ, 2017).

$$\dot{Q} = M H_C \quad (5)$$

Tal que:

M : Taxa de queima mássica (g/s);

H_C : Calor de combustão teórico (kJ/g).

A taxa de queima mássica (M) é obtida pela Equação 6 (VAZ, 2017).

$$M = m'' A_p \quad (6)$$

Tal que:

m'' : Taxa de queima mássica por unidade de área superficial (g/s. m²);

A_p : Área da piscina (m²).

E a área da piscina (A_p) assumindo-se uma piscina circular é dada pela Equação 7.

$$A_p = \pi \left(\frac{D_p^2}{4} \right) \quad (7)$$

Tal que:

D_p : Diâmetro da piscina (m);

Assim, tem-se a Equação 8.

$$M = m'' \pi \left(\frac{D_p^2}{4} \right) \quad (8)$$

A taxa de queima mássica por unidade de área superficial (m'') pode ser calculada pelo Modelo de Babrauskas, que apresenta um bom ajuste para piscina, e é aplicável quando a seguinte condição for válida: $0,2 < D_p < 5\text{m}$ (VAZ, 2017).

E descrito pela expressão a seguir (VAZ, 2017):

$$m'' = m''_{\infty} (1 - e^{-k'D_p}) \quad (9)$$

Tal que:

k' : Coeficiente efetivo de absorção (m⁻¹);

m''_{∞} : Taxa de queima mássica assintótica (g/s. m²).

Para poças com diâmetros maiores que 5m a mistura de vapores do combustível com o ar é menos eficiente e a queima fica limitada pela ausência de oxigênio. Para esses casos, recomenda-se utilizar a Equação 10 (VAZ, 2017).

$$m''_{\infty} = 0,8 m''_{\infty} \quad (10)$$

Na Tabela 6 são apresentados valores de m''_{∞} e k' para diversos líquidos, bem como o calor de combustão (ΔH_C), a eficiência de combustão (x_{chem}) e a fração de calor transferido por convecção (x_c).

Com esses dados, é possível calcular a taxa de queima mássica (m'') para um diâmetro de piscina (D_p) conhecido ou predefinido e a seguir, calcular a taxa de queima mássica (M) e a taxa de calor total liberado teórica (\dot{Q}) (VAZ, 2017).

Finalmente, pode-se calcular x_{rad} pela expressão Equação 11, usando x_{chem} e x_c tabelados, apresentados na Tabela 6 e obter a taxa de calor irradiado (\dot{Q}_{rad}) pela Equação 4 (VAZ, 2017).

$$x_{chem} = x_c + x_{rad} \quad (11)$$

Para o cálculo da potência emitida (E) é preciso ainda determinar a área superficial da chama (A_f). Pelo Modelo da Chama Sólida, e assumindo que a velocidade do vento é muito baixa, a chama pode ser aproximada para a forma de um cilindro (VAZ, 2017). Assim, a área da chama é dada pela Equação 12.

$$A_f = \pi D_p H_f \quad (12)$$

Tal que:

H_f : Altura da chama (m);

A altura da chama pode ser calculada pelo Modelo Heskestad, por exemplo, representado pela Equação 13 (VAZ, 2017).

$$H_f = 0,23 \dot{Q}^{2/5} - 1,02 D_p \quad (13)$$

As hipóteses assumidas pelo modelo Heskestad são de que a chama é cilíndrica ou cônica, com base de diâmetro D_p , que corresponde ao diâmetro da piscina, e também que é obedecida a seguinte restrição: $7 < \frac{\dot{Q}^{2/5}}{D_p} < 700$ [$\text{kW}^{2/5} / \text{m}$] (VAZ, 2017).

As variáveis apresentadas na Equação 13 \dot{Q} e D_p foram determinadas anteriormente. Logo, a altura da chama pode ser facilmente calculada e substituída na Equação 12, resultando na área da chama.

Assim, pode-se calcular a potência emitida pela Equação 3.

Tabela 6 - Dados de taxa de queima para incêndio em poça

Líquido	m''_{∞} (g/s. m ²)	ΔH_C (kJ/g)	ΔH_V (kJ/kg)	k' (m ⁻¹)	ρ (g/cm ³)	X_{chem}	X_c
Acetona	41	25,8	668	1,9	0,79	0,97	0,73
Benzeno	85	40,1	484	2,7	0,87	0,69	0,29
n-Butano	78	45,7	362	27	0,57	0,95	0,68
Dietil Éter	85	34,2	382	0,7	0,71	-	-
Etanol	15	26,8	891	∞	0,79	0,97	0,73
Óleo combustível #6	35	39,7	-	1,7	0,94	-	-
Gasolina	55	43,7	330	2,1	0,74	0,92	0,61
Heptano	101	44,6	448	1,1	0,68	0,92	0,62
Hexano	74	44,7	433	1,9	0,65	0,92	0,61
Isopropanol	-	30,2	666	-	0,79	0,97	0,73
JP-4	51	43,5	-	3,6	0,76	-	-
Querosene	39	43,2	670	0,82	-	-	-
Metanol	17	20	1195	∞	0,8	0,95	0,81
Metil Etil Cetona	-	31,5	444	-	0,81	0,97	0,67
Estireno	-	40,5	-	-	0,9	0,67	0,27
Tolueno	-	40,5	-	-	0,87	0,67	0,27
Óleo isolante	39	46,4	-	0,7	0,76	0,84	0,56
Xileno	90	40,8	543	1,4	0,87	0,67	0,27

Fonte: ZALOSH (2003)

4.3 Cálculo do Fator de Configuração

O fator de configuração, também chamado fator de forma, fator de visão e fator de ângulo, é um parâmetro puramente geométrico. Ele representa os efeitos da orientação espacial sobre a transferência de calor por radiação entre duas superfícies, como a chama e o alvo. (VAZ, 2017)

O fator de configuração pode ser obtido por equações, por tabelas ou por gráficos. Para o Modelo de Chama Sólida e um alvo posicionado conforme a Figura 14, ele pode ser calculado pela seguinte equação, postulada por Hamilton e Morgan (1952).

$$\varphi = \frac{1}{\pi X} \tan^{-1} \left(\frac{L}{\sqrt{(X^2-1)}} \right) + \frac{L}{\pi} \left[\frac{(A-2X)}{X \sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{A(X-1)}}{\sqrt{B(X+1)}} \right) - \frac{1}{X} \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{X-1}}{\sqrt{X+1}} \right) \right] \quad (14)$$

Tal que:

$$L = \frac{2 H_f}{D_p}$$

$$X = \frac{2 R}{D_p}$$

$$A = (X + 1)^2 + L^2$$

$$B = (X - 1)^2 + L^2$$

Onde R é a distância do centro da chama ao alvo, como mostra a **Figura 14**.

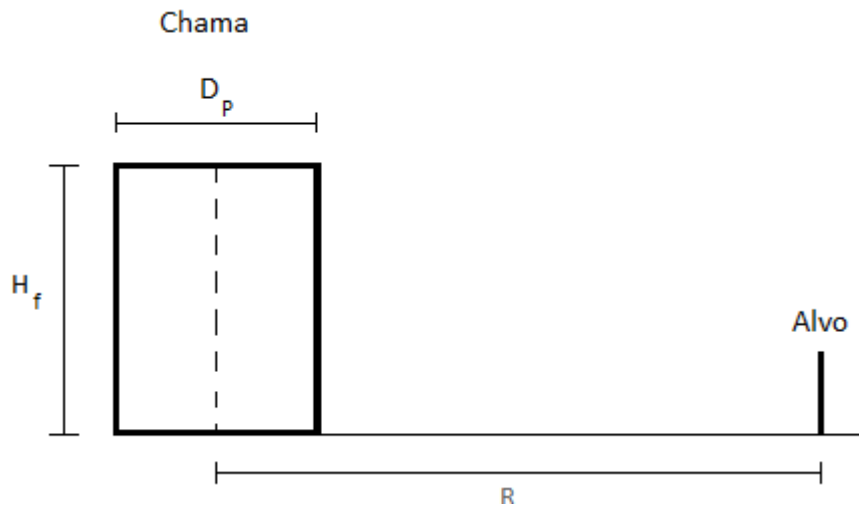


Figura 14 - Representação para o cálculo do Fator de Configuração

Pode-se também utilizar valores tabelados do fator de configuração. A Tabela 7 e a Tabela 8, apresentadas pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*), podem ser utilizadas, onde S é a distância da borda da piscina ao alvo, como mostra a Figura 15.

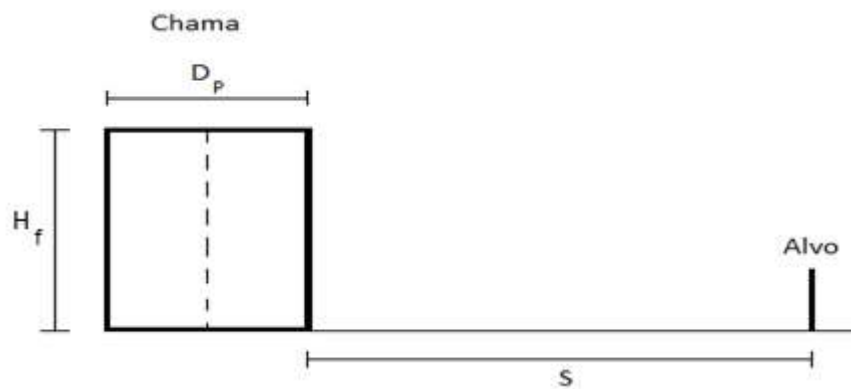


Figura 15 - Representação para o Fator de Configuração tabelado

Tabela 7 - Fator de Configuração para razão entre a altura e o diâmetro da chama até 0,1

S / Dp	Hf / Dp									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1
0,1	0,044	0,087	0,128	0,166	0,201	0,233	0,262	0,288	0,311	0,331
0,2	0,019	0,039	0,058	0,077	0,095	0,113	0,130	0,146	0,162	0,177
0,3	0,012	0,023	0,035	0,046	0,057	0,068	0,079	0,090	0,101	0,111
0,4	0,008	0,016	0,024	0,031	0,039	0,047	0,054	0,062	0,069	0,076
0,5	0,006	0,011	0,017	0,023	0,029	0,034	0,040	0,045	0,051	0,056
0,6	0,004	0,009	0,013	0,017	0,022	0,026	0,030	0,034	0,039	0,043
0,7	0,003	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,024	0,028	0,031	0,034
0,8	0,003	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,020	0,022	0,025	0,028
0,9	0,002	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	0,016	0,019	0,021	0,023
1,0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020
2,0	0,000	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006
3,0	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
4,0	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
5,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
8,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: NIST (2000)

Tabela 8 - Fator de Configuração para razão entre a altura e o diâmetro da chama até 1

S / Dp	Hf / Dp									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,1	0,331	0,442	0,481	0,497	0,506	0,510	0,513	0,515	0,517	0,518
0,2	0,177	0,289	0,349	0,380	0,399	0,410	0,417	0,422	0,425	0,427
0,3	0,111	0,198	0,256	0,294	0,318	0,334	0,344	0,352	0,357	0,361
0,4	0,076	0,142	0,193	0,230	0,256	0,274	0,287	0,297	0,304	0,310
0,5	0,056	0,107	0,149	0,183	0,208	0,227	0,242	0,253	0,261	0,268
0,6	0,043	0,084	0,119	0,148	0,172	0,190	0,205	0,217	0,226	0,233
0,7	0,034	0,067	0,096	0,122	0,143	0,161	0,175	0,187	0,196	0,204
0,8	0,028	0,055	0,080	0,102	0,121	0,137	0,151	0,160	0,172	0,180
0,9	0,023	0,046	0,067	0,086	0,103	0,118	0,131	0,142	0,151	0,159
1,0	0,020	0,039	0,057	0,074	0,089	0,102	0,114	0,125	0,134	0,141
2,0	0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055
3,0	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	0,020	0,023	0,025	0,028
4,0	0,002	0,003	0,005	0,007	0,009	0,010	0,012	0,014	0,015	0,017
5,0	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011
6,0	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007	0,008
7,0	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,006
8,0	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005
9,0	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004
10,0	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003

Fonte: NIST (2000)

4.4 Software de Simulação

O uso dos modelos matemáticos apresentados neste capítulo pode ser realizado através de uma planilha eletrônica, a partir da utilização das equações apresentadas, ou empregando um software de simulação especialmente desenvolvido para estudar cenários acidentais. Um exemplo de software de simulação, gratuito, é o ALOHA.

4.4.1 ALOHA

A simulação dos cenários propostos foi feita no software ALOHA versão 5.4.7. O ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*) foi desenvolvido em conjunto pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e pela EPA (*Environmental Protection Agency*) e é amplamente utilizado no planejamento e na resposta a emergência envolvendo químicos. O software é disponibilizado gratuitamente no site da EPA.

Ele é um dos softwares que constituem a *CAMEO Software Suite*, juntamente com o CAMEOfm, o CAMEO Chemicals e o MARPLOT. O ALOHA permite a modelagem de nuvens de gás tóxico, nuvens de gás inflamáveis, BLEVEs, explosão de nuvem de vapor, jato de fogo (*jet fire*), e finalmente, incêndio em poça.

Com as informações fornecidas ao software são obtidas estimativas de zonas de ameaça, representadas pelas cores vermelha, laranja e amarela, seguindo a ordem decrescente de risco.

CAPÍTULO 5. ESTUDO DE CASO

Com o intuito de avaliar as consequências da ocorrência de um cenário acidental crítico, como o incêndio em um parque de tancagem, optou-se por avaliar um acidente semelhante ao ocorrido na empresa Petrogold, mas simplificado, com apenas um tanque envolvido no incêndio.

Foram utilizados três métodos para o estudo do cenário.

1. Simulação (ALOHA)
2. Cálculo via Modelagem Matemática para incêndio em poça
3. Cálculo via Modelagem Matemática alternativa para incêndio em poça em piscinas de grandes diâmetros (NIST)

5.1 Simulação

O primeiro método de avaliação aplicado será a simulação utilizando o ALOHA, software introduzido no Capítulo 4, utilizado em resposta a emergência.

5.1.1. Dados da Simulação

O ALOHA solicita do usuário informações sobre o local onde deseja-se realizar a simulação, sobre o produto químico estudado e sobre a atmosfera do local, entre outras.

Para a localização, há um banco de dados com algumas cidades dos Estados Unidos, mas também é possível adicionar uma nova localidade. Assim, adicionou-se a localidade correspondente à Petrogold. A latitude e a longitude foram obtidas a partir do Google Maps e utilizou-se a altitude correspondente à Duque de Caxias. Os dados inseridos no software são apresentados na Figura 16.

Há também um banco de dados para substâncias químicas, mas a gasolina, líquido combustível presente no depósito da Petrogold, de acordo com a Tabela 2, e selecionado para a simulação, não está cadastrado. É possível adicionar um novo componente, informando-se suas propriedades químicas.

Devido à dificuldade em encontrar-se todas as propriedades químicas requeridas para a adição de uma mistura como a gasolina, optou-se por utilizar como químico o

n-octano, que é o principal hidrocarboneto constituinte da gasolina e que está presente no banco de dados do ALOHA.

Location Input

Enter full location name:

Location is

Is location in a U.S. state or territory ?

In U.S. Not in U.S.

Enter approximate elevation

Elevation is ft m

Enter approximate location

deg. min.

Latitude N S

Longitude E W

Figura 16 - Dados de Localização da Petrogold utilizados na simulação
Fonte: Dados inseridos pelo usuário ao ALOHA

Para as condições atmosféricas utilizou-se os dados obtidos pelo METAR (Meteorological Aerodrome Report), uma codificação internacional que apresenta dados meteorológicos utilizados na aviação. Escolheu-se o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Galeão) como referência para os dados do METAR por sua proximidade da Petrogold em comparação com os outros aeródromos existentes.

A velocidade e a direção do vento podem ser obtidas pelo METAR, mas para avaliar-se o efeito do vento sobre a radiação utilizou-se 3 valores para a velocidade do vento, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 - Velocidades do vento avaliadas na simulação

Cenário	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Velocidade do Vento (kt)	1,22	12	20

A velocidade é dada em nó (kt), uma unidade muito utilizada em aviação e equivalente a uma milha náutica, aproximadamente 0,514 m/s.

A velocidade de 1,22kt (0,63m/s) era a mínima permitida para a simulação e representa uma condição próxima à ausência de vento. A velocidade de 12kt (6,17m/s) é a média esperada para essa região, obtida do METAR, e 20kt (10,29m/s) corresponde a uma ocasião de vento mais forte.

A direção do vento utilizada foi de 270° e indica a origem do vento na direção Oeste, conforme apresentado no METAR de 6 de janeiro de 2018 às 14h.

Para a rugosidade do solo, assumiu-se a categoria Urbano ou Floresta (Urban or Forest) por ser a mais apropriada entre as três categorias propostas para representar o entorno da empresa.

A condição de nuvens escolhida foi intermediária entre céu limpo e parcialmente nublado, de acordo com a indicação “FEW” do METAR.

A partir das três velocidades do vento e da cobertura de nuvens, o ALOHA apontou as Classes de Estabilidade que melhor descrevem a combinação dessas duas condições (Tabela 10).

A Classe A indica extremamente instável e a Classe C, levemente instável.

Tabela 10 - Classe de Estabilidade para os três cenários

Cenários	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Classe de Estabilidade	A	C	C

A temperatura do ar também foi obtida pelo METAR de 6 de janeiro de 2018 às 14h. Assumiu-se uma condição sem inversão térmica, e pelos dados da temperatura do ar e do ponto de orvalho da água, assumiu-se uma umidade média.

A Figura 17 e a Figura 18 ilustram os valores relativos às condições atmosféricas utilizados na simulação no Cenário 3.



Finalmente, selecionou-se como fonte uma poça (*puddle*) com diâmetro igual ao diâmetro dos tanques de gasolina, 9,32m, e com o volume da poça igual à capacidade de armazenamento dos mesmos tanques, 508 m², que corresponderia ao tanque cheio. Esses dados foram extraídos da Tabela 2. Os valores utilizados são apresentados na Figura 19. A última seleção foi a escola da temperatura da poça, que foi indicada como sendo igual à temperatura do ar.

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:




  OR enter value : feet meters

Ground Roughness is :

Open Country Urban or Forest OR Input Roughness (Z₀) :

Open Water

Select Cloud Cover :

   OR enter value :
 [0 - 10]

complete cover partly cloudy clear

Figura 17 - Condições Atmosféricas para o Cenário 3 - Parte 1
 Fonte: Dados inseridos pelo usuário ao ALOHA

Atmospheric Options 2




Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :

   OR enter value : %
 [0 - 100]

wet medium dry

Figura 18 - Condições Atmosféricas para o Cenário 3 - Parte 2
 Fonte: Dados inseridos pelo usuário ao ALOHA

Puddle Input

Puddle area diameter is: feet
 yards meters

Select one and enter appropriate data

Volume of puddle
 Average depth of puddle
 Mass of puddle

Volume is: gallons liters
 cubic feet cubic meters

Figura 19 - Definição da poça de líquido inflamável
Fonte: Dados inseridos pelo usuário ao ALOHA

5.1.2 Resultados

Para o cenário acidental simulado, incêndio em poça, o ALOHA apresenta como resultado três zonas de ameaça. A radiação e os efeitos sobre a população para cada zona são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Classificação das Zonas de Perigo de acordo com a radiação e as consequências

Zona	Fluxo de Calor radiante (KW/m ²)	Consequências
Vermelha	10,0	Potencialmente letal em 60s
Laranja	5,0	Queimadura de 2º grau em 60s
Amarela	2,0	Dor em 60s

Utilizando-se o Software MARPLOT 5.1.1 foram plotadas, na localização da Petrogold, as três zonas de ameaça geradas para cada um dos cenários avaliados (vento nulo, moderado e forte). Os resultados são apresentados na Figura 20, Figura 21 e Figura 22.

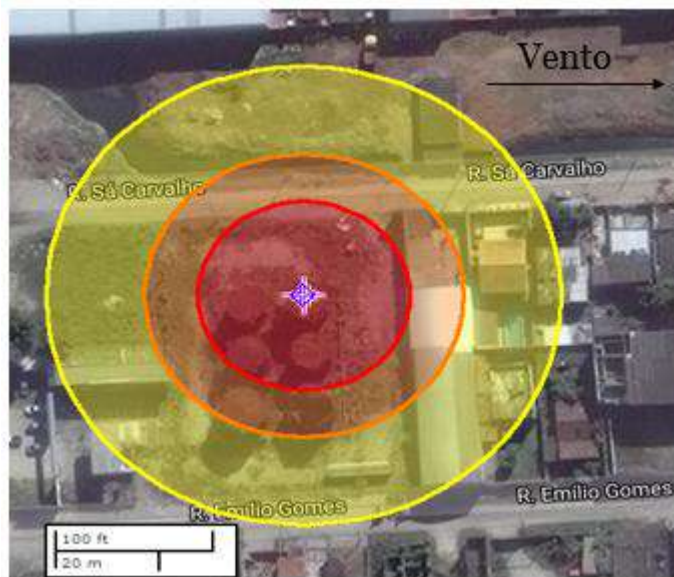


Figura 20 - Zonas de perigo para o cenário 1
Fonte: MARPLOT

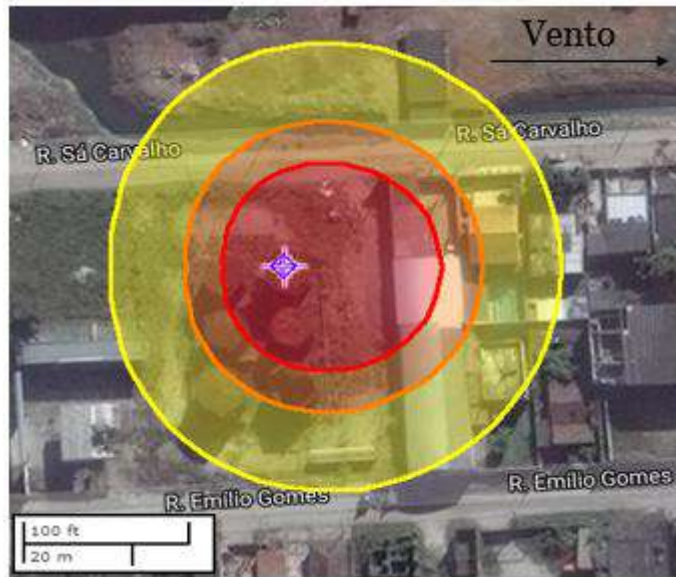


Figura 21 - Zonas de perigo para o cenário 2
 Fonte: MARPLOT

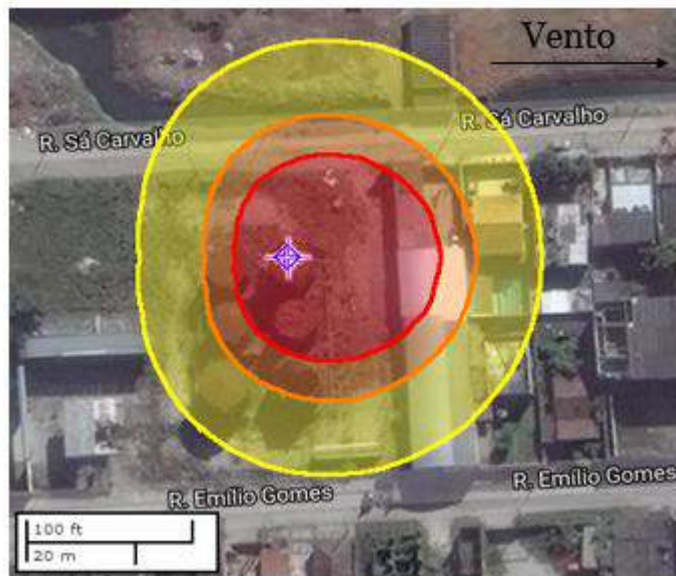


Figura 22 - Zonas de perigo para o cenário 3
 Fonte: MARPLOT

Como pode ser observado, a presença de vento desloca um pouco as zonas de ameaça na direção do vento. Para o cenário 1, de menor velocidade, representado na Figura 20, as zonas de perigo são indicadas por círculos concêntricos cujo o centro é o centro da chama, enquanto para os cenários 2 e 3, apresentados na Figura 21 e na Figura 22, respectivamente, as áreas correspondentes às zonas de perigo são maiores a leste do centro da chama, mesmo sentido do vento.

Para obter uma estimativa das distâncias obtidas pelo ALOHA para os três cenários avaliados, adaptou-se a Figura 20, a Figura 21 e a Figura 22 evidenciando as distâncias do centro da chama com base na escala dada pelo próprio ALOHA. O resultado é apresentado na Figura 23, na Figura 24 e na Figura 25.

Apesar de não ser possível determinar distâncias exatas, as distâncias aproximadas são indicadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Distâncias aproximadas para as zonas de ameaça dos cenários 1, 2 e 3

Zona de Ameaça	Distância do centro da chama ao alvo (m)	Distância do centro da chama ao alvo (m)	Distância do centro da chama ao alvo (m)
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Vermelha	20	30	28
Laranja	30	35	35
Amarela	50	50	48

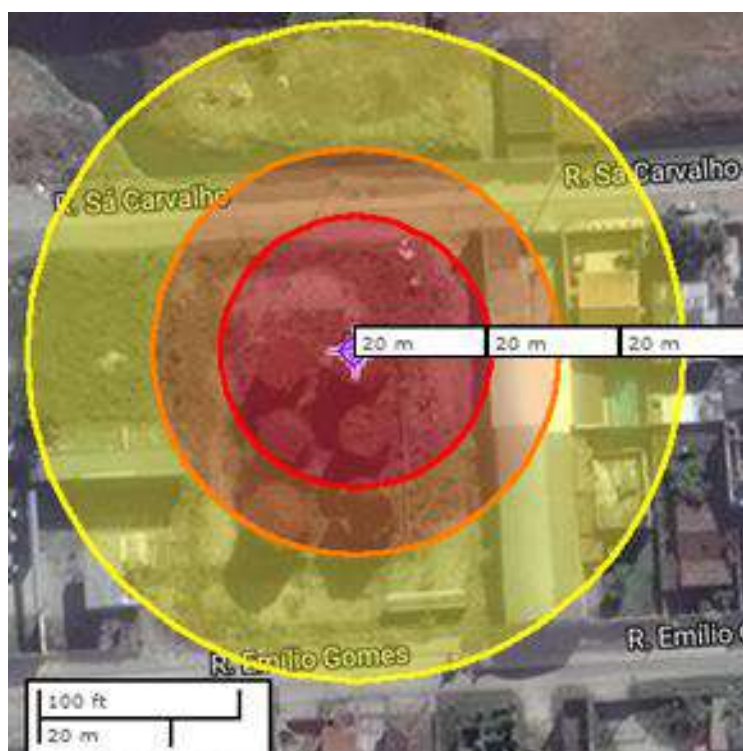


Figura 23 - Distâncias do centro da chama para o cenário 1
Fonte: Adaptado do ALOHA

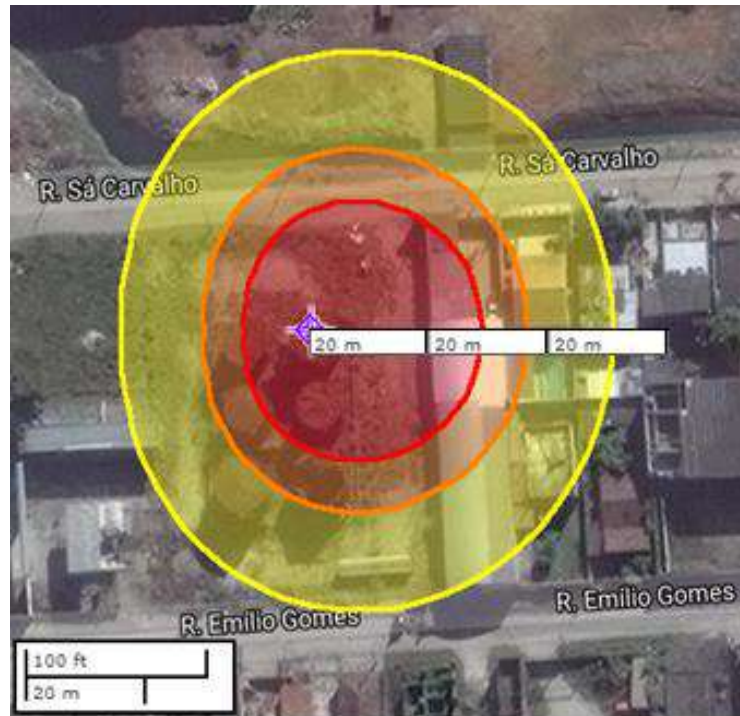


Figura 24 - Distâncias do centro da chama para o cenário 2
 Fonte: Adaptado do ALOHA



Figura 25 - Distâncias do centro da chama para o cenário 3
 Fonte: Adaptado do ALOHA

Como nota-se pelas imagens, a região vizinha aos tanques era cercada majoritariamente por moradias. Em uma situação sem vento, as casas estariam nas zonas de ameaça amarela e laranja, mas com a presença de vento, o deslocamento das zonas de ameaça indicou que algumas residências estariam na zona de perigo vermelha, podendo ser letal em apenas um minuto de exposição à radiação.

A simulação realizada contemplou o incêndio em poça para apenas um dos tanques, mas o incêndio na Petrogold iniciou-se em um tanque e atingiu os cinco demais posteriormente, com o relato de algumas explosões.

As condições de estabilidade e velocidade do vento assumidas são possivelmente diferentes das existentes no dia do acidente e também foi utilizado como líquido combustível para a simulação octano puro, quando na verdade existiam no depósito não apenas gasolina, mas também diesel e etanol.

A defesa civil interditou casas a até 4 quarteirões ao redor do depósito, somando 114 residências, das quais 13 foram diretamente atingidas pelas chamas.

O acidente teve uma fatalidade, resultado da explosão do caminhão-tanque, e sete pessoas foram encaminhadas ao hospital, mas receberam alta pouco tempo depois.

5.2 Modelo teórico

Como mencionado, o ALOHA é um software de resposta à emergência. Ele oferece um resultado de forma rápida e com isso, atende ao propósito para o qual ele é utilizado, onde o tempo de resposta é essencial para evitar maiores danos.

Com o intuito de avaliar-se a resposta do ALOHA, será apresentado o cálculo para um dos cenários estudados utilizando-se a modelagem matemática apresentada no Capítulo 4. O cenário selecionado para o estudo foi o cenário 1, uma vez que a velocidade do vento é mais baixa e a modelagem matemática desenvolvida assume velocidade desprezível. Serão estimadas as distâncias correspondentes às três zonas de perigo identificadas pelo ALOHA, apresentadas na Tabela 11.

5.2.1 Cálculo da Potência Emitida

i. Área da Piscina (A_p)

O diâmetro da piscina (D_p) adotado é o diâmetro do tanque de gasolina, igual a 9,32m, de acordo com a Tabela 2.

Assim, de acordo com a Equação (7), a área da piscina (A_p) é dada por:

$$A_p = \pi \left(\frac{(9,32[m])^2}{4} \right)$$

$$A_p = 68,22 \text{ m}^2$$

ii. Taxa de queima mássica por unidade superficial de área superficial (m'')

Uma vez que o diâmetro do tanque é maior que 5m, deve-se utilizar a taxa de queima mássica assintótica (m''_{∞}) conforme sugerido pela Equação 10.

A Tabela 6

Tabela 6 apresenta o valor de m''_{∞} para alguns líquidos, dentre eles a gasolina, utilizada no estudo. Deve-se lembrar, contudo, que a tabela não é brasileira, de forma que a composição da gasolina utilizada como referência para os dados apresentados pode ser diferente da gasolina comercializada no Brasil.

É importante ressaltar também que o ALOHA utilizou como líquido combustível o n-octano, e não a gasolina, de modo que haveria distinção entre a simulação e o cálculo pela modelagem matemática ainda que tivessem sido utilizados dados da gasolina comercializada no país.

Assim, na ausência de uma fonte brasileira, optou-se por utilizar a Tabela 6.

Logo, aplicando a Equação 11, a taxa de queima mássica assintótica é dada por:

$$m''_{\infty} = 0,8 \cdot 55 \text{ [g/s.m}^2\text{]}$$

$$m''_{\infty} = 44 \text{ g/s.m}^2$$

E também da Tabela 2, obtém-se o coeficiente efetivo de absorção:

$$k' = 2,1 \text{ m}^{-1}$$

Finalmente, pela Equação 9:

$$m'' = 44 \text{ [g/s.m}^2\text{]} \cdot (1 - e^{-2,1 \text{ [m}^{-1}\text{]} \cdot 9,32 \text{ [m]}})$$

$$m'' = 44 \text{ g/s.m}^2$$

iii. Taxa de queima mássica (M)

De acordo com a Equação (6):

$$M = 44 \text{ [g/s.m}^2\text{]} \cdot 68,22 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$M = 3001,68 \text{ g/s}$$

iv. Calor de combustão teórico (H_C)

O calor de combustão teórico pode ser obtido pela Tabela 6.

Assim:

$$H_c = 43,7 \text{ kJ/g}$$

v. Taxa de calor total liberado teórica (\dot{Q})

Utilizando-se a Equação (5):

$$\dot{Q} = 3001,68 \text{ [g/s]} \cdot 43,7 \text{ [kJ/g]}$$

$$\dot{Q} = 131173,42 \text{ kW}$$

vi. Fração do calor total irradiado na forma de radiação (x_{rad})

De acordo com a Tabela 6:

$$x_{\text{chem}} = 0,92$$

$$x_c = 0,61$$

Assim, pela Equação 11:

$$x_{\text{rad}} = 0,92 - 0,61$$

$$x_{\text{rad}} = 0,31$$

vii. Taxa de calor irradiado (\dot{Q}_{rad})

A taxa de calor irradiado é dada pela Equação 4.

Assim:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 0,31 \cdot 131173,42 \text{ [kW]}$$

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 40663,76 \text{ kW}$$

viii. Altura da chama (H_f)

A altura da chama é calculada pela Equação 13, que pode ser utilizada quando a restrição apresentada é obedecida.

A verificação pode ser feita calculando-se a seguinte razão:

$$\frac{\dot{Q}^{2/5}}{D_p} = \frac{(131173,416 \text{ [kW]})^{2/5}}{9,32 \text{ [m]}}$$

$$\frac{\dot{Q}^{2/5}}{D_p} = 11,96 \text{ kW}^{2/5} / \text{m}$$

Logo, a restrição é atendida, e pela Equação 13:

$$H_f = 0,23 (40663,75896)^{2/5} - 1,02 \cdot 9,32$$

$$H_f = 6,54 \text{ m}$$

ix. Área superficial da chama (A_f)

Utilizando-se a Equação (13), a área superficial da chama é dada por:

$$A_f = \pi \cdot 9,32 \text{ [m]} \cdot 6,54 \text{ [m]}$$

$$A_f = 191,5 \text{ m}^2$$

x. Potência Emitida (E)

Finalmente, pode-se calcular a potência emitida, dada pela Equação (3).

Assim:

$$E = \frac{40663,76 \text{ [kW]}}{191,5 \text{ [m}^2\text{]}}$$

$$E = 212,34 \text{ kW/m}^2$$

5.2.2 Fluxo de calor radiante

Para definir as zonas de perigo vermelha, laranja e amarela serão usados os mesmos valores de fluxo de calor radiante (q'') apresentados na Tabela 11:

- i. Zona vermelha: 10 kW/m^2
- ii. Zona laranja: 5 kW/m^2
- iii. Zona amarela: 2 kW/m^2

Assim, será calculado para cada uma dessas zonas o fator de configuração, que indicará a distância em relação à chama.

5.2.3 Fator de Configuração

A partir da Equação 2, pode-se obter a expressão para o fator de configuração (φ), apresentada na Equação 16.

$$\varphi = \frac{q''}{E \tau \varepsilon} \quad (15)$$

Como dito na Seção 3.1.2, pode-se assumir que a transmissividade atmosférica (τ) e a emissividade (ε) são iguais a 1.

Assim, o cálculo do fator de configuração resume-se à razão apresentada na Equação (18).

$$\varphi = \frac{q''}{E} \quad (16)$$

Foram obtidos os seguintes fatores de configuração para as zonas de perigo definidas, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Fator de Configuração para as três zonas de perigo pelo método teórico

Zona de Perigo	Fator de Configuração (ϕ)
Vermelha	0,047
Laranja	0,023
Amarela	0,009

Na Seção 4.3 foram apresentados métodos para o cálculo do fator de configuração a partir dos parâmetros do problema, dentre eles a distância entre a fonte e o alvo.

A Tabela 14 apresenta as distâncias calculadas para cada zona aplicando-se o Modelo de Chama Sólida de Hamilton e Morgan, representado pela Equação (16), e utilizando a ferramenta “Atingir Meta” do software Microsoft Excel, que utiliza um método iterativo.

Tabela 14 - Distância do centro da chama ao alvo pelo modelo de Hamilton e Morgan

Zona de Perigo	Distância do centro da chama ao alvo (m)
Vermelha	21,40
Laranja	29,91
Amarela	47,34

Fonte: Elaborado pela autora



Figura 26 - Representação das zonas de ameaça para o cenário 1 pelo modelo de Hamilton e Morgan

Tabela 15 - Comparação entre os resultados obtidos pelo modelo de Hamilton e Morgan e pelo ALOHA

Zona de Perigo	Distância do centro da chama ao alvo (m) Hamilton e Morgan	Distância do centro da chama ao alvo (m) Aproximação do ALOHA	Erro Relativo: Hamilton e Morgan – ALOHA (%)	Erro Absoluto: Hamilton e Morgan – ALOHA (m)
Vermelha	21,40	20	7,0	1,40
Laranja	29,91	30	0,3	0,19
Amarela	47,34	50	5,3	2,66

Fonte: Elaborado pela autora

Analisando-se os erros absoluto e relativo apresentados na Tabela 15, pode-se admitir que a simulação do ALOHA para o cenário 1 e o cálculo pela modelagem matemática apresentaram resultados bem próximos, o que indica que os dois métodos de cálculo descrevem de forma similar o fenômeno de incêndio em poça para o líquido combustível estudado em condições de ausência de vento.

Também nota-se que a simplificação na composição da gasolina para n-octano, utilizada para o ALOHA, não afetou o resultado final.

A Figura 26 apresenta as marcações das zonas da ameaça no mapa em satélite, a partir dos resultados obtidos pelo modelo de Hamilton e Morgan.

A Tabela 15 apresenta os erros relativo e absoluto entre as distâncias calculadas usando o modelo de Hamilton e Morgan, presentes na Tabela 14, e as distâncias aproximadas obtidas na simulação do cenário 1 no ALOHA, apresentadas na Tabela 12.

5.3 NIST – Modelo Modificado

De acordo com o NIST, as chamas geradas em incêndios em poças de diâmetros maiores tornam-se ocultas pela grande quantidade de fumaça escura gerada, característica da combustão parcial. Essa fumaça cria um bloqueio para a chama luminosa, que é a fonte principal da radiação térmica, como mostra a Figura 27.

Para considerar esse efeito, o NIST propõe o Modelo de Chama Sólida modificado. A diferença entre o Modelo de Chama Sólida convencional e o modificado é apresentada na Figura 28.

No modelo modificado proposto pelo NIST, a fração do calor total irradiado na forma de radiação (x_{rad}) é corrigida pela seguinte expressão:

$$x_{rad} = x_{rad\ max} e^{-kD_p} \quad (17)$$

Tal que:

$$x_{rad\ max} = 0,35$$

$$k = 0,05\ m^{-1}$$



Figura 27 - Redução de luminosidade da chama devido à fumaça
 Fonte: VAZ (2017)

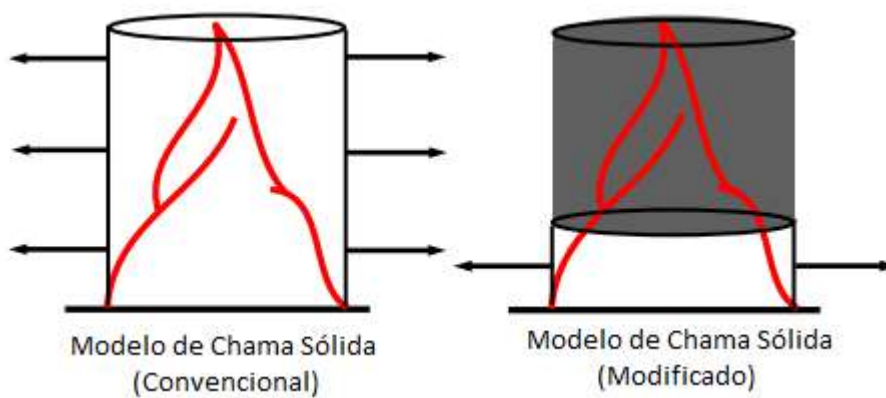


Figura 28 - Modelo de Chama Sólida convencional e modificado
 Fonte: Adaptação da NIST (2000)

Os parâmetros $x_{rad\ max}$ e k baseiam-se no ajuste de dados experimentais de diferentes líquidos combustíveis.

Assim, para o caso estudado, onde $D_p = 9,32m$, usando a Equação (19), tem-se:

$$x_{rad} = 0,35 e^{-0,05.9,32}$$

$$x_{rad} = 0,22$$

Aplicando a Equação 4, com o valor de \dot{Q} calculado anteriormente, obtém-se:

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 0,22 \cdot 131173,416 \text{ [kW]}$$

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = 28858,15 \text{ kW}$$

A metodologia desenvolvida pela NIST considera a potência emitida (E) como a potência emitida pela zona luminosa da chama, assim como a altura da chama (L_f) também se refere exclusivamente à altura da zona luminosa.

O modelo propõe uma potência emitida constante e igual a 100 kW/m^2 , uma vez que esse valor foi citado no Handbook da SFPE (Society of Fire Protection Engineers) de 1995 para chamas de gasolina e querosene.

Para a altura da chama, definida pela metodologia do NIST, pode-se utilizar o gráfico apresentado na Figura 29 (curva "Present Methodology"), onde a altura da chama (H_f) é representada por H, ou a Equação (19).

$$H_f = \frac{x_{\text{rad}} D_p q_f''}{4E} \quad (18)$$

Tal que:

q_f'' : Taxa de liberação de calor por unidade de área

O valor de q_f'' é tabelado e pode ser consultado na Tabela 16.

Para a gasolina:

$$q_f'' = 2400 \text{ kW/m}^2$$

Assim, pela Equação (19):

$$H_f = \frac{0,22 \cdot 9,32[\text{m}] \cdot 2400[\text{KW/m}^2]}{4 \cdot 100[\text{KW/m}^2]}$$

$$H_f = 12,3\text{m}$$

Ao contrário do esperado, obteve-se um valor de altura de chama quase duas vezes maior que o calculado pelo modelo de Heskestad. Isso indica que o diâmetro de poça utilizado não era grande o suficiente para justificar o ajuste proposto pelo NIST, que foca em poças com dezenas a centenas de metros.

Contudo, deve-se ressaltar que o modelo utilizado é apenas um dentre muitos modelos e que dados experimentais para um líquido específico apresentarão ajustes melhores.

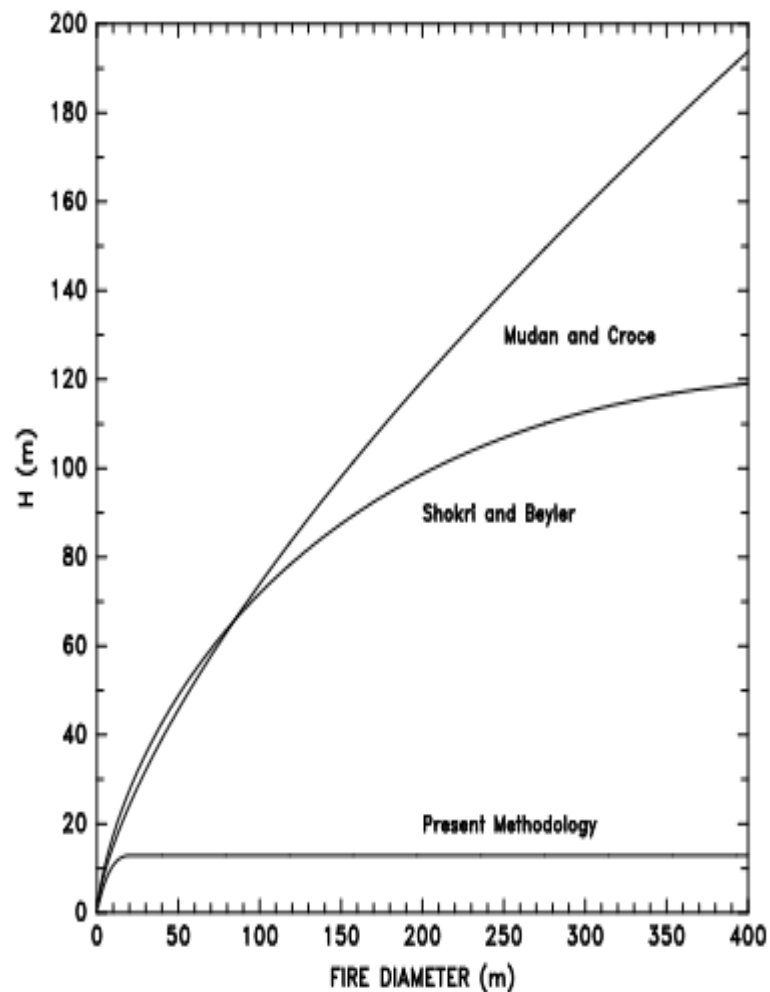


Figura 29 - Relação entre a altura da chama e o diâmetro da poça para gasolina
Fonte: NIST (2000)

Tabela 16 - Dados de incêndio em poça para diferentes líquidos

Líquido	Taxa de queima mássica (\dot{m}'') kg/m ² /s	Calor de Combustão kJ/kg	Taxa de liberação de calor por unidade de área (\dot{q}_f'') kW/m ²
Ácido Acético	0,033	13100	400
Acetona	0,041	25800	1100
Acrilonitrila	0,052	31900	1700
Acetato de Amila	0,102	31400	3300
Álcool Amílico	0,069	34500	2400
Benzeno	0,048	44700	2100
Acetato de Butila	0,1	37700	3800
Álcool Butílico	0,054	35900	1900
m-Cresol	0,082	32600	2700
Petróleo	0,045	42600	1900
Cumeno	0,132	41200	5400
Ciclohexano	0,122	43500	5300
Diesel Combustível No. 2	0,035	39700	1400
Acetato de Etila	0,064	23400	1500
Acrilato de Etila	0,089	25700	2300
Álcool Etilico	0,015	26800	400
Etil Benzeno	0,121	40900	4900
Éter Etilico	0,094	33800	3200
Gasolina	0,055	43700	2400
Hexano	0,074	44700	3300
Heptano	0,101	44600	4500
Álcool Isobutílico	0,054	35900	1900
Acetato de Isopropila	0,073	27200	2000
Álcool Isopropílico	0,046	30500	1400
JP-4	0,051	43500	2200
JP-5	0,054	43000	2300
Querosene	0,039	43200	1700
Álcool Metílico	0,017	20000	340
Butanona	0,072	31500	2300
Pentano	0,126	45000	5700
Tolueno	0,112	40500	4500
Acetato de Vinila	0,136	22700	3100
Xileno	0,09	40800	3700

Fonte: NIST (2000)

CAPÍTULO 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelas três metodologias para o caso estudado (simulação no software ALOHA, utilização de uma modelagem matemática em planilha de cálculo e, por último, avaliação pelo modelo NIST para piscinas de grandes diâmetros) pôde-se obter as seguintes conclusões:

Primeiramente, pela análise das fotos com a localização do depósito da Petrogold e as moradias ao redor, entende-se que os dois primeiros métodos empregados no trabalho indicam que a localização do depósito apresentava riscos à população.

Em relação à localização, entende-se ainda que os 1000m de distanciamento exigidos pelo Inea garantiriam a integridade de pessoas e estruturas frente ao evento simulado, uma vez que as distâncias das zonas de perigo calculadas são mais de dez vezes menores do que esse valor.

Obteve-se uma boa equivalência entre as distâncias calculadas pelo ALOHA e pela modelagem matemática em planilha de cálculo, apesar de algumas diferenças entre as duas metodologias, como a utilização de octano puro na simulação do ALOHA para representar a gasolina.

Também é possível inferir que o efeito de bloqueio da radiação em função da fumaça apresentado pelo NIST observado para piscinas de diâmetros maiores não é muito pronunciado para o diâmetro estudado e que os modelos matemáticos convencionais são capazes de entregar bons resultados para o cenário estudado.

Avaliando-se os cenários com diferentes velocidades para o vento, nota-se o deslocamento das zonas de ameaça na direção do vento, possivelmente associada à inclinação da chama, ocasionada pelo vento. A presença de vento ocasiona um aumento na temperatura da chama, uma vez que o vento facilita a mistura entre o oxigênio e o vapor do líquido, aumentando a energia irradiada. Ele também pode causar mudanças na geometria da chama, não só na inclinação, como também na altura, no tamanho e na base da chama, que pode ser deslocada (HU *et al.*, 2016).

Finalmente, o estudo deixa clara a necessidade de seguir às normas adequadas para a instalação de unidades de grande porte para armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis, uma vez que as consequências, caso ocorra um acidente, podem ser severas.

Cabe aos responsáveis pelas unidades buscar adequar-se às normas, e aos órgãos responsáveis pelo cumprimento das mesmas a fiscalização e punição em caso de não conformidade. Também deve-se buscar proativamente a melhor instrução dos funcionários quanto aos riscos associados às suas atividades e quanto à forma mais segura de executá-las.

Planos de resposta à emergência e simulações de acidentes também aumentam as chances de que um foco de incêndio seja rapidamente combatido, evitando a propagação das chamas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÓS incêndio em Caxias, Petrogold tem atividades suspensas no RJ. G1, Rio de Janeiro, 28 maio 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/05/apos-incendio-em-caxias-petrogold-tem-atividades-suspensas-no-rj.html>>. Acesso em: 17 setembro 2017.

ATUAÇÃO conjunta foi essencial para debelar incêndio em Santos. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 14 abril 2015.

AVIATION WEATHER. Disponível em: <https://www.aviationweather.gov/adds/metars?station_ids=SBGL&std_trans=standard&chk_metars=on&hoursStr=past+3+hours&chk_tafs=on&submitmet=Get+Weather>. Acesso em: 6 janeiro 2018.

BOMBEIROS tentam conter incêndio em depósito de combustíveis no RJ. G1, Rio de Janeiro, 23 maio 2013. Disponível em <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/05/bombeiros-tentam-conter-incendio-no-rj.html>>. Acesso em: 16 setembro 2017.

BRASIL, ABNT. NBR 17505: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. 7 Fevereiro 2013.

BRASIL, Corpo de Bombeiros. Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSCIP), Decreto nº 897 de 21 Setembro 1976, Rio de Janeiro.

BRASIL. Ministério Público do Estado de São Paulo. Portaria nº 28/2015, de 02 de Abril 2015. Danos Ambientais decorrentes de incêndio em tanques de armazenagem na empresa Ultracargo, em Santos. GAEMA. São Paulo.

CETESB multa Ultracargo em R\$ 22,5 milhões pelo incêndio em Santos. Sistema Ambiental Paulista, São Paulo, 14 abril 2015. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/cetesb-multa-ultracargo-em-mais-de-22-milhoes-pelo-incendio-no-terminal-da-alemoa>. Acesso em: 23 setembro 2017.

CROWL, Daniel A.; LOUVAR Joseph F.. Segurança de Processos Químicos – Fundamentos e Aplicações, 3ª Ed, 2015.

CRUZ, Cintia; VIÉGAS, Giulliane. Distribuidora de combustível funcionava sem qualquer licença. Extra, Rio de Janeiro, 26 maio 2013. Disponível em <<https://extra.globo.com/noticias/rio/baixada-fluminense/distribuidora-de-combustivel-funcionava-sem-qualquer-licenca-8496156.html>>. Acesso em: 16 setembro 2017.

FOGO já é o segundo maior da história mundial. A Tribuna, São Paulo, 7 de abril de 2015. Disponível em: <<http://www.tribuna.com.br/noticias/noticias-detalle/cidades/fogo-ja-e-o-segundo-maior-da-historia-mundial/?cHash=98bf011fff5c13a8467d26b2a3116f5c>>. Acesso em: 22 setembro 2017.

GISSLER, Stephanie E.; GISSLER, Jurgen; TRULBY, Mike. Fire Suppressing Agent: A Halon Alternative. NIST, USA, Abril 1999. Disponível em: <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/fire_research/R9902737.pdf>. Acesso em: 15 Dezembro 2017.

GOOGLE MAPS. Distribuidora Petrogold. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-22.6712511,-43.2712236,132m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 25 novembro 2017.

GOOGLE MAPS. Terminais Ultracargo. 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-23.9262657,-46.3574207,403m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 25 novembro 2017.

HU, L.H.; KUANG, C.; ZHONG X. P.. Research on Pool Fire Behaviors in Wind – State of the Art and Future Challenges. University of Science and Technology of China, Hefei, Abril 2016. Disponível em: <<http://sklfs.ustc.edu.cn/static/8thISFEH/2.pdf>>. Acesso em: 8 janeiro 2018.

IMPACTOS do incêndio de tanques em Santos vão durar 5 anos. Uol, São Paulo, 12 abril 2015. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2015/04/12/impactos-do-incendio-de-tanques-em-santos-vaodurar-5-anos.htm>>. Acesso em: 22 setembro 2017.

INCÊNDIO em depósito de Caxias, RJ, deixa um morto, diz prefeitura. G1, Rio de Janeiro, 23 maio 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2013/05/incendio-em-deposito-de-caxias-rj-deixa-um-morto-diz-prefeitura.html>>. Acesso em: 16 setembro 2017.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Relatório de Atendimento - Petrogold Distribuidora De Derivados De Petróleo Ltda. Rio de Janeiro, 12 junho 2013.

LEES, Frank P. Loss Prevention in the Process Industries – Vol. 2, 2ª Ed, 1996.

LISAN, Marco Aurélio. Depósito que pegou fogo em Caxias tinha aprovação dos bombeiros. O Globo, Rio de Janeiro, 24 maio 2013. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/rio/deposito-que-pegou-fogo-em-caxias-tinha-aprovacao-dos-bombeiros-8487979>>. Acesso em: 16 setembro 2017.

MARCHETTI, Lawrence J. Fire Dynamic Series: Estimating Fire Flame Height and Radiant Heat Flux From Fire. PDH Center, 2012.

MCGRATTAN, Kevin B.; BAUM, Howard R..HAMINS, Anthony. Thermal Radiation from Large Pool Fires. NIST, U.S. Department of Commerce, Novembro 2000. Disponível em: <http://ws680.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=909967>. Acesso em: 10 novembro 2017.

MELLO, G.C., Riscos do imprevisível ao inevitável. Cadernos de Seguro, Ed. 176, 16 julho 2013. Disponível em: <<http://cadernosdeseguro.funenseg.org.br/pdf/cad-seg-176--entrevista.pdf>>. Acesso em: 17 setembro 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Normas Regulamentadoras. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso em: 12 outubro 2017.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 20: Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR 23: Proteção Contra Incêndios.

MP divulga laudo e pede multa de R\$ 3,6 bilhões por incêndio na Ultracargo. G1, Santos, 29 novembro 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sp/santos->

regiao/noticia/2016/11/mp-divulga-laudo-e-pede-multa-de-r-36-bilhoes-por-incendio-na-ultracargo.html>. Acesso em: 22 dezembro 2017.

NOVA explosão em depósito de combustível assusta moradores. O Dia, Rio de Janeiro, 24 maio 2013. Disponível em <<http://odia.ig.com.br/noticia/rio/2013-05-24/nova-explosao-em-deposito-de-combusitvel-assusta-moradores.html>>. Acesso em: 17 setembro 2017.

PIRES, Fernando. Após incêndio, Santos estuda restringir atividade na Alemoa. Valor Econômico, Santos, 4 abril 2015. Disponível em: <www.valor.com.br/brasil/4001336/apos-incendio-santos-estuda-restringir-atividade-na-alemoa>. Acesso em: 22 setembro 2017.

PIRES, Fernando. Ministério Público quer R\$ 3,6 bi da Ultracargo por incêndio em Santos. Valor Econômico, Santos, 29 novembro 2016. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4790937/ministerio-publico-quer-r-36-bi-da-ultracargo-por-incendio-em-santos>>. Acesso em: 22 setembro 2017.

ULTRACARGO. Terminal de Santos. Disponível em: <<http://www.ultracargo.com.br/br/localidades/santos-sp>>. Acesso em: 25 novembro 2017.

VAZ JUNIOR, Carlos A.. Modelagem e Simulação de Incêndios. Escola de Química, Rio de Janeiro, 2017.

VEREADORA de Duque de Caxias cobra medidas punitivas contra a empresa Petrogold. Baixada Fácil, Rio de Janeiro, 01 outubro 2013. Disponível em <<http://baixadafacil.com.br/municipios/vereadora-de-duque-de-caxias-cobra-medidas-punitivas-contr-a-empresa-petrogold-2650.html>> . Acesso em: 16 setembro 2017.

WERNECK, Antônio; LISAN, Marco Aurélio; BERTA, Ruben. Estado promete força-tarefa para fechar depósitos clandestinos de combustíveis. O Globo, Rio de Janeiro, 25 de maio de 2013. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/rio/estado-promete-forca-tarefa-para-fechar-depositos-clandestinos-de-combustiveis-8495883>>. Acesso em: 16 setembro 2017.