



Análise Quantitativa de Riscos de um Posto de Combustíveis

Fabiane Corrêa Crizio

Projeto Final de Curso

Orientador

Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc.

Maio de 2011

ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS DE UM POSTO DE COMBUSTÍVEIS

Fabiane Corrêa Crizio

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Carlos André Vaz Junior, D.Sc.

Juliana Schmitz G. C. Matos, M.Sc.

Roberta dos Santos Peixoto, Eng. Química

Orientado por:

Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc.

Ricardo Porto Cabete, Eng. Químico

Rio de Janeiro, RJ – Brasil
Maio de 2011

Crizio, Fabiane Corrêa.

Análise quantitativa de riscos de um posto de combustíveis / Fabiane Corrêa Crizio. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2011.

Dedicatória

Dedico esse projeto à minha mãe, que viveu comigo uma longa e difícil jornada acadêmica.

Citação

“A alegria está na luta, na tentativa, no sofrimento envolvido.
Não na vitória propriamente dita.”

Mahatma Gandhi

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pela oportunidade de acesso ao conhecimento, considerando este Projeto Final de Curso como resultado de uma caminhada que não se iniciou na UFRJ.

Aos meus familiares mais próximos, que me incentivaram muito e sempre acreditaram em meu sucesso.

Aos meus queridos amigos, que conviveram com inúmeras variações de humor e compreenderam minha ausência em tantos momentos importantes.

Aos meus orientadores, que trabalharam muito para que esse estudo fosse feito com a melhor qualidade possível.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, acompanharam de perto essa longa e conturbada caminhada.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenharia Química.

ANÁLISE QUANTITATIVA DE RISCOS DE UM POSTO DE COMBUSTÍVEIS

Fabiane Corrêa Crizio

Maio, 2011

Orientadores: Prof. Márcio Nele de Souza, D.Sc.
Ricardo Porto Cabete, Eng. Químico

O estudo consiste na elaboração de uma Análise Quantitativa de Riscos da operação de um Posto de Combustíveis localizado na orla de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro.

Seu objetivo é identificar possíveis acidentes que possam colocar em risco a saúde e a segurança dos trabalhadores e da população presente no entorno da instalação.

Foram definidos os objetivos da análise e determinada a distribuição populacional, assim como descritas as instalações e determinadas as fronteiras abrangidas pela análise.

As substâncias envolvidas foram caracterizadas e, através da realização da APP, foram identificados os cenários de acidentes relacionados com as operações/processos da instalação.

Frequências de ocorrência dos cenários foram avaliadas e, em seguida, analisadas as consequências e definidas as áreas vulneráveis.

Os riscos para as operações envolvidas na instalação foram avaliados e comparados com critérios de aceitabilidade.

Foi concluído se a instalação oferece riscos aceitáveis à população ou não, sendo necessário propor medidas de redução de riscos.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Etapas do Trabalho	1
1.2	Organização do Relatório	2
2	DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO E DA REGIÃO	3
2.1	Descrição do Posto de Combustíveis	3
2.2	Descrição da Região	4
2.2.1	Localização Geográfica e Dados Populacionais	4
2.2.2	Características Meteorológicas	6
3	CARACTERIZAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS	9
4	IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS	14
4.1	Metodologia da Análise Preliminar de Perigos (APP)	14
4.2	Resultados da APP	19
4.3	Seleção dos Cenários de Acidente	19
5	AVALIAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS	20
5.1	Frequências dos Eventos Iniciadores	20
5.2	Cálculo das Frequências dos Cenários de Acidentes	22
6	ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS E DE VULNERABILIDADE	23
6.1	Metodologia da Análise de Vulnerabilidade	23
6.2	Análise dos Efeitos Físicos	24
7	AVALIAÇÃO DOS RISCOS	29
7.1	Riscos Sociais	29
7.1.1	Conceituação	29
7.1.2	Resultados: Riscos Sociais	30
7.2	Riscos Individuais	31
7.2.1	Conceituação	31
7.2.2	Resultados: Riscos Individuais	31
8	CONCLUSÕES	32
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXO 1 PLANILHAS DE APP		
ANEXO 2 MEMÓRIAS DE CÁLCULO		

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Etapas de uma Análise de Riscos	2
Figura 2.1 – Localização do Posto de Combustíveis	4
Figura 2.2 – Identificação das Áreas em um Raio de 250 m no Entorno do Posto	5
Figura 4.1 – Planilha de Análise Preliminar de Perigos	18
Figura 6.1 – Geometria Triangular para Cálculo do Alcance	26
Figura 6.2 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-01	28
Figura 6.3 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-02	28
Figura 6.4 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-03	28

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Levantamento Populacional Diurno	5
Tabela 2.2 – Levantamento Populacional Noturno.....	5
Tabela 2.3 – Densidade Demográfica da Região	6
Tabela 2.4 – Temperatura Média Ambiente (°C) para o Período Diurno.....	6
Tabela 2.5 – Temperatura Média Ambiente (°C) para o Período Noturno.....	7
Tabela 2.6 – Umidade Relativa do Ar Média (%) para o Período Diurno	7
Tabela 2.7 – Umidade Relativa do Ar Média (%) para o Período Noturno	8
Tabela 2.8 – Dados Médios na Região para o Período Diurno	8
Tabela 2.9 – Dados Médios na Região para o Período Noturno	8
Tabela 3.1 – Características da Gasolina Comum	9
Tabela 3.2 – Características da Gasolina Aditivada	10
Tabela 3.3 – Características da Gasolina de Alta Octanagem	11
Tabela 3.4 – Características do Álcool Etílico Anidro Combustível	12
Tabela 3.5 – Características do Óleo Diesel.....	13
Tabela 4.1 – Descrição das Categorias de Frequência.....	15
Tabela 4.2 – Descrição das Categorias de Severidade	16
Tabela 4.3 – Matriz de Tolerabilidade de Riscos	17
Tabela 4.4 – Legenda da Tabela 4.3	17
Tabela 4.5 – Matriz de Riscos	19
Tabela 4.6 – Cenários de Acidente Selecionados na APP.....	19
Tabela 5.1 – Taxas de Falha Utilizadas	20
Tabela 5.2 – Fatores de Utilização por Combustível.....	21
Tabela 5.3 – Frequência Anual do EI-01.....	21
Tabela 5.4 – Frequência Anual do EI-02.....	21
Tabela 5.5 – Frequência Anual do EI-03.....	21
Tabela 5.6 – Probabilidades de Ignição Imediata	22
Tabela 5.7 – Frequências dos Cenários de Acidentes	22
Tabela 6.1 – Modelagens Utilizadas nos Cálculos Matemáticos	25
Tabela 6.2 – Caracterização do EI-01	26
Tabela 6.3 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-01	27
Tabela 6.4 – Caracterização do EI-02	27
Tabela 6.5 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-02	27
Tabela 6.6 – Caracterização do EI-03	27
Tabela 6.7 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-03.....	27
Tabela 7.1 – Risco Social para o EI-01	29
Tabela 7.2 – Risco Social para o EI-02.....	30
Tabela 7.3 – Risco Social para o EI-03.....	30

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho consiste na elaboração de um estudo de Análise Quantitativa de Riscos decorrentes da operação de um Posto de Combustíveis localizado na orla de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro.

O estudo tem por objetivo identificar possíveis acidentes, cujas repercussões possam colocar em risco a saúde e a segurança dos trabalhadores e da população presente no entorno da instalação, bem como causar danos à instalação e ao meio ambiente.

A prefeitura do Rio de Janeiro havia proibido a venda de combustíveis em territórios litorâneos da cidade, devido a possíveis problemas ambientais e de segurança, através do Decreto 27738, de 23 de março de 2007.

Dessa maneira, esta Análise de Riscos busca avaliar os riscos impostos pelo empreendimento à população externa, circunvizinha à instalação, representado pela estimativa dos riscos individuais e sociais para os cenários de acidentes classificados como críticos.

1.1 Etapas do Trabalho

Conforme ilustra a Figura 1.1, as etapas para a realização da Análise de Riscos desta instalação podem ser resumidas em:

- 1ª) Definição dos objetivos da análise, determinação da distribuição populacional, descrição das instalações e delimitação das fronteiras abrangidas pela análise.
- 2ª) Identificação dos cenários de acidentes relacionados com as operações/processos da instalação, através da realização da Análise Preliminar de Perigos (APP).
- 3ª) Avaliação das frequências de ocorrência dos Eventos Iniciadores (EI), as quais foram obtidas utilizando-se dados de taxas de falhas de vazamentos em componentes, extraídas de banco de dados.
- 4ª) Caracterização dos cenários de acidentes e avaliação dos efeitos devido aos efeitos físicos identificados.
- 5ª) Avaliação dos riscos das operações envolvidas nas instalações, comparação dos riscos com critérios de aceitabilidade do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e recomendações de medidas mitigadoras dos riscos, quando necessário.

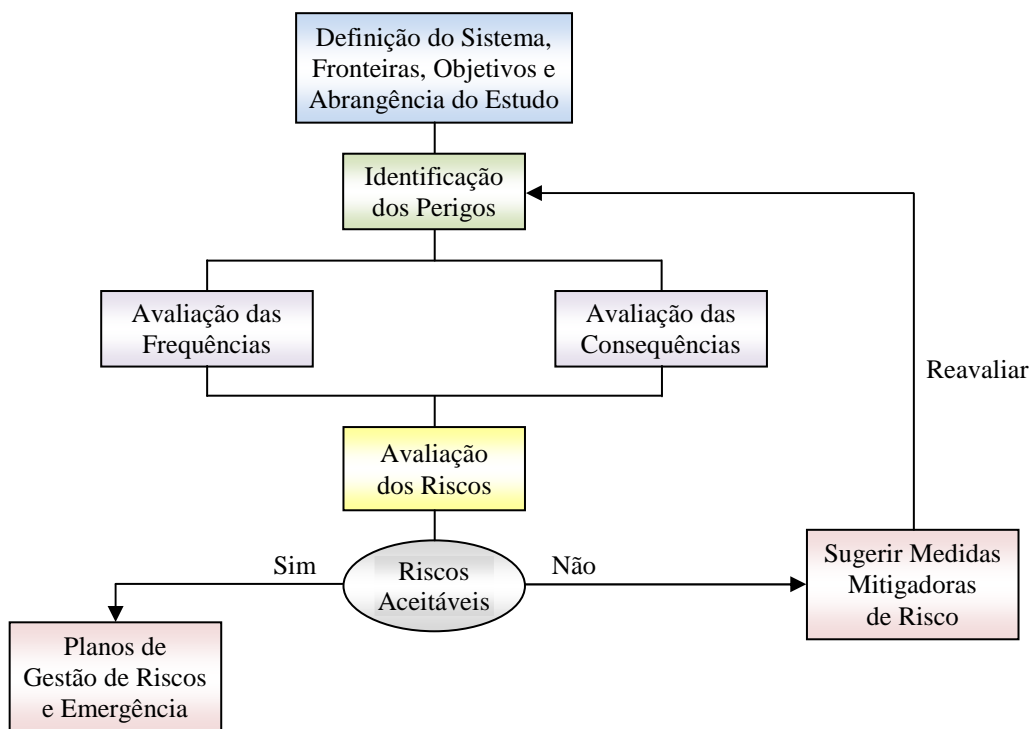


Figura 1.1 – Etapas de uma Análise de Riscos

1.2 Organização do Relatório

Este trabalho está estruturado em nove capítulos, organizados conforme apresentado abaixo:

A introdução está apresentada neste Capítulo 1, enquanto a descrição técnica das instalações, incluindo descrição da região de interesse, e as características dos produtos envolvidos, encontram-se nos Capítulos 2 e 3, respectivamente.

A análise preliminar de perigos (APP) e a identificação dos eventos iniciadores (EIs) encontram-se apresentadas no Capítulo 4. As planilhas de APP encontram-se no Anexo 1.

O Capítulo 5 apresenta os detalhes acerca do cálculo das frequências dos cenários de acidentes identificados. A análise de consequências e vulnerabilidade encontra-se apresentada no Capítulo 6. Os cálculos encontram-se no Anexo 2.

No Capítulo 7 encontra-se a avaliação de riscos, enquanto as conclusões finais desta análise estão apresentadas no Capítulo 8. Por fim, no Capítulo 9, encontram-se as referências bibliográficas utilizadas neste estudo.

2 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO E DA REGIÃO

Neste capítulo, são apresentadas informações básicas para a realização da Análise Quantitativa de Riscos (AQR), tais como: descrição sumária da instalação e dos sistemas de segurança disponíveis, distribuição populacional na região circunvizinha à instalação e dados meteorológicos.

Para a realização da análise de riscos é fundamental o conhecimento das instalações, de suas fronteiras, das interdependências entre os sistemas, do inventário e das condições do material envolvido.

A Seção 2.1 contém a descrição sumária da instalação e de seus sistemas de segurança. Os dados referentes à região de interesse, incluindo a localização geográfica da instalação em estudo, a distribuição populacional da região e os dados meteorológicos estão apresentados na Seção 2.2.

2.1 Descrição do Posto de Combustíveis

O Posto de Combustíveis escolhido para este estudo exerce atividades que envolvem a revenda varejista de combustíveis (gasolina, álcool e óleo diesel) e calibração de pneus, não havendo sistema de lavagem, nem loja de conveniência. Seu funcionamento é diário, durante 24 horas. Sua localização está apresentada na Figura 2.1.

O abastecimento do posto é realizado de segunda a sábado, entre 18h e 20h, e as carretas que o abastecem comportam entre 10.000 e 30.000 litros de combustível, permanecendo no local por até duas horas. São dois dias para o abastecimento de gasolina comum, um dia para o de gasolina aditivada, um dia para o de gasolina de alta octanagem, um dia para o abastecimento de álcool e um para o de diesel.

Possui doze tanques de parede dupla para armazenamento dos combustíveis, sendo divididos da seguinte forma: quatro de 15.000 litros para gasolina comum, dois de 15.000 litros para gasolina aditivada, dois de 10.000 litros para gasolina de alta octanagem, dois de 10.000 litros para álcool e dois de 10.000 litros para óleo diesel. Os tanques não são inertizados, e possuem monitoramento intersticial, a fim de detectar eventuais vazamentos e evitar uma possível contaminação do solo.

O Posto é dotado de canaletas ao redor da pista de abastecimento, que têm a finalidade de conter os eventuais derramamentos ocorridos durante as operações de abastecimento ou de descarga dos combustíveis e direcioná-los para um separador de água e óleo individual e segregado dos demais separadores existentes.

No posto existem oito bombas de abastecimento, em um total de vinte e oito bicos, sendo oito deles para gasolina comum, oito para gasolina aditivada, quatro para gasolina de alta octanagem, quatro para álcool e quatro para óleo diesel. São vendidos diariamente, em média, 7.000 litros de gasolina comum, 2.000 litros de gasolina aditivada, 1.200 litros de gasolina de alta octanagem, 2.500 litros de álcool e 500 litros de diesel.



Figura 2.1 – Localização do Posto de Combustíveis

2.2 Descrição da Região

2.2.1 Localização Geográfica e Dados Populacionais

O posto está localizado no canteiro central da Avenida Atlântica, entre as ruas Paula Freitas e Hilário de Gouveia, em Copacabana, no município do Rio de Janeiro. Ao norte, a região é residencial e, ao sul, está situada a Praia de Copacabana.

Para estimativa do número de pessoas presentes na área residencial, foram considerados, de forma conservativa, edifícios de dez andares, com quatro apartamentos por andar. Foram estimadas três pessoas por residência durante o dia e cinco à noite, em dias úteis, e duas pessoas durante o dia e cinco à noite, nos fins de semana.

Em um raio de 250 metros, foram determinadas seis diferentes regiões, identificadas na Figura 2.2. O levantamento populacional está apresentado nas Tabelas 2.1 e 2.2.



Figura 2.2 – Identificação das Áreas em um Raio de 250 m no Entorno do Posto

Tabela 2.1 – Levantamento Populacional Diurno

Região	Identificação	População	
		Dias Úteis	Fins de Semana
R1	Quarteirão entre as ruas Figueiredo Magalhães e Siqueira Campos (5 edifícios)	600	400
R2	Quarteirão entre as ruas Siqueira Campos e Hilário de Gouveia (4 edifícios)	480	320
R3	Quarteirão entre as ruas Hilário de Gouveia e Paula Freitas (6 edifícios)	720	480
R4	Quarteirão entre as ruas Paula Freitas e República do Peru (6 edifícios)	720	480
R5	Quarteirão entre as ruas República do Peru e Fernando Mendes (3 edifícios)	360	240
R6	Praia, entre as ruas Figueiredo Magalhães e Fernando Mendes	500	2000
Total:		3380	3920

Fonte: Foto Aérea (Figura 2.2)

Tabela 2.2 – Levantamento Populacional Noturno

Região	Identificação	População	
		Dias Úteis	Fins de Semana
R1	Quarteirão entre as ruas Figueiredo Magalhães e Siqueira Campos (5 edifícios)	1000	1000
R2	Quarteirão entre as ruas Siqueira Campos e Hilário de Gouveia (4 edifícios)	800	800
R3	Quarteirão entre as ruas Hilário de Gouveia e Paula Freitas (6 edifícios)	1200	1200
R4	Quarteirão entre as ruas Paula Freitas e República do Peru (6 edifícios)	1200	1200
R5	Quarteirão entre as ruas República do Peru e Fernando Mendes (3 edifícios)	600	600
R6	Praia, entre as ruas Figueiredo Magalhães e Fernando Mendes	200	600
Total:		5000	5400

Fonte: Foto Aérea (Figura 2.2)

Tabela 2.3 – Densidade Demográfica da Região

Região	Área da Região (km ²)	Densidade Demográfica (pessoas/km ²)			
		Período Diurno Dias Úteis	Período Diurno Fins de Semana	Período Noturno Dias Úteis	Período Noturno Fins de Semana
R1	11,20	54	36	89	89
R2	14,40	33	22	56	56
R3	18,00	40	27	67	67
R4	21,60	33	22	56	56
R5	12,80	28	19	47	47
R6	83,20	6	24	2	7
Total	161,20	194	150	317	322

2.2.2 Características Meteorológicas

Para este estudo, foram utilizados os dados meteorológicos da Estação do Galeão (Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro / Galeão – Antônio Carlos Jobim), disponibilizados pelo Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA). A Estação está localizada a uma altitude de 5 m, latitude 22°50'S e longitude 43°15'W. Os dados meteorológicos são referentes aos anos de 2005 a 2009, e estão apresentados nas Tabelas 2.4 a 2.7. Foram informados dados para os períodos em que foram registrados valores válidos, o que exclui os anos de 2010 e 2011.

Tabela 2.4 – Temperatura Média Ambiente (°C) para o Período Diurno

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	27,52	29,16	26,45	26,72	26,84
Fevereiro	27,00	28,68	28,29	26,60	28,19
Março	27,50	28,01	28,42	26,24	27,05
Abril	26,57	26,39	26,71	25,06	24,62
Mai	23,65	22,53	22,15	22,50	23,29
Junho	22,21	22,42	21,55	20,89	20,34
Julho	20,52	21,84	20,93	20,62	21,20
Agosto	23,67	23,01	21,84	-	21,55
Setembro	22,80	22,77	24,13	-	24,03
Outubro	26,67	24,33	25,13	-	24,53
Novembro	25,87	25,60	25,53	-	29,14
Dezembro	26,66	27,74	27,85	-	27,12
Média	25,05	25,21	24,92	24,09	24,83
	24,82				

Fonte: ICEA (2005 a 2009)

Tabela 2.5 – Temperatura Média Ambiente (°C) para o Período Noturno

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	26,00	26,06	24,91	24,39	24,93
Fevereiro	25,64	26,57	26,11	25,25	26,33
Março	25,76	26,77	26,40	25,03	25,61
Abril	25,50	25,06	25,24	24,02	23,11
Mai	23,58	22,23	21,50	21,79	22,43
Junho	21,90	21,61	21,03	20,76	19,95
Julho	20,39	21,12	20,49	20,61	20,40
Agosto	22,72	22,15	21,10	-	21,21
Setembro	21,43	21,37	22,26	-	22,95
Outubro	24,58	22,64	23,52	-	22,98
Novembro	23,63	23,51	23,62	-	26,60
Dezembro	24,15	25,15	25,49	-	25,18
Média	21,76	23,69	23,47	23,12	23,47
	23,10				

Fonte: ICEA (2005 a 2009)

Tabela 2.6 – Umidade Relativa do Ar Média (%) para o Período Diurno

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	74,87	68,10	79,46	71,00	72,97
Fevereiro	72,11	74,00	71,05	75,98	71,63
Março	76,88	74,97	69,10	76,66	70,36
Abril	76,27	73,21	73,78	77,73	70,61
Mai	79,65	78,34	79,20	76,86	70,60
Junho	82,52	75,90	81,82	79,68	73,96
Julho	82,39	72,89	75,02	77,13	74,24
Agosto	74,00	69,74	74,72	-	71,11
Setembro	77,03	68,00	65,69	-	69,72
Outubro	71,48	75,05	68,26	-	75,44
Novembro	69,83	75,59	71,03	-	66,12
Dezembro	70,47	70,98	68,90	-	74,84
Média	75,63	73,06	73,17	76,43	71,80
	74,02				

Fonte: ICEA (2005 a 2009)

Tabela 2.7 – Umidade Relativa do Ar Média (%) para o Período Noturno

Mês / Ano	2005	2006	2007	2008	2009
Janeiro	80,59	78,13	84,87	79,64	81,08
Fevereiro	78,18	80,83	76,68	80,38	77,64
Março	82,58	76,98	75,23	79,40	74,75
Abril	80,27	77,55	79,47	81,97	75,61
Maio	79,68	76,56	79,90	78,92	72,47
Junho	80,73	77,68	83,02	81,79	72,98
Julho	82,45	76,93	77,53	76,59	75,08
Agosto	77,52	71,75	76,92	-	71,53
Setembro	81,77	75,13	72,28	-	73,32
Outubro	79,91	81,56	73,26	-	82,66
Novembro	78,94	83,94	76,90	-	77,22
Dezembro	79,06	79,60	77,98	-	82,11
Média	80,14	78,05	77,84	79,81	76,37
	78,44				

Fonte: ICEA (2005 a 2009)

Tabela 2.8 – Dados Médios na Região para o Período Diurno

Dado	Valor
Temperatura Ambiente	24,82 °C
Umidade Relativa do Ar	74,02 %

Tabela 2.9 – Dados Médios na Região para o Período Noturno

Dado	Valor
Temperatura Ambiente	23,10 °C
Umidade Relativa do Ar	78,44 %

3 CARACTERIZAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS

Neste capítulo serão descritas as propriedades físico-químicas e toxicológicas dos seguintes combustíveis manuseados na instalação em questão, conforme as FISPQs – Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos:

- ✓ Gasolina comum;
- ✓ Gasolina aditivada;
- ✓ Gasolina de alta octanagem;
- ✓ Álcool etílico anidro combustível;
- ✓ Óleo diesel.

As características da Gasolina Comum estão apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características da Gasolina Comum

Identificação do Produto	
Nome do produto	Gasolina Comum
Ingredientes que contribuam para o perigo	Hidrocarbonetos saturados: 27-47% (p/p)
	Hidrocarbonetos olefínicos: 15-28% (p/p)
	Hidrocarbonetos aromáticos: 26-35% (p/p)
	Álcool etílico anidro combustível: 13-25% (p/p)
	Benzeno: < 1% (p/p)
	Aditivos: 0,5% (máximo)
Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido límpido (isento de material em suspensão)
Cor	Amarelada
Odor	Forte característico
Faixa de destilação	27-220 °C a 101,325 kPa
Ponto de fulgor	< 0°C
Pressão de vapor	79 kPa a 37,8 °C (máximo)
Densidade	0,73-0,77
Solubilidade na água	Insolúvel
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Estabilidade e Reatividade	
Instabilidade	Estável sob condições normais de uso
Reações perigosas	Pode reagir com oxidantes fortes
Substâncias incompatíveis	Oxidantes fortes e oxigênio concentrado
Produtos perigosos de decomposição	Peróxidos e goma
Identificação de Perigos	
Perigos físicos e químicos	Líquido inflamável
Perigos Específicos	Produto inflamável e nocivo

Fonte: Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

As características da Gasolina Aditivada estão apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Características da Gasolina Aditivada

Identificação do Produto	
Nome do produto	Gasolina Aditivada
Ingredientes que contribuem para o perigo	Hidrocarbonetos saturados: 27-47% (p/p)
	Hidrocarbonetos olefínicos: 15-28% (p/p)
	Hidrocarbonetos aromáticos: 26-35% (p/p)
	Álcool etílico anidro combustível: 13-25% (p/p)
	Benzeno: < 1% (p/p)
	Aditivos: 0,5% (máximo)
Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido límpido (isento de material em suspensão)
Cor	Amarelada
Odor	Forte característico
Faixa de destilação	27-220 °C a 101,325 kPa
Ponto de fulgor	< 0°C
Pressão de vapor	79 kPa a 37,8°C (máximo)
Densidade	0,73-0,77
Solubilidade na água	Insolúvel
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Estabilidade e Reatividade	
Instabilidade	Estável sob condições normais de uso
Reações perigosas	Pode reagir com oxidantes fortes
Substâncias incompatíveis	Oxidantes fortes e oxigênio concentrado
Produtos perigosos de decomposição	Peróxidos e goma
Identificação de Perigos	
Perigos físicos e químicos	Líquido inflamável
Perigos Específicos	Produto inflamável e nocivo

Fonte: Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

As características da Gasolina de Alta Octanagem estão apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Características da Gasolina de Alta Octanagem

Identificação do Produto	
Nome do produto	Gasolina de Alta Octanagem
Ingredientes que contribuem para o perigo	Hidrocarbonetos saturados: 20-53% (v/v)
	Hidrocarbonetos olefínicos: 19-32% (v/v)
	Hidrocarbonetos aromáticos: 28-48% (v/v)
	Benzeno: < 1% (v/v)
	Aditivos: 0,5% (máximo)
Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido
Cor	Amarelada
Odor	Forte característico
Ponto de ebulição	27-220 °C a 101,325 kPa
Ponto de fulgor	< 0°C (vaso fechado)
Temperatura de auto-ignição	250 °C
Limites de explosividade no ar	Superior: 7,6%
	Inferior: 1,4%
Pressão de vapor	62 kPa (máximo)
Densidade	0,72-0,77
Solubilidade na água	Insolúvel
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Estabilidade e Reatividade	
Instabilidade	Estável sob condições normais de uso
Reações perigosas	Pode reagir com oxidantes fortes
Substâncias incompatíveis	Oxidantes fortes e oxigênio concentrado
Produtos perigosos de decomposição	Peróxidos e goma
Identificação de Perigos	
Perigos físicos e químicos	Líquido inflamável
Perigos específicos	Produto inflamável e nocivo

Fonte: Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

As características do Álcool Etílico Anidro Combustível estão apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Características do Álcool Etílico Anidro Combustível

Identificação do Produto	
Nome do produto	Álcool Etílico Anidro Combustível
Nome genérico	Etanol
Sinônimos	Álcool Etílico, Álcool Anidro, AEAC
Registro CAS	Etanol (CAS 64-17-5): 99,3% (mínimo)
Ingredientes que contribuam para o perigo	Água: 0,7 % (máximo)
Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido límpido
Cor	Incolor
Odor	Característico
Temperatura de ebulição	78,5 °C a 101,325 kPa
Ponto de fulgor	13°C (vaso fechado)
Temperatura de auto-ignição	423 °C
Limites de explosividade no ar	Superior: 19%
	Inferior: 3,3%
Pressão de vapor	5,9 kPa (máximo)
Densidade de vapor	1,59
Densidade	0,7915
Solubilidade na água	Solúvel
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Estabilidade e Reatividade	
Instabilidade	Estável sob condições normais de uso
Substâncias incompatíveis	Ácido nítrico, ácido perclórico, ácido permangânico, anidrido crômico
Identificação de Perigos	
Perigos físicos e químicos	Líquido inflamável
Perigos específicos	Produto inflamável e altera o comportamento

Fonte: Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

As características do Óleo Diesel estão apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Características do Óleo Diesel

Identificação do Produto	
Nome do produto	Óleo Diesel
Ingredientes que contribuam para o perigo	Hidrocarbonetos parafínicos
	Hidrocarbonetos naftênicos
	Hidrocarbonetos aromáticos
	Enxofre: 0,2% (p/p) (máximo)
	Compostos nitrogenados: impureza
Compostos oxigenados: impureza	
Propriedades Físico-Químicas	
Estado físico	Líquido límpido (isento de material em suspensão)
Odor	Característico
Temperatura (faixa de destilação)	100-370 °C a 101,325 kPa
Temperatura de decomposição	400 °C
Ponto de fulgor	55 °C (mínimo) – método vaso fechado, MB48
Densidade	0,835-0,845 a 20 °C
Solubilidade na água	Desprezível
Solubilidade em solventes orgânicos	Solúvel
Estabilidade e Reatividade	
Instabilidade	Estável sob condições normais de uso
Reações perigosas:	Pode reagir com oxidantes fortes
Substâncias incompatíveis	Oxidantes
Identificação de Perigos	
Perigos físicos e químicos	Líquido inflamável
Perigos específicos	Produto inflamável e nocivo

Fonte: Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos

4 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

Este capítulo apresenta a identificação prévia de possíveis eventos acidentais, decorrentes da operação do Posto de Combustíveis, que possam eventualmente gerar danos ao ser humano, ao meio ambiente ou comprometer a integridade de equipamentos.

A metodologia empregada é a Análise Preliminar de Perigos (APP), que consiste em uma técnica qualitativa que permite identificar os cenários de acidentes passíveis de ocorrer em um dado sistema, analisando suas causas e efeitos, e buscando propor medidas para redução dos riscos do sistema.

4.1 Metodologia da Análise Preliminar de Perigos (APP)

A Análise Preliminar de Perigos (APP) é uma metodologia estruturada para identificar os perigos que podem ser causados devido à ocorrência de eventos indesejáveis. Esta metodologia pode ser usada para sistemas em início de desenvolvimento ou em fase de projeto e, também, como revisão geral de segurança de sistemas já em operação.

Na APP são levantadas as causas de cada um dos possíveis eventos acidentais e as suas respectivas consequências e, em seguida, é feita uma avaliação qualitativa do risco associado a cada cenário acidental, avaliando a frequência de ocorrência do evento acidental, segundo suas causas, e avaliando a severidade do cenário de acidente. Portanto, os resultados obtidos são qualitativos, não fornecendo estimativa numérica.

A realização da análise foi feita através do preenchimento de planilhas para as atividades desenvolvidas durante a operação e manutenção do Posto de Combustíveis. O modelo de planilha utilizada neste estudo, apresentada na Figura 4.1, contém nove colunas, as quais foram preenchidas conforme a descrição a seguir.

1ª Coluna: Perigo

Esta coluna contém os perigos identificados para o módulo de análise em estudo. De uma forma geral, estes perigos estão relacionados a eventos acidentais que têm potencial para causar danos às instalações, aos operadores, ao público e ao meio ambiente.

2ª Coluna: Causas

As causas de cada perigo são discriminadas nesta coluna. Estas causas podem envolver tanto falhas intrínsecas de equipamentos (vazamentos, rupturas, falhas de instrumentação) como erros humanos de operação.

3ª Coluna: Efeitos

As possíveis consequências geradas a partir dos eventos identificados são listadas nessa coluna. São considerados tanto distúrbios operacionais, como perda de produto e interrupção da transferência ou parada da unidade, bem como efeitos que possam gerar incêndios, explosões ou danos ao homem, meio ambiente e instalações.

4ª Coluna: Salvaguardas Existentes

Nesta coluna são indicadas práticas padrão, assim como sistemas de proteção dos equipamentos (alarmes, intertravamentos e bloqueios) que atuem como fatores que indicam, detectam, atenuam ou impeçam a ocorrência de situações de risco.

5ª Coluna: Categoria de Frequência

No âmbito deste estudo, um evento acidental é definido como o conjunto formado pela origem do acidente (perigo) e suas possíveis causas. De acordo com a metodologia de APP adotada neste trabalho, cada evento de acidente foi classificado em categorias de frequência, as quais fornecem uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência para os eventos identificados. A Tabela 4.1 descreve as categorias de frequência.

Tabela 4.1 – Descrição das Categorias de Frequência

Categoria		Frequência	Descrição
A	Extremamente Remota	< 1 em 10 ⁶ anos	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer durante a vida útil do empreendimento. Sem referências históricas de que isso tenha ocorrido.
B	Remota	1 em 10 ³ anos a 1 em 10 ⁵ anos	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.
C	Pouco Provável	1 em 30 anos a 1 em 10 ³ anos	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.
D	Provável	1 por ano a 1 em 30 anos	Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação.
E	Frequente	> 1 por ano	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.

6ª Coluna: Categoria de Severidade

Os cenários de acidente são classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada um dos cenários identificados (composto pelo evento acidental e possíveis desdobramentos). A Tabela 4.2 descreve as categorias de severidade.

Tabela 4.2 – Descrição das Categorias de Severidade

Categorias de Severidade		Descrição / Características			
		Segurança Pessoal	Segurança das Instalações	Meio Ambiente	Imagem da Empresa
I	Desprezível	Sem lesões ou, no máximo, caso de primeiros socorros sem afastamento.	Sem danos ou danos insignificantes aos equipamentos ou instalações.	Sem danos ou danos mínimos ao meio ambiente.	Sem impacto
II	Marginal	Lesões leves em funcionários e terceiros. Ausência de lesões extramuros.	Danos leves aos equipamentos ou instalações (os danos são controláveis e/ou de baixo custo de reparo).	Danos devido a situações ou valores considerados toleráveis entre nível mínimo e médio.	Impacto local
III	Crítica	Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros.	Danos severos a equipamentos ou instalações.	Danos devido a situações ou valores considerados toleráveis entre nível médio e máximo.	Impacto regional
IV	Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas intra ou extramuros.	Danos irreparáveis a equipamentos ou instalações (reparação lenta ou impossível).	Danos devido a situações ou valores considerados acima dos níveis máximos toleráveis.	Impacto nacional ou internacional

7ª Coluna: Categoria de Risco

Combinando-se as categorias de frequência com as de severidade, obtém-se uma Matriz de Riscos. Esta matriz tem as mesmas categorias de frequência e severidade das anteriores, porém, para a classificação do risco, são consideradas três regiões, conforme apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Matriz de Tolerabilidade de Riscos

		Descrição / Características				Categorias de Frequência				
						A Extremamente Remota	B Remota	C Pouco Provável	D Provável	E Frequente
		Segurança Pessoal	Patrimônio	Meio Ambiente	Imagem	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável na vida útil da instalação. Sem referências históricas.	Não esperado ocorrer durante a vida útil da instalação, apesar de haver referências históricas.	Possível de ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer mais de uma vez durante a vida útil da instalação.	Esperado ocorrer muitas vezes durante a vida útil da instalação.
Categorias de Severidade das Consequências	IV Catastrófica	Provoca morte ou lesões graves em uma ou mais pessoas intra ou extramuros.	Perda da instalação industrial.	Danos severos em áreas sensíveis ou se estendendo para outros locais.	Impacto nacional e/ou internacional.	M	M	NT	NT	NT
	III Crítica	Lesões de gravidade moderada em pessoas intramuros. Lesões leves em pessoas extramuros.	Danos severos a sistemas da instalação industrial (reparação lenta).	Danos severos com efeito localizado.	Impacto regional.	T	M	M	NT	NT
	II Marginal	Lesões leves em empregados e terceiros. Ausência de lesões extramuros.	Danos leves aos sistemas com comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial.	Danos leves.	Impacto local.	T	T	M	M	M
	I Desprezível	Sem lesões ou, no máximo, casos de primeiros socorros, sem afastamento.	Danos leves aos sistemas sem comprometimento da continuidade operacional da instalação industrial.	Sem danos ou com danos insignificantes.	Sem impacto.	T	T	T	T	M

Tabela 4.4 – Legenda da Tabela 4.3

Categoria de Risco	Descrição do Nível de Controle Necessário
Tolerável (T)	Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.
Moderado (M)	Controles adicionais devem ser avaliados com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementados àqueles considerados praticáveis.
Não Tolerável (NT)	Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência e, adicionalmente, as consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos.

8ª Coluna: Ações / Questões / Recomendações

As recomendações têm o objetivo de propor medidas, tanto no sentido preventivo quanto no corretivo, para evitar ou minimizar os cenários identificados, seja pela redução da probabilidade de ocorrência, ou pela mitigação das consequências.

9ª Coluna: Cenário

Esta coluna contém um número de identificação do cenário de acidente, sendo preenchida sequencialmente para facilitar a consulta a qualquer cenário de interesse.

Análise Preliminar de Perigos (APP)								
Companhia:					Referência:			
Sistema:							Data:	
Grupo de Trabalho:							Revisão:	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário

Figura 4.1 – Planilha de Análise Preliminar de Perigos

4.2 Resultados da APP

Os riscos associados aos possíveis acidentes ou desvios das condições normais de processo identificados neste estudo estão apresentados nas planilhas de APP, no Apêndice A deste trabalho.

As planilhas foram elaboradas levando-se em consideração:

- ✓ Transferência de combustível do caminhão tanque para o reservatório de combustível;
- ✓ Tanque de armazenamento de combustível;
- ✓ Abastecimento de veículos.

A matriz de riscos apresentada na Tabela 4.5 corresponde à avaliação dos riscos em relação às pessoas, às instalações e ao meio ambiente.

Tabela 4.5 – Matriz de Riscos

Matriz de Risco		Frequência				
		A	B	C	D	E
Severidade	IV					
	III	2	3			
	II	1	4	5		
	I		2	7	6	

Foram identificados 22 cenários com Risco Tolerável (região verde da matriz), 8 cenários com Risco Moderado (região amarela da matriz) e nenhum cenário com Risco Não Tolerável (região vermelha da matriz).

4.3 Seleção dos Cenários de Acidente

A realização da APP teve, como um dos principais objetivos, identificar os eventos iniciadores de acidente, assim como suas respectivas causas e consequências, que serão avaliados através da Análise Quantitativa de Riscos (AQR).

Os cenários da APP classificados na categoria de severidade crítica à segurança pessoal serão considerados na AQR, conforme sugerido pela Instrução Técnica para Elaboração de Estudo de Análise de Risco para Instalações Convencionais do INEA. Os eventos iniciadores selecionados conforme estes critérios encontram-se listados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Cenários de Acidente Selecionados na APP

Evento Iniciador para a AQR	Cenários da APP
EI-01: Grande liberação de líquido inflamável (Gasolina)	3
EI-02: Grande liberação de líquido inflamável (Álcool)	7
EI-03: Grande liberação de líquido inflamável (Diesel)	11

5 AVALIAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS

A frequência de um cenário de acidente depende diretamente da frequência do evento iniciador. As frequências de falhas identificadas são requeridas para dar um peso apropriado ao risco de um perigo particular, em uma AQR. Idealmente, os dados das taxas de falha a serem usados deveriam ser específicos para as instalações em estudo. Entretanto, isso normalmente não é factível. Na maioria dos casos, os dados específicos da instalação analisada não estão disponíveis ou não são, em número, de forma a representar um dado estatístico.

Desta forma, são utilizados dados históricos médios da razão de falha, como forma de substituição dos dados específicos da instalação, trabalhando-se com modificações dos dados históricos médios para atender as especificações básicas de determinada área, caso seja necessário. As taxas de falha utilizadas para cada componente estão listadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Taxas de Falha Utilizadas

Componentes	Frequência (/ano)	%
Caminhão Tanque	$5,60 \times 10^{-6}$	0,17
Válvula Manual	$7,80 \times 10^{-5}$	2,36
Flange	$4,00 \times 10^{-4}$	12,12
Mangote de 2"	$2,80 \times 10^{-3}$	84,85
Total	$3,30 \times 10^{-3}$	100,00

Fonte: *Health and Safety Executive*

5.1 Frequências dos Eventos Iniciadores

A frequência anual de ocorrência de cada evento iniciador foi obtida através da soma das frequências de falha de cada um dos equipamentos que constituem os cenários de acidente, sendo eles o caminhão tanque, o mangote de abastecimento e suas conexões (válvulas manuais e flanges). A seguir estão apresentadas as frequências de ocorrência calculadas para cada um dos eventos iniciadores selecionados no Capítulo 4.

Para os componentes presentes nesses eventos, os fatores de utilização foram calculados conforme a equação abaixo, e apresentados na Tabela 5.2.

$$\text{Fator de utilização} = \frac{h * n_1 * n_2}{n_T}$$

Onde:

h: número de horas diárias que o caminhão tanque permanece no posto durante o descarregamento do combustível

n_1 : número de dias semanais em que cada tipo de combustível é descarregado

n_2 : número total de semanas em um ano (52)

n_T : número total de horas em um ano (8760)

A frequência anual de cada um dos eventos iniciadores está apresentada nas Tabelas 5.3 a 5.5.

Tabela 5.2 – Fatores de Utilização por Combustível

Combustível	n	h	Total
Gasolina Comum	2	2	0,02
Gasolina Aditivada	1	2	0,01
Gasolina de Alta Octanagem	1	2	0,01
Álcool	1	2	0,01
Diesel	1	2	0,01

Tabela 5.3 – Frequência Anual do EI-01

Descrição dos Componentes	Comprimento (m) ou Número de Componentes	Fator de Utilização	Frequência (/ano)
Caminhão Tanque	1	0,04	$2,24 \times 10^{-7}$
Válvula Manual	2	0,04	$6,24 \times 10^{-6}$
Flange	4	0,04	$6,40 \times 10^{-5}$
Mangote de 2"	8	0,04	$8,96 \times 10^{-4}$
Total (/ano):			$9,66 \times 10^{-4}$

Tabela 5.4 – Frequência Anual do EI-02

Descrição dos Componentes	Comprimento (m) ou Número de Componentes	Fator de Utilização	Frequência (/ano)
Caminhão Tanque	1	0,01	$5,60 \times 10^{-8}$
Válvula Manual	2	0,01	$1,56 \times 10^{-6}$
Flange	4	0,01	$1,60 \times 10^{-5}$
Mangote de 2"	8	0,01	$2,24 \times 10^{-4}$
Total (/ano):			$2,42 \times 10^{-4}$

Tabela 5.5 – Frequência Anual do EI-03

Descrição dos Componentes	Comprimento (m) ou Número de Componentes	Fator de Utilização	Frequência (/ano)
Caminhão Tanque	1	0,01	$5,60 \times 10^{-8}$
Válvula Manual	2	0,01	$1,56 \times 10^{-6}$
Flange	4	0,01	$1,60 \times 10^{-5}$
Mangote de 2"	8	0,01	$2,24 \times 10^{-4}$
Total (/ano):			$2,42 \times 10^{-4}$

5.2 Cálculo das Frequências dos Cenários de Acidentes

Para a probabilidade de ignição imediata, foi utilizado o estado estacionário com o uso da reatividade do material. Os valores das probabilidades de ignição imediata adotados estão apresentados na Tabela 5.6. Neste trabalho, foi considerado o valor de 0,065 para probabilidade de ignição imediata.

Como fontes de ignição imediata, foram considerados 1600 veículos por hora transitando pela Avenida Atlântica e demais ruas incluídas no raio considerado, durante o dia, e 1000 veículos, à noite, em dias úteis. Nos fins de semana, podem ser observados 900 veículos por hora, durante o dia, e 600 veículos, à noite.

Tabela 5.6 – Probabilidades de Ignição Imediata

Inventário		Probabilidade de Ignição Imediata		
Contínuo	Instantâneo	Líquido	Gás, baixa reatividade	Gás, alta reatividade
< 10 kg/s	< 1000 kg	0,065	0,02	0,2
10 - 100 kg/s	1000 - 10000 kg	0,065	0,04	0,5
> 100 kg/s	> 10000 kg	0,065	0,09	0,7

Fonte: *Guideline for Quantitative Risk Assessment – Part One: Establishments (Purple Book)*

A frequência de cada cenário de acidente é calculada pelo produto da frequência do evento iniciador pela probabilidade de ignição, conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Frequências dos Cenários de Acidentes

Evento Iniciador	Frequência do EI (/ano)	Probabilidade de Ignição	Frequência (/ano)
EI-01	$9,66 \times 10^{-4}$	0,065	$6,28 \times 10^{-5}$
EI-02	$2,42 \times 10^{-4}$	0,065	$1,57 \times 10^{-5}$
EI-03	$2,42 \times 10^{-4}$	0,065	$1,57 \times 10^{-5}$

6 ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS E DE VULNERABILIDADE

Este capítulo tem como principal objetivo apresentar a extensão da área ao redor das instalações analisadas que está sujeita aos efeitos físicos de possíveis acidentes. Para a avaliação das consequências de cada um dos cenários de acidentes identificados, é preciso inicialmente caracterizar de forma clara e precisa cada um dos tipos de cenários de acidentes. A determinação desta área vulnerável, para os acidentes mais críticos identificados na APP, compreende a metodologia da Análise de Vulnerabilidade.

6.1 Metodologia da Análise de Vulnerabilidade

A Análise de Vulnerabilidade consiste no conjunto de modelos e técnicas usadas para estimativa das áreas potencialmente sujeitas aos efeitos danosos de liberações acidentais de substâncias perigosas ou de energia, de forma descontrolada. Estas liberações descontroladas geram os chamados efeitos físicos dos acidentes, que potencialmente podem gerar danos às pessoas e/ou instalações.

A avaliação dos efeitos é realizada utilizando-se modelos de cálculo que possam representar os possíveis efeitos físicos decorrentes das diferentes tipologias acidentais, tais como:

✓ Radiações térmicas de incêndios:

- Jato de fogo (*jet fire*): Consiste em uma combustão contínua de um vazamento de fluido inflamável ou combustível sob pressão. Este tipo de incêndio tem origem em fissuras ou fraturas de tubulações, vasos, reatores, rompimento de selos de bombas e equivalentes.

- Incêndio em poça (*pool fire*): Acidente típico de vazamento de líquidos inflamáveis e combustíveis hidrocarbonetos leves (GLP, nafta, gasolina, diesel, querosene de aviação, etanol, metanol). Acontece um vazamento, forma-se uma poça e, sobre esta, forma-se uma fase vapor, que se mistura com o oxigênio do ar, criando as condições para um incêndio.

- Incêndio em nuvem (*flash fire*): Incêndio de uma nuvem de vapor onde a massa envolvida e o seu grau de confinamento não são suficientes para atingir o estado de explosão.

✓ Sobrepressões provenientes de explosões.

✓ Concentrações tóxicas decorrentes de emissões de gases e vapores.

Os danos ao homem e às propriedades dependem das consequências físicas dos acidentes e da capacidade de resistência dos corpos expostos. Uma vez estimadas as possíveis consequências decorrentes dos cenários gerados pelas hipóteses acidentais, os mesmos deverão servir de base para a análise do ambiente vulnerável no entorno da instalação em estudo.

Para a avaliação da área vulnerável, a primeira etapa é a caracterização do cenário de acidente, que consiste na apresentação de todas as condições físicas e das hipóteses necessárias para a determinação dos efeitos físicos do acidente, tais como a localização do vazamento na instalação (ponto de liberação), o produto envolvido e as suas condições termodinâmicas no momento do vazamento. De acordo com os resultados da APP, o efeito danoso de liberações acidentais de substâncias perigosas identificado foi o Incêndio em Poça.

6.2 Análise dos Efeitos Físicos

Os valores de referência utilizados neste estudo seguem a Instrução Técnica para Estudos de Análise de Risco do INEA, utilizando as equações de Probit (Pr), segundo Eisenberg. Para radiação térmica, os níveis a serem considerados para incêndios em poça são:

- ✓ 5 kW/m²: ocorrência de queimadura grave em 60 segundos.
- ✓ 0,62 kW/m²: 1% de letalidade em 30 minutos.

As equações de Probit representam uma relação entre a intensidade do efeito causador do dano e a variável de Probit (Probability Unit), que está diretamente ligada à probabilidade de observação do dano, sendo:

$$Y = k_1 + k_2 * \ln V$$

Onde:

Y: variável Probit

k₁, k₂: parâmetros específicos para cada tipo de dano e de substância

V: medida do efeito físico causador dos danos aos recursos vulneráveis

A variável de Probit está diretamente relacionada à probabilidade de ocorrência dos danos, através da relação dada pela equação:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$$

Onde:

P: probabilidade de ocorrência do dano

u: variável de integração

O modelo de probabilidade utilizado neste estudo determina os níveis de fatalidade provenientes da radiação térmica emitida em incêndios em poça.

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

Onde:

t: tempo de exposição à radiação (s)

I: intensidade da radiação térmica (W/m²)

Para se determinar o alcance para os níveis dos efeitos físicos decorrentes dos cenários submetidos à análise de vulnerabilidade são utilizadas modelagens matemáticas, listadas na Tabela 6.1. A memória de cálculo é apresentada no Anexo 2 deste trabalho.

Tabela 6.1 – Modelagens Utilizadas nos Cálculos Matemáticos

Equação Matemática	Legenda
1) $\Delta H^* = \Delta H_V + \int_{T_a}^{T_{BP}} C_p dT$	ΔH^* : calor de vaporização modificado (kJ/kg) ΔH_V : calor de vaporização do líquido na temperatura ambiente (kJ/kg) T_{BP} : temperatura de ebulição (K) T_a : temperatura ambiente (K) C_p : capacidade calorífica do líquido (kJ/kg.K)
2) $\dot{y}_{max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$	\dot{y}_{max} : velocidade de queima da superfície líquida da poça (m/s) ΔH_C : calor de combustão (kJ/kg)
3) $m_B = 1 * 10^{-3} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$	m_B : taxa de queima de massa (kg/m ² .s)
4) $\Sigma e_f = \Sigma K_f \left(\frac{v^2}{2g_c} \right)$	e_f : perda por atrito v : velocidade de saída do líquido (m/s) g_c : constante gravitacional K_f : perda de carga
5) $\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{1}{2g_c} (v_2^2 - v_1^2) + \Sigma e_f + \frac{W_S}{\dot{m}} = 0$	P_1 : pressão no tanque (Pa) P_2 : pressão externa (Pa) g : aceleração da gravidade (9,8 m/s ²) v_1 : velocidade do líquido no tanque (m/s) v_2 : velocidade de saída do líquido (m/s) W_S : trabalho no eixo (J) \dot{m} : vazão volumétrica do líquido (kg/s)
6) $A = \frac{\pi D^2}{4}$	A : área do furo (m ²) D : diâmetro do furo (m)
7) $\dot{m} = \rho v A$	A : área do furo (m ²)
8) $D_{max} = 2 \sqrt{\frac{\dot{V}_L}{\pi \dot{y}}}$	D_{max} : diâmetro máximo da poça (m) \dot{V}_L : vazão volumétrica do líquido (m ³ /s) \dot{y} : velocidade de queima da superfície líquida da poça (m/s)
9) $A = \frac{\pi D^2}{4}$	A : área da poça (m ²) D : diâmetro da poça (m)
10) $\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61}$	H : altura visível da chama (m) ρ_a : densidade do ar (1,2 kg/m ³ , a 20 °C e 1 atm)
11) $P_w = 1013,25(RH) \exp \left[14,4114 - \frac{5328}{T_a} \right]$	P_w : pressão parcial da água (N/m ²) RH: umidade relativa do ar (%)
12) $\tau_a = 2,02(P_w X_s)^{-0,09}$	τ_a : transmissividade atmosférica X_s : distância entre a superfície da chama e o alvo (m)
13) $F_p = \frac{1}{4\pi x^2}$	F_p : fator de visão da fonte pontual (m ⁻²) x : distância entre a fonte pontual e o alvo (m)
14) $E_r = \tau_a \eta m_B \Delta H_C A F_p$	E_r : fluxo de radiação térmica no alvo (kW/m ²) η : fração de radiação na combustão (0,4)

Fonte: AIChE – American Institute of Chemical Engineers

Com base na geometria triangular, proposta pelo AIChE (*American Institute of Chemical Engineers*), e apresentada na Figura 6.1, o cálculo do alcance (d) será dado através da equação:

$$x^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} + d\right)^2$$

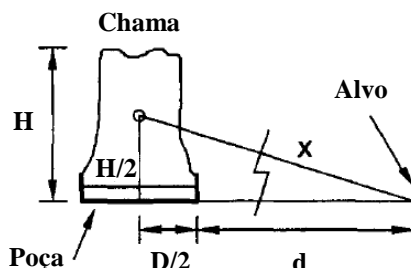


Figura 6.1 – Geometria Triangular para Cálculo do Alcance

Foram utilizados os valores médios de temperatura ambiente e umidade relativa do ar referentes ao período noturno, uma vez que a transferência de combustível do caminhão tanque para o reservatório de combustível é realizada à noite.

São descritos, nas tabelas a seguir, os eventos iniciadores selecionados para os cálculos da vulnerabilidade e apresentados os alcances para o nível de efeito considerado neste estudo, sendo especificadas, para cada evento, as condições de liberação do material.

As áreas vulneráveis apresentadas nas Figuras 6.2, 6.3 e 6.4, sob a forma de círculos, representam os limites das áreas que poderiam vir a ser atingidas. Deve ser ressaltado que, em caso de ocorrência de um acidente, apenas a área do círculo situada na direção do vento no momento do acidente seria efetivamente atingida.

Tabela 6.2 – Caracterização do EI-01

Evento Iniciador 01	
Descrição do Evento Iniciador	Grande liberação de líquido inflamável (Gasolina), na transferência de combustível do caminhão tanque para o reservatório de combustível, devido à ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões.
Material	Gasolina
Estado do Material	Líquido
Calor de Combustão do Material	46442,4 kJ/kg
Calor de Vaporização do Material	335 kJ/kg
Capacidade Calorífica do Material	2,22 kJ/kg.K
Temperatura de Ebulição do Material	69 °C
Efeito	Incêndio em poça

Tabela 6.3 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-01

Nível de Radiação	Alcance (m)
0,62 kW/m ²	82,58
5 kW/m ²	26,76

Tabela 6.4 – Caracterização do EI-02

Evento Iniciador 02	
Descrição do Evento Iniciador	Grande liberação de líquido inflamável (Álcool), na transferência de combustível do caminhão tanque para o reservatório de combustível, devido à ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões.
Material	Álcool
Estado do Material	Líquido
Calor de Combustão do Material	26777,6 kJ/kg
Calor de Vaporização do Material	842 kJ/kg
Capacidade Calorífica do Material	2,39 kJ/kg.K
Temperatura de Ebulição do Material	78 °C
Efeito	Incêndio em poça

Tabela 6.5 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-02

Nível de Radiação	Alcance (m)
0,62 kW/m ²	30,99
5 kW/m ²	8,42

Tabela 6.6 – Caracterização do EI-03

Evento Iniciador 03	
Descrição do Evento Iniciador	Grande liberação de líquido inflamável (Diesel), na transferência de combustível do caminhão tanque para o reservatório de combustível, devido à ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões.
Material	Diesel
Estado do Material	Líquido
Calor de Combustão do Material	45605,6 kJ/kg
Calor de Vaporização do Material	581 kJ/kg
Capacidade Calorífica do Material	2,01 kJ/kg.K
Temperatura de Ebulição do Material	180 °C
Efeito	Incêndio em poça

Tabela 6.7 – Alcances para o Incêndio em Poça no EI-03

Nível de Radiação	Alcance (m)
0,62 kW/m ²	56,61
5 kW/m ²	17,73



Figura 6.2 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-01



Figura 6.3 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-02



Figura 6.4 – Área Vulnerável a Incêndio em Poça para o EI-03

7 AVALIAÇÃO DOS RISCOS

Este capítulo apresenta os resultados das avaliações quantitativas de risco dos eventos identificados nas instalações do Posto de Combustíveis.

Neste estudo foram calculados dois tipos de riscos: os riscos sociais e os riscos individuais. Os resultados obtidos foram comparados aos critérios de tolerabilidade de riscos formulados pelo INEA.

7.1 Riscos Sociais

7.1.1 Conceituação

O risco social é uma medida do risco para o grupo constituído por toda a comunidade exposta aos efeitos do acidente. Portanto, o risco social diz respeito a toda a população exposta, relacionando a magnitude dos danos que podem ser causados sobre a comunidade como um todo e as frequências esperadas dos acidentes capazes de causar os referidos danos.

Para o cálculo do risco social, determina-se a área dentro da região vulnerável onde possa haver pessoas, a fim de obter a população vulnerável a um possível acidente. O produto dessa população resultante pela probabilidade de fatalidades leva à quantidade de possíveis óbitos. O risco social é o produto desses possíveis óbitos pela frequência do cenário de acidente.

O fator de presença é calculado, primeiramente, considerando-se dois períodos do dia (diurno e noturno), cada um deles representando 50% do dia. Os dias úteis representam 71% da semana e, os fins de semana, 29%. Sendo assim, para se obter o valor do fator de presença, multiplica-se a fração do dia pela fração da semana.

O risco social total equivale ao somatório do risco social para cada EI.

Tabela 7.1 – Risco Social para o EI-01

Frequência de Acidentes (/ano)	Probabilidade de Fatalidades (%)	Área Vulnerável (km ²)	Número de Pessoas (/km ²)	Fator de Presença	Total (fatalidades/ano)
Dias Úteis					
$6,28 \times 10^{-5}$	0,01	$5,4 \times 10^{-3}$	67	0,36	$8,18 \times 10^{-8}$
Fins de Semana					
$6,28 \times 10^{-5}$	0,01	$5,4 \times 10^{-3}$	67	0,14	$3,18 \times 10^{-8}$
Risco Social para o EI-01:					$1,14 \times 10^{-7}$

Tabela 7.2 – Risco Social para o EI-02

Frequência de Acidentes (/ano)	Probabilidade de Fatalidades (%)	Área Vulnerável (km ²)	Número de Pessoas (/km ²)	Fator de Presença	Total (fatalidades/ano)
Dias Úteis					
1,57 x 10 ⁻⁵	0,01	0	0	0,36	0
Fins de Semana					
1,57 x 10 ⁻⁵	0,01	0	0	0,14	0
Risco Social para o EI-02:					0

Tabela 7.3 – Risco Social para o EI-03

Frequência de Acidentes (/ano)	Probabilidade de Fatalidades (%)	Área Vulnerável (km ²)	Número de Pessoas (/km ²)	Fator de Presença	Total (fatalidades/ano)
Dias Úteis					
1,57 x 10 ⁻⁵	0,01	2,01 x 10 ⁻³	67	0,36	7,61 x 10 ⁻⁹
Fins de Semana					
1,57 x 10 ⁻⁵	0,01	2,01 x 10 ⁻³	67	0,14	2,96 x 10 ⁻⁹
Risco Social para o EI-03:					1,06 x 10⁻⁸

7.1.2 Resultados: Riscos Sociais

O risco social total para a população circunvizinha ao Posto de Combustíveis é de 1,25 x 10⁻⁷ fatalidades por ano.

O critério de aceitabilidade de riscos utilizado pelo INEA define dois limites de risco social:

- ✓ Curva considerando 1 fatalidade/ano a uma frequência de 1% e 1800 fatalidades/ano a uma frequência de 10⁻⁶%, considerado o limite superior de aceitabilidade.
- ✓ Curva considerando 1 fatalidade/ano a uma frequência de 0,1% e 1100 fatalidades/ano a uma frequência de 10⁻⁶%, considerado o limite inferior de aceitabilidade.

Valores de risco social maiores que o limite superior são considerados inaceitáveis e valores menores que o limite inferior são considerados trivialmente aceitáveis. Valores compreendidos entre os dois limites representam a zona para a qual devem ser adotadas medidas de redução de riscos.

Comparando-se o resultado obtido para os riscos sociais com o critério acima, conclui-se que a comunidade vizinha ao Posto de Combustíveis encontra-se em uma área com valor de risco social aceitável, não sendo necessária a adoção de medidas de redução de riscos.

7.2 Riscos Individuais

7.2.1 Conceituação

No processo de tomada de decisão sobre a aceitabilidade dos riscos de uma determinada instalação, os riscos sociais têm desempenhado um papel fundamental, em virtude da grande preocupação da sociedade com os acidentes de grandes proporções. No entanto, é possível que uma instalação apresente níveis de risco social considerados aceitáveis, mas esteja impondo um nível de risco muito alto para um determinado indivíduo ou para um pequeno conjunto de indivíduos. Essa preocupação com o conjunto das pessoas mais expostas é responsável pela exigência da avaliação do risco individual.

O risco individual médio é calculado dividindo-se o risco social pela quantidade de habitantes dentro da região R3 (área vulnerável), considerando-se as variações de densidade demográfica para os períodos diurno e noturno, assim como para os dias da semana.

$$\text{Risco Individual} = \frac{1,25 \times 10^{-7}}{(1200 \times 0,36) + (1200 \times 0,14)}$$

7.2.2. Resultados: Riscos Individuais

O risco individual médio para a população circunvizinha ao Posto de Combustíveis é de $2,08 \times 10^{-10}$ por ano.

O critério de aceitabilidade de riscos utilizado pelo INEA define dois limites de risco individual:

- ✓ 10^{-5} por ano, considerado o limite superior de aceitabilidade.
- ✓ 10^{-6} por ano, considerado o limite inferior de aceitabilidade.

Valores de risco individual superiores a 10^{-5} /ano são considerados inaceitáveis e valores abaixo de 10^{-6} /ano são considerados trivialmente aceitáveis. Valores compreendidos entre os dois limites representam a zona para a qual devem ser adotadas medidas de redução de riscos.

Comparando-se o resultado obtido para os riscos individuais com o critério acima, conclui-se que a comunidade vizinha ao Posto de Combustíveis encontra-se em uma área com valor de risco individual aceitável, não sendo necessária a adoção de medidas de redução de riscos.

8 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho consistiu em realizar uma análise dos riscos decorrentes de um Posto de Combustíveis localizado na Avenida Atlântica, no município do Rio de Janeiro. O foco central deste trabalho foi a análise de riscos para a população vizinha à instalação, que consiste em prédios residenciais, a orla da praia e a própria praia. A preocupação básica do trabalho foi analisar quantitativamente apenas os grandes acidentes que pudessem causar danos à população externa à instalação.

Para este fim, foi realizada, primeiramente, uma Análise Preliminar de Perigos (APP), na qual foi levantado um conjunto de eventos iniciadores de acidente que poderiam ocorrer na instalação analisada. Na APP foram identificados 30 cenários de acidentes passíveis de ocorrer nesta instalação. Segundo os critérios utilizados para a caracterização de risco na matriz da APP, os cenários de acidente foram classificados da seguinte forma: 22 cenários na categoria de risco tolerável, 8 na categoria de risco moderado e nenhum na categoria de risco não tolerável.

Como resultado da aplicação dessas técnicas, um conjunto de eventos iniciadores de acidente com potencial para causar danos extramuros foi selecionado para ser avaliado quantitativamente. Os eventos iniciadores selecionados para a análise de vulnerabilidade foram aqueles que deram origem aos cenários de acidente com categoria de severidade crítica e, indicados na Tabela 4.6. Estes eventos estão associados a grandes liberações durante as operações da instalação. Apesar do alto nível de preocupação com a segurança da instalação já embutida no projeto original, as aplicações de APP resultaram em diversas recomendações que contribuíram para tornar ainda mais segura a operação da mesma.

Da análise das áreas vulneráveis obtidas, concluiu-se que a maioria dos eventos iniciadores relacionados às liberações de produtos no Posto de Combustíveis não tem potencial para causar danos às áreas populacionais circunvizinhas.

Foram calculados dois tipos de risco para as instalações: os riscos sociais e os riscos individuais. Os resultados obtidos neste trabalho foram comparados aos critérios de aceitabilidade de riscos utilizados pelo INEA, onde concluiu-se que a população vizinha à instalação está em uma área de riscos sociais e individuais dentro dos limites aceitáveis.

Não foi necessária a adoção de medidas de redução de riscos, visto que todas as áreas residenciais existentes estão localizadas em níveis de risco inferiores ao critério de aceitabilidade.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIChE, American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. New York, 2000.
2. ANP, Agência Nacional do Petróleo. <http://www.anp.gov.br>
3. FISPQs, Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos. <http://www.br.com.br>
4. INEA, Instituto Estadual do Ambiente. <http://www.inea.rj.gov.br>
5. Sistema de Geração e Disponibilização de Informações Climatológicas do Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA)
6. HSE, *Health and Safety Executive – Failure Rate Data Base.*
7. TNO, *Guideline for Quantitative Risk Assessment – Part One: Establishments (Purple Book), The Netherlands Organization of Applied Scientific Research, The Hague, The Netherlands.*

ANEXO 1
PLANILHAS DE APP

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Vazamento no mangote de abastecimento ou nas conexões -Derramamentos no tanque	-Contaminação do solo	-Controle eletrônico do estoque, com sondas no interior dos tanques -Descarga selada, com câmara de contenção -Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	C	I	1	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	1
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área é de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	2

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Grande liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	B	III	2	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	3
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	C	II	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	4

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Vazamento no mangote de abastecimento ou nas conexões -Derramamentos no tanque	-Contaminação do solo	-Controle eletrônico do estoque, com sondas no interior dos tanques -Descarga selada, com câmara de contenção -Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	C	I	1	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	5
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área é de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	6

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Grande liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	B	III	2	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	7
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	C	II	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	8

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Vazamento no mangote de abastecimento ou nas conexões -Derramamentos no tanque	-Contaminação do solo	-Controle eletrônico do estoque, com sondas no interior dos tanques -Descarga selada, com câmara de contenção -Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	C	I	1	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	9
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área é de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Operação assistida	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	10

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -				
Sistema: Transferência de Combustível do Caminhão Tanque para o Reservatório de Combustível								Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio								Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário	
Grande liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Ruptura do mangote de abastecimento ou das conexões	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	B	III	2	-Inspeccionar o mangote e as conexões antes do procedimento	11	
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio	C	II	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	12	

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Tanque de Armazenamento de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Furo por corrosão -Vazamento nas conexões e flanges	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	B	II	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	13
Grande liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Ruptura no tanque	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	A	III	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	14

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Tanque de Armazenamento de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Furo por corrosão -Vazamento nas conexões e flanges	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	B	I	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	15
Grande liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Ruptura no tanque	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	A	II	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	16

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Tanque de Armazenamento de Combustível							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Furo por corrosão -Vazamento nas conexões e flanges	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	B	II	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	17
Grande liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Ruptura no tanque	-Contaminação do solo	-Tanque de combustível com parede dupla e controle de vazamento -Poço de monitoramento do solo de 3 em 3 meses	A	III	1	-Estabelecer periodicidade para a manutenção dos tanques	18

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Abastecimento de Veículo							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Vazamentos nas bombas de abastecimento	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Caixa de separação água/óleo -Bloqueio de emergência por acionamento manual	C	I	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	19
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Caixa de separação água/óleo	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	20

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -				
Sistema: Abastecimento de Veículo								Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio								Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvuardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário	
Grande liberação de líquido inflamável (Gasolina)	-Falha nas bombas de abastecimento ou nos seus acessórios	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	B	II	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	21	
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	C	II	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	22	

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Abastecimento de Veículo							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Vazamentos nas bombas de abastecimento	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Bloqueio de emergência por acionamento manual	C	I	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	23
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	24

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -				
Sistema: Abastecimento de Veículo								Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio								Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvuardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário	
Grande liberação de líquido inflamável (Álcool)	-Falha nas bombas de abastecimento ou nos seus acessórios	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	B	II	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	25	
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	C	II	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	26	

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -			
Sistema: Abastecimento de Veículo							Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio							Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas Existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário
Pequena liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Vazamentos nas bombas de abastecimento	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento -Bloqueio de emergência por acionamento manual	C	I	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	27
	-Falha operacional	-Contaminação do solo	-Piso da área de concreto e inclinado -Canaletas ao redor da área de abastecimento	D	I	2	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	28

Análise Preliminar de Perigos (APP)

Companhia: Posto de Combustíveis					Referência: -				
Sistema: Abastecimento de Veículo								Data: 11/03/2011	
Grupo de Trabalho: Fabiane Crizio								Revisão: 0	
Perigo	Causas	Efeitos	Salvaguardas existentes	Cat. Freq.	Cat. Sev.	Cat. Risco	Ações / Questões / Recomendações	Cenário	
Grande liberação de líquido inflamável (Diesel)	-Falha nas bombas de abastecimento ou nos seus acessórios	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	B	I	1	-Estabelecer periodicidade para inspeção e manutenção	29	
	-Falha operacional	-Incêndio em poça	-Extintores de incêndio -Sinalização para desligar os veículos e não fumar	C	I	1	-Estabelecer periodicidade para os treinamentos	30	

ANEXO 2
MEMÓRIAS DE CÁLCULO

CÁLCULO DO ALCANCE PARA VAZAMENTO DE GASOLINA

1) Calor de vaporização modificado:

$$\Delta H^* = \Delta H_V + \int_{T_a}^{T_{BP}} C_P dT$$
$$\Delta H^* = 335 + \int_{296,10}^{342} 2,22 dT \Rightarrow \Delta H^* = 436,90 \text{ kJ/kg}$$

2) Velocidade de queima da superfície líquida da poça:

$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$
$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{46442,4}{436,90} \Rightarrow \dot{y}_{\max} = 1,35 * 10^{-4} \text{ m/s}$$

3) Taxa de queima de massa:

$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$
$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{46442,4}{436,90} \Rightarrow m_B = 0,106 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

4) Perda por atrito:

$$\Sigma e_f = \Sigma K_f \left(\frac{v^2}{2g_c} \right)$$

$K_{f1} = 0,5$ (entrada do furo); $K_{f2} = 1,0$ (saída do furo)

$$\Sigma e_f = (0,5 + 1,0) \left(\frac{v^2}{2g_c} \right) \Rightarrow \Sigma e_f = 0,75 \left(\frac{v^2}{g_c} \right)$$

5) Velocidade de saída do líquido:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{1}{2g_c} (v_2^2 - v_1^2) + \Sigma e_f + \frac{W_S}{\dot{m}} = 0$$

$P_1 = 1 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}$; $P_2 = 0$; $z_1 = 2 \text{ m}$; $z_2 = 0$; $v_1 = 0$; $W_S = 0$

$$\left(\frac{0 - 101325}{720}\right) + 9,8(0 - 2) + 0,5(v_2^2 - 0) + 0,75v^2 = 0 \Rightarrow v = 11,3 \text{ m/s}$$

6) Área do furo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$D = 0,15 \text{ m}$ (diâmetro do furo)

$$A = \frac{\pi(0,15)^2}{4} \Rightarrow A = 0,01767 \text{ m}^2$$

7) Vazão volumétrica do líquido:

$$\dot{m} = \rho v A$$

$$\dot{m} = 720 * 11,3 * 0,01767 \Rightarrow \dot{m} = 143,76 \text{ kg/s} \Rightarrow \dot{m} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

8) Diâmetro máximo da poça:

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{\dot{V}_L}{\pi \dot{\gamma}}}$$

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{0,2}{\pi * 1,35 * 10^{-4}}} \Rightarrow D_{\max} = 43,43 \text{ m}$$

9) Área da poça:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$D = D_{\text{canaleta}} = 7,50 \text{ m}$ (diâmetro máximo real da poça)

$$A = \frac{\pi(7,50)^2}{4} \Rightarrow A = 44,18 \text{ m}^2$$

10) Altura visível da chama:

$$\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61}$$

$$\frac{H}{7,50} = 42 \left(\frac{0,106}{1,2\sqrt{9,8 * 7,50}} \right)^{0,61} \Rightarrow H = 19,33 \text{ m}$$

11) Pressão parcial da água:

$$P_w = 1013,25(RH)\exp\left[14,4114 - \frac{5328}{T_a}\right]$$

$$P_w = 1013,25 * 78,44 * \exp\left[14,4114 - \frac{5328}{296,10}\right] \Rightarrow P_w = 2209,96 \text{ N/m}^2$$

12) Transmissividade atmosférica:

$$\tau_a = 2,02(P_w X_s)^{-0,09}$$

$$\tau_a = 2,02(2209,96 x)^{-0,09} \Rightarrow \tau_a = 1,0101 x^{-0,09}$$

13) Distância entre a fonte pontual e o alvo:

$$E_r = \tau_a \eta m_B \Delta H_c A F_p$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$0,62 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,106 * 46442,4 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 86,87 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$5 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,106 * 46442,4 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 32,00 \text{ m}$$

14) Alcance:

$$x^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} + d\right)^2$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$(86,87)^2 = (9,665)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 82,58 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$(32,00)^2 = (9,665)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 26,76 \text{ m}$$

CÁLCULO DO ALCANCE PARA VAZAMENTO DE ÁLCOOL

1) Calor de vaporização modificado:

$$\Delta H^* = \Delta H_V + \int_{T_a}^{T_{BP}} C_P dT$$

$$\Delta H^* = 842 + \int_{296,10}^{351} 2,39 dT \Rightarrow \Delta H^* = 973,21 \text{ kJ/kg}$$

2) Velocidade de queima da superfície líquida da poça:

$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{26777,6}{973,21} \Rightarrow \dot{y}_{\max} = 3,49 * 10^{-5} \text{ m/s}$$

3) Taxa de queima de massa:

$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{26777,6}{973,21} \Rightarrow m_B = 0,0275 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

4) Perda por atrito:

$$\Sigma e_f = 0,75 \left(\frac{v^2}{g_c} \right)$$

5) Velocidade de saída do líquido:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{1}{2g_c} (v_2^2 - v_1^2) + \Sigma e_f + \frac{W_S}{\dot{m}} = 0$$

$$P_1 = 1 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}; P_2 = 0; z_1 = 2 \text{ m}; z_2 = 0; v_1 = 0; W_S = 0$$

$$\left(\frac{0 - 101325}{810} \right) + 9,8(0 - 2) + 0,5(v_2^2 - 0) + 0,75v^2 = 0 \Rightarrow v = 10,8 \text{ m/s}$$

6) Área do furo:

$$A = 0,01767 \text{ m}^2$$

7) Vazão volumétrica do líquido:

$$\dot{m} = \rho v A$$

$$\dot{m} = 810 * 10,8 * 0,01767 \Rightarrow \dot{m} = 154,58 \text{ kg/s} \Rightarrow \dot{m} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

8) Diâmetro máximo da poça:

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{\dot{V}_L}{\pi \dot{\gamma}}}$$

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{0,2}{\pi * 3,49 * 10^{-5}}} \Rightarrow D_{\max} = 85,42 \text{ m}$$

9) Área da poça:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$D = D_{\text{canaleta}} = 7,50 \text{ m}$ (diâmetro máximo real da poça)

$$A = \frac{\pi(7,50)^2}{4} \Rightarrow A = 44,18 \text{ m}^2$$

10) Altura visível da chama:

$$\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61}$$

$$\frac{H}{7,50} = 42 \left(\frac{0,0275}{1,2 \sqrt{9,8 * 7,50}} \right)^{0,61} \Rightarrow H = 8,49 \text{ m}$$

11) Pressão parcial da água:

$$P_w = 2209,96 \text{ N/m}^2$$

12) Transmissividade atmosférica:

$$\tau_a = 1,0101 x^{-0,09}$$

13) Distância entre a fonte pontual e o alvo:

$$E_r = \tau_a \eta m_B \Delta H_c A F_p$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$0,62 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,0275 * 26777,6 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 35,00 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$5 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,0275 * 26777,6 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 12,89 \text{ m}$$

14) Alcance:

$$x^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} + d\right)^2$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$(35,00)^2 = (4,245)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 30,99 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$(12,89)^2 = (4,245)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 8,42 \text{ m}$$

CÁLCULO DO ALCANCE PARA VAZAMENTO DE DIESEL

1) Calor de vaporização modificado:

$$\Delta H^* = \Delta H_V + \int_{T_a}^{T_{BP}} C_P dT$$

$$\Delta H^* = 581 + \int_{296,10}^{453} 2,01 dT \Rightarrow \Delta H^* = 896,37 \text{ kJ/kg}$$

2) Velocidade de queima da superfície líquida da poça:

$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

$$\dot{y}_{\max} = 1,27 * 10^{-6} \frac{45605,6}{896,37} \Rightarrow \dot{y}_{\max} = 6,46 * 10^{-5} \text{ m/s}$$

3) Taxa de queima de massa:

$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{\Delta H_C}{\Delta H^*}$$

$$m_B = 1 * 10^{-3} \frac{45605,6}{896,37} \Rightarrow m_B = 0,051 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

4) Perda por atrito:

$$\Sigma e_f = 0,75 \left(\frac{v^2}{g_c} \right)$$

5) Velocidade de saída do líquido:

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{1}{2g_c} (v_2^2 - v_1^2) + \Sigma e_f + \frac{W_S}{\dot{m}} = 0$$

$$P_1 = 1 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}; P_2 = 0; z_1 = 2 \text{ m}; z_2 = 0; v_1 = 0; W_S = 0$$

$$\left(\frac{0 - 101325}{820} \right) + 9,8(0 - 2) + 0,5(v_2^2 - 0) + 0,75v^2 = 0 \Rightarrow v = 10,7 \text{ m/s}$$

6) Área do furo:

$$A = 0,01767 \text{ m}^2$$

7) Vazão volumétrica do líquido:

$$\dot{m} = \rho v A$$

$$\dot{m} = 820 * 10,7 * 0,01767 \Rightarrow \dot{m} = 155,04 \text{ kg/s} \Rightarrow \dot{m} = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

8) Diâmetro máximo da poça:

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{\dot{V}_L}{\pi \dot{\gamma}}}$$

$$D_{\max} = 2 \sqrt{\frac{0,2}{\pi * 6,46 * 10^{-5}}} \Rightarrow D_{\max} = 62,79 \text{ m}$$

9) Área da poça:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$D = D_{\text{canaleta}} = 7,50 \text{ m}$ (diâmetro máximo real da poça)

$$A = \frac{\pi(7,50)^2}{4} \Rightarrow A = 44,18 \text{ m}^2$$

10) Altura visível da chama:

$$\frac{H}{D} = 42 \left(\frac{m_B}{\rho_a \sqrt{gD}} \right)^{0,61}$$

$$\frac{H}{7,50} = 42 \left(\frac{0,051}{1,2 \sqrt{9,8 * 7,50}} \right)^{0,61} \Rightarrow H = 12,37 \text{ m}$$

11) Pressão parcial da água:

$$P_w = 2209,96 \text{ N/m}^2$$

12) Transmissividade atmosférica:

$$\tau_a = 1,0101 x^{-0,09}$$

13) Distância entre a fonte pontual e o alvo:

$$E_r = \tau_a \eta m_B \Delta H_c A F_p$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$0,62 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,051 * 45605,6 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 60,68 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$5 = 1,0101 x^{-0,09} * 0,4 * 0,051 * 45605,6 * 44,18 * \frac{1}{4\pi} x^{-2} \Rightarrow x = 22,35 \text{ m}$$

14) Alcance:

$$x^2 = \left(\frac{H}{2}\right)^2 + \left(\frac{D}{2} + d\right)^2$$

$$E_r = 0,62 \text{ kW/m}^2:$$

$$(60,68)^2 = (6,185)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 56,61 \text{ m}$$

$$E_r = 5 \text{ kW/m}^2:$$

$$(22,35)^2 = (6,185)^2 + (3,75 + d)^2 \Rightarrow d = 17,73 \text{ m}$$