



DET NORSKE VERITAS

**Estudo de Análise de Riscos (EAR) para a Usina
Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e
Usina Termelétrica Candiota III (Fase C),
Candiota/RS**

CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica

Relatório No/DNV Reg No: 13BELU0-3
Rev 0-2011-06-20



RELATÓRIO TÉCNICO

Data primeira edição: 20/06/2011	Projeto Nº: PP012532	DET NORSKE VERITAS REGION SOUTH AMERICA DNV ENERGY SOLUTION RIO DE JANEIRO OFFICE Rua Sete de Setembro, 111/12º Centro 20050-006 Rio de Janeiro– RJ, Brasil Tel: +55 21 3722-7579 Fax: +55 51 3722-7565
Aprovado por: Mariana Bardy	Unidade Organizacional DNV EAWBR537 Rio de Janeiro Office	
Cliente: CGTEE – Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	Atenção a: Eng ^o Francisco Porto	
Sumário: Usando-se as mesmas metodologias que hoje são usadas mundialmente, foi realizado um estudo para avaliar os riscos que a operação do complexo formado pela Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C) pode representar para a população externa. Com base em Análise Histórica de acidentes e Análise Preliminar de Perigos foram selecionados eventos iniciadores (cenários de acidentes) representativos. Com o uso do Programa Phast, versão 6.6, foram estimados os alcances capazes de provocar letalidade de nuvens inflamáveis, fluxos térmicos associados a incêndio em poça e pico de sobrepressão na onda de choque resultante de explosão. Os maiores alcances obtidos para 0,1 bar (nível capaz de 1 % de letalidade, CETESB) foram: (i) 209 m para explosão de mistura de vapor inflamável e ar no interior do tanque de armazenagem de óleo combustível 1A (5000 m ³) e (ii) 193 para explosão confinada de mistura de vapor de óleo combustível e ar na fornalha da caldeira da Fase C. Para todos os eventos analisados, os alcances para efeitos capazes de letalidade ficaram internos à Usina. Com base nos resultados obtidos, a conclusão é que são perfeitamente aceitáveis os riscos associados ao funcionamento do complexo formado pela Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C) para a população externa. O trabalho foi executado para atender o condicionante 2.33 da Licença de Operação Nº 991/2010, do IBAMA.		

Relatório Nº 13-BELU0-3	Grupo de Assunto: AQR	Indexing terms
Título Relatório: Estudo de Análise de Riscos (EAR) para a Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), Candiota/RS		Palavras chaves: Carvão Usina termelétrica Análise de Riscos
Trabalho executado por: César Antônio Leal José L. Lopes Alves		Área de serviço: Energy Solutions
Trabalho verificado por: Fernando Oliveira		Setor de Vendas: DNV South America and Angola – Rio de Janeiro Office
Data desta edição: 20/06/2011	Rev. Nº: 0	Número de páginas: 113 + Anexos
<input checked="" type="checkbox"/> Não distribuir sem a permissão do cliente ou responsável da unidade organizacional		
<input type="checkbox"/> Livre distribuição dentro da DNV após 3 anos		
<input checked="" type="checkbox"/> Estritamente confidencial		
<input type="checkbox"/> Distribuição irrestrita		

© 2011 Det Norske Veritas Ltda.

Todos os direitos reservados. Esta publicação ou parte dela não podem ser reproduzidas ou transmitidas em qualquer forma ou qualquer meio, incluindo fotocópias ou gravações sem o consentimento por escrito da Det Norske Veritas Ltda.

TABELA DE CONTEÚDO

1	INTRODUÇÃO	4
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	4
1.2	ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	7
2	DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES	8
2.1	INTRODUÇÃO	8
2.2	DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES	8
2.3	DADOS FISIográficos DA REGIÃO	13
2.4	CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DA REGIÃO	15
3	PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO	19
3.1	INTRODUÇÃO	19
3.2	ÓLEO COMBUSTÍVEL (TIPO 1A)	19
3.3	DIESEL	22
3.4	GLP	23
3.5	CARVÃO	26
3.5	INCOMPATIBILIDADE ENTRE PRODUTOS QUÍMICOS	28
4	ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES	32
4.1	INTRODUÇÃO	32
4.2	ANÁLISE HISTÓRICA	32
4.3	HISTÓRICO DE ACIDENTES OCORRIDOS NAS UNIDADES DA UPME	38
5	IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS	39
5.1	INTRODUÇÃO	39
5.2	METODOLOGIA DE ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS (APP)	39
5.3	APP DA USINA TERMELÉTRICA PRESIDENTE MÉDICI	46
6	ANÁLISE DE CONSEQUÊNCIAS E DE VULNERABILIDADE	62
6.1	INTRODUÇÃO	62
6.2	NÍVEIS DE EFEITOS FÍSICOS DE INTERESSE	64
6.3	CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS DE ACIDENTE E ANÁLISE DE VULNERABILIDADE	64
6.4	EFEITO DOMINÓ	105
7	AValiação DAS FREQUÊNCIAS	107
8	AValiação DOS RISCOS	108
9	COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES	109
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
11	EQUIPE TÉCNICA	113

ANEXOS

ANEXO A – DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA UTE PRESIDENTE MÉDICI FASES A/B E LAYOUT

ANEXO B – DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA UTE CANDIOTA III (FASE C)

ANEXO C – FICHAS DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA DE PRODUTOS QUÍMICOS (FISPQ)

ANEXO D – PLANILHAS DA ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

ANEXO E – LISTAGEM DAS SIMULAÇÕES PARA CÁLCULO DAS ÁREAS VULNERÁVEIS

ANEXO F – LAUDO DE EXPLOSIVIDADE DO CARVÃO DE CANDIOTA

1 INTRODUÇÃO

O Estudo Quantitativo de Análise de Riscos do complexo formado pela Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), em Candiota, RS, que será apresentado neste relatório foi elaborado conforme o Termo de Referência para elaboração de Estudos de Análise de Riscos em Termelétricas a carvão, Revisão 1, de 23 de junho de 2005, para fins de licenciamento ambiental junto ao IBAMA e atendimento ao condicionante 2.33 da Licença de Operação Nº 991/2010, do IBAMA.

A atual versão está baseada nos trabalhos anteriores realizados pela Herco (Fases A e B), em 2005, e DNV (Fase C), em 2006, com as devidas atualizações e revisões, pois na época em que o trabalho foi realizado, as obras da Fase C ainda não estavam concluídas.

Para a realização do trabalho foi usada a metodologia hoje empregada e aceita internacionalmente, com o emprego do Programa Phast, versão 6.6, de 2010, para cálculos de efeitos físicos de acidentes.

O Estudo de Análise de Riscos (EAR) da Fase C mencionado foi revisado antes da elaboração do presente estudo, o qual vai mostrar o resultado da combinação dos riscos das três fases. O EAR elaborado pela Herco em 2005 demonstrou que as Fases A e B não tinham eventos acidentais com potencial de causar fatalidades fora da Usina. Na revisão dos riscos da Fase C, foi visto que os cenários de acidentes representativos das operações desta parte das instalações, com potencial para causar danos extra-muros, na realidade, não seriam capazes de tal, pois os alcances para os efeitos com potencial de letalidade ficariam todos limitados o interior da planta. Mas, para efeitos de tornar o presente trabalho mais completo e permitir ao leitor uma visão integrada do conjunto das Fases A, B e C, a revisão do EAR da Fase C foi incluída como parte do presente relatório.

1.1 Objetivos do Trabalho

O objetivo deste trabalho é a avaliação dos riscos que o complexo formado pela Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C) representam para a população externa e para o meio ambiente. O complexo está localizado no município de Candiota, Estado do Rio Grande do Sul.

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se técnicas de Análise de Riscos que são usualmente aceitas mundialmente e que permitem a avaliação quantitativa dos riscos associados à operação de instalações industriais ou decorrentes de falhas na mesma. Na Figura 1.1, está mostrada por meio de um fluxograma a metodologia para a realização da Análise de Riscos. De forma genérica, as etapas do processo são:

- 1ª) Definição dos objetivos da análise, determinação da distribuição populacional, levantamento dos dados meteorológicos (velocidade do vento, direção do vento, classe de estabilidade, temperatura ambiente, umidade relativa etc.), descrição da unidade e delimitação das fronteiras abrangidas pela análise;

- 2ª) Identificação dos cenários de acidentes relacionados com a operação da Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), através da realização da Análise Preliminar de Perigos (APP). As APPs iniciais foram realizadas com base nos dados fornecidos pela empresa e através de reuniões com operadores e técnicos da própria empresa, nesta versão as mesmas somente foram revisadas e ampliadas;
- 3ª) As avaliações das frequências de ocorrência dos Eventos Iniciadores (EI) para cada um dos Eventos Iniciadores e de ocorrência de cada um dos cenários deveriam ser efetuadas para uso no programa PhastRisk da DNV. Mas, conforme será mostrado, esta etapa não foi necessária tendo em vista que o empreendimento não tem cenários de acidente com potencial de causar fatalidades fora do perímetro das instalações;
- 4ª) Caracterização dos cenários de acidentes, avaliação dos efeitos físicos devido à ocorrência de formação de tocha, explosão, incêndio em poça e incêndio em nuvem e determinação das áreas vulneráveis a cada um destes efeitos, considerando a capacidade máxima da instalação, quando pertinente. O cálculo dos efeitos físicos e das áreas vulneráveis foi feito através do programa PHAST da DNV, assim como a avaliação das consequências de cada um dos cenários acidentais;
- 5ª) A etapa seguinte seria a avaliação dos riscos para a unidade, envolvendo a construção da curva F-N e comparação dos riscos com critérios de aceitabilidade do Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos da Cetesb (Norma CETESB de Maio/2003) e recomendações de medidas mitigadoras do risco, quando necessário. Mas, conforme será mostrado, a etapa não foi necessária.

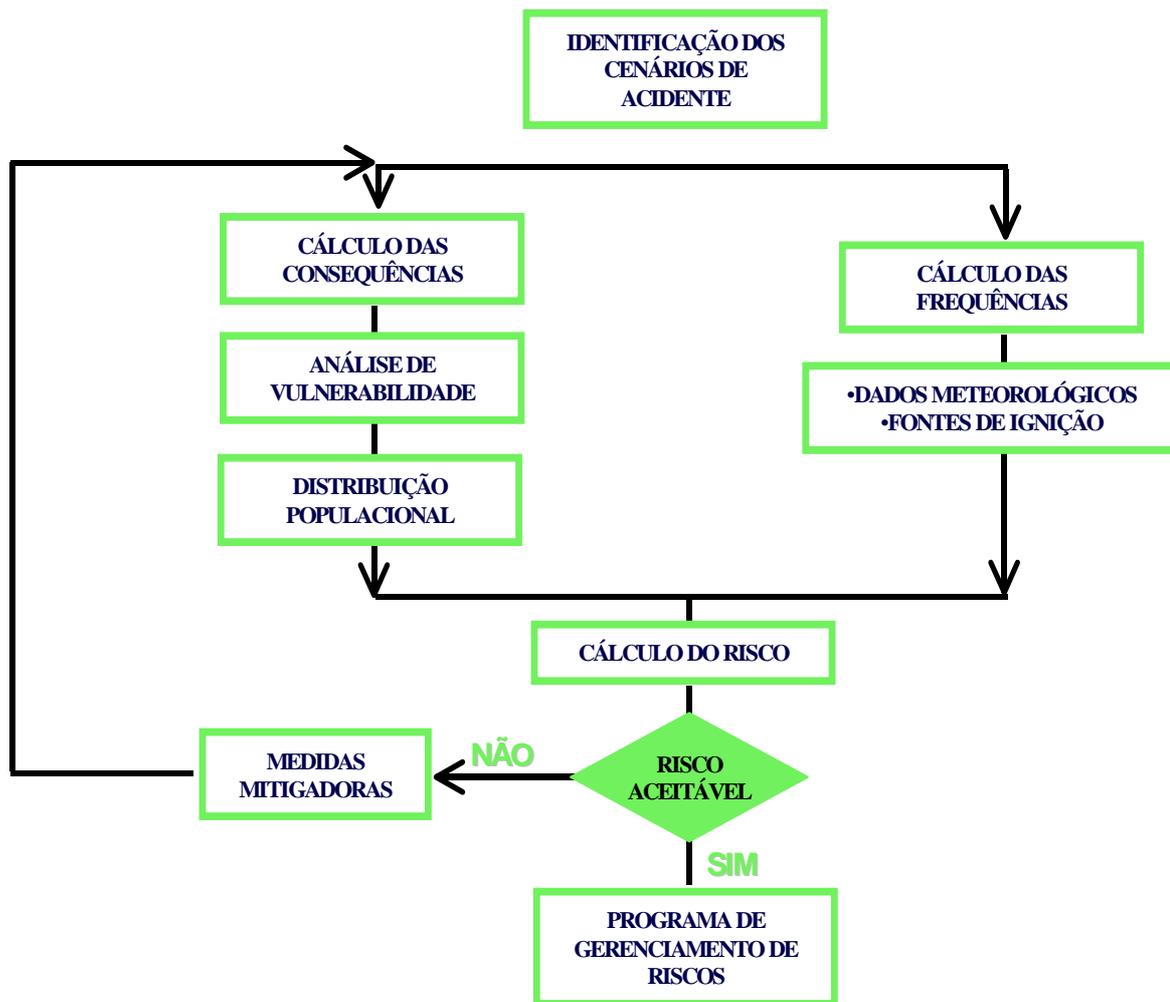


Figura 1.1 - Etapas de uma Análise de Riscos

1.2 Organização do Relatório

Este relatório está estruturado em um volume único, com onze capítulos e anexos organizados conforme apresentado abaixo:

A introdução está apresentada neste Capítulo 1. A descrição técnica do empreendimento, incluindo descrição da região de interesse e as características dos produtos envolvidos encontram-se, respectivamente, nos Capítulos 2 e 3. A Análise Histórica (AH) e a Análise de Preliminar de Perigos (APP) estão apresentadas, respectivamente, nos Capítulos 4 e 5.

Os efeitos físicos e as vulnerabilidades a esses efeitos são encontrados no Capítulo 6 e a justificativa para não ser feito o cálculo das frequências de ocorrência dos cenários de acidente está mostrada no Capítulo 7. A justificativa para não ser necessária a avaliação quantitativa dos riscos das instalações está apresentada no Capítulo 8 deste relatório. No Capítulo 9 são apresentadas os comentários finais e as conclusões do trabalho. No Capítulo 10 são apresentadas as referências deste estudo. No Capítulo 11 são apresentados os componentes da equipe técnica responsável pela elaboração do estudo.

Nos anexos estão representados: descrição das instalações e o lay-out da UTE fases A e B (Anexo A), descrição das instalações e o lay-out da UTE fase C (Anexo B), as Fichas de Informação de Segurança sobre Produto Químico - FISPQ (Anexo C), as planilhas da APP (Anexo D), as listagens de saída do Programa Phast para delimitação das áreas vulneráveis (Anexo E) e o laudo do teste de explosividade do carvão de Candiota feito pela Explosions Testing Ltd. (Anexo F), os quais complementam este relatório.

Na Tabela 1.1, a seguir, está indicada a organização do relatório da Análise de Riscos para a Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C).

Tabela 1.1 - Estrutura organizacional do relatório

Capítulo	Título do Capítulo	Anexos associados
1	Introdução	-
2	Descrição das instalações	A e B
3	Produtos envolvidos no processo	C
4	Análise Histórica	-
5	Identificação dos perigos	D e F
6	Análise de consequência e vulnerabilidade	E e F
7	Avaliação das frequências	
8	Avaliação dos riscos	-
9	Comentários finais e conclusões	-

2 DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES

2.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas informações básicas, tais como: descrição das instalações, dados meteorológicos da região e distribuição populacional da região circunvizinha para o presente trabalho relativo à Usina Termelétrica Presidente Médici UPME (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C).

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

A Seção 2.2 contém uma descrição sumária das instalações e dos sistemas de segurança. A distribuição populacional da região circunvizinha é apresentada na Seção 2.3. Já na Seção 2.4 são apresentados os dados meteorológicos da região, utilizados nos cálculos de dispersão atmosférica necessários para a avaliação das áreas vulneráveis.

A distribuição populacional é importante para a estimativa dos riscos associados às instalações, pois o risco associado a uma planta situada numa região densamente povoada tende a ser significativamente maior que o risco associado a essa mesma instalação situada numa região de baixa densidade demográfica. Já, as condições meteorológicas podem ter grande influência sobre a extensão atingida pela dispersão das emissões gasosas.

Mas, conforme será demonstrado, os eventos acidentais representativos das operações das Fases A, B e C não gerariam efeitos físicos com potencial de letalidade fora das instalações.

2.2 Descrição das Instalações

O Complexo Termelétrico de Candiota composto pela Usina Termelétrica Presidente Médici UPME (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C) utiliza o carvão mineral como combustível primário e está localizado no município de Candiota, RS, distante 400 km de Porto Alegre.

A primeira usina do complexo foi Candiota I inaugurada em 1961 e hoje encontra-se desativada.

Candiota II é composta pelas Fases A e B. A Fase A da Usina, com duas unidades de 63 MW cada, foi inaugurada em 1974 quando foi integrada no Sistema Interligado Brasileiro. No final de 1986 entrou em operação a Fase B com duas unidades de 160 MW cada, totalizando 446 MW instalados.

Candiota III (Fase C) começou a operar no início de 2011 e é constituída de uma unidade de geração de energia termelétrica a carvão mineral, com caldeira de circulação natural à pressão subcrítica e conjunto turbo-alternador com a capacidade de 350MW, com consumo de 1,6 milhões de toneladas anuais de carvão mineral.

Na Figura 2.1, tem-se uma imagem de satélite (adquirida por meio da Globalgeo, tirada em 21/12/2010, pelo satélite Quickbird), onde aparece a região nas imediações do Complexo Termelétrico de Candiota.

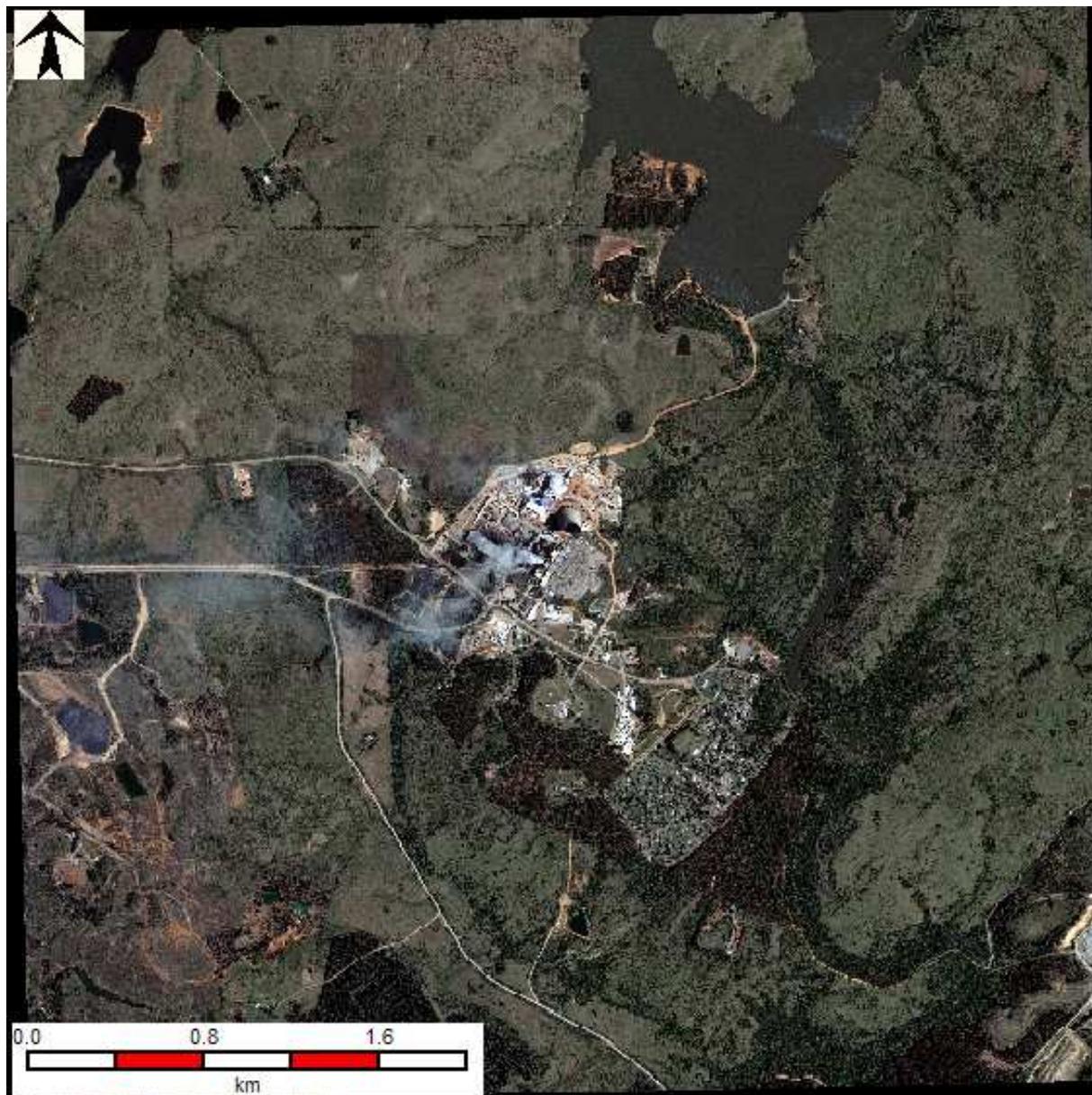


Figura 2-1- Imagem da região do Complexo Termelétrico de Candiota

Para redução de custos de operação as Fases A, B e C têm algumas instalações compartilhadas: sistema de vapor auxiliar, correia transportadora de carvão desde a mina até a usina, pátio de carvão, planta de armazenamento de hidrogênio, laboratório ambiental, estrutura viária e acessos, almoxarifado, refeitórios, oficinas e escritórios administrativos.

A Figura 2.2 contém uma vista do sítio onde está instalada a Usina Termelétrica Presidente Médici UPME (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C). Com linhas vermelhas foi delineado o contorno do sítio industrial do Complexo e a Fase C está identificada em amarelo.

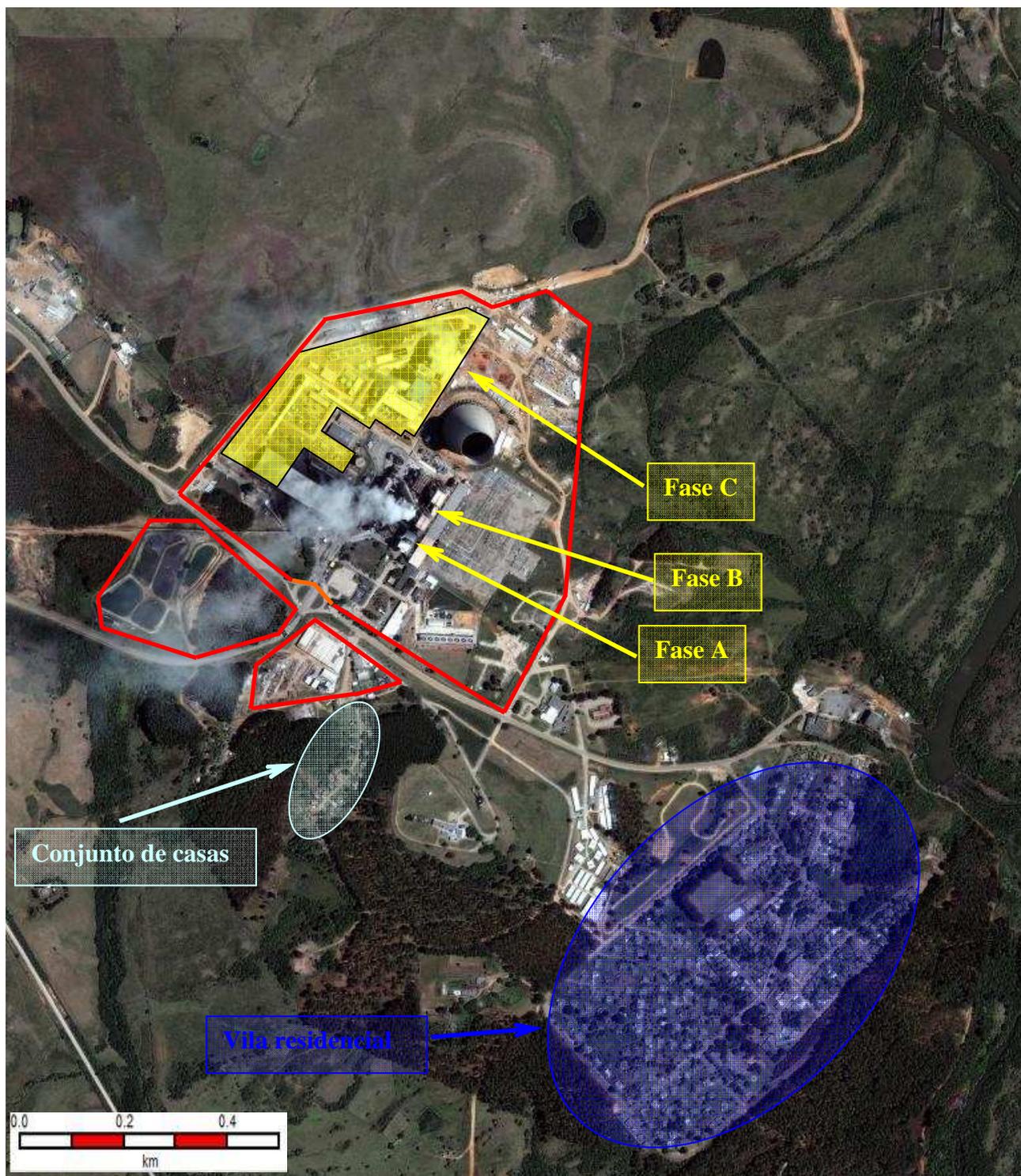


Figura 2.1 – Localização do Complexo Termelétrico de Candiota

Todas as instalações, incluindo a estrada de acesso, realizadas ainda pela CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica, no sítio original, atualmente com concessão de uso pela CGTEE, são aproveitadas como infra-estrutura de apoio ao empreendimento.

O acesso à Usina pode ser feito pela rodovia federal BR-293 (13 km). A distância até a cidade portuária de Rio Grande é de 200 km (a leste) e até a cidade de Bagé é de 40 quilômetros (a oeste). A estrada de ferro (BAGE-PELOTAS) passa a uma distância de 9 km, ao norte da Usina.

Existe uma pista de pouso situada ao norte da Usina (a distância é 6 km), cuja classe da pista é 2B.A. e sua condição é VFR. De acordo com o código brasileiro, uma nova chaminé de 200 m de altura não causa nenhuma influência nas rotas de vôo ou na pista de pouso.

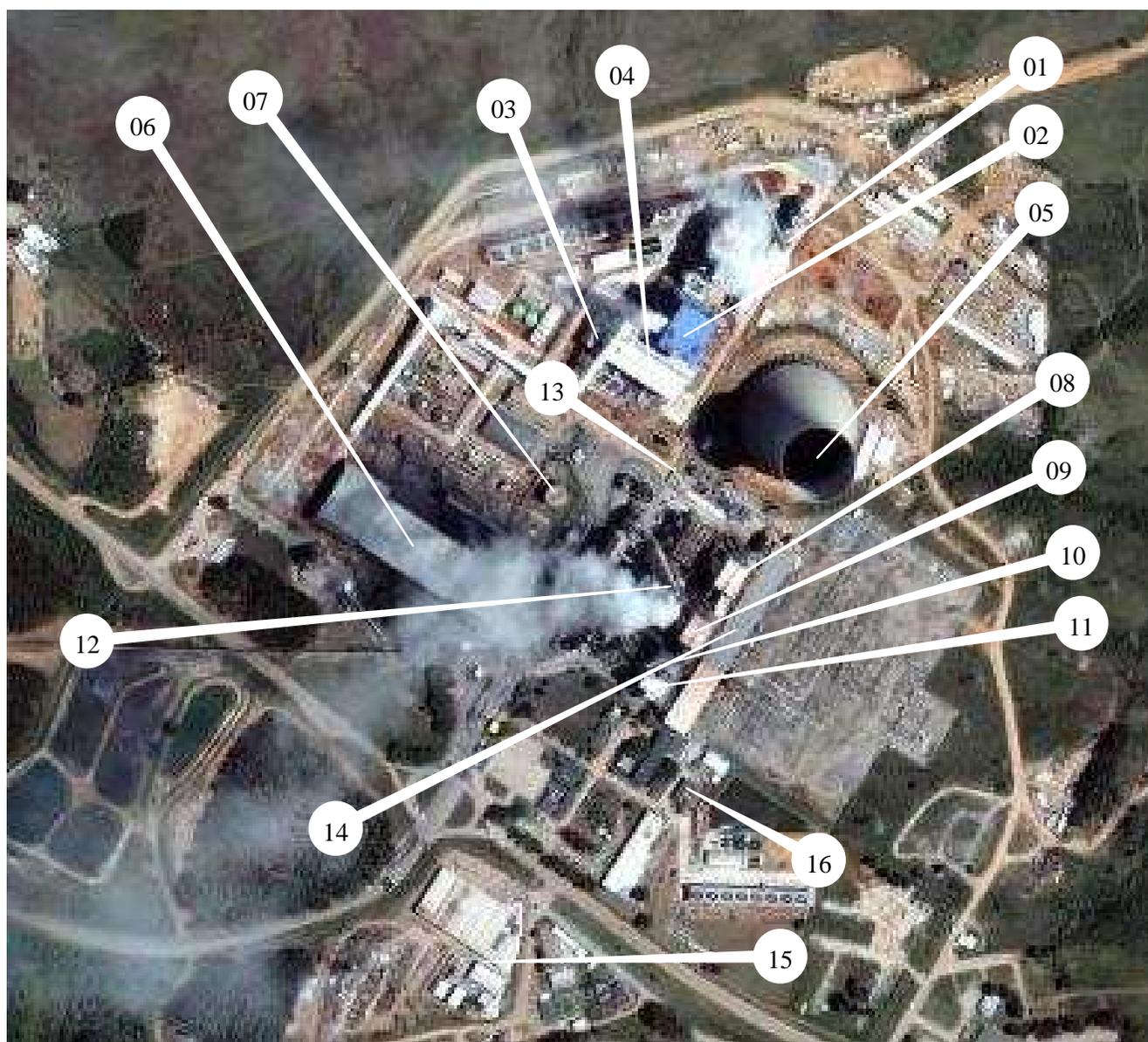
O pátio de carvão existente antes da instalação da Fase C sofreu melhoramentos do ponto de vista ambiental para o compartilhamento pelas fases A, B e C. O carvão consumido pelas Fases A, B e C é fornecido pela Companhia Riograndense de Mineração – CRM, o qual é transportado até a Usina pela correia transportadora existente, desde a estação de britagem.

O sistema de resfriamento do condensador da Fase A é do tipo torre úmida com tiragem forçada de ar, para a Fase B é uma torre hiperbólica em casca de concreto com 124 metros de diâmetro e 133 metros de altura que tem a finalidade de resfriar a água utilizada para trocar calor no condensador. A chaminé de exaustão das Fases A e B, do tipo trifluxo, tem 150 metros de altura, em concreto, e permite a dispersão dos gases resultantes da queima de carvão.

O sistema de resfriamento do condensador da Fase C é do tipo torre úmida com tiragem forçada de ar.

Uma descrição mais detalhada e técnica das Fases A e B pode ser encontrada no Anexo A e descrição da Fase C integra o Anexo B.

Na Figura 2.3, estão indicados dos pontos notáveis do Complexo Termelétrico de Candiota.



LEGENDA

- 01 – Chaminé (Fase C)
- 02 – Fornalha/Caldeira (Fase C)
- 03 – Prédio do controle central (Fase C)
- 04 – Casa de máquinas Fase C
- 05 – Torre hiperbólica de resfriamento (Fase B)
- 06 – Pátio coberto de carvão
- 07 – Tanque de óleo combustível (5000 m³)
- 08 – Fornalha/Caldeira 4 (Fase B)
- 09 – Fornalha/Caldeira 3 (Fase B)
- 10 – Fornalha/Caldeira 2 (Fase A)
- 11 – Fornalha/Caldeira 1 (Fase A)
- 12 – Chaminé (Fases A e B)
- 13 – GLP (Fase B)
- 14 – Controle central /casa de máquinas (Fases A e B)
- 15 – Almojarifado
- 16 – Produção e estocagem de hidrogênio

Figura 2.3 - Pontos notáveis do Complexo Termelétrico de Candiotá

2.3 Dados fisiográficos da região

No relatório técnico “Levantamento e Diagnóstico da Infra Estrutura dos Municípios de Bagé, Candiota, Herval, Hulha Negra, Pedras Altas e Pinheiro Machado” consta o seguinte:

A emancipação de Candiota ocorreu em 1^o de janeiro de 1993, por força da lei 9.574 de 20 de março de 1992. Seu território possui 934 km², tendo se formado a partir de áreas dos municípios de Bagé e Pinheiro Machado. O IBGE estima a população municipal no ano de 2005 em 9.602 habitantes com densidade populacional de 10,28 hab./km². A sede do município está a 220 metros acima do mar.

O município é marcado pela existência de importantes empreendimentos públicos na área energética. Próximo a cada empreendimento foram criadas vilas residenciais para os funcionários.

2.3.1 Distribuição Populacional

Em estudos de Análise Quantitativa de Riscos, em geral, a distribuição populacional é um dado importante na medida em que os efeitos físicos dos acidentes tiverem capacidade de causar danos entre os membros da população, Conforme será visto mais adiante neste relatório, os possíveis cenários de acidentes com origem na operação das Fases A, B e C de Candiota, os cenários de acidente não têm efeitos físicos capazes de atingir a população externa. Independente deste fato, será feita uma descrição da população hoje residente nas imediações das instalações.

No Relatório de Pesquisa: “Censo sócio-econômico das Vilas Residencial e Operária do município de Candiota/RS - outubro de 2005” elaborado pelo Instituto de Pesquisa de Opinião (IPO), por solicitação da CGTEE para atendimento de demanda do IBAMA, há um mapeamento da vila Residencial com os seguintes dados:

<i>Vila Residencial -</i>	<i>Nº de residências mapeadas:</i>	<i>269</i>
	<i>Nº de residências entrevistadas:</i>	<i>243</i>
	<i>Nº de pessoas cadastradas:</i>	<i>844</i>
	<i>Pessoas/residência:</i>	<i>3,48</i>

Na Figura 2.2, a sudeste da unidade da Usina Termelétrica Presidente Médici, pode-se observar a Vila Residencial pertencente à CGTEE e imediatamente ao sul há diversas casas.

Para o levantamento populacional da zona residencial no entorno da Usina Termelétrica Presidente Médici foi utilizada a imagem de satélite da área, através do qual, foi possível estimar o número de residências, tanto na vila residencial como nas casas que se encontram ao sul da Usina. Com base num valor médio de 4 habitantes por residência é possível fazer-se uma estimativa da população residente no entorno da Usina.

Na Vila Residencial foram contadas 315 casas e na área ao sul, próxima da Usina mais 18, num total de 333 casas, ou seja, aproximadamente 1332 pessoas.

2.3.2 Relevo e Geomorfologia

A região de Candiota apresenta relevo razoavelmente plano com suaves declives na direção norte e leste. O município está inserido na Região Fisiográfica denominada Serra do Sudeste, entretanto, o relevo na região apresenta características da Região da Campanha, visto que é tênue a delimitação entre as regiões.

A região é geologicamente muito antiga, com um mosaico de inúmeras formações geológicas predominando as formações graníticas e magmáticas, gnaisses, granitos, siltitos e etc.

2.3.3 Hidrografia

Os rio e arroios que localizados no município de Candiota pertencem à micro-bacia hidrográfica do Rio Jaguarão, que está inserida na Bacia Hidrográfica do Mirim - São Gonçalo.

A bacia do Mirim-São Gonçalo possui 31.160,23 km² e está localizada no extremo sul do Estado, ocupando partes das regiões fisiográficas da Serra do Sudeste, Encosta do Sudeste, Litoral e Campanha. Limita-se ao norte com a bacia do Camaquã, ao sul com a República Oriental do Uruguai, a oeste com a bacia do Negro e a leste com o Oceano Atlântico. É composta pelos Rios Piratini, Jaguarão e Canal de São Gonçalo e os Arroios Turuçu, Pelotas, Jaguarão, Candiota, Mau, Telho, Chasqueiro, Grande, Bretanha e Juncal. A região da Serra do Sudeste (Escudo Sul-riograndense) pertence à Região Hidrográfica do Litoral, dirigindo todos os seus cursos de água para o escoadouro comum de Rio Grande. Sobressaem-se pelo seu volume, os Rios Jaguarão, Piratini e Camaquã. Os rios que nascem no talude norte desta serra correm primeiramente para o Rio Jacuí.

2.3.4 Dados Sócio-econômicos

Segundo os dados do IBGE, do ano de 2010, o município conta 8.771 habitantes. A vocação pela agropecuária é evidente, onde se destaca a criação de gado leiteiro, ovinocultura, assim como a orizicultura, fruticultura, produção de sementes olerícolas, milho, batata inglesa, mandioca, cenoura e etc.

Por outro lado, devido à riqueza mineral de seu subsolo (carvão e calcário), Candiota é um pólo de geração de energia e de produção de cimento pozolânico. O número de empresas atuantes em 2008 era de 228 unidades com 2.483 pessoas assalariadas (IBGE).

Na Tabela 2.2 constam alguns dados sócio-econômicos do município de Candiota e, para comparação, alguns do Estado do Rio Grande do Sul (Fonte consultada em 14/4/2011: <http://www.pnud.org.br/atlas/tabelas/index.php>). Na tabela, IDMH significa Índice de Desenvolvimento Humano Municipal.

Tabela 2.2 – Dados sócio-econômicos do Município de Candiota, RS

População Total	8.771 habitantes (Censo 2010)
Área*	934 km ²
Densidade Demográfica*	9,4 habitante/ km ²
Produto Interno Bruto per capita (2008)*	R\$ 30.705,10
IDHM	0,818 - Estado: 0,814
IDHM - Educação	0,913 – Estado RS: 0,904
IDHM - Longevidade	0,837 – Estado RS: 0,785
IDHM - Renda	0,704 – Estado RS: 0,754

* Fonte consultada em 14/4/2011: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>

2.4 Características Meteorológicas da Região

Nesta seção, serão apresentados os dados meteorológicos da região de Candiota. Aqui, cabe mencionar os dados meteorológicos também (semelhante à distribuição populacional) acabam sendo irrelevantes para os resultados do estudo. Considerando-se os eventos de interesse no presente estudo, a influência das características meteorológicas da região nos resultados dos estudos é desprezível, pois, conforme será visto, nenhum dos cenários que poderiam levar a danos fora das instalações depende de dispersão atmosférica. Dado que somente cenários envolvendo explosões teriam potencial de provocar algum dano fora do sítio industrial e os mesmos não dependem de condições meteorológicas, estas últimas não influenciam os resultados.

Os cenários que dependem de dispersão atmosférica, tais como formação de nuvem inflamável por evaporação de poça, seriam associados a vazamento de diesel ou óleo combustível, ambos os produtos têm pressão de vapor muito baixa nas temperaturas em que são manipulados, fazendo com que, independente da classe de estabilidade atmosférica ou da velocidade do vento, os alcances de nuvens até o limite inferior de inflamabilidade fiquem restritos a distâncias próximas do ponto de formação da poça. Mesmo no caso de liberação acidental de GLP, a fonte seriam botijões de 45 kg, com um orifício de ½ pol disponível para escape de material, onde, também, os alcances seriam pequenos.

A dispersão de uma nuvem de um material perigoso é governada pela velocidade e direção do vento e a estabilidade atmosférica. Num evento de liberação contínua, uma velocidade alta do vento diluirá a liberação. Para liberações instantâneas uma velocidade alta do vento poderá transportar o material liberado a favor do vento para um local distante sem que tenha tido tempo o suficiente para diluí-lo a uma concentração segura. A estabilidade atmosférica também tem um impacto significativo nas dispersões de nuvens de vapor. Uma atmosfera instável, tal como se apresenta num dia

ensolarado, é altamente turbulenta, o que age rapidamente para a diluição da nuvem. Em contraste, uma atmosfera estável, frequentemente encontrada durante a noite, apresenta pouca turbulência. Uma liberação numa atmosfera estável pode então percorrer uma longa distância antes de se diluir para um nível seguro.

Não são apresentados dados referentes a tempestades, nevoeiro e inundação para Candiota porque a região não apresenta a ocorrência representativa desses fenômenos meteorológicos.

O projeto não pode ser afetado por inundações porque se situa a 229,2 metros acima do nível do mar e o nível máximo da barragem situa-se a 207,7 metros acima do nível do mar.

Os dados meteorológicos utilizados para cálculos são apresentados nas Tabelas 2.3 e 2.4. Esses dados foram obtidos com a base de dados dos anos de 2003/2004 da Estação Meteorológica da CGTEE, instalada no aeroporto de Candiota (RS), distante 6 km da UTE, e 2007/2008 da Estação Meteorológica da fábrica de cimento CIMPOR. Estes são os mesmos dados que estão sendo utilizados para os estudos de dispersão atmosférica.

Tabela 2.3 - Frequências de Vento para Período Diurno (%) 8 direções

		DIREÇÃO								Total
		NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	
VELOCIDADE (m/s)	0-2	3,06	2,94	2,43	3,17	2,25	2,12	1,81	1,80	15,27
	2-4	4,68	3,24	2,92	2,58	3,78	4,09	2,78	2,89	32,51
	4-6	5,84	4,00	2,84	2,50	3,79	3,97	3,05	3,25	31,14
	>6	3,22	3,38	3,12	1,83	3,97	3,68	2,67	2,37	21,07
	Total	13,49	6,85	6,48	8,15	13,31	19,57	16,67	15,48	100,00

Fonte: Estação Meteorológica anos 2003/2004 (CGTEE), 2007/2008 (CIMPOR).

Tabela 2.4 - Frequências de Vento para Período Noturno (%) 8 direções

		DIREÇÃO								Total
		NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	
VELOCIDADE (m/s)	0-2	7,58	6,58	3,49	9,06	3,47	3,43	2,30	3,15	14,84
	2-4	4,95	3,27	2,26	2,19	4,15	5,03	3,45	4,02	41,53
	4-6	3,38	2,55	1,45	1,27	2,69	3,87	2,67	2,53	29,70
	>6	1,73	1,69	1,25	0,99	1,37	1,76	1,13	1,32	13,93
	Total	11,78	7,24	4,29	9,38	12,42	23,63	18,06	13,20	100,00

Fonte: Estação Meteorológica anos 2003/2004 (CGTEE), 2007/2008 (CIMPOR).

A partir dos valores de frequências de velocidades na Tabelas 2.3 e 2.4, calculou-se os valores de velocidades médias de 4,39 m/s para o período diurno e de 2,97 m/s para o noturno.

Para avaliação da dispersão de gases na atmosfera, é comum o uso de classes de estabilidade de Pasquill na forma apresentada na Tabela 2.5. Uma região onde as condições correspondem à classe A, “muito instável”, apresenta condições muito boas para a dispersão de gases ou vapores nela liberados, com a concentração tendendo a cair rapidamente com a distância da fonte, medida na direção do vento. No outro extremo, classe F, tem-se uma fraca tendência à dispersão. As piores condições de dispersão tendem a ocorrer durante a noite com calma. Entre estes dois extremos têm-se as classes B, C, D e E que correspondem a condições intermediárias.

Tabela 2.5 - Classes de Estabilidade de Pasquill

Classe	Descrição
A	Muito instável
B	Instável
C	Ligeiramente instável
D	Neutra
E	Estável
F	Muito estável

A seleção de classe para representar as condições atmosféricas de uma região deve ser feita com base na quantidade de turbulência presente na atmosfera e no gradiente vertical de temperatura, ou, na falta de dados precisos de uma estação meteorológica, com base nas velocidades de ventos, quantidade de insolação e grau de cobertura de nuvens, conforme apresentado na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 - Guia para escolha de classe de estabilidade atmosférica

Velocidade (m/s)	Dia (insolação)			Noite (cobertura)	
	Forte	Média	Fraca	Pouco encoberto	Muito encoberto
<2	A	A-B	B	F	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

Fonte: Gifford, F.A. – “Turbulent Diffusion-Typing Schemes: A Review”, Nuclear Safety, Vol. 17, Nº 1, Jan/Fev, páginas 68-86

A rugosidade do solo está relacionada com a conformação da superfície do solo ou do tipo de cobertura do mesmo (vegetação, construções etc.). O parâmetro rugosidade influencia o coefici-

ente de dispersão vertical, quanto maior for a rugosidade, maior será a geração de turbulência e maior a dispersão dos gases na atmosfera. Na Tabela 2.7, tem-se valores de rugosidade e as suas descrições.

Tabela 2.7 - Valores típicos de comprimento de rugosidade

Tipo de região	Descrição	Comprimento de rugosidade [m]
Terreno plano	Vegetação rasteira com poucas árvores	0,03
Área rural	Terras para agricultura	0,10
Área cultivada	Região com vegetação alta e poucas construções espalhadas	0,30
Área residencial	Região com casas baixas, sítios industriais sem muitos obstáculos	1,00
Área urbana	Cidade com prédios altos, área industrial com muitos obstáculos	3,00

O valor do parâmetro de rugosidade do solo utilizado neste trabalho corresponde a um valor intermediário entre estes diferentes tipos de cobertura do solo, no caso terreno plano e sítio industrial.

Na Tabela 2.8, tem-se um resumo dos valores dos principais parâmetros meteorológicos usados na análise de vulnerabilidade.

Tabela 2.8 – Resumo dos parâmetros climatológicos para a área do Complexo Termelétrico de Candiota (Fases A, B e C)

Parâmetro (unidade)	Valor
Temperatura média diurna do ar (°C)	19,2
Temperatura média noturna do ar (°C)	15,9
Temperatura do solo (°C)	24,2
Umidade relativa média diurna do ar (%)	69,9
Umidade relativa média noturna do ar (°C)	82,1%
Classe de estabilidade atmosférica (Pasquill)	B/C* (dia) / E (noite)
Rugosidade do solo (m)	0,17
Velocidade média diurna do vento (m/s)	4,39
Velocidade média noturna do vento (m/s)	2,97
Radiação média diurna (W/m ²)	1147
Radiação média noturna (W/m ²)	285

* B/C – classe de estabilidade moderadamente instável

3 PRODUTOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO

3.1 Introdução

Neste capítulo são apresentadas as principais características físico-químicas e toxicológicas dos produtos usados na empresa. Somente serão tratados os produtos envolvidos no processo da Usina Termelétrica Presidente Médici que teriam potencial de gerar cenários de acidente capazes causar danos à população externa. Os produtos mencionados são: óleo combustível 1A, GLP, óleo diesel e carvão. As Fichas de Informação de Segurança dos Produtos Químicos – FISPQ destes e dos demais produtos são apresentadas no Anexo C deste relatório.

3.2 Óleo combustível (Tipo 1A)

3.2.1 Principais características e propriedades físico-químicas

O óleo combustível tipo 1A é um produto preparado que, à pressão atmosférica e temperatura ambiente, é um líquido viscoso, escuro e com odor característico de hidrocarbonetos. É estável sob condições normais de uso e estocagem.

A Tabela 3.1 contém as principais propriedades físicas e químicas do óleo combustível tipo 1A e a sua caracterização quanto à inflamabilidade e à toxicidade.

3.2.2 Características toxicológicas e higiene industrial

- Toxicidade - trata-se de um produto com toxicidade aguda, que pode apresentar efeitos locais e sensibilização em caso de inalação, contato com a pele e com os olhos e ingestão.
- Riscos à saúde – Pode ser aspirado para os pulmões e provocar pneumonia química. O contato rápido com a pele pode causar irritação leve e moderada e quando prolongado e repetido pode ser perigoso. Em contato com os olhos não se espera irritação prolongada ou significativa. A inalação causa irritação das vias aéreas superiores.

- Primeiros Socorros – Em caso de ingestão, não induzir o vômito. Se a vítima estiver consciente lavar a sua boca com água limpa em abundância e fazê-la ingerir água. Se ocorrer inalação, remover a vítima para local arejado. Se a vítima não estiver respirando, providenciar respiração artificial. Se a vítima estiver respirando com dificuldade administrar oxigênio a uma vazão de 10 a 15 litros/minuto. Caso ocorra contato com a pele, remover vestes contaminadas, lavando as partes atingidas com grande quantidade de água corrente por pelo menos 20 minutos, preferencialmente sob chuveiro de emergência. Se o contato for com os olhos, lavar imediatamente com água corrente por pelo menos 20 minutos, mantendo as pálpebras abertas. Usar de preferência um lavador de olhos. Em todos os casos procurar auxílio médico imediatamente.

3.2.3 Aspectos de Segurança

- Equipamentos de Proteção Individual - Em baixas concentrações utilizar respirador com filtro químico para vapores orgânicos. Em altas concentrações usar equipamento de respiração autônomo ou conjunto de ar mandado. Utilizar luvas de PVC sempre que houver contato direto com o produto. Nas operações onde possam ocorrer projeções ou respingos recomenda-se o uso de óculos de segurança.
- Precauções – Em caso de derramamento ou vazamento, eliminar todas as fontes de ignição, impedir centelhas, fagulhas, chamas e não fumar na área de risco. Isolar o vazamento de todas as fontes de ignição. Estancar o vazamento se isso puder ser feito sem risco e restringi-lo à menor área possível. Não direcionar o material espalhados para quaisquer sistemas de drenagem pública.

Tabela 3.1 – Propriedades gerais do óleo combustível (Tipo 1A)

ÓLEO COMBUSTÍVEL TIPO 1A		
NOMENCLATURA	FÓRMULA MOLECULAR	PESO MOLECULAR
Óleo combustível tipo 1A	--	--
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS		
Estado físico e classificação: líquido viscoso combustível Cor: escuro Odor: característico de hidrocarbonetos Pressão de Vapor: __ Ponto de Ebulição: __	Densidade relativa do vapor (ar = 1): maior do que a do ar (vapor pesado) Densidade relativa (água = 1): 1,024 Solubilidade: desprezível em água; solúvel em solventes orgânicos. Reatividade: Pode reagir com oxidantes fortes (cloratos, nitratos, peróxidos etc.).	
INFLAMABILIDADE		
Ponto de fulgor: 66 °C (em copo fechado) Temperatura de auto-ignição : não disponível Limite inferior de inflamabilidade: não disponível Limite superior de inflamabilidade: não disponível	Agentes extintores: Espuma para hidrocarbonetos, neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono (CO ₂). Agentes extintores incompatíveis: não disponível Produtos tóxicos de combustão: A combustão normal produz dióxido de carbono (CO ₂), vapor d'água e óxidos de enxofre. A combustão incompleta pode produzir monóxido de carbono. Cuidados no combate: Resfriar com neblina d'água, os recipientes que estiverem expostos ao fogo. Remover os recipientes da área de fogo, se isto puder ser feito sem risco.	
TOXICIDADE		
OSHA PEL-TWA: __ LD₅₀ (ratos – ingestão): não disponível	ACGIH TLV-TWA: 0,2 mg/m ³ . ACGIH TLV-STEL: 0,2 mg/m ³ . LC (50%)- 10 min: não disponível LC (10%)- 30 min: não disponível	
OBSERVAÇÕES		

3.3 DIESEL

O óleo diesel é basicamente constituído por uma mistura de hidrocarbonetos resultante da destilação do petróleo. Na Tabela 3.2, estão apresentadas as principais características do óleo diesel.

Tabela 3.2 – Propriedades Gerais do Óleo Diesel

ÓLEO DIESEL		
NOMENCLATURA	FÓRMULA MOLECULAR	PESO MOLECULAR
Óleo diesel	--	--
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS		
Estado Físico e classificação: Líquido límpido (isento de material em suspensão) inflamável Cor: 3,0 máx. (Método NBR-14483/D1500) Odor: característico de hidrocarbonetos Pressão de Vapor: __	Densidade relativa do vapor (ar = 1): maior do que a do ar (vapor pesado) Densidade relativa (água = 1): 0,82 – 0,88 @ 20 °C (Método NBR-7148) Solubilidade: desprezível em água; solúvel em solventes orgânicos. Reatividade: Pode reagir com oxidantes fortes (cloratos, nitratos, peróxidos, etc.).	
Faixa de destilação: 100 - 400 °C @ 101,325 kPa (760 mmHg).		
INFLAMABILIDADE		
Ponto de fulgor: 38 °C (mín.). (Método NBR-7974) Temperatura de auto-ignição : __ Limite inferior de inflamabilidade: __ Limite superior de inflamabilidade: __	Agentes extintores: Espuma para hidrocarbonetos, neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono (CO ₂). Agentes extintores incompatíveis: __ Produtos tóxicos de combustão: __ Cuidados no combate: __	
TOXICIDADE		
Inalação: Irritação das vias aéreas superiores. Podem ocorrer dor de cabeça, náusea e tontura. Contato com os olhos: Irritação com vermelhidão das conjuntivas.	Contato com a pele: Podem causar lesões. Ingestão: Pode causar pneumonia química por aspiração durante o vômito.	
OBSERVAÇÕES		

3.4 GLP

O gás liquefeito de petróleo (GLP) pode ser separado das frações mais leves do petróleo ou das frações mais pesadas do gás natural, sendo majoritariamente constituído de propano e butano. À pressão atmosférica e temperaturas normalmente encontradas no ambiente, é um produto gasoso, inflamável, inodoro e asfíxiante, por diminuição do percentual de oxigênio no ar.

3.4.1 Principais características e propriedades físico-químicas

À temperatura ambiente, mas submetido a pressões adequadas, o GLP apresenta-se na forma líquida. Deste fato resulta a sua grande aplicabilidade, devido à facilidade de armazenamento e transporte. Por se tratar de um gás inodoro, adiciona-se um odorizante (etil mercaptana) para que seja possível a detecção de vazamento em aplicações domésticas.

O GLP é aproximadamente duas vezes mais pesado que o ar, em caso de vazamento acumula-se nas partes baixas até que seja disperso por ventilação.

A Tabela 3.3 contém as principais propriedades físicas e químicas do GLP e a sua caracterização quanto à inflamabilidade e à toxicidade.

3.4.2 Características toxicológicas e higiene industrial

- Riscos à saúde – Os gases liquefeitos de petróleo são considerados simples asfíxiantes quando em elevada concentração. Quanto às características de inflamabilidade, trata-se de um gás inflamável. Os vapores podem causar tontura ou sufocação. O contato causa graves lesões por congelamento. O fogo pode ocasionar a emissão de gases irritantes ou venenosos. Trata-se de um gás inflamável cuja toxicidade é desconhecida, podendo agir como simples asfíxiante. Os níveis de concentração considerados toleráveis para o homem são de 1000 ppm ou 1800 mg/m³ (P); 1250 ppm ou 2250 mg/m³ é considerado o valor limite de exposição de trabalhadores por longo período (TLV – Threshold Limit Value).
- Primeiros Socorros – Em caso de acidente remover a vítima da área contaminada. Se a mesma estiver inconsciente aplicar respiração artificial. Em caso de lesões por congelamento, descongelar com água as partes afetadas e manter a vítima quieta e agasalhada para manter a temperatura normal do corpo. Em caso de contato com os olhos lavar com água limpa, separando as pálpebras com os dedos; usar de preferência um chuveiro para os olhos; procurar assistência médica imediatamente. Em caso de contato com a pele retirar imediatamente roupas e sapatos que tiverem sido atingidos pelo produto químico e lavar a pele atingida abundantemente; procurar assistência médica imediatamente. Em caso de inalação remover o

paciente imediatamente do local e levá-lo para ambiente de ar fresco; se houver parada de respiração, promover respiração artificial ou dar oxigênio; procurar assistência médica imediatamente.

3.4.3 Aspectos de Segurança

- Em caso de incêndio pode desprender gases irritantes e tóxicos como o monóxido de carbono. Para o combate ao fogo recomenda-se bloqueio do fluxo de gás, pó químico seco, CO₂ e vapor d'água para pequenos focos. Em caso de incêndio de grandes proporções neblina de água é recomendada.
- Combater o fogo a favor do vento, mantendo resfriamento após o fogo ter sido extinto. Usar proteção respiratória e roupas especiais. Em ambientes que possam conter grande concentração de gases deve-se utilizar proteção respiratória: máscaras autônomas e ar comprimido.
- Devem-se manter as esferas ou tanques pressurizados distantes de fontes de ignição. Em caso de vazamento deve ser diluído com grande quantidade de água sob a forma de neblina; deve-se evitar permanecer junto à nuvem de gás devido ao risco de ignição.

Tabela 3.3 – Propriedades gerais do GLP

GLP		
NOMENCLATURA	FÓRMULA MOLECULAR	PESO MOLECULAR
GLP, Gás Liquefeito de Petróleo, gás de cozinha	0,6 C ₄ H ₈ + 0,4 C ₃ H ₈	52,4
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS		
Estado físico e classificação: gás inflamável e asfixiante	Densidade relativa do vapor (ar = 1): butano 2,046 e propano 1,56	
Cor: incolor	D Densidade relativa (água = 1): 0,5 – 0,6	
Odor: inodoro	Solubilidade: insolúvel na água, bastante solúvel em solventes orgânicos	
Pressão de vapor: 15 kgf/cm ² (37,8 °C)	Reatividade: Pode reagir com oxidantes fortes (cloratos, nitratos, peróxidos etc.).	
Temperatura de ebulição: butano -0,5 °C e propano -42 °C (1 atm)		
INFLAMABILIDADE		
Ponto de fulgor: 38 °C (mín.). (Método NBR-7974)	Agentes extintores: Espuma para hidrocarbonetos, neblina d'água, pó químico e dióxido de carbono (CO ₂).	
Temperatura de auto-ignição: butano 405 °C, propano 466 °C	Agentes extintores incompatíveis: __	
Limite inferior de inflamabilidade: 2,1 % (v/v) propano; 1,8 % (v/v) butano	Produtos tóxicos de combustão: __	
Limite superior de inflamabilidade: 9,5 % (v/v) propano; 8,5 % (v/v) butano	Cuidados no combate: __	
TOXICIDADE		
Inalação: Irritação das vias aéreas superiores. Podem ocorrer dor de cabeça, náusea e tontura.	Contato com a pele: Podem causar lesões.	
Contato com os olhos: Irritação com vermelhidão das conjuntivas.	Ingestão: Pode causar pneumonia química por aspiração durante o vômito.	
OBSERVAÇÕES		

3.5 Carvão

3.5.1 Principais características e propriedades físico-químicas

A UTE Presidente Médici, utiliza como combustível para a geração de energia um tipo de carvão conhecido como “Sub-Betuminoso”. O carvão é um mineral que, à pressão atmosférica e temperatura ambiente, é um sólido negro e sem odor e estável sob condições normais de uso e estocagem.

A Tabela 3.3 contém as principais propriedades físicas e químicas do carvão e a sua caracterização quanto à inflamabilidade e à toxicidade.

3.5.2 Características toxicológicas e higiene industrial

- Toxicidade - trata-se de um produto com toxicidade baixa, que em altas concentrações pode apresentar efeitos locais e sensibilização em caso de inalação e com os olhos.
- Riscos à saúde – Pode ser aspirado para os pulmões. Em contato com os olhos não se espera irritação prolongada ou significativa. A inalação causa irritação das vias aéreas superiores.
- Primeiros Socorros – Em caso de ingestão, não induzir o vômito. Se a vítima estiver consciente lavar a sua boca com água limpa em abundância e fazê-la ingerir água. Se ocorrer inalação, remover a vítima para local arejado. Se a vítima não estiver respirando, providenciar respiração artificial. Se o contato for com os olhos, lavar imediatamente com água corrente por pelo menos 20 minutos, mantendo as pálpebras abertas. Usar de preferência um lavador de olhos. Em todos os casos procurar auxílio médico imediatamente.

3.5.3 Aspectos de Segurança

- Equipamentos de Proteção Individual - Utilizar respirador com filtro. Utilizar luvas de couro para contato direto com o produto. Nas operações onde possam ocorrer projeções recomenda-se o uso de óculos de segurança.
- Precauções – Em caso de emergência, eliminar todas as fontes de ignição, impedir centelhas, fagulhas, chamas e não fumar na área de risco. Isolar o vazamento de todas as fontes de ignição.

Tabela 3.3 – Propriedades gerais do carvão

CARVÃO		
NOMENCLATURA	FÓRMULA MOLECULAR	PESO MOLECULAR
CARVÃO	Não aplicável	Não aplicável
PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS		
Estado físico e classificação: sólido	Densidade relativa do vapor (ar = 1): não aplicável	
Cor: negro	Densidade Relativa (água = 1): 2 a 20 °C (sólido)	
Odor: inodoro	Solubilidade: insolúvel.	
Pressão de Vapor: não aplicável	Reatividade: Incompatível com oxidantes fortes, tais como: cloratos, bromatos e nitratos.	
Ponto de Ebulição: não aplicável		
INFLAMABILIDADE		
Ponto de ignição: 315,8 a 399,2°C	Agentes extintores: neblina d'água.	
Ponto de fulgor: pode entrar em ignição, espontaneamente, no ar	Agentes extintores incompatíveis: __	
Limite inferior de inflamabilidade: não aplicável	Produtos tóxicos de combustão: __	
Limite superior de inflamabilidade: não aplicável	Cuidados no combate: __	
TOXICIDADE		
OSHA PEL-TWA: não disponível	ACGIH TLV-TWA: ____	
	ACGIH TLV-STEL: ____	
LD₅₀ (ratos – ingestão):	LC (50%)- 10 min: __	
	LC (10%)- 30 min: __	
OBSERVAÇÕES		

3.5 Incompatibilidade entre Produtos Químicos

Neste capítulo, será apresentada uma breve discussão sobre a incompatibilidade entre produtos químicos perigosos aplicada à Usina de Candiota. No caso de um estudo visando estimar os riscos para a população associados às operações de uma termelétrica, considerando-se as quantidades de produtos químicos perigosos envolvidos, pode-se afirmar que não são esperados eventos cuja origem seja a incompatibilidade entre produtos perigosos e que tenham potencial de causar danos a populações externa.

A norma NBR-14619 (*Transporte Terrestre de Produtos Perigosos – Incompatibilidade Química*) estabelece critérios de incompatibilidade química a serem considerados no transporte terrestre de produtos perigosos. Apesar de não se estar tratando de transporte, as idéias contidas na norma em termos de incompatibilidade entre produtos químicos perigosos podem ser aplicadas.

Quando se trata de armazenagem de produtos químicos, a preocupação maior é com a possibilidade de contato entre produtos (voláteis, corrosivos, oxidantes, redutores, tóxicos e explosivos) que possam reagir violentamente ou gerar produtos perigosos. Assim, a recomendação é ter o local de armazenagem com espaço suficiente, contendo bancadas largas e seguras, boa ventilação, preferencialmente com exaustão e com duas saídas. Instalações elétricas devem ser à prova de explosões. Fumar não deve ser permitido no local de armazenagem. Os produtos químicos devem ser armazenados por família e em distância mínima de 1 m entre as famílias. Os compostos corrosivos, ácidos, bases e mais perigosos devem ser armazenados na parte inferior da bancada. O mesmo aplica-se a inflamáveis e explosivos, que devem manter grande distância dos oxidantes. Os sais devem ser armazenados por família (cloretos, sulfatos, fosfatos, nitratos). Os redutores (acéticos e oxálicos) separados dos oxidantes (nitrato, sulfúrico e perclórico). Deve-se evitar luz diretamente sobre os produtos químicos e as prateleiras metálicas devem ser aterradas com um fio evitando descarga estática.

No almoxarifado onde são armazenados os produtos químicos para todas as fases de Candiota, a armazenagem é sobre pallets, onde cada produto é mantido separado dos demais por distâncias superiores um metro.

No intuito de evitar acidentes com produtos químicos, no Complexo Termelétrico de Candiota seguem-se os seguintes critérios quanto à edificação do almoxarifado:

- A edificação tem paredes sólidas e coberturas;
- Fechada à chave;
- Possui aberturas e exaustores para a ventilação, e dotado de proteção de modo a não permitir o acesso de animais e de pessoas não autorizadas;
- Situa-se em distância segura de locais como fontes de água, habitações, de armazenamento de medicamentos e outros materiais, e refeitórios;
- Placas e cartazes afixados com o símbolo de perigo.

Quanto à forma de armazenamento, adotam-se os seguintes critérios:

- Os produtos são acondicionados em suas embalagens originais (vasilhames e caixas), e posteriormente acondicionados sobre estrados, evitando o contato com o piso e paredes;
- O acondicionamento na embalagem original facilita a identificação do produto.

Na Tabela 3.4, tem-se o volume dos tanques / recipientes do inventário de produtos químicos perigosos.

Tabela 3.4 – Levantamento dos tanques/recipientes contendo produtos químicos perigosos

Produto	Utilização	Quantidade
Óleo combustível (OC) 1A (líquido)	Combustível auxiliar	5000 m ³ tanque principal 300 m ³ tanque Fase C
Óleo diesel (líquido)	Combustível auxiliar	55 m ³ tanque (Fase A) 200 m ³ tanque (Fase B)
Ácido sulfúrico (solução a 98%)	Produto para desmineralização da água	2x10 m ³ tanques 20.000 kg/mês (carretas)
Fosfato trisódio (sólido cristalino)	Produto para tratamento da caldeira	150 kg/mês (barricas ou sacos de 25 kg)
Hidróxido de amônio (solução a 15%)	Produto para tratamento da caldeira	1800 litros/mês (5 a 8 bombonas plásticas de 50 litros)
Soda cáustica anidra (sólido escamas)	Produto para demineralização da água da caldeira	20.000 kg/mês (sacos de 25 kg) 2 x 10 m ³ tanques
Óxido de cálcio (sólido pó)	Produto para o dessulfurizador	41040 ton/mês (1200 ton em silos)
Hipoclorito de cálcio (sólido pó)	Produto para tratamento da torre	10 kg/mês (tambores herméticos de 45 kg)
Policloreto de alumínio - PAC (solução a 12 %)	Produto para pré-tratamento d'água	36.000 kg/mês (carretas) tanques (36 m ³ , 7 m ³ e 3 m ³)
Carbohidrazina (solução a 6,5 %)	Produto para tratamento da caldeira	200 litros/mês (bombonas de 50 litros)
Nitrito/borato (líquido)	Inibidor de corrosão	100 litros/mês (bombonas de 50 litros)
Carvão (sólido)	Combustível principal	177.000 t/mês 180.000 t pátio coberto
Hidrogênio (gás)	Gás refrigerante dos geradores	10 Nm ³ /mês Cilindros com 7 Nm ³
Dióxido de Carbono (CO ₂) (gás)	Sistema de proteção contra incêndio e purga de gerador	Cilindros

O principal produto corrosivo em uso é o ácido sulfúrico que fica armazenado em tanques próprios, fora do almoxarifado, onde estão estocados diversos dos produtos químicos utilizados nas instalações. O outro produto que por sua natureza oxidante aparece como incompatível com outros produtos químicos é o hipoclorito de cálcio. O uso é bastante pequeno, somente 10 kg/mês e sua armazenagem é em baldes herméticos de 45 kg, separada de outros produtos.

O principal produto líquido que pode entrar em combustão, o óleo combustível 1A, é armazenados em tanque próprio, ou seja, a questão de incompatibilidade entre produtos perigosos não é relevante.

Na Tabela 3.5, tem-se uma lista dos produtos químicos perigosos utilizados no Complexo Termelétrico de Candiota e respectivas incompatibilidades extraídas das respectivas FISPQs.

Tabela 3.5 – Incompatibilidade entre produtos químicos utilizados

Produto	Classificação	Incompatibilidades/características
Ácido sulfúrico	Corrosivo	Combustíveis, bases, cloratos, óxidos, hidretos metálicos e muitas outras substancias reativas, Em contato com a água pode gerar calor de forma violenta, com metais pode gerar gás inflamável (hidrogênio). Liberação de óxidos sulfurosos por aquecimento, geração de hidretos de halogênios por reação com sais halogenados.
Soda cáustica anidra	Corrosivo	Ácidos, solventes clorados, aromáticos, aldeídos, alumínio, zinco, estanho (e suas ligas) e o cobre (elevação de temperatura, inflamabilidade e explosões possíveis de ocorrer).
Óleo combustível 1A	Líquido combustível	Oxidantes fortes como cloratos, nitratos e peróxidos.
Óleo diesel	Líquido combustível	Oxidantes fortes como cloratos, nitratos e peróxidos.
Óxido de cálcio	Corrosivo	Reage com a água gerando calor.
Sulfato de alumínio sólido	Corrosivo	Sem incompatibilidades.
Fosfato trisódico	Corrosivo	Sem incompatibilidades.
Hidróxido de amônio	Corrosivo	Em contato com halogênios, boro, 1.2. dicloroetano, óxido de etileno, platina, triclorato de nitrogênio e fortes oxidantes, pode causar reações potencialmente violentas ou explosivas. Em contato com metais pesados como mercúrio, causa reações altamente explosivas. Em contato com cloro e seus compostos pode resultar a liberação de gás cloramida. Amônia produz significativa mistura explosiva quando em contato com hidrocarbonetos. O produto também é incompatível com aldeído acético, acroleína, hidrazida, ferrocianeto de potássio.
Hipoclorito de cálcio	Oxidante	Ácidos, materiais orgânicos, compostos nitrogenados, extintores de incêndio de pó químico (que contenham fosfato de amônia), oxidantes, todos os líquidos corrosivos, materiais combustíveis ou inflamáveis.
Carbohidrazina	Corrosivo	Ácidos, agentes oxidantes fortes, cobre, alumínio, zinco e suas ligas, níquel, chumbo, latão, aço carbono, ferro fundido.

Hidrogênio	Gás inflamável	Agentes oxidantes, lítio e halogênios
Gás carbônico	Gás asfíxiante	Metais alcalinos, metais alcalinos-terrosos, acetilenos metálicos, cromo, titânio acima de 550 °C, urânio acima de 750 °C e magnésio acima de 775 °C

Com base nas incompatibilidades entre os produtos utilizados foi construída a Tabela 3.6 com a matriz de incompatibilidades entre os produtos químicos perigosos.

Tabela 3.6 – Matriz de incompatibilidade entre produtos químicos utilizados

	Ácido sulfúrico	Soda cáustica anidra	Óleo combustível 1A	Óleo diesel	Óxido de cálcio	Sulfato de alumínio	Fosfato trisódico	Hidróxido de amônio	Hipoclorito de cálcio	Carbohidrazina	Hidrogênio	Gás carbônico
Ácido Sulfúrico	•	Inc.						Inc.	Inc.			
Soda cáustica anidra	Inc.	•							Inc.			
Óleo combustível 1A			•						Inc.			
Óleo diesel				•					Inc.			
Óxido de cálcio					•				Inc.			
Sulfato de alumínio						•			Inc.			
Fosfato trisódico							•		Inc.			
Hidróxido de amônio	Inc.							•	Inc.			
Hipoclorito de cálcio	Inc.	Inc.	Inc.	Inc.	Inc.	Inc.	Inc.	Inc.	•	Inc.	Inc.	
Carbohidrazina									Inc.	•		
Hidrogênio									Inc.		•	
Gás carbônico												•

Inc. = incompatível

Portanto, com base nas informações apresentadas, pode-se concluir que a incompatibilidade entre produtos perigosos não é relevante para uma análise quantitativa de riscos para a população externa às instalações da Usina Termelétrica Presidente Médici.

4 ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES

4.1 Introdução

Este capítulo compreende a utilização da técnica de Análise Histórica (AH) para estudar os eventos capazes de ocasionar acidentes e suas principais consequências, auxiliando a identificação dos cenários relativos às instalações analisadas.

A Análise Histórica (AH) tem como objetivo fornecer subsídios para a determinação dos possíveis Cenários de acidente de acidente e os efeitos que estes podem causar, tomando como base acidentes ocorridos com os produtos analisados em instalações similares. Adicionalmente, o estudo pode auxiliar a estabelecer a probabilidade de ocorrência das várias causas e a ordem de magnitude das possíveis consequências de acidentes envolvendo os produtos analisados.

4.2 Análise Histórica

Através de pesquisa realizada nos bancos de dados MHIDAS (Major Hazard Incidents Data Service) e HSELINE, foram levantados ao todo 16 acidentes que ocorreram desde 1986, em instalações, processos e produtos de usinas Termelétricas.

4.2.1 Tipologias de acidente analisadas

Para o levantamento dos registros históricos de acidente foram consideradas as tipologias acidentais relativas à usina Termelétrica. Estas, por sua vez, tiveram por base tipos de equipamentos, produtos e processos, conforme descrito a seguir:

- ***Turbinas a vapor***

O evento considerado crítico para esse tipo de equipamento é o desbalanceamento de sua massa girante ou a sobrevelocidade. Sistemas de controle e segurança são previstos para a parada de emergência, nestas situações. Tais cenários, se ocorrerem, podem provocar danos severos à estrutura da Turbina, ocasionando o lançamento de objetos metálicos à distância, devido à quebra da máquina. Normalmente a projeção dos fragmentos se restringe a pequenas distâncias, mas as perdas econômicas são severas. Existem relatos de acidentes com morte e ferimentos graves, de pessoas próximas à máquina, quando ocorre a sobrevelocidade e ruptura da turbina.

- ***Caldeiras***

Basicamente as caldeiras podem sofrer dois tipos de explosões: a explosão confinada na câmara de combustão devido ao acúmulo da mistura de ar com combustível na fornalha, e a explosão do tubulão de vapor devido às falhas operacionais ou à falta de manutenção

O efeito de uma explosão da câmara de combustão depende do tamanho da câmara e da quantidade de combustível misturado com ar. Para ser conservador estima-se que toda a câmara de combustão está repleta com uma mistura na faixa de explosividade quando ocorre a explosão. Os efeitos normalmente são graves.

Quando ocorre a explosão do lado vapor, por sobrepressão ou por colapso estrutural (falha de material, por exemplo), uma onda de pressão se desenvolve com energia suficiente para fazer estragos a vários metros de distância.

Ambos os casos são considerados críticos.

- ***Tanques de óleo combustível e diesel***

Óleo combustível e óleo diesel estocados em reservatórios estão sujeitos a vários cenários de acidentes. A severidade desses cenários pode aumentar principalmente quando o produto é estocado acima da temperatura relativa ao ponto de fulgor.

- pode haver a explosão da fase vapor (localizada entre o líquido e o teto do tanque), por ignição devida a uma descarga atmosférica, um serviço de manutenção sobre o teto ou ainda uma falha ou falta de aterramento do tanque.

- pode ocorrer uma falha intrínseca no tanque, levando à liberação do inventário contido nele.

- pode ocorrer um vazamento do tanque para o dique e formação de uma poça, que pode inflamar se a temperatura for relativamente alta.

- ***Equipamentos Elétricos***

Neste caso pode-se ter um choque elétrico com consequências que ao ser humano podem ser muito graves (perigo de morte e/ou queimaduras). Também podem ocorrer explosões e/ou incêndios que normalmente acontecem em equipamentos elétricos que utilizam óleo como elemento isolante (disjuntores, transformadores etc.) e incêndios devido à falha intrínseca do equipamento, vida útil ultrapassada ou condições operacionais fora dos limites estabelecidos em projeto. Os efeitos normalmente ficam restritos ao equipamento. Pode haver fatalidade ou ferimentos graves apenas com as pessoas que estão próximas.

- ***Explosão de Poeira de Carvão***

Em princípio, poeira de carvão sub-betuminoso é suscetível a explodir, em local confinado, quando o índice de volatilidade for alto. O índice de volatilidade é calculado pela equação:

$$IV = MV / (MV + CF)$$

Onde: IV = Índice de Volatilidade

MV = Matéria Volátil;

CF = Carbono Fixo

Logo,

IV Carvão CGTEE = $17,22 / (17,22 + 23.6)$

IV Carvão CGTEE = 0, 42

O Bureau of Mines estabeleceu que carvões com o Índice de Volatilidade maior que 0,12 são explosivos (ver, por exemplo, COAL DUST EXPLOSION HAZARDS by CLETE R. STEPHAN, P.E. MINE SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION PITTSBURGH, PENNSYLVANIA, <http://www.msha.gov/S&HINFO/TECHRPT/P&T/COALDUST.pdf>, acesso em 22/04/2011). Somente com base nesta informação, o evento explosão de mistura de pó de carvão com ar deveria ser considerado nos locais onde há o confinamento, como entre o pulverizador e a caldeira ou até mesmo no próprio pátio, apesar de não se ter confinamento total. Explosões de poeira, em ambiente confinado, normalmente atingem 7 ou 8 bar de pressão.

Por outro lado, em teste recente realizado na Explosion Hazards Testing Limited (EHT), na Inglaterra, em maio de 2011, mostrou que a amostra de carvão de Candiota é do tipo “B”, ou seja, não explosiva na temperatura ambiente.

Com base no laudo da EHT, os cenários de explosão de pó de carvão e ar foram desconsiderados.

As principais fontes pesquisadas são apresentadas a seguir.

4.2.2 MHIDAS – The Major Hazard Incidents Data Service

O MHIDAS é um banco de dados desenvolvido pelo Safety and Reliability Directorate (SRD) da Inglaterra. O sistema foi criado para registrar detalhes dos acidentes envolvendo substâncias perigosas que resultaram em ou tinham potencial para produzir impacto significativo sobre a população em geral.

O banco de dados contém registros de acidentes provenientes de 95 países, principalmente dos EUA, UK, Canadá, Alemanha, França e Índia. O banco começou no início da década de 80, mas há referências a acidentes ocorridos desde o início do século e o banco continua sendo constantemente alimentado, sendo atualizado a cada 3 meses.

O MHIDAS fornece os registros simplificados que contêm informações indicativas sobre:

- local de ocorrência do incidente;
- data da ocorrência;
- produto químico envolvido (no caso sempre gás natural ou metano);
- tipologia acidental;
- causa iniciadora;
- número de feridos e fatalidades;

- resumo do incidente.

4.2.3 HSELINE

O HSELINE, produzido pela Health Information Service (UK), contém mais de 230.000 referências de literatura de saúde e segurança do mundo todo. Inclui todas as publicações da UK Health and Safety Commission, além de artigos, livros, conferências, reportagens e legislação de outras fontes internacionais.

Devido ao baixo número de registros, outras fontes também foram consultadas visando incrementar a análise:

- **Atlanta Business Chronicle;**
- **The New York Times Journal.**
- **http://www.powermag.com/o_and_m/Lessons-Learned-from-a-Hydrogen-Explosion_1857.html**

Para efeito do presente trabalho foi utilizado os registros de dados dos bancos internacionais por falta de tipificação dos eventos aqui do Brasil, vinculados a acidentes do trabalho, sem as consequências ambientais.

4.2.4 Lista de Acidentes

Foram analisados 17 registros relativos a acidentes envolvendo Termelétricas, servindo de base para o tratamento estatístico e análises de sensibilidade.

É importante ressaltar que acidentes em Usinas Nucleares não foram incluídos na Análise Histórica por não possuírem características relevantes para análise dos cenários envolvendo Termelétrica.

A Tabela 4.1 a seguir contém os 17 registros encontrados e analisados:

ID	Data	Local	Tipologia Acidental	Causa	Impacto	Vítimas	Fonte de Dados
1	12/1986	South Glamorgan, UK	Explosão do Transformador	Desconhecida	800 galões de óleo foram lançados ao sistema de drenagem da planta e ao Canal de Bristol.	-----	MHIDAS
2	26/05/87	Tokyo, Japão	Incêndio seguido de explosão	O incêndio iniciou-se no tanque de óleo.	-----	-3 mortes -6 feridos	HSELINE
3	27/01/89	Talwara, India	Incêndio	Curto circuito no transformador	Chamas e fumaça espalhadas pela planta, destruindo as unidades geradoras.	-----	HSELINE
4	1989	Alemanha	-----	Acúmulo de sujeira (cinzas) na válvula do Boiler	Um pedaço de “crosta” de sujeira de 6 kg caiu sobre um trabalhador durante o reparo da caldeira.	1 ferido	HSELINE
5	08/10/92	Merom, Estados Unidos	Explosão seguida de incêndio.	Falha na solda do Depurador de gás	-----	- 3 mortes - 25 feridos	The New York Times Journal
6	14/04/94	Punjab, Paquistão	Incêndio seguido de explosão	-----	-----	-----	HSELINE
7	03/11/96	Karachi, Paquistão	Explosão	Faísca no Gerador	-----	-2 mortes -Vários feridos	HSELINE
8	27/07/98	Hammond, Indiana, USA	Explosão seguida por incêndio	-----	Provável explosão de poeira de carvão	14 feridos	Atlanta Business Chronicle
9	12/08/98	Karbirwala, Paquistão	Incêndio	Desconhecida	Parte da Termelétrica pegou fogo.	-----	MHIDAS

10	19/02/99	Kansas City, Estados Unidos	Explosão	Causa indefinida (gás natural ou poeira de carvão)	-----	-----	http://members.aol.com/rav0077/accidents.html
11	04/1999	Não Informado	Explosão da caldeira de regeneração de calor	Projeto e operação inadequados do coletor dos respiros	A explosão danificou a caldeira.	-----	HSELINE
12	09/1999	Não Informado	Incêndio	Projeto e operação inadequados do coletor dos respiros	O incêndio destruiu seções da planta e danificou a membrana do teto do edifício.	-----	HSELINE
13	15/11/99	Vastervik, Suécia	Explosão	Desconhecida	A explosão foi seguida por um incêndio.	1 ferido	HSELINE
14	14/01/00	Nebraska, Estados Unidos	Explosão	Desconhecida	-----	2 mortes	HSELINE
15	30/04/03	Hallam, Estados Unidos	Explosão	O carvão para partida da caldeira de baixa qualidade.	-----	-----	Nebraska Public Power District
16	8/1/2007	River Power, Estados Unidos	Explosão	Falha de sistema de alívio (disco de ruptura)	Vazamento de gás extremamente inflamável	1 morte 10 feridos	Internet
17	15/3/2011	L.V. Sutton Steam Electric Plant, Estados Unidos	Explosão confinada	Purga incompleta do gerador	Explosão de mistura de gás inflamável ar no interior do gerador	1 morte	Internet

Tabela 4.1 – Lista de Acidentes

A explosão se destaca com a maioria total de feridos e de fatalidades. Como anteriormente citado, esse é um cenário considerado altamente crítico pelo seu poder de impacto,

Deve-se observar também que, embora o número de feridos seja relativamente alto, o número de mortes não é.

A Análise Histórica auxilia na identificação dos cenários acidentais a serem considerados no estudo. Também é ferramenta auxiliar na elaboração da Análise Preliminar de Perigos – APP é a ferramenta que permite definir com maior precisão os cenários que serão modelados na Análise de Consequências e na Estimativa de Riscos, classificando-os em termos de severidade e de frequência de ocorrência.

4.3 Histórico de acidentes ocorridos nas unidades da UPME

A seguir são apresentados registros de acidentes em unidades da Usina Presidente Médici

24/04/1975 – Ruptura das paredes na câmara morta (parte superior lateral da caldeira) devido à sobrepressão na câmara de combustão decorrente de extinção de chama – sem danos pessoais, causando somente danos materiais e indisponibilidade do equipamento.

2/10/1996 – Ruptura da amarração dos buckstays no canto esquerdo – Região dos bancos horizontais do superaquecedor primário decorrente de sobrepressão na câmara de combustão devido à extinção de chama - sem danos pessoais, causando apenas indisponibilidade do equipamento;

3/10/1997 – Ruptura da amarração dos buckstays no canto esquerdo – Região dos bancos horizontais do superaquecedor primário decorrente de sobrepressão na câmara de combustão devido à extinção de chama - sem danos pessoais, causando apenas indisponibilidade do equipamento;

Fevereiro de 1980 – Ruptura de um tubo de alta pressão devido a sobreaquecimento - sem danos pessoais, apenas danos materiais e indisponibilidade do equipamento;

22/08/2000 – Queda de um precipitador eletrostático da unidade 3 – Fase B, com perda total – O evento envolveu um trabalhador (queimadura com cinza quente) e a indisponibilidade do equipamento (precipitador 3 FIB) ocasionando a redução em 50% da disponibilidade de geração da Unidade 3.

5 IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS

5.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentados a metodologia utilizada para a identificação dos perigos relativo à Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C) e os resultados obtidos através da aplicação da metodologia de Análise Preliminar de Perigos (APP). Inicialmente, serão apresentados os resultados obtidos quando da realização dos estudos anteriores pela Herco (Fase A e B), em 2005, e DNV (Fase C), em 2006, e, na sequência, a revisão realizada em abril de 2011. Com base na metodologia de APP que é uma técnica estruturada de identificação de perigos, foram levantados os eventos capazes de dar origem a acidentes e avaliadas qualitativamente suas frequências e consequências. Essa avaliação qualitativa foi feita com o uso de categorias de frequência e de severidade para cada cenário de acidente. A combinação das categorias de frequência e de severidade permite estabelecer categorias de risco para cada um dos cenários de acidentes identificados.

A Seção 5.2 contém uma breve descrição da metodologia de Análise Preliminar de Perigos (APP) utilizada para a identificação dos perigos relativos à Usina Termelétrica analisada. Na Seção 5.3, são apresentados os resultados obtidos através da aplicação da APP neste estudo e a relação das medidas sugeridas para a redução dos riscos identificados. Na Seção 5.4, são apresentados os resultados da revisão recém mencionada.

5.2 Metodologia de Análise Preliminar de Perigos (APP)

A descrição que será apresentada nesta seção corresponde à metodologia empregada pela DNV. Mas como o trabalho inclui a revisão das Fases A e B, a qual foi feita pela Herco, ainda que as idéias básicas sejam as mesmas algumas definições e terminologia não são exatamente iguais, nos trabalhos das duas empresas. Assim, por exemplo, o que na DNV é conhecido como cenário de acidente, na Herco é uma hipótese acidental. Apesar das definições de categorias de frequência e de severidade não serem idênticas, as mesmas são equivalentes.

Com a aplicação da APP, são levantados os eventos capazes de dar origem a acidentes nas instalações analisadas, doravante denominados "eventos iniciadores de acidente". Em seguida são identificadas as causas básicas de cada um dos eventos e as suas respectivas consequências. As consequências de cada evento iniciador dependem da evolução do acidente após a ocorrência do evento. Assim, por exemplo, o evento iniciador: "grande liberação de óleo causada por ruptura intrínseca do tanque" pode ter como consequência a ocorrência de um incêndio em poça. Ao conjunto formado pelo evento iniciador, suas causas e consequências, é dado o nome de "cenário de acidente".

Na APP, tipicamente após a identificação dos cenários de acidente, é feita uma avaliação qualitativa da severidade (ou magnitude) das respectivas consequências. Essa avaliação qualitativa é feita com o uso de categorias de severidade. Desta forma, os cenários de acidente identificados para uma dada instalação podem ser hierarquizados em função das respectivas consequências. Portanto, os resultados obtidos através da aplicação da APP são qualitativos, não fornecendo estimativas nu-

méricas dos riscos, mas apenas uma classificação dos mesmos em faixas qualitativas de severidade. A partir dos resultados, medidas mitigadoras podem ser propostas ou recomendações podem ser feitas relativas à necessidade de aprofundamento do nível de análise, por exemplo, passando-se a uma análise de vulnerabilidade ou mesmo uma análise quantitativa de riscos.

As etapas da APP adotadas no presente trabalho compreenderam:

1. definição dos objetivos e da abrangência da análise;
2. definição das fronteiras das instalações analisadas;
3. coleta de informações sobre a região, as instalações, as substâncias perigosas envolvidas e os processos;
4. realização da APP propriamente dita (preenchimento da planilha), incluindo a sugestão de medidas mitigadoras de risco;
5. elaboração das estatísticas dos cenários identificados por categorias de severidade;
6. análise dos resultados e preparação do relatório.

A APP inclui os eventos perigosos cujas causas tenham origem nas instalações analisadas, englobando tanto as falhas intrínsecas de componentes ou sistemas, como eventuais erros operacionais (erros humanos).

Conforme já mencionado, as definições usadas nos trabalhos realizados anteriormente pela Herco e DNV não são idênticas, mas as idéias são muito semelhantes e totalmente compatíveis. A idéia central é identificar um conjunto de eventos iniciadores de cenários de acidentes representativos das instalações, com uma classificação em termos de severidade, de modo a permitir a seleção de um conjunto de eventos para a realização de cálculos e vulnerabilidade/risco.

A realização da APP propriamente dita foi feita através do preenchimento de uma planilha de APP. A planilha utilizada nesta APP, mostrada na Figura 5.1 (DNV), contém 10 colunas, as quais foram preenchidas conforme a descrição apresentada a seguir.

1ª coluna: Equipamento / Instalação

Os equipamentos ou as áreas da instalação onde está sendo feita a identificação dos perigos são discriminados nesta coluna.

2ª coluna: Perigo

Esta coluna contém os perigos identificados para o módulo de análise em estudo. De uma forma geral, os perigos são eventos acidentais que têm potencial para causar danos às instalações, aos operadores, ao público ou ao meio ambiente. Portanto, os perigos referem-se a eventos tais como: pequena liberação de material inflamável, grande liberação de material inflamável etc.

3ª coluna: *Possíveis Causas*

As possíveis causas de cada perigo foram discriminadas nesta coluna. Essas causas podem envolver tanto falhas intrínsecas de equipamentos (vazamentos, rupturas, falhas de instrumentação etc.) como erros humanos de operação e manutenção.

4ª coluna: *Deteccção e Protecção e fatores relevantes*

Os modos disponíveis na instalação para a deteção do perigo identificado na primeira coluna foram relacionados nesta coluna. A deteção da ocorrência do perigo tanto pode ser realizada através de instrumentação (alarmes de pressão, de temperatura etc.), como através de percepção humana (visual, odor etc.). Nesta coluna também será indicada a existência de procedimentos, práticas padrão ou análise de riscos, assim como sistemas de protecção dos equipamentos (alarmes, intertravamentos e bloqueios), que atuem como fatores que atenuem ou aumentem a frequência ou a severidade das situações de risco.

5ª coluna: *Possíveis Efeitos*

Os possíveis efeitos danosos de cada perigo identificado foram listados nesta coluna. Os principais efeitos dos acidentes envolvendo produtos inflamáveis são:

- Jato de fogo;
- Incêndio em poça;
- Incêndio em nuvem;
- Explosão de nuvem;
- Bola de fogo.

Análise Preliminar de Perigos (APP)									
Companhia:					Subsistema:				
Referência:				Data:			Revisão:		
<i>Equip / Inst</i>	<i>Perigo</i>	<i>Possíveis Causas</i>	<i>Deteção e Proteção e fatores relevantes</i>	<i>Possíveis Efeitos</i>	F	S	R	<i>Recomendações</i>	<i>Nº do cenário</i>

Figura 5.1 - Planilha de APP utilizada

6ª coluna: Categoria de Frequência do Cenário (F)

No âmbito desta APP, um cenário de acidente é definido como o conjunto formado pelo perigo identificado, suas causas e cada um dos seus efeitos. Exemplo de cenário de acidente:

- Liberação de substância inflamável devido à ruptura de tubulação podendo levar à formação de uma nuvem inflamável e incêndio em nuvem.

As categorias de frequência usadas para uma indicação qualitativa da frequência esperada de ocorrência de cada cenário identificado estão definidas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Categorias de Frequências dos Cenários Usadas na APP (DNV)

Categoria	Denominação	Descrição
E	Muito Improvável	▪ Cenários que dependam de falhas múltiplas de sistemas de proteção ou ruptura por falha mecânica de vasos de pressão.
D	Improvável	▪ Falhas múltiplas no sistema (humanas e/ou equipamentos) ou rupturas de equipamentos de grande porte.
C	Ocasional	▪ A ocorrência do cenário depende de uma única falha (humana ou equipamento). Sem registro em situações similares anteriores (pelo menos 20 anos e/ou 10.000 intervenções semelhantes).
B	Provável	▪ Esperada uma ocorrência durante a vida útil do sistema. Pelo menos um registro em situações anteriores e nenhuma modificação no sistema ou nos procedimentos que reduza a chance de ocorrência.
A	Frequente	▪ Esperada uma ou mais ocorrências do cenário a cada ano de operação do sistema. Vários registros em situações similares anteriores.

7ª coluna: Severidade (S)

De acordo com a metodologia de APP adotada neste trabalho, os cenários de acidente foram classificados em categorias de severidade, as quais fornecem uma indicação qualitativa do grau de severidade das consequências de cada cenário identificado. As categorias de gravidade utilizadas no presente trabalho estão reproduzidas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Categorias de severidade das consequências dos cenários (DNV)

Categoria	Denominação	Descrição / Características
I	Desprezível	<ul style="list-style-type: none">▪ Nenhum dano ou dano não mensurável.
II	Marginal	<ul style="list-style-type: none">▪ Danos irrelevantes ao meio ambiente e à comunidade externa.
III	Crítica	<ul style="list-style-type: none">▪ Possíveis danos ao meio ambiente devido às liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, alcançando áreas externas das instalações.▪ Pode provocar lesões de gravidade moderada na população externa, ou impactos ambientais com reduzidos tempos de recuperação.
IV	Catastrófica	<ul style="list-style-type: none">▪ Impactos ambientais devido às liberações de substâncias químicas, tóxicas ou inflamáveis, atingindo áreas externas das instalações.▪ Provoca mortes ou lesões graves na população externa, ou impactos ao meio ambiente com tempos de recuperações elevados.

Observação: Para classificação de um cenário em uma dada categoria de severidade não é necessário que todos os aspectos previstos na categoria estejam incluídos nos possíveis efeitos deste acidente.

8ª coluna: Categoria de Risco (R)

Combinando-se as categorias de frequência com as de severidade obtêm-se uma Matriz de Riscos, conforme mostrado na Figura 5.2, a qual fornece uma indicação qualitativa do nível de risco de cada cenário identificado na análise.

Na Matriz de Riscos, são definidas duas categorias de risco, identificadas por **Não AC** - Não Aceito – cenários classificados em severidades III (crítica) ou IV (catastrófica) para os quais será feita a análise de vulnerabilidade e podem, em princípio, contribuir para o risco e **AC** - Aceitos – cenários que forma classificados nas categorias de severidade I e II, ou seja, não devem dar contribuição para o risco.

9ª coluna: Recomendações

Esta coluna contém as recomendações ou quaisquer observações pertinentes ao cenário de acidente em estudo.

10ª coluna: Identificador do cenário de acidente (Nº do cenário)

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

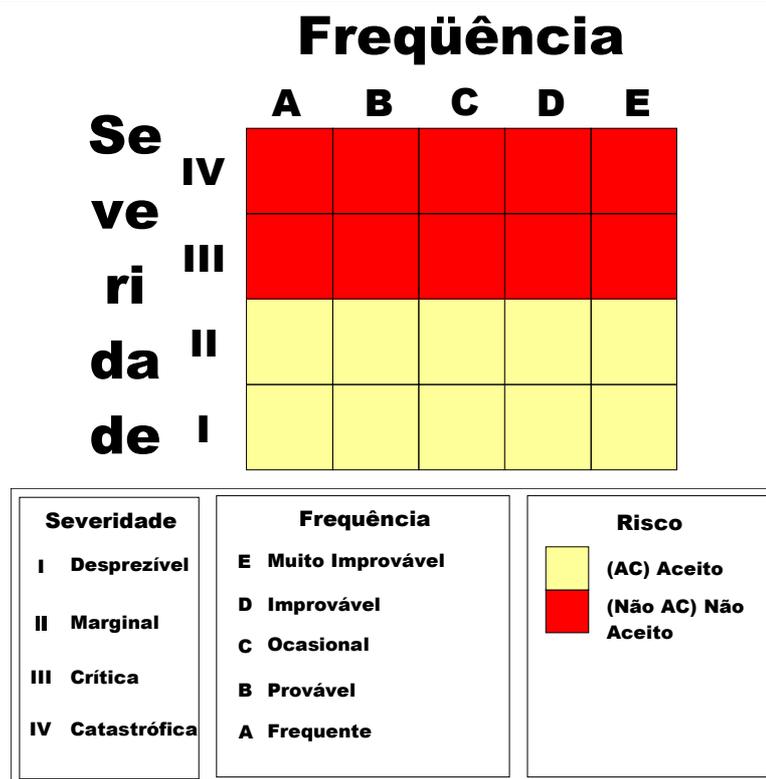


Figura 5.2 - Matriz de Classificação de Riscos Usada na APP da DNV

A matriz de risco usada pela Herco é levemente diferente e está mostrada na Tabela 5.3. Conforme pode ser observado, são usadas somente quatro categorias de frequência: A- Provável, B- Razoavelmente Provável, C- Remota e D- Extremamente Remota. As categorias de risco usadas na APP da Herco são cinco: Risco Muito Baixo, Risco Baixo, Risco Médio, Risco Alto e Risco Muito Alto.

Matriz de risco	Severidade				
	I (Desprezível)	II (Marginal)	III (Crítica)	IV (Catastrófica)	
Frequência	A	Risco Médio	Risco Alto	Risco Muito Alto	Risco Muito Alto
	B	Risco Baixo	Risco Médio	Risco Alto	Risco Muito Alto
	C	Risco Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Médio	Risco Alto
	D	Risco Muito Baixo	Risco Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Médio

Tabela 5.3 – Matriz de classificação de riscos usada na APP da HERCO

5.3 APP da Usina Termelétrica Presidente Médici

5.3.1. APP das Fases A e B

A realização da APP das Fases A e B ocorreu em 2005 e foi realizada em conjunto pela equipe técnica da UPME e da Herco.

Para as Fases A e B, foram identificados 31 cenários de acidente, dos quais 16 foram classificados nas categorias de severidade crítica e catastrófica, conforme mostrado na Tabela 5.4, e que foram revisados juntamente com os da Fase C, em 2011.

Da tabela tem-se que, dos 31 cenários identificados na APP, nenhum cenário (0%) foi classificado na categoria de severidade catastrófica (IV), 16 cenários (51,61 %) foram classificados como severidade crítica (III), 11 cenários (35,48 %) foram classificados como severidade marginal (II) e 4 cenários (12,90 %) como severidade desprezível (I).

Matriz de risco		Severidade				Total
		I (Desprezível)	II (Marginal)	III (Crítica)	IV (Catastrófica)	
Frequência	A	1	5			6
	B	3	1	4		8
	C		4	10		14
	D		1	2		3
Total		4	11	16		31

Tabela 5.4 - Matriz de Riscos obtida para as Fases A e B

Com este resultado da APP, tem-se que 16 dos 31 cenários (hipóteses) identificados apresentaram classificação de consequência na categoria de severidade III – “Crítica” e nenhum cenário na categoria IV – “Catastrófica”. Ou seja, pela orientação da CETESB em seu “Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos”, tais cenários de acidente devem ser considerados para avaliação através da Análise de Vulnerabilidade. Na Tabela 5.5, estão listados os 16 cenários representativos identificados para as Fases A e B.

Tabela 5.5 – Hipóteses com severidade crítica, Fases A e B

Hipótese	Subsistema	Descrição
2	Produção de hidrogênio	Rompimento catastrófico do Reator por impacto mecânico ou falha estrutural.

5	Depósito e distribuição de hidrogênio - tubulações	Rompimento catastrófico do cilindro de H ₂ por impacto mecânico ou falha estrutural.
7	Óleo diesel – Fase A (55m ³)	Vazamento nas linhas por impacto mecânico ou falha estrutural.
8	Óleo diesel – Fase A (55 m ³)	Rompimento catastrófico do tanque por impacto mecânico ou falha estrutural.
10	Óleo diesel – Fase B (200 m ³)	Vazamento nas linhas por impacto mecânico ou falha estrutural.
11	Óleo diesel – Fase B (200 m ³)	Rompimento catastrófico do tanque por impacto mecânico ou falha estrutural.
13	Fuel oil – estocagem 5000 m ³	Vazamento nas linhas por impacto mecânico ou falha estrutural.
14	Fuel oil – estocagem 5000 m ³	Rompimento catastrófico do tanque por impacto mecânico ou falha estrutural.
16	Fuel oil – Fase A (125 m ³)	Vazamento nas linhas por impacto mecânico ou falha estrutural.
17	Fuel oil – Fase A (125 m ³)	Rompimento catastrófico do tanque por impacto mecânico ou falha estrutural.
19	Fuel oil – Fase B (500 m ³)	Vazamento nas linhas por impacto mecânico ou falha estrutural.
20	Fuel oil – Fase B (500 m ³)	Rompimento catastrófico do tanque por impacto mecânico ou falha estrutural.
28	Caldeira Unidade 1 e 2 – Fase A	Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira por falha no sistema de instrumentação da caldeira.
29	Caldeira Unidade 1 e 2 – Fase A	Ignição retardada de diesel na câmara de combustão da caldeira por falha no sistema de instrumentação da caldeira.
30	Caldeira Unidade 3 e 4 – Fase B	Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira por falha no sistema de instrumentação da caldeira.
31	Caldeira Unidade 3 e 4 – Fase B	Ignição retardada de Fuel Oil na câmara de combustão da caldeira por falha no sistema de instrumentação da caldeira.

A APP foi revisada em abril de 2011 e os cenários representativos das Fases A, B e C serão apresentados na Seção 5.4.2.

5.3.2. APP da Fase C

A APP da Fase C foi realizada em conjunto por pessoal do corpo técnico da CGTEE e da DNV, em duas etapas. Na primeira, em 2006, foram geradas as planilhas apresentadas no Anexo C. Em abril de 2011, o trabalho realizado em 2006 foi revisado e ampliado, com a revisão de todos os cenários classificados nas categorias de severidades III e IV, e adição de mais alguns cenários.

Com a revisão do trabalho feita em abril de 2011, a lista de cenários a considerar para vulnerabilidade e risco foi ampliada e será apresentada na Seção 5.4.2.

5.3.2 Estatísticas dos cenários de acidentes

Na Tabela 5.4 está mostrada a classificação dos cenários de acidente em categorias de risco, indicando a quantidade de cenários em cada uma das categorias. Verifica-se desta tabela que, dos 107 cenários identificados na APP, nenhum cenário (0%) foi classificado na categoria de severidade catastrófica (IV), 4 cenários (3,74 %) foram classificados como crítica (III), 61 cenários (57,00 %) foram classificados como marginal (II) e 42 cenários (39,26 %) como desprezível (I).

Matriz de risco		Frequência					Total
		E	D	C	B	A	
Severidade	IV	0	0	0	0	0	0
	III	1	1	1	1	0	4
	II	5	12	27	16	1	61
	I	1	17	19	4	1	42
Total		7	30	47	21	2	107

Cenários: não contribuem para o risco (Aceito - AC) e podem contribuir para o riscos (Não Aceito - NAC)

Tabela 5.5 - Matriz de Riscos obtida para a Fase C

No “Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos” da CETESB, os cenários de acidente classificados nas categorias de severidade III – “Crítica” e na categoria IV – “Catastrófica” devem ser considerados para avaliação através da Análise de Vulnerabilidade, portanto haveria 4 cenários a serem avaliados. Entre os quatro, está o cenário relativo à explosão de GLP no interior da fornalha que deve ser desconsiderado, uma vez que na Fase C não será feito uso de GLP, ou seja, somente 3 cenários precisariam ser considerados para análise de vulnerabilidade (cenários 15, 18 e 22). Além dos cenários classificados com severidade crítica, serão ainda acrescentados alguns outros após a revisão da APP da Fase C, realizada em abril de 2011.

5.3.3 Revisão da APP (Abril/2011)

Revisão da APP das Fases A e B

Na APP da APP das Fases A e B, em 2005, onde foram identificados 31 eventos acidentais representativos, obteve-se que 16 dos 31 cenários identificados apresentaram classificação de

consequência na categoria de severidade III – “Crítica” e nenhum cenário na categoria IV – “Catastrófica”.

Estes 16 cenários classificados em categoria de severidade crítica foram revisados em abril de 2011, por um conjunto de técnicos da CGTEE e da DNV. A reunião ocorreu em 18/4/2011, nas dependências da UPME, em Candiota, onde participaram as pessoas listadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Lista dos participantes da revisão da APP das Fases A e B da UPME

Nome	Função (Empresa)
Eng. Eletr. Carlos Silva	Encarregado da Operação (UPME)
Tec. Eletr. George H. V. Alves	Manutenção (UPME)
Rodrigo Lucas Bertoluzo	Manutenção (UPME)
Eng. Eletr. e Seg. Trab. Sérgio R. dos Santos	Segurança e Medicina do Trabalho (UPME)
Eng. de Seg. Trab. Luis Felipe Garcia Cougo	Segurança do Trabalho (UPME)
Eng. Quim. César A. Leal, PhD	Consultor Sênior (DNV)

Na sequência, cada um dos cenários (hipóteses, na nomenclatura usada no trabalho) de severidade III (crítica) da APP realizada pela Herco, em 2005, será comentado.

Hipótese 2 - Rompimento catastrófico do reator de hidrogênio por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto inflamável com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, bola de fogo.

Análise/alteração- A pior situação seria a liberação de hidrogênio com formação uma mistura inflamável com ar (em proporções estequiométricas) no interior do prédio onde está o reator seguida de explosão confinada de mistura de hidrogênio com ar. O volume aproximado do prédio é 340 m³. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).



$$C_{st} = \frac{1}{1+0,5/0,21} = 0,296$$

$$\rho_{Hidrogênio} = \frac{P_a . M}{R . T} = \frac{101325.2}{8314 . (273,15 + 16,1)} = 0,08427 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$massa = 340 \times 0,296 \times 0,08427 = 8,5 \text{ kg}$$

Hipótese 5 - Rompimento catastrófico do cilindro de H₂ por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto inflamável com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, bola de fogo.

Análise/alteração- Junto ao prédio de produção de hidrogênio, no lado de fora, há três cilindros de armazenagem, fixos, na posição horizontal. A quantidade de hidrogênio no interior de um cilindro (1 m³, 200 bar) é 14,7 kg. Simular a explosão desta quantidade de mistura de gás com ar, em ambiente semi-confinado (prédios próximos da área de armazenamento). Para avaliação dos efeitos foi usado o método Multi-Energia com classe de explosão 5 por tratar-se de área semi-confinada, com volume de bloqueio na área baixo (ver Yellow Book, ed. 2005, página 5.40).

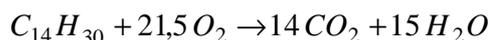
Hipótese 7 – Grande vazamento nas linhas de óleo diesel da Fase A (55 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, jato de fogo.

Análise/alteração – O óleo diesel é usado na temperatura ambiente e seu ponto de fulgor é superior a 38 °C (ver FISPQ do óleo diesel no Anexo C). Portanto, a única possibilidade de se ter a ignição de diesel derramado acidentalmente seria se o produto entrasse em contato com alguma superfície quente e fonte de ignição. Isto só poderia acontecer na área de processo (próximo à fornalha, por exemplo). Simular um incêndio em poça de diesel, na área da fornalha, com área de 707 m² que é o valor máximo sugerido para área de processo pela DNV (Tecnical Note TN13 “Failure case on shore”, Rev.1a, março de 1998. Explosão não seria esperada de ocorrer e jato de fogo também não seria esperado, pois o possível jato de diesel, em caso de vazamento, seria com o produto na temperatura ambiente, ou seja, abaixo do ponto de fulgor.

Hipótese 8 – Ruptura catastrófica do tanque de óleo diesel da Fase A (55 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão e bola de fogo.

Análise/alteração – O diesel é armazenado na temperatura ambiente, em tanque atmosférico, portanto, não há a possibilidade de se observar bola de fogo ou de explosão por ruptura catastrófica do tanque. Em um dia muito quente com o solo do dique do tanque aquecido pelo sol, talvez fosse possível um incêndio em poça. Simular um incêndio em poça no dique (área = 60 m²) do tanque de 55 m³ da Fase A.

A seguir, será feita a verificação da necessidade de acrescentar simulação de explosão confinada de vapor de diesel-ar no interior do tanque (55 m³). Fazendo uso do n-tetradecano como substância representativa para simular uma explosão de vapor de diesel com ar, a massa de vapor inflamável em mistura estequiométrica com ar ocupando integralmente os 55 m³ do tanque pode ser estimada conforme segue. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).



$$C_{st} = \frac{1}{1+21,5/0,21} = 0,009673$$

$$\rho_{n-tetra} = \frac{P_a \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101325 \times 198,39}{8314 \times (273,15 + 16,1)} = 8,36 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$massa = 55 \times 0,009673 \times 8,36 = 4,05 \text{ kg}$$

Esta massa é claramente insuficiente para gerar uma onda de choque capaz de causar danos extra-muros. Não é necessário simular a explosão.

Hipótese 10 – Grande vazamento nas linhas de óleo diesel da Fase B (200 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, jato de fogo.

Análise/alteração – O óleo diesel da Fase B também é usado na temperatura ambiente, a situação seria análoga à da Hipótese 7. O cenário já fica coberto pela análise da Hipótese 7.

Hipótese 11 – Ruptura catastrófica do tanque de óleo diesel da Fase B (200 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão e bola de fogo.

Análise/alteração – O cenário é similar ao da Hipótese 8. Simular um incêndio em poça (área de 254 m²) no dique do tanque de 200 m³ da Fase B.

Poderia ser acrescentado um cenário de explosão de mistura inflamável de vapor de óleo diesel e ar, no interior do tanque de 200 m³. Fazendo uso do n-tetradecano como substância representativa para simular uma explosão de vapor de diesel com ar, a massa de vapor inflamável em mistura estequiométrica com ar ocupando integralmente os 55 m³ do tanque pode ser estimada a partir dos cálculos apresentados na Hipótese 8, por simples regra de três (massa = 200/55*4,5 = 16,2 kg). Esta massa é claramente insuficiente para gerar uma onda de choque capaz de causar danos extra-muros. Não é necessário simular a explosão.

Hipótese 13 – Grande vazamento nas linhas de óleo diesel do tanque de estocagem (5.000 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, jato de fogo.

Análise/alteração – O óleo diesel armazenado no tanque de 5.000 m³ também é usado na temperatura ambiente, mas a situação aqui envolve as linhas entre o tanque principal e os

intermediários das outras fases. Simular um incêndio em poça de diesel, no trajeto entre o tanque principal e algum intermediário, com área de 707 m².

Hipótese 14 – Ruptura catastrófica tanque de estocagem (5.000 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão e bola de fogo.

Análise/alteração – Na revisão do EAR da Fase C já foi incluído o cenário 15ABC com esta explosão confinada no tanque. O cenário é similar ao da Hipótese 11. Simular, além da explosão, um incêndio em poça no dique (área = 1930 m²) do tanque 5.000 m³ que atende a todas as três fases.

Hipótese 16 – Grande vazamento nas linhas de óleo combustível 1A da Fase A (55 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, jato de fogo.

Análise/alteração – Uma correção deve ser feita com relação à capacidade de armazenagem, na Fase A, em vez de um 55 m³, são dois tanques de 125 m³. Trata-se de um cenário, em parte, similar ao analisado na Hipótese 7. O óleo combustível é usado, no tanque, na temperatura de 81 °C e seu ponto de fulgor é 66 °C (ver FISPQ do óleo combustível no Anexo C), mas nas linhas encontra-se a 60 °C. Portanto, não seria esperada a ignição do material liberado acidentalmente. O cenário somente seria possível se o mesmo ocorresse após a estação de aquecimento onde a temperatura é elevada para 110 °C. Considerar um incêndio em poça de óleo combustível, na área de processo, com área de 707 m² que é o valor máximo sugerido para área de processo pela DNV (Technical Note TN13 “Failure case on shore”, Rev.1, março de 1998). Explosão não seria esperada de ocorrer. Os efeitos seriam os mesmo já vistos na Hipótese 7.

Hipótese 17 – Ruptura catastrófica tanque de óleo combustível 1A da Fase A (55 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão e bola de fogo.

Análise/alteração – Corrigir, para armazenagem de óleo combustível 1A, em vez de 55 m³, são dois tanques de 125 m³. O cenário é similar ao da Hipótese 11. Simular um incêndio em poça no dique do tanque de óleo combustível 1A da Fase A (125 m³). Simular um incêndio em poça de óleo combustível 1A, no dique (área = 160 m²) do tanque de óleo combustível 1A da Fase A (125 m³).

Hipótese 19 – Grande vazamento nas linhas de óleo combustível 1A da Fase B (500 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão, jato de fogo.

Análise/alteração – Trata-se de um cenário, em parte, similar ao analisado na Hipótese 7. O óleo combustível é usado, no tanque, na temperatura de 81 °C e seu ponto de fulgor é 66 °C (ver

FISPQ do óleo combustível no Anexo C). Portanto, para se ter a ignição de óleo combustível seria ter contato com fonte de ignição, antes de a temperatura cair abaixo de 66 °C. Considerar um incêndio em poça de óleo combustível, na área de processo, com área de 707 m² que é o valor máximo sugerido para área de processo pela DNV (Técnical Note TN13 “Failure case on shore”, Rev.1a, março de 1998. Não é necessário simular, pois os resultados seriam idênticos aos de incêndio em poça considerado na Hipótese 7. Explosão não seria esperada de ocorrer.

Hipótese 20 – Ruptura catastrófica tanque de óleo combustível 1A da Fase B (500 m³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio, explosão e bola de fogo.

Análise/alteração – O cenário é similar ao da Hipótese 11. Simular um incêndio em poça de óleo combustível, no dique (área = 254 m²) do tanque de óleo combustível da Fase B (500 m³).

Hipótese 28 – Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira da Fase A por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de GLP-ar, na fornalha.

Análise/alteração – O cenário não se aplica porque o GLP não é usado para acendimento da fornalha da Fase A.

Hipótese 29 – Ignição retardada de óleo diesel na câmara de combustão da caldeira da Fase A por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de diesel-ar, na fornalha.

Análise/alteração – Simular a explosão de mistura de vapor de óleo diesel-ar no interior da fornalha da Fase A ($V = 7620\text{mm} \times 10896,5\text{mm} \times 26334\text{mm} = 2187 \text{ m}^3$). O cálculo da massa envolvida com o uso de n-tetracarbono como o hidrocarboneto representativo para o óleo diesel pode ser feita por simples regra de três (massa = $2.187/55 \times 4,5 = 177 \text{ kg}$).

Este tipo de fornalha possui janelas para alívio de pressão em caso de explosão, ou seja, o projeto já prevê a possibilidade de ocorrência de explosão na fornalha. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Acrescentar um evento com a explosão do balão da própria caldeira.

O cenário da explosão do balão da própria deve ser modelado considerando-se o volume do balão da caldeira de 23 m³. Para que ocorra a explosão do balão seria necessário ocorrer um processo onde houvesse um aumento da pressão e da temperatura interna do balão.

Na condição normal de trabalho, a caldeira opera a 110 kgf/cm² e a temperatura no superaquecedor é de 530 °C. Se houver algum descontrole, a tendência seria a ruptura da serpentina do superaquecedor, um processo que não teria características semelhantes à ruptura do balão, pois a

quantidade de material que poderia ser liberado seria muito menor do que na liberação instantânea do inventário de material no volume do balão (23 m³).

O sistema está protegido contra excesso de pressão por 4 válvulas de segurança, abrindo nas seguintes pressões (projeto):

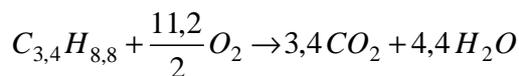
- 1 - Pressão de abertura 1ª válvula de segurança mecânica do balão = 127 kgf/cm²
- 2 - Pressão de abertura 2ª válvula de segurança mecânica do balão = 131 kgf/cm²
- 3 - Pressão de abertura da válvula eletromática (SH2) = 119 kgf/cm²
- 4 - Pressão de abertura 1ª válvula de segurança mecânica (SH2) = 123 kgf/cm²

O cenário mais provável seria o colapso do balão por algum defeito estrutural não detectado durante o processo de fabricação ou durante as inspeções. Assim, estimaram-se os efeitos de uma ruptura do balão da caldeira com base no volume de 23 m³, na temperatura de 530 °C e pressão de 131 kgf/cm².

Hipótese 30 – Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira da Fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de GLP-ar, na fornalha da Fase B (V = 11040 mm x 11040 mm x 51700 mm = 6302 m³).

Análise/alteração – Simular a explosão de mistura estequiométrica de GLP-ar no interior da fornalha da Fase B (6302 m³). O cálculo da massa de GLP (60 % propano + 40 % butano) está mostrada a seguir.

$$M = 0,6 * 44 + 0,4 * 58 = 49,6 \text{ kg / kmol}$$



$$C_{st} = \frac{1}{1+11,2/(2*0,21)} = 0,036145$$

$$\rho_{n-tetra} = \frac{P_a \cdot M}{R \cdot T} = \frac{101325 \cdot 49,6}{8314 \cdot (273,15 + 16,1)} = 2,09 \text{ kg / m}^3$$

$$massa = 6302 \cdot 0,036145 \cdot 2,09 = 476,2 \text{ kg}$$

Este tipo de fornalha possui janelas para alívio de pressão em caso de explosão, ou seja, o projeto já prevê a possibilidade de ocorrência de explosão na fornalha. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Hipótese 31 – Ignição retardada de óleo diesel/ na câmara de combustão da caldeira da Fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de diesel-ar, na fornalha.

Análise/alteração – Simular a explosão de mistura estequiométrica de vapor de óleo diesel-ar no interior da fornalha da Fase B (6302 m³).

O cálculo da massa envolvida com o uso de n-tetracarbono como o hidrocarboneto representativo pode ser feita por simples regra de três (massa = 6302/55*4,5 = 510 kg).

Este tipo de fornalha possui janelas para alívio de pressão em caso de explosão, ou seja, o projeto já prevê a possibilidade de ocorrência de explosão na fornalha. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Revisão da APP da Fase C

Na APP da APP da Fase C, em 2006, verificou-se que 4 dos 107 cenários identificados apresentaram classificação de consequência na categoria de severidade III – “Crítica” e nenhum cenário na categoria IV – “Catastrófica”. Na Fase C, o GLP não é usado, portanto, um dos quatro cenários de gravidade III não é aplicável, restando portanto três cenários representativos com classificação de categoria de severidade superior a II.

Considerando-se as diversas alterações foram feitas na planta neste intervalo de cinco anos passados desde a realização do trabalho, optou-se por realizar uma revisão de todos os cenários classificados em severidade acima de II, além de verificar quais as modificações que poderiam implicar em alterações na modelagem dos efeitos físicos dos acidentes considerados. Também foram considerados alguns novos cenários de acidentes com potencial de causar danos em locais externos à Usina.

Os cenários representativos da Fase C classificados em categoria de severidade crítica foram revisados em abril de 2011, por um conjunto de técnicos da CGTEE e da DNV. A reunião ocorreu em 19/4/2011, nas dependências da Complexo, em Candiota, onde participaram as pessoas listadas na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Lista dos participantes da revisão da APP da Fase C do Complexo Termelétrico de Candiota

Nome	Função (Empresa)
Eng. Mec. Felipe Ferreira Rodrigues	Chefe da Divisão de Manutenção (UPME)
Eng. Mec. Luiz Fernandes de Hernades Marques	Chefe do DFSA (UPME)
Eng. Eletr. Émerson Cunha Machado	Instrumentação e Controle (UPME)

Eng. Quim. Jacques Bidone Filho	Chefe do Divisão de Operação (UPME)
Eng. Hermínio Borba	(UPME)
Eng. Eletr. e Seg. Trab. Sérgio R. dos Santos	Segurança e Medicina do Trabalho (UPME)
Eng. de Seg. Trab. Luis Felipe Garcia Cougo	Segurança do Trabalho (UPME)
Eng. Quim. César A. Leal, PhD	Consultor Sênior (DNV)

A seguir, será apresentada a revisão realizada para cada um dos cenários de acidente da Fase C.

Cenário 1- Formação de mistura de pó de carvão com ar dentro da faixa de explosividade, no pátio de estocagem por manuseio do carvão com máquinas (considerada situação normal na operação) levando a explosão semi-confinada de mistura de pó de carvão com ar, na parte coberta. O entendimento atual de explosões envolvendo misturas inflamáveis de gás ou vapor ou pó inflamável com ar é que tem que haver ou confinamento total da mistura ou pelo menos parcial (como é o presente caso) ou a presença na região onde houver propagação de chama na mistura de muitos objetos ou instalações que façam com que haja geração de turbulência pela passagem dos gases durante a expansão da nuvem de mistura.

Análise/alteração- Houve uma mudança, com a construção de uma cobertura no pátio de armazenagem de carvão. Foi cogitada a possibilidade de um acidente com combustão de uma mistura de pó de carvão e ar, em condições de confinamento parcial, no pátio de armazenagem. Para que haja a possibilidade de tal explosão, o carvão de Candiota teria que ser material do tipo “A”, ou seja, explosivo. Uma amostra de pó de carvão de Candiota foi enviada para a Explosion Testing Ltd., na Inglaterra, para teste e o resultado foi que o carvão de Candiota usado no Complexo Termelétrico de Candiota é do tipo “B”, não explosivo (ver cópia do laudo no Anexo F).

Portanto, não há necessidade de considerar a explosão de nuvem de pó de carvão.

Cenário 12 (Combustíveis auxiliares): Liberação de substância inflamável (óleo combustível 1A) na estocagem e na transferência para a caldeira devido a furo/ruptura no tanque (200 m³) ou vazamento em juntas, selagem de bombas ou rompimento de linhas, levando a incêndio em poça.

Análise/alteração- Alterar o volume do tanque para 300 m³. Os efeitos de incêndio em poça são de curto alcance, sem condições de causar danos fora da planta, especialmente se for levado em conta que o tanque/linhas estão numa distância superior a 150 m da cerca da unidade. O óleo combustível é usado, no tanque, na temperatura de 81 °C e seu ponto de fulgor é 66 °C (ver FISPQ do óleo combustível no Anexo C), mas nas linhas encontra-se a 60 °C. Portanto, não seria esperada a ignição do material liberado acidentalmente. Simular um incêndio em poça de diesel, na área da fornalha da Fase C, com área de 707 m² que é o valor máximo sugerido para área de processo pela DNV (Technical Note TN13 “Failure case on shore”, Rev.1, março de 1998). Explosão não seria esperada de ocorrer e jato de fogo também não seria esperado, pois o possível jato de diesel, em

caso de vazamento, seria com o produto na temperatura ambiente, ou seja, abaixo do ponto de fulgor.

Cenário 15 (Combustíveis auxiliares) – Explosão da mistura ar/vapores de óleo no céu do tanque (200 m³) de óleo combustível 1A devido à descarga atmosférica ou faísca de origem mecânica durante manutenção no teto do tanque, levando à explosão confinada do tanque seguido de incêndio.

Análise/alteração- Alterar o volume do tanque para 300 m³. Fazendo uso do n-tetradecano como substância representativa para simular uma explosão de vapor de óleo combustível com ar, a massa de vapor inflamável em mistura estequiométrica com ar ocupando integralmente os 300 m³ do tanque pode ser estimada a partir dos cálculos apresentados na Hipótese 8, por simples regra de três (massa = $300/55 \times 4,5 = 25$ kg). O tanque é atmosférico, portanto, não há possibilidade de ocorrência de bola de fogo. A massa é muito pequena para ter efeitos com potencial de causar fatalidades extra-muros, o cenário pode ser desconsiderado para fins de avaliação de riscos para a população.

Em vez de considerar o tanque de 300 m³, simular uma explosão de vapor de óleo combustível-ar, no interior do tanque principal (5.000 m³). Fazendo uso do n-tetradecano como substância representativa para simular uma explosão de vapor de óleo combustível com ar, a massa de vapor inflamável em mistura estequiométrica com ar ocupando integralmente os 5.000 m³ do tanque pode ser estimada por simples regra de três (massa = $5000/300 \times 24,26 = 405$ kg). Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Cenário 17 (Caldeira e equipamentos periféricos) – Formação de mistura (carvão + ar) dentro da faixa de inflamabilidade, no circuito de carvão pulverizado por falha de controle, na partida do pulverizador após parada ou por falhas humanas levando a explosão de poeira em local confinado com possibilidade de danos materiais e lesões nos operadores, podendo até ser fatal.

Análise/alteração- Entre os fatores relevantes listados, está o seguinte: “Projeto: ar 20 % acima do valor estequiométrico”. Isto não se aplica, pois o ar primário que é usado para transporte de pó de carvão é somente 30% do ar total (este sim, contém 20 % acima da estequiometria). Ou seja, entre o moinho e a fornalha, a mistura está acima do limite superior de inflamabilidade da mistura, portanto não poderia sustentar a queima da mistura, nem explodir. Independente deste detalhe, cabe mencionar que o cenário não tem características de severidade categorias III ou IV, pois o volume total envolvido no trecho de linha é de somente 7 m³.

Cenário 18 (Caldeira e equipamentos periféricos) – Acúmulo de mistura inflamável (vapores de combustível) na fornalha na partida da caldeira (partida com óleo combustível 1A), levando à explosão confinada na fornalha.

Análise/alteração- O volume interno da fornalha a considerar na explosão é de 14x14x40 m³ (7840 m³).

Usando-se o n-tetradecano ($C_{14}H_{30}$) como representativo do óleo combustível 1ª, massa de vapor envolvida pode ser estimada por uma simples regra de três (massa = $7840/55 \times 4,5 = 634$ kg).

Este tipo de fornalha possui janelas para alívio de pressão em caso de explosão, ou seja, o projeto já prevê a possibilidade de ocorrência de explosão na fornalha. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Cenário 19 (Caldeira e equipamentos periféricos) – Acúmulo de mistura inflamável (GLP) na fornalha na partida da caldeira (partida com GLP), levando à explosão confinada na fornalha.

Análise/alteração- O cenário foi eliminado, pois na Fase C, o GLP não é utilizado.

Cenário 22 (Caldeira e equipamentos periféricos) – Sobrepressão de vapor devido à falha no controle de pressão da caldeira ou falha humana na partida, levando à explosão da caldeira.

Análise/alteração- O cenário deve ser modelado considerando-se o volume do balão da caldeira de 150 m^3 . Para que ocorra a explosão do balão seria necessário ocorrer um processo onde houvesse um aumento da pressão e da temperatura interna do balão. A elevação da pressão do sistema, caso fosse considerado que a bomba de alimentação de água estivesse presurizando o balão, estaria limitada à pressão máxima de descarga da bomba de 22 MPa. Não há como definir as condições exatas prováveis no momento da ruptura, pois com o aumento da temperatura tem-se uma redução das propriedades mecânicas do material.

Na condição normal de trabalho, a caldeira opera a 20 MPa e a temperatura no superaquecedor é de $540 \text{ }^\circ\text{C}$. Se houver algum descontrole, a tendência seria a ruptura da serpentina do superaquecedor, um processo que não teria características semelhantes à ruptura do balão, pois a quantidade de material que poderia ser liberado seria muito menor do que na liberação instantânea do inventário de material no volume do balão (150 m^3).

O sistema está protegido contra excesso de pressão por 4 válvulas de segurança, abrindo nas seguintes pressões:

1 - 20,66 MPa

2 - 20,88 MPa

3 - 21,07 MPa

4 - 21,28 MPa

O cenário mais provável seria o colapso do balão por algum defeito estrutural não detectado durante o processo de fabricação ou durante as inspeções. Assim, estimou-se os efeitos de uma ruptura do balão da caldeira com base no volume de 150 m^3 , temperatura de $540 \text{ }^\circ\text{C}$ e pressão de 213 bar.

Cenário 42 (Gerador) – Liberação de hidrogênio em espaço confinado por vazamento de gás dentro do prédio do gerador levando à formação de tocha.

Análise/alteração- O cenário a considerar foi alterado em termos de consequência a analisar. Em vez de formação de tocha, a análise a ser feita seria de um vazamento do inventário de hidrogênio contido no interior do gerador (volume de 85 m³ e pressão de 4 kgf/cm²), aproximadamente 34 kg seguido de explosão confinada ao prédio. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Cenário 64 (Sala de baterias) – Liberação de hidrogênio em espaço confinado por vazamento dentro do prédio de baterias levando à explosão.

Análise/alteração- O cenário foi modelado considerando-se a formação de mistura inflamável hidrogênio-ar (estequiométrica) e explosão confinada no interior da casa de baterias, cujas dimensões são 7x7x3,5 m³ (171,5 m³). Em mistura estequiométrica, na pressão atmosférica e temperatura de 15,9 °C, são necessários somente 4,3 kg de hidrogênio para formação deste volume de mistura estequiométrica com ar. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).

Com base na revisão dos cenários de acidentes da Fase C, além dos três cenários classificados na categoria de severidade III, foram acrescentados outros três cenários de acidentes para serem analisados quanto ao potencial de danos.

5.3.4. Cenários de acidente selecionados na APP para avaliação das áreas vulneráveis

Com base nos resultados das APP's das Fases A e B e da Fase C e das respectivas revisões, agora serão consolidados os cenários de acidente representativos do conjunto da três unidades para Análise de Vulnerabilidade. Além dos cenários inicialmente identificados, nas revisões foram acrescentados novos cenários de acidente, tanto nas Fases A e B como na Fase C. Em algumas instâncias, foi possível agrupar mais de um cenário da lista inicialmente considerada.

Na fase C, um dos cenários considerados foi a explosão de mistura hidrogênio-ar, no interior da casa de baterias. A massa envolvida seria de tão somente 4,3 kg e os efeitos ficariam restritos à instalações do Complexo. Para as Fases A e B, não foram estimados os efeitos de explosões porque as massas também seriam pequenas, também com efeitos modestos.

Os eventos selecionados como representativos das três fases estão listados a seguir, Tabela 5.9

Tabela 5.9 – Eventos selecionados para a avaliação de vulnerabilidade das Fases A, B e C

Hipótese / Cenário	Fases	Descrição	Efeito/observação
2ABC	A, B, C	Rompimento catastrófico do reator de hidrogênio por impacto mecânico ou falha estrutural.	Explosão confinada no prédio de produção de hidrogênio
5ABC	A, B, C	Rompimento catastrófico do cilindro de hidrogênio por impacto mecânico ou falha estrutural.	Explosão em área congestionada
7A	A	Vazamento nas linhas entre o tanque (55 m ³) de óleo diesel da Fase A e a fornalha por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
8A	A	Rompimento catastrófico do tanque (55 m ³) de óleo diesel da Fase A por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
10	B	Vazamento nas linhas entre o tanque (200 m ³) de óleo diesel da Fase B e a fornalha por impacto mecânico ou falha estrutural.	Já coberto na Hipótese 7
11B	B	Rompimento catastrófico do tanque (200 m ³) de óleo diesel da Fase B por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
13ABC	A, B, C	Vazamento de óleo combustível nas linhas entre o tanque de armazenagem (5.000 m ³) e os tanque auxiliares por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
14ABC	A, B, C	Rompimento catastrófico do tanque de armazenagem de óleo combustível (5.000 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural.	Usar o Cenário 15ABC
15ABC	A, B, C	Explosão da mistura ar/vapores de óleo no interior do tanque (5.000 m ³) de óleo combustível 1A devido à descarga atmosférica ou faísca de origem mecânica durante manutenção no teto do tanque, levando à explosão confinada do tanque.	Explosão confinada no tanque de 5.000 m ³ seguida de incêndio em poça
16A	A	Vazamento nas linhas do tanque (125 m ³) de óleo combustível da Fase A por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
17A	A	Rompimento catastrófico do tanque (125 m ³) de óleo combustível da Fase A por impacto mecânico ou falha estrutural.	Incêndio em poça
19B	B	Vazamento nas linhas entre o tanque (500 m ³) de óleo combustível da Fase B e a fornalha por impacto mecânico ou falha estrutural	Semelhante à Hipótese 7, com relação aos efeitos
20B	B	Rompimento catastrófico do tanque (500 m ³) de óleo combustível da Fase B por impacto mecânico ou falha	Incêndio em poça

		estrutural.	
28a	A	Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira 1 ou 2 da Fase A por falha no sistema de instrumentação da caldeira.	ELIMINAR.
29a	A	Ignição retardada de diesel na câmara de combustão da caldeira 1 ou 2 da Fase A por falha no sistema de instrumentação da caldeira.	Explosão confinada na fornalha
29Aa	A	Explosão do balão da caldeira da Fase A.	BLEVE
30B	B	Ignição retardada de GLP na câmara de combustão da caldeira 3 ou 4 da fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira.	Explosão confinada na fornalha
31B	B	Ignição retardada de Fuel Oil na câmara de combustão da caldeira 3 ou 4 da fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira.	Explosão confinada na fornalha
1ABC	C	Formação de nuvem de pó de carvão com ar dentro da faixa de explosividade, no pátio de estocagem por manuseio do carvão com máquinas (considerada situação normal na operação) levando a explosão semi confinada de nuvem de pó de carvão com ar.	ELIMINAR
12C	C	Liberação de substância inflamável (óleo combustível 1A) na estocagem e na transferência para a caldeira devido a furo/ruptura no tanque (200 m³) ou vazamento em juntas, selagem de bombas ou rompimento de linhas, levando a incêndio em poça.	Incêndio em poça
15C	C	Explosão da mistura ar/vapores de óleo no céu do tanque (300 m³) de óleo combustível 1A devido à descarga atmosférica ou faísca de origem mecânica durante manutenção no teto do tanque, levando à explosão confinada do tanque.	ELIMINAR
18C	C	Acúmulo de mistura inflamável (vapores de combustível) na fornalha na partida da caldeira (partida com óleo combustível 1A), levando à explosão confinada na fornalha.	Explosão confinada na fornalha
22C	C	Sobreprensão de vapor devido à falha no controle de pressão da caldeira ou falha humana na partida, levando à explosão da caldeira.	BLEVE da caldeira
42ABC	A, B e C	Liberação de hidrogênio em espaço confinado por vazamento de gás dentro do prédio do gerador de hidrogênio levando à explosão confinada	Já coberto na Hipótese 2AB
64C	A, B e C	Liberação de hidrogênio em espaço confinado por vazamento dentro do prédio de baterias levando à explosão.	Explosão confinada no prédio

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. A determinação desta “área vulnerável”, para os acidentes mais críticos identificados na APP, compreende o que denominamos de Análise de Vulnerabilidade.

6.1 Introdução

A metodologia da 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 (sobrepessão, fluxo térmico e nuvens de gases tóxicos) que potencialmente podem gerar danos às pessoas e/ou instalações. A extensão dos possíveis danos é delimitada pela intensidade do efeito físico causador dos danos, sendo que a relação entre a intensidade do efeito físico e o dano correspondente fica estabelecido por meio dos modelos de vulnerabilidade.

A avaliação dos efeitos físicos decorrentes de vazamentos de produtos perigosos, incêndios e explosões, dependendo do tipo de material e das condições em que este se encontra, pode requerer o uso de modelos, os quais possibilitam o cálculo de:

- Descarga: Quantidades vazadas ou taxas de descarga de material (líquido, gasoso e bifásico);
- Evaporação súbita ("flasheamento") de líquidos superaquecidos;
- Espalhamento das poças de líquidos ou gases liquefeitos e evaporação;
- Dispersão de gases (leves ou pesados) na atmosfera;
- Determinação dos Efeitos Tóxicos e Inflamáveis.

A extensão dos possíveis danos relacionada a cada acidente identificado é delimitada pela intensidade do efeito físico causador do dano, sendo que a relação entre a intensidade do efeito físico e o dano correspondente fica estabelecido por meio dos modelos de vulnerabilidade.

Para os cenários de acidente identificados na APP e que requerem Análise de Vulnerabilidade, serão feitas simulações matemáticas dos efeitos dos acidentes, visando determinar a magnitude dos mesmos.

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.

Na Seção 6.2 deste capítulo, é apresentada a primeira etapa desta avaliação: a caracterização dos acidentes e seus respectivos efeitos e danos analisados. A seção contém ainda um resumo dos

resultados obtidos para cada um dos tipos de efeitos físicos. Tais resultados foram obtidos utilizando o programa *PHAST* (*Process Hazard Analysis Software Tool*), Versão 6.6, de 2010, cuja listagem de saída é apresentada no **Anexo E** deste relatório.

Este software acopla todos os resultados obtidos nas etapas que compõem a simulação (apresentadas na Figura 6.1) e apresenta os resultados finais para os efeitos tóxicos e/ou inflamáveis considerados para cada substância.

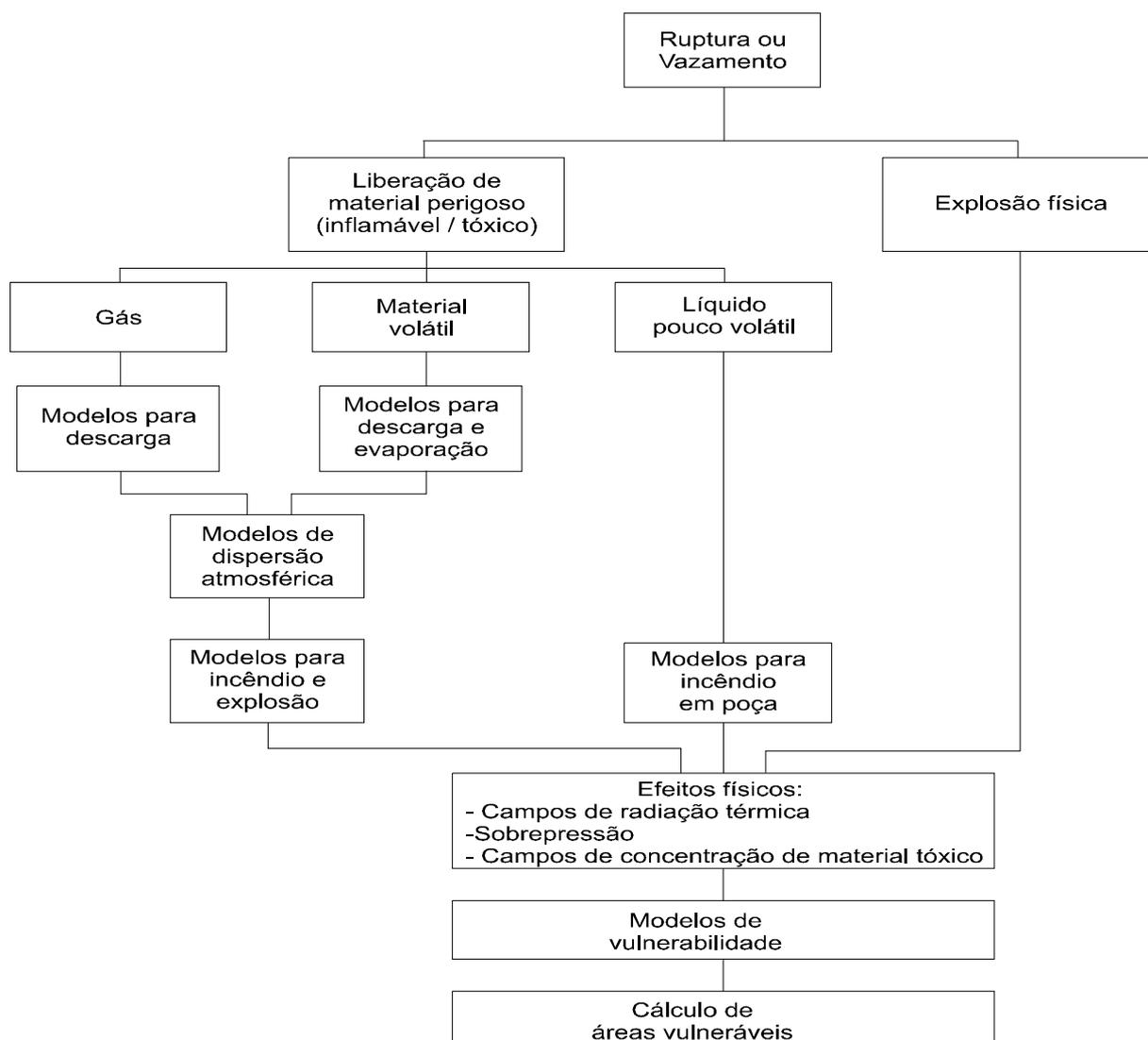


Figura 6.1 - Diagrama Lógico para Análise de Vulnerabilidade de Acidentes com Produtos Perigosos

Os itens a seguir deste capítulo detalham todos os dados e informações utilizadas na Análise de Vulnerabilidade, indicando também valores para os principais parâmetros de cálculo e premissas que serão adotadas nas simulações neste presente estudo.

6.2 Níveis de efeitos físicos de interesse

Nesta seção, serão apresentados os níveis de interesse para os quais foram realizados cálculos de efeitos físicos para delimitar as áreas potencialmente sujeitas a danos.

Tradicionalmente, numa análise de vulnerabilidade, são apresentados os resultados das áreas vulneráveis a cada um dos efeitos físicos: Incêndio em Nuvem, Incêndio em Poça, Formação de Tocha, Explosão, Formação de nuvem tóxica e BLEVE, com origem nas instalações em estudo.

No presente trabalho, os efeitos de incêndio em nuvem e incêndio em poça têm alcances pequenos indicando que os possíveis efeitos danosos devem restringir-se à área próxima do local do acidente, sem passar dos limites EAR das instalações.

Já para o caso de explosões, há cenários de acidente com alcance para o nível de sobrepressão de 0,1 bar (1 % de chance de letalidade) na onda de choque que chegam próximos da cerca que delimita as instalações. Somente para os casos de explosão serão gerados resultados gráficos para permitir a visualização das zonas potencialmente atingíveis, pois são os únicos cenários que têm potencial de causar danos de monta.

Conforme o Termo de Referência para elaboração de Estudos de Análise de Riscos em Termelétricas a carvão, Revisão 1, de 23 de junho de 2005, para fins de licenciamento ambiental junto ao IBAMA, foram considerados os valores de níveis de efeitos físicos de interesse mostrados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Níveis de efeitos físicos de interesse e letalidades associadas

<i>Radiação térmica e tempo de exposição</i>	<i>Probabilidade de fatalidade (%)</i>
3,0 kW/m ² e 20 s de exposição*	-
12,5 kW/m ² e 30 s exposição**	1
37,5 kW/m ² e 20 s exposição**	50
71,2 kW/m ² e 20 s exposição***	99
<i>Pico de sobrepressão na onda de choque (bar)</i>	<i>Probabilidade de fatalidade (%)</i>
0,05*	-
0,1**	1
0,3**	50
0,43***	99

(*) *Termo de Referência - Estudo de Análise de Riscos Termelétricas a Carvão (IBAMA).*

(**) *Norma P4.261 CETESB maio / 2003.*

(***) *Valor adotado conforme equação de Probit.*

6.3 Caracterização dos cenários de acidente e análise de vulnerabilidade

Em princípio, os cenários de acidente a serem incluídos na AQR (Análise Quantitativa de Riscos) deveriam ser todos aqueles classificados como severidade “CRÍTICA” e

“CATASTRÓFICA” nas unidades/áreas, segundo as Análises Preliminares de Perigos (APP) desenvolvidas para as Fases A, B e Fase C da Usina Termelétrica Presidente Médici, pois tais cenários estão associados à liberação de forma descontrolada de grandes inventários de gases inflamáveis, com potencial para causar incêndios e explosões. Mas, em alguns casos, os resultados da Análise de Vulnerabilidade podem mostrar que os efeitos danosos associados a alguns cenários entre os selecionados não atingiriam a população e podem ser descartados da parte quantitativa da estimativa de riscos. Conforme será visto, nenhum dos cenários simulados teria potencial de causar letalidade fora da Usina.

As condições meteorológicas utilizadas nas simulações foram os valores médios para a região, indicados na Tabela 2.8, conforme apresentados no Capítulo 2.

Para o cenário de explosão de mistura de vapor-ar no interior do tanque de óleo combustível que supre as Fases A, B e C, foi considerado inventário mínimo da capacidade do equipamento para proporcionar uma condição mais conservadora de fase vapor no tanque (100 %).

A seguir, são descritos os cenários de acidente selecionados para os cálculos da vulnerabilidade e apresentados os respectivos níveis de efeitos e danos resultantes, sendo especificados para cada evento as condições de liberação do material e o local, isto é, o ponto de liberação do vazamento.

Na sequência, os resultados de modelagem dos cenários acidentais analisados são apresentados nas Tabelas 6.2 a 6.19.

Tabela 6.2 - Caracterização da Hipótese 2ABC e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 2 ABC</i>		
Descrição	Rompimento catastrófico do reator de hidrogênio por impacto mecânico ou falha estrutural.	
Local de Ruptura	Prédio de produção de hidrogênio	
Material	Hidrogênio	
Estado do Material	Gás	
Efeitos	Explosão de nuvem confinada	
Caracterização do Vazamento	Ruptura catastrófica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o volume do prédio de produção de hidrogênio estaria integralmente tomado por mistura estequiométrica de hidrogênio com ar. Volume = 340 m ³ A massa de hidrogênio considerada foi de 8,5 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão em nuvem confinada	0,05	130
	0,1	81
	0,3	41
	0,43	33

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.2, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão confinada de mistura de hidrogênio e ar.

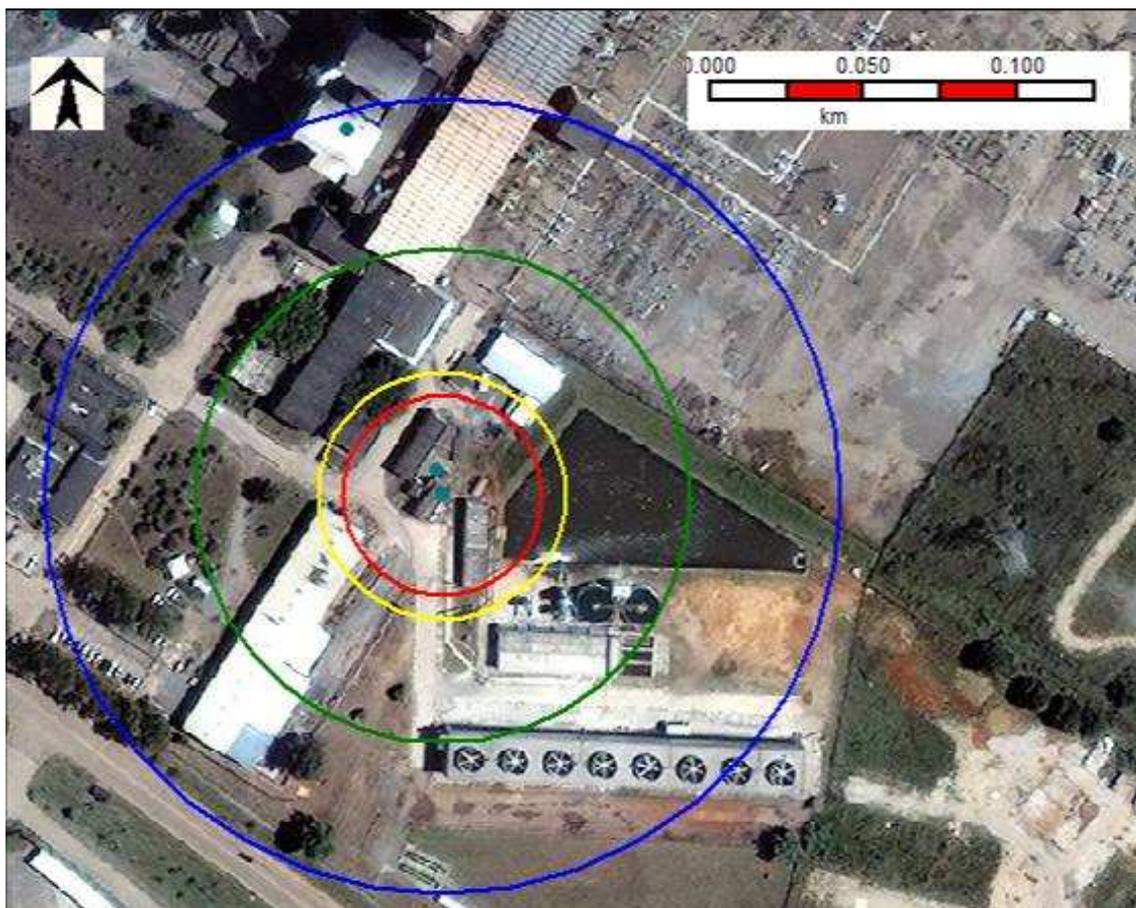


Figura 6.2- Explosão de confinada de hidrogênio e ar, no interior do prédio do reator, Hipótese 2ABC, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.3 - Caracterização do cenário Hipótese 5ABC e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 5ABC</i>		
Descrição	Rompimento catastrófico de cilindro de hidrogênio por impacto mecânico ou falha estrutural.	
Local de Ruptura	Pátio de estocagem de hidrogênio	
Material	Hidrogênio	
Estado do Material	Gás	
Efeitos	Explosão de nuvem semi-confinada	
Caracterização do Vazamento	Ruptura catastrófica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerada a explosão de 14,7 kg (conteúdo de um cilindro) em ambiente semi-confinado (prédios próximos da área de armazenamento) com o método Multi-Energia usando classe de explosão 5.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão em nuvem semi confinada	0,05	57
	0,1	28
	0,3	Não atinge
	0,43	Não atinge

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.3, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura de hidrogênio e ar formada por ruptura de cilindro de armazenagem de H₂.



Figura 6.3- Explosão de nuvem de hidrogênio e ar, ruptura de cilindro, Hipótese 5ABC, alcances para sobrepressões de 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.4 - Caracterização do Hipótese 7A e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização Hipótese 7A</i>		
Descrição	Grande vazamento nas linhas de óleo diesel da Fase A (55 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Área de processo, perto da fornalha	
Material	Óleo diesel	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Diâmetro Linha: 2" (conectada ao tanque de 55 m ³) Pressão: atmosférica Temperatura: 81 °C	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Ocorrência na área de processo (próximo à fornalha, por exemplo). Simulado um incêndio em poça de diesel, na área da fornalha, com área de 707 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo diesel.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m ²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	41
	12,5	22
	37,5	8
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), dia	2

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.4, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de diesel.

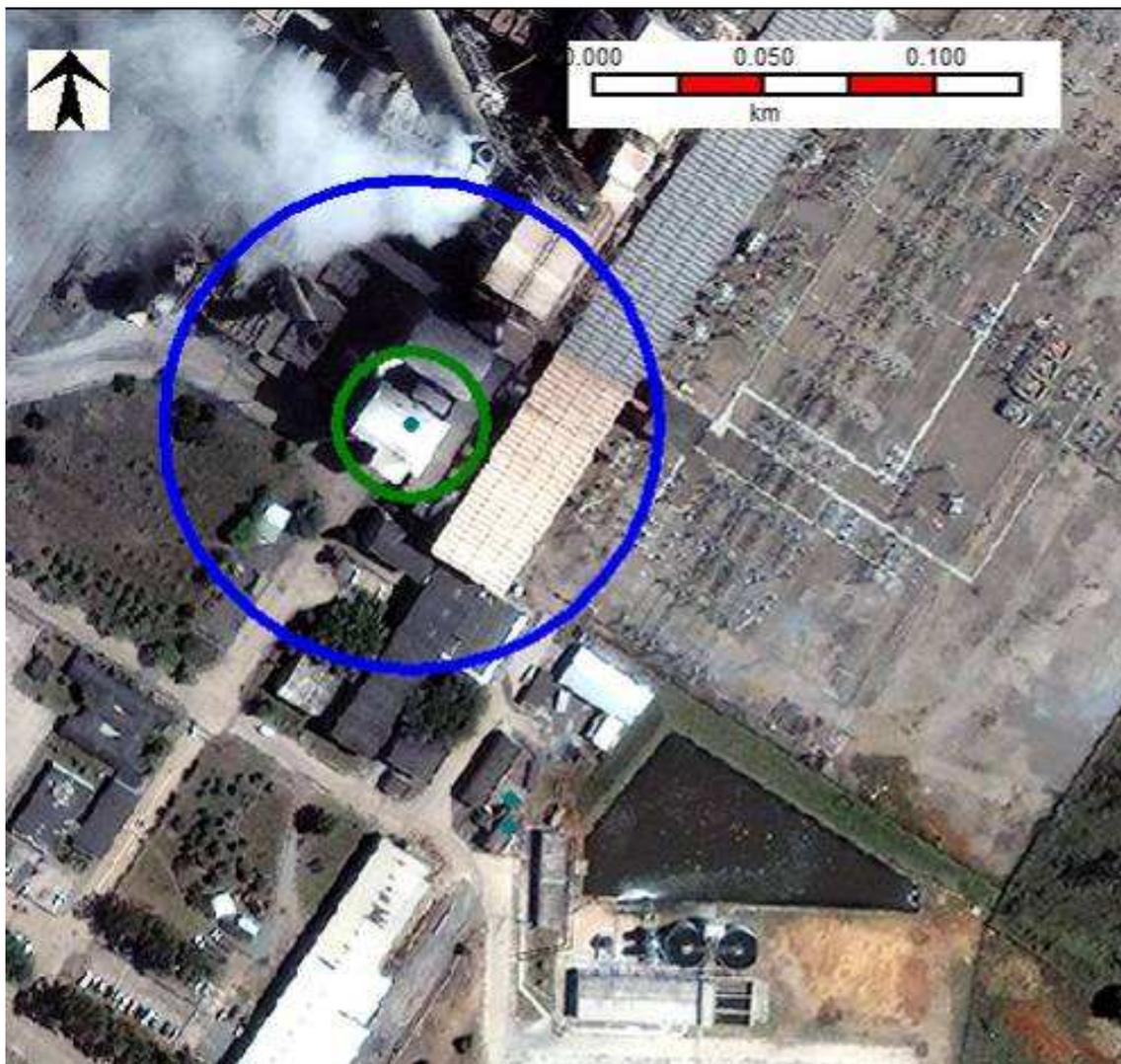


Figura 6.4- Incêndio em poça de diesel, vazamento em linhas do tanque de 55 m³ FaseA, Hipótese 7A, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul) e 12,5 kW/m² (verde)

Tabela 6.5 - Caracterização do Hipótese 8A e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização Hipótese 8A</i>		
Descrição	Grande vazamento de óleo diesel por ruptura catastrófica do tanque da Fase A (55 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Área de armazenagem (dique do tanque de 55 m ³)	
Material	Óleo diesel	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Instantâneo (tanque de 55 m ³) Temperatura: ambiente	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Ocorrência na área de armazenagem (dique do tanque de 55 m ³). Simulado um incêndio em poça de diesel, na área do dique, com área de 60 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo diesel.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m ²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	39
	12,5	20
	37,5	7
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), noite	10

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.5, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de diesel.



Figura 6.5- Incêndio em poça de diesel, no dique do tanque de 55 m³ da Fase A, Hipótese 8A, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul), 12,5 kW/m² (verde) e 37,5 kW/m² (amarelo)

Tabela 6.6 - Caracterização da Hipótese 11B e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização Hipótese 11B</i>		
Descrição	Grande vazamento de óleo diesel por ruptura catastrófica do tanque da Fase B (200 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Área de armazenagem (dique do tanque de 200 m ³)	
Material	Óleo diesel	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Instantâneo (tanque de 200 m ³) Temperatura: ambiente	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Ocorrência na área de armazenagem (dique do tanque de 200 m ³). Simulado um incêndio em poça de diesel, na área do dique, com área de 254 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo diesel.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m ²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	56
	12,5	21
	37,5	Não atinge
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), noite	16

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.6, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de diesel.



**Figura 6.6- Incêndio em poça de diesel, no dique do tanque de 200 m³ da Fase B, Hipótese 11 B, alcan-
ces para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul) e 12,5 kW/m² (verde)**

Tabela 6.7 - Caracterização da Hipótese 13ABC e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 13ABC</i>		
Descrição	Grande vazamento nas linhas de óleo combustível 1A (5000 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Entre o tanque principal e os tanques intermediários	
Material	Óleo combustível 1A	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Diâmetro Linha: 2" (conectada ao tanque de 5000 m ³) Pressão: atmosférica Temperatura: 81 °C	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Ocorrência na área entre a transferência entre tanques. Simulado um incêndio em poça de óleo combustível 1A, com área de 707 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo combustível 1A.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	41
	12,5	22
	37,5	8
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), dia	3

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.7, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de combustível 1A.

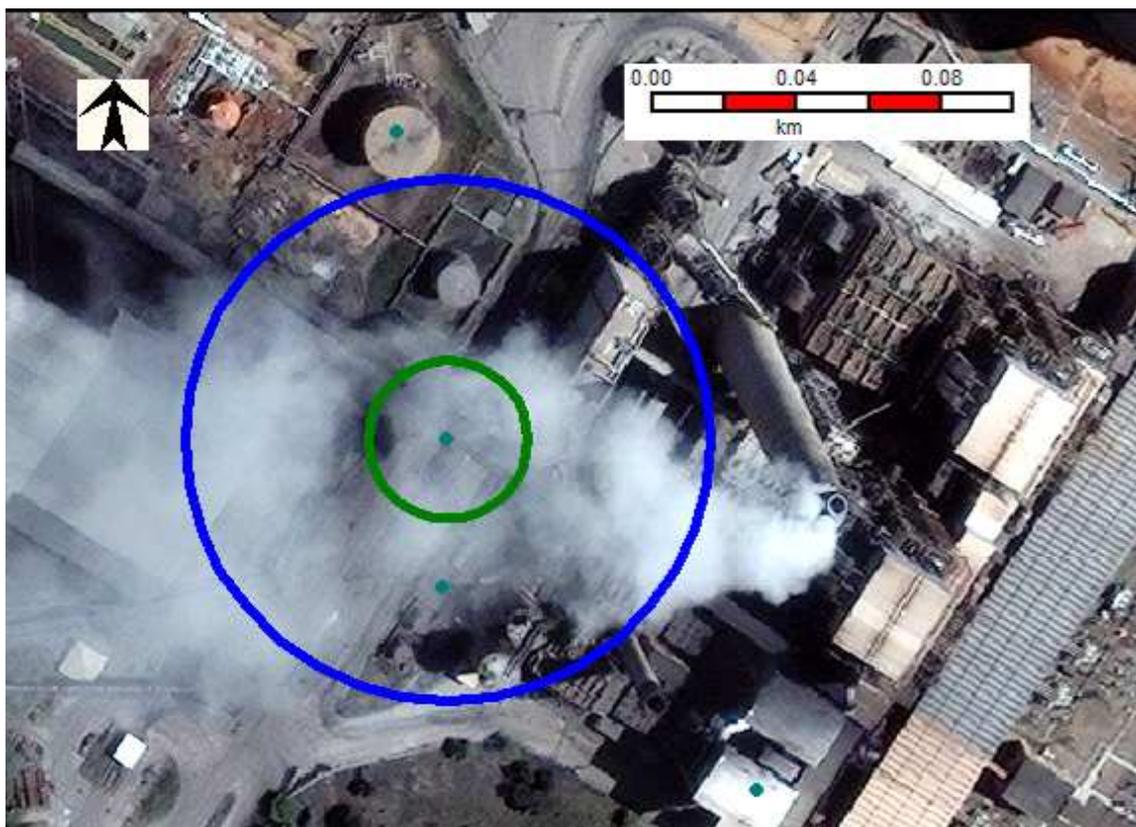


Figura 6.7- Incêndio em poça de combustível, vazamento em linhas do tanque de 5000 m³, Hipótese 13 ABC, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m² azul) e 12,5 kW/m² (verde)

Tabela 6.8 - Caracterização Cenário 15ABC e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Cenário 15ABC</i>		
Descrição	Explosão de mistura de vapor inflamável e ar no interior do tanque de armazenagem de óleo combustível 1A (5000 m ³) por queda de raio ou falha humana (trabalho a quente).	
Local de Ruptura	Tanque principal de armazenagem de óleo combustível	
Material	Óleo combustível	
Estado do Material	Vapor	
Efeitos	Explosão de nuvem confinada	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerada uma explosão de vapor de óleo combustível com ar em mistura estequiométrica com ar ocupando integralmente os 5000 m ³ do tanque (massa = 405 kg). Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo). A explosão seria seguida de um incêndio em poça (Área do dique = 1930 m ²).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Nível do efeito	Alcance (m)
Explosão em nuvem semi confinada (pico de sobrepressão)	0,05 (bar)	336
	0,1 (bar)	209
	0,3 (bar)	104
	0,43 (bar)	84
Incêndio em poça (fluxo térmico)	3,0 (kW/m ²)	110
	12,5 (kW/m ²)	39
	37,5 (kW/m ²)	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (m)	59

Com base nos resultados acima, a distância obtida para alcance até o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque, o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade, pode-se afirmar que os efeitos não ultrapassariam os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.8, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de combustível 1A.

Na Figura 6.9, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão confinada no tanque de 5000 m³ de mistura de vapor de óleo combustível e ar.



Figura 6.8- Incêndio em poça de combustível 1A, no dique do tanque de 5000 m³, Hipótese 14 ABC, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul) e 12,5 kW/m² (verde)

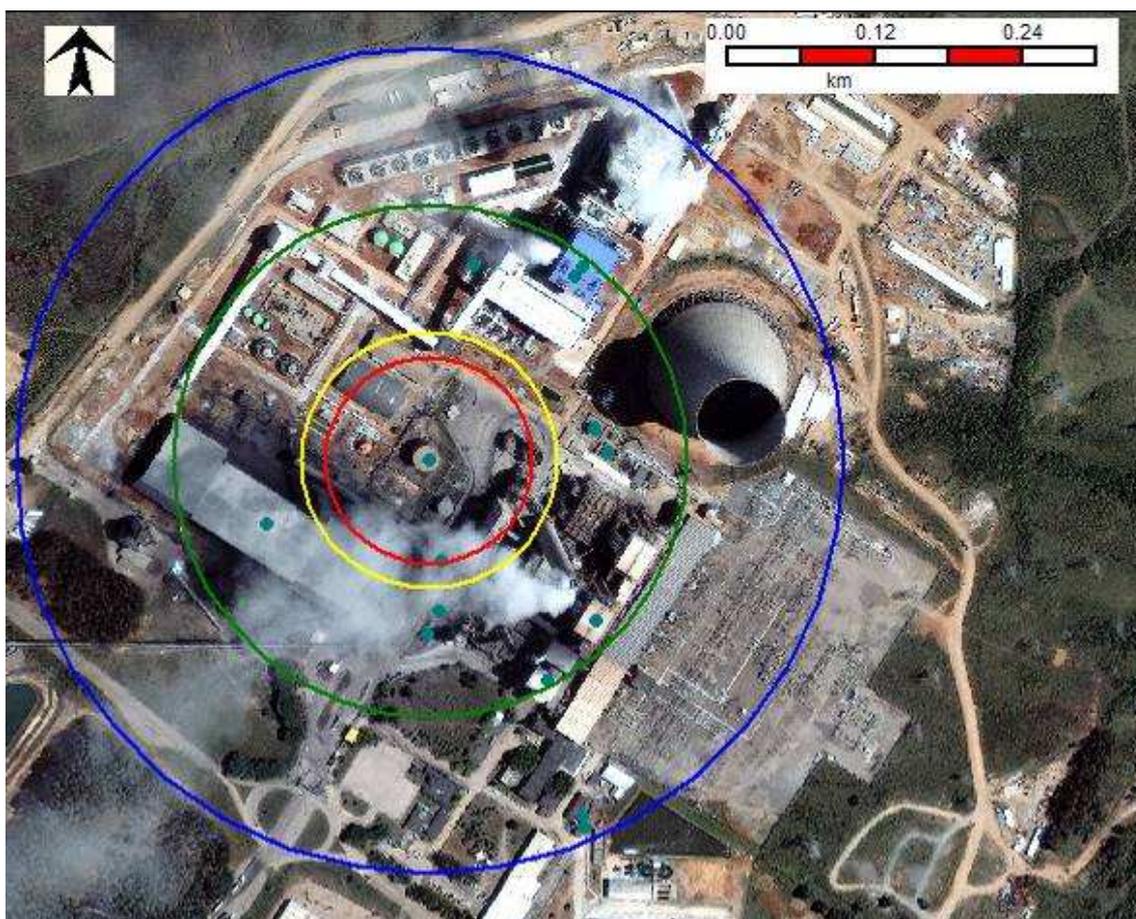


Figura 6.9- Explosão de vapor de óleo combustível e ar, no interior do tanque de 5000 m³, Hipótese 15ABC, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.9 - Caracterização da Hipótese 17A e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 17A</i>		
Descrição	Grande vazamento de óleo combustível 1A devido à ruptura do tanque de armazenagem da Fase A (125 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Dique do tanque (125 m ³), Fase A	
Material	Óleo combustível 1A	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Instantâneo Pressão: atmosférica Temperatura: 81 °C	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Simulado um incêndio em poça de óleo combustível 1A, Fase A, no dique do tanque de 125 m ³ , com área de 160 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo combustível 1A.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	50
	12,5	21
	37,5	10
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)	1

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.10, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de combustível 1A.



Figura 6.10 - Incêndio em poça de combustível, no dique do tanque de 125 m³ da Fase A, Hipótese 17A, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul), 12,5 kW/m² (verde) e 37,5 kW/m² (amarelo)

Tabela 6.10 - Caracterização da Hipótese 20B e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 20B</i>		
Descrição	Grande vazamento de óleo combustível 1A devido à ruptura do tanque de armazenagem da Fase B (500 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Dique do tanque (500 m ³), Fase B	
Material	Óleo combustível 1A	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Instantâneo Pressão: atmosférica Temperatura: 81 °C	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
<i>Considerações</i>		
Simulado um incêndio em poça de óleo combustível 1A, Fase B, no dique do tanque (500 m ³) com área de 254 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo combustível 1A..		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3,0	57
	12,5	22
	37,5	Não atinge
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII), dia	46

Com base nos resultados acima, as distâncias obtida para o alcance de todos os níveis de radiação de interesse, assim como o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade ficariam restritos aos limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.11, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de combustível 1A.



Figura 6.11- Incêndio em poça de óleo combustível, no dique do tanque de 500 m³ da Fase B, Hipótese 20B, alcance para fluxos térmicos de 3 kW/m² (azul) e 12,5 kW/m² (verde)

Tabela 6.11 – Caracterização da Hipótese 29A e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 29A</i>		
Descrição	Ignição retardada de vapor de óleo diesel na câmara de combustão da caldeira da Fase A por falha no sistema de instrumentação da caldeira.	
Local de Ruptura	Fornalha da Fase A	
Material	Óleo diesel	
Estado do Material	Gasoso	
Efeitos	Explosão de nuvem parcialmente confinada	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o volume da fornalha da Fase A estaria integralmente tomada por mistura estequiométrica óleo diesel com ar. Volume = 2187 m ³ . A massa de óleo diesel considerada foi de 177 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão em nuvem semi confinada	0,05	203
	0,1	114
	0,3	54
	0,43	44

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.12, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura vapor de óleo diesel e ar.

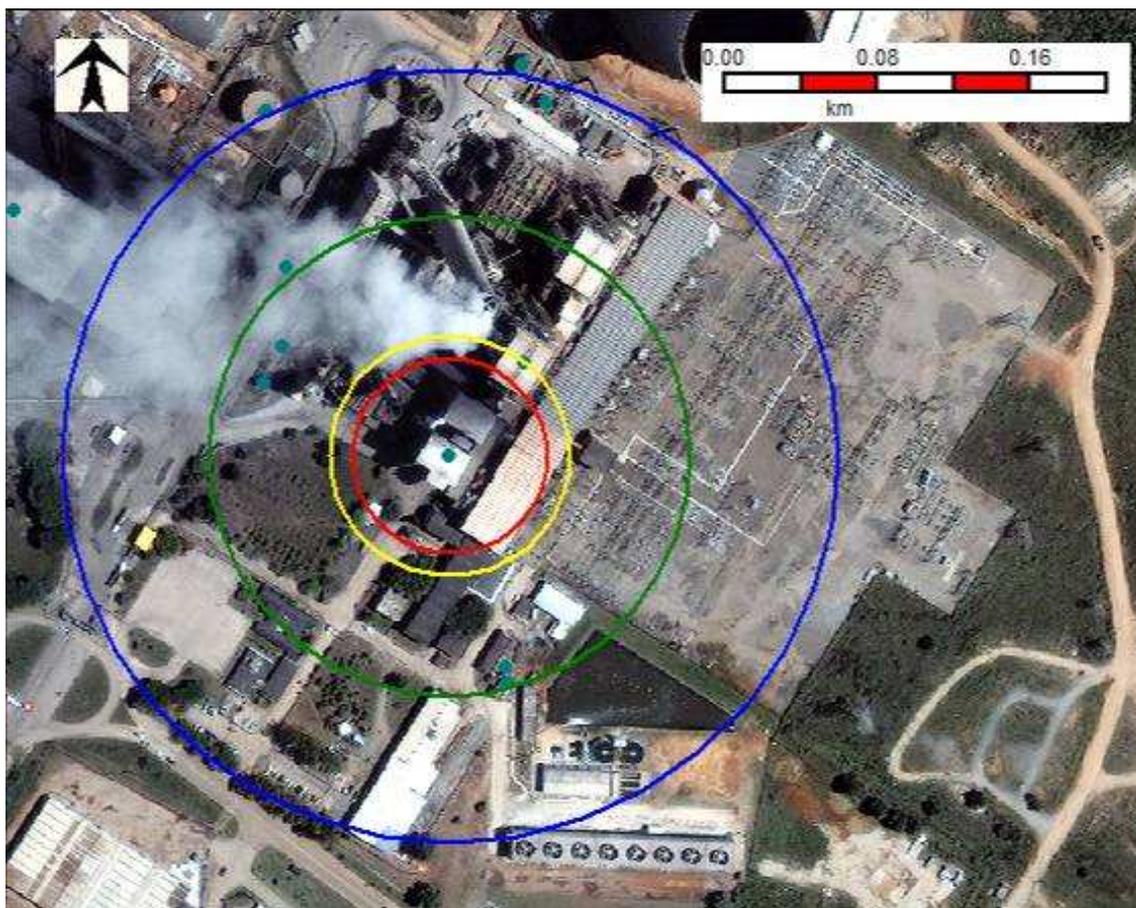


Figura 6.12- Explosão de mistura de vapor de óleo diesel e ar, na fornalha da Fase A, Hipótese 29A, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.12 - Caracterização Hipótese 29Aa e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 29Aa</i>		
Descrição	Explosão resultante da ruptura do balão da caldeira da Fase A	
Local de Ruptura	Caldeira da Fase A	
Material	Água	
Estado do Material	Mistura bifásica com temperatura acima do ponto de ebulição	
Efeitos	Explosão por expansão de vapor fervente (BLEVE)	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Efeitos da ruptura do balão da caldeira com base no volume de 23 m ³ , temperatura de 530 °C e pressão de 131 kgf/cm ² .		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
BLEVE	0,05	203
	0,1	73
	0,3	37
	0,43	30

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.13, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão por expansão de vapor de água fervente.



Figura 6.13- Explosão por expansão de vapor de água (BLEVE) da caldeira da Fase A, Hipótese 29Aa, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.13 - Caracterização da Hipótese 30B e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 30B</i>		
Descrição	Ignição de mistura de GLP e ar, na câmara de combustão da caldeira da Fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de GLP-ar, na fornalha da Fase B (V = 11040 mm x 11040 mm x 51700 mm = 6302 m ³).	
Local de Ruptura	Fornalha da Fase B	
Material	GLP	
Estado do Material	Gás	
Efeitos	Explosão de nuvem parcialmente confinada	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o volume da câmara de combustão da caldeira da Fase B estaria integralmente tomada por mistura estequiométrica de GLP com ar. Volume = 6302 m ³ . A massa de GLP considerada foi de 476 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão em nuvem semi confinada	0,05	282
	0,1	126
	0,3	63
	0,43	51

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.14, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura de GLP e ar.

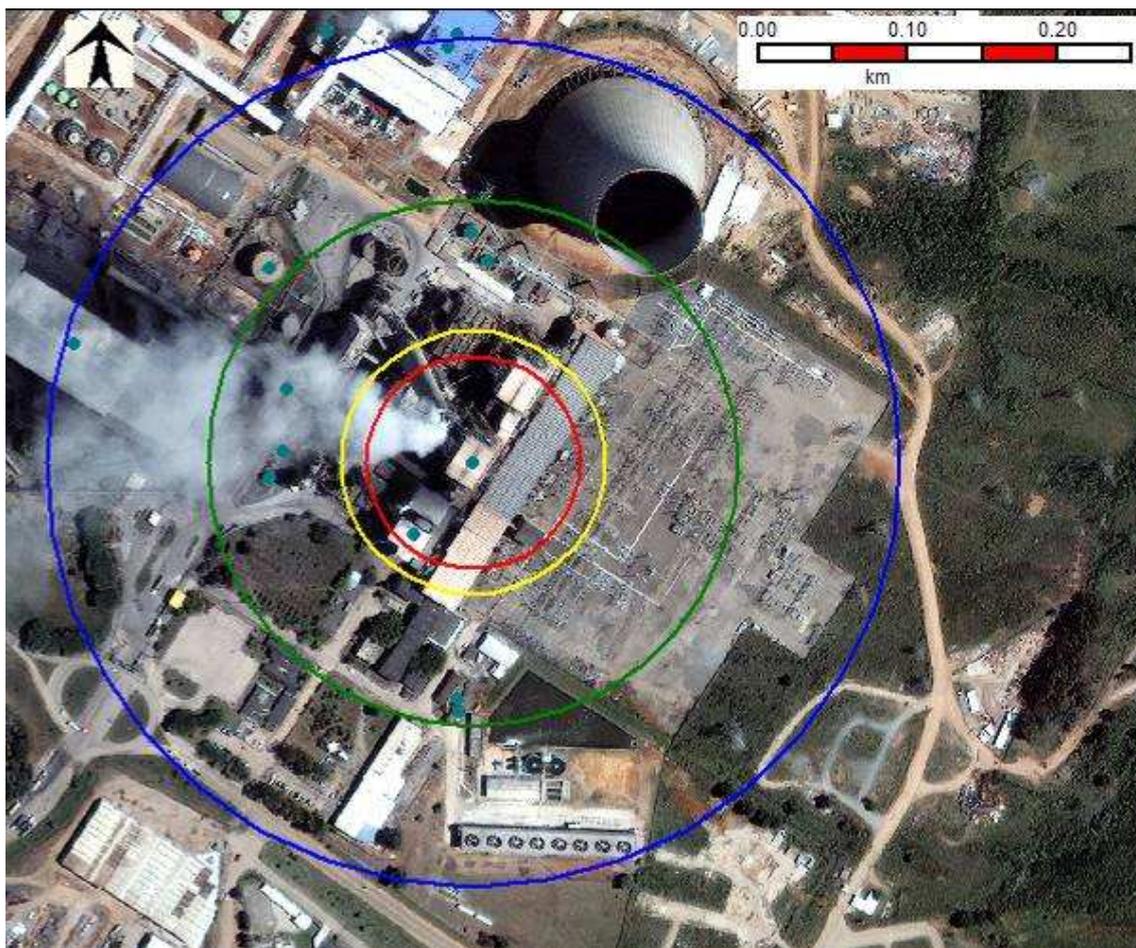


Figura 6.14 - Explosão de mistura de GLP e ar, no interior da fornalha da Fase B, Hipótese 30B, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.14 - Caracterização da Hipótese 31B e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização da Hipótese 31B</i>		
Descrição	Ignição de mistura de vapor de óleo diesel e ar, na câmara de combustão da caldeira da Fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de vapor de diesel com ar, na fornalha da Fase B (V = 11040 mm x 11040 mm x 51700 mm = 6302 m ³).	
Local de Ruptura	Fornalha da Fase B	
Material	Óleo diesel	
Estado do Material	Vapor	
Efeitos	Explosão de nuvem parcialmente confinada	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o volume da câmara de combustão da caldeira da Fase B estaria integralmente tomada por mistura estequiométrica de vapor de óleo diesel com ar. Volume = 6302 m ³ . A massa de óleo diesel considerada foi de 510 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão em nuvem semi confinada	0,05	288
	0,1	162
	0,3	77
	0,43	63

Com base nos resultados acima, a distância obtida para o nível de pico de sobrepressão de 0,1 bar (letalidade de 1 %) na onda de choque não ultrapassa os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.15, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura de vapor de óleo diesel e ar.

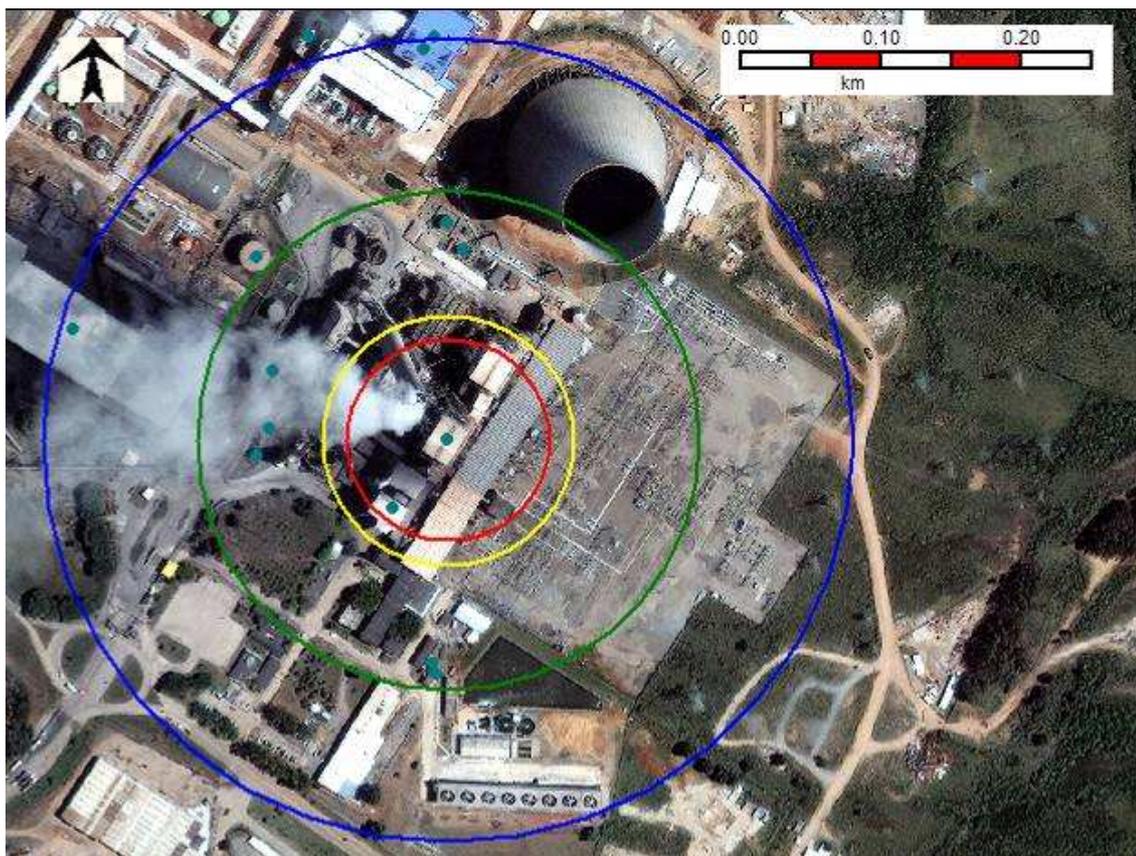


Figura 6.15 - Explosão de mistura de vapor de óleo diesel e ar, no interior da fornalha da Fase B, Hipótese 31B, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.15 - Caracterização do Cenário 12C e resultados para os níveis de efeitos avaliados

Caracterização do Cenário 12C		
Descrição	Grande vazamento nas linhas de óleo combustível da Fase C (300 m ³) por impacto mecânico ou falha estrutural causando a liberação de produto combustível com possibilidade de ocorrência de incêndio.	
Local de Ruptura	Área de processo, perto da fornalha da Fase C	
Material	Óleo combustível	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Incêndio em poça	
Caracterização do Vazamento	Diâmetro Linha: 2" (conectada ao tanque de 300 m ³) Pressão: atmosférica Temperatura: 81 °C	
Caracterização da Dispersão	Contínua Classe de Estabilidade: B/C (dia) e E (noite) Velocidade do vento: 4,39 m/s (dia) e 2,97 m/s (noite)	
Considerações		
Ocorrência na área de processo (próximo à fornalha, por exemplo). Simulado um incêndio em poça de diesel, na área da fornalha a Fase C, com área de 707 m ² . Usada a substância n-tetradecano para representar o óleo diesel.		
Alcances dos Efeitos Físicos (m)		
EFEITO	Fluxo térmico (kW/m²)	Alcance (m)
Incêndio em poça	3	41
	12,5	22
	37,5	8
	71,2	Não atinge
Incêndio em nuvem	Limite Inferior de Inflamabilidade (LII)	2

Com base nos resultados acima, as distâncias obtidas para níveis considerados perigosos tanto para radiação térmica como para explosão não ultrapassam os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.16, estão mostrados os resultados de zonas que poderiam ser atingidas por fluxo térmico associado a incêndio em poça de óleo combustível 1A.



Figura 6.16- Incêndio em poça de óleo combustível, na área da fornalha da Fase C, Cenário 12C, alcances para fluxos térmicos de 3 kW/m^2 (azul) e $12,5 \text{ kW/m}^2$ (verde)

Tabela 6.16- Caracterização do Cenário 18C e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização do Cenário 18C</i>		
Descrição	Acúmulo de mistura inflamável (vapores de combustível) na fornalha na partida da caldeira (partida com óleo combustível 1A), levando à explosão confinada na fornalha da Fase C.	
Local de Ruptura	Fornalha (caldeira)	
Material	Óleo combustível (1A)	
Estado do Material	Líquido	
Efeitos	Explosão confinada de mistura de vapor inflamável-ar	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o volume da fornalha (7840 m ³) preenchido por uma mistura estequiométrica de vapor-ar sofreria explosão. A massa de vapor considerada foi de 634 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão confinada de mistura de vapor inflamável com ar	0,05	310
	0,1	193
	0,3	96
	0,43	78

Com base nos resultados acima, verifica-se que as distâncias obtidas para sobrepressão em níveis de 0,1 bar não ultrapassam os limites de propriedade da UTE.

Na Figura 6.17, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura vapor inflamável de óleo combustível e ar, no interior da fornalha da Fase C.

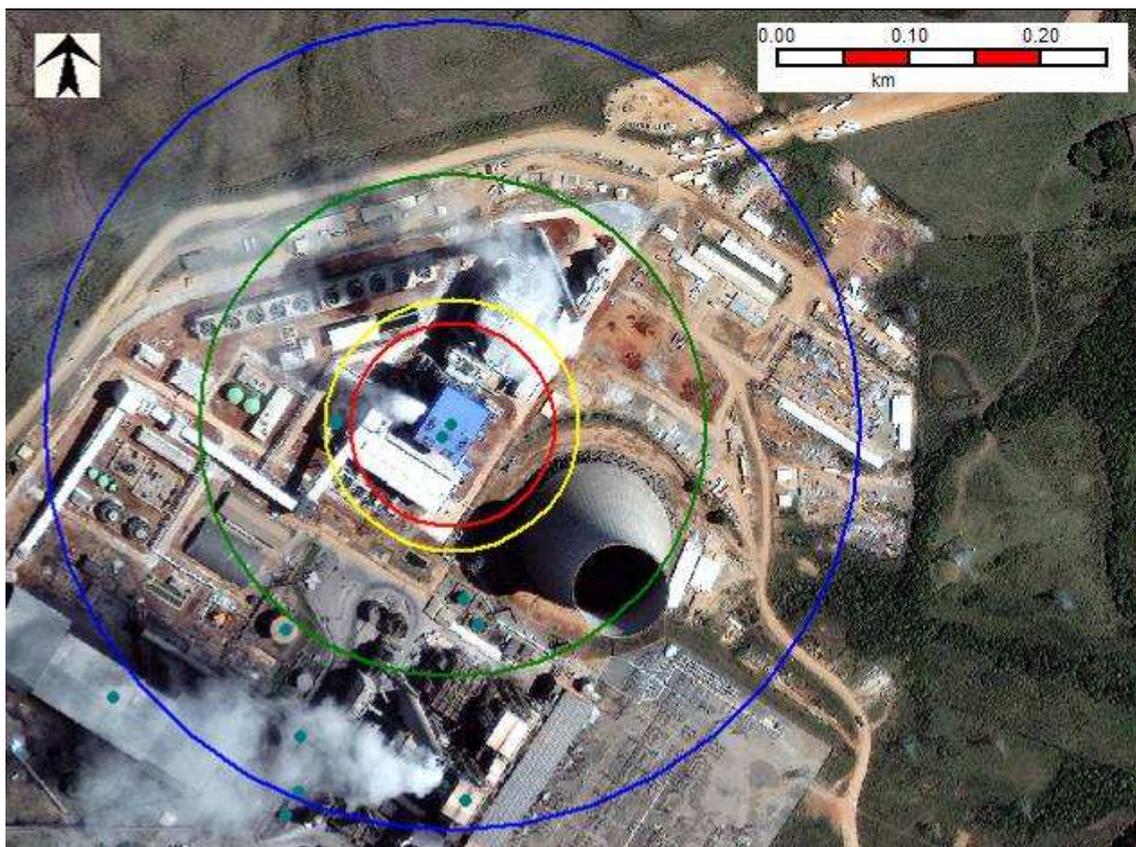


Figura 6.17- Explosão de mistura de vapor de óleo combustível e ar, no interior da fornalha da Fase C, Cenário 18C, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.17 - Caracterização do Cenário 22C e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização do Cenário 22C</i>		
Descrição	Sobrepessão de vapor devido à falha no controle de pressão da caldeira ou falha humana na partida, levando à explosão da caldeira.	
Local de Ruptura	Caldeira da Fase C	
Material	Água	
Estado do Material	Mistura bifásica com temperatura acima do ponto de ebulição	
Efeitos	Explosão por expansão de vapor fervente (BLEVE)	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado a expansão da água/vapor contida no volume (150 m ³) do balão da caldeira da Fase C, na pressão de 213 bar e temperatura de 540 °C. Altura do balão igual a 70 m.		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão por expansão de vapor e líquido fervente	0,05	243
	0,1	163
	0,3	83
	0,43	67

Com base nos resultados acima, verifica-se que as distâncias obtidas para sobrepessão ultrapassam os limites de propriedade da UTE, porém sem causar danos a propriedades vizinhas.

Na Figura 6.18, estão mostrados os resultados de pico de sobrepessão na onda de choque resultante do BLEVE da caldeira da Fase C.

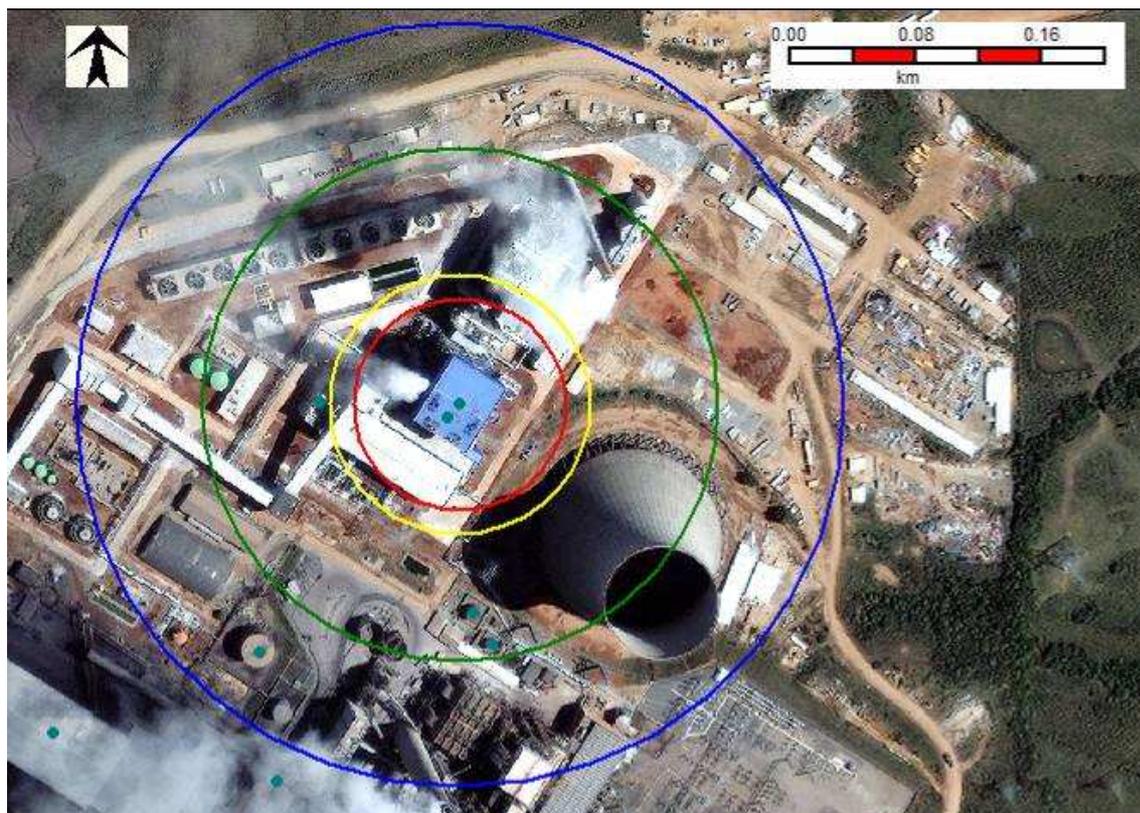


Figura 6.18- BLEVE da caldeira da Fase C, Cenário 22C, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.18- Caracterização do Cenário 42C e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização do Cenário 42C</i>		
Descrição	Liberação de hidrogênio contido no interior do gerador seguido de explosão de mistura de hidrogênio com ar no interior do prédio do gerador.	
Local de Ruptura	Prédio do gerador de energia elétrica	
Material	Hidrogênio	
Estado do Material	Gasoso	
Efeitos	Explosão	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o hidrogênio contido no interior gerador em mistura estequiométrica com ar sofreria explosão. A massa de hidrogênio considerada foi de 34 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão	0,05	
	0,1	
	0,3	
	0,43	

Com base nos resultados acima, verifica-se que as distâncias obtidas para sobrepressão não ultrapassam os limites de propriedade da UTE, e portanto não podem causar danos à população externa.

Na Figura 6.19, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura de hidrogênio e ar, na sala de baterias.

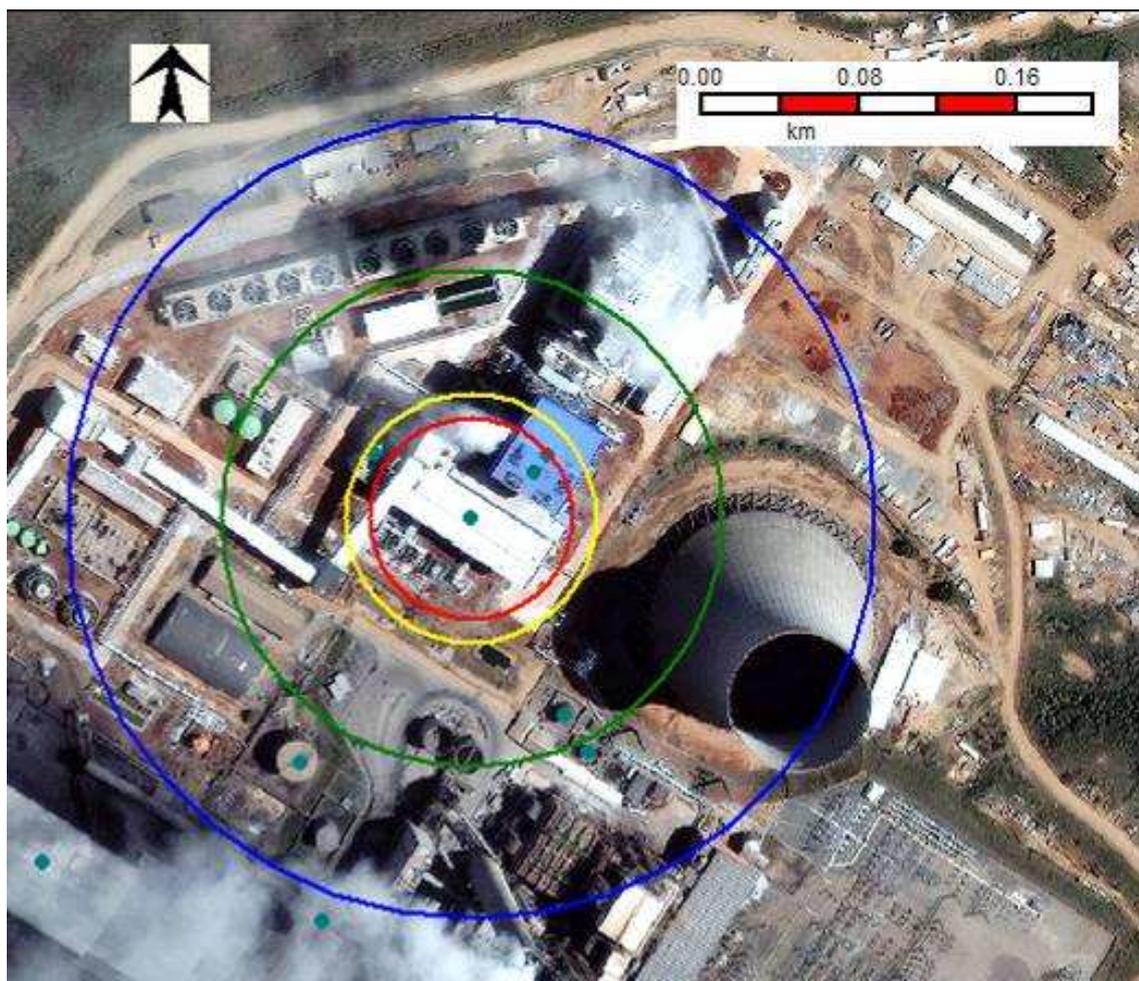


Figura 6.19- Explosão confinada de hidrogênio e ar, Cenário 64C, na sala de baterias, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

Tabela 6.19- Caracterização do Cenário 64C e resultados para os níveis de efeitos avaliados

<i>Caracterização do Cenário 64C</i>		
Descrição	Liberação de hidrogênio em espaço confinado por vazamento de gás dentro da casa de baterias levando à explosão confinada.	
Local de Ruptura	Casa de baterias	
Material	Hidrogênio	
Estado do Material	Gasoso	
Efeitos	Explosão	
Caracterização do Vazamento	Não se aplica	
Caracterização da Dispersão	Não se aplica	
<i>Considerações</i>		
Foi considerado que o hidrogênio contido no interior da casa de baterias (171,5 m ³), em mistura estequiométrica com ar sofreria explosão. A massa de hidrogênio considerada foi de 4,12 kg. Para avaliação dos efeitos foi usado o método do TNT Equivalente com 100 % da massa disponível participando da explosão (conservativo).		
<i>Alcances dos Efeitos Físicos</i>		
EFEITO	Sobrepessão (bar)	Alcance (m)
Explosão	0,05	103
	0,1	64
	0,3	32
	0,43	26

Com base nos resultados acima, verifica-se que as distâncias obtidas para sobrepressão não ultrapassam os limites de propriedade da UTE, e portanto não podem causar danos à população externa.

Na Figura 6.20, estão mostrados os resultados de pico de sobrepressão na onda de choque resultante da explosão de mistura de hidrogênio e ar, na sala de baterias.



Figura 6.20- Explosão confinada de hidrogênio e ar, Cenário 64C, na sala de baterias, alcances para sobrepressões de 0,43 bar (vermelho), 0,3 bar (amarelo), 0,1 bar (verde) e 0,05 bar (azul)

6.3.1 Áreas Vulneráveis a ocorrência de Explosão

O maior alcance para o efeito Explosão foi apresentado no Cenário 1ABC, explosão de mistura de pó de carvão com ar no pátio, com um alcance de 180 m para o pico de pressão na onda de choque de 0,1 bar. Na Tabela 6.21, estão resumidos os alcances para os quatro níveis de sobrepressão considerados para os cenários de acidente analisados.

O maior alcance para o efeito nível de fluxo térmico para incêndio em poça foi de 110 m para o fluxo térmico de 3 kW/m^2 , e de 32 m para $12,5 \text{ kW/m}^2$, na Hipótese acidental 14ABC, envolvendo a liberação acidental de óleo combustível, no interior do dique do tanque de armazenagem de 5000 m^3 . Na Tabela 6.22, estão resumidos reproduz os alcances para os três níveis de fluxo térmico considerados para os demais cenários de acidente.

Tabela 6.20 – Alcances para explosão – Hipóteses/Cenários

Sobrepessão (bar)	Alcance (m)										
	Hipótese 2ABC	Hipótese 5ABC	Cenário 15ABC	Hipótese 29A	Hipótese 29Aa	Hipótese 30B	Hipótese 31B	Cenário 1ABC	Cenário 18C	Cenário 22C	Cenário 64C
0,05	130	57	336	203	203	282	288	260	310	243	103
0,1	81	28	209	114	73	126	162	Não atinge	193	163	64
0,3	41	Não atinge	104	54	37	63	77	Não atinge	96	83	32
0,43	33	Não atinge	84	44	30	51	63	Não atinge	78	67	26

Tabela 6.21 – Alcances para fluxos térmicos em incêndio em poça – Hipóteses/Cenários

Fluxo térmico (kW/m ²)	Alcance (m)						
	Hipótese 7A/10A/16A Cenário 12C	Hipótese 8A	Hipótese 11B	Hipótese 13ABC	Cenário 15ABC	Hipótese 17A	Hipótese 20B
3,0	41	39	56	44	110	50	57
12,5	22	20	21	22	39	21	22
37,5	8	7	Não atinge	9	Não atinge	10	Não atinge
71,2	Não atinge	Não atinge	Não atinge	Não atinge	Não atinge	Não atinge	Não atinge
LII (m)	2	10	16	3	51	1	46

6.3.2 Discussão dos resultados das áreas vulneráveis

Observando-se as figuras das áreas vulneráveis (Figuras 6.2 a 6.20) para cada ponto de liberação e as tabelas dos alcances dos efeitos físicos de cada evento considerado nesta análise (Tabelas 6.2 a 6.19), pode-se ver que para todos os eventos analisados, os alcances para os efeitos físicos capazes de causar danos a pessoas não extrapolam os limites do Complexo Termelétrico de Candiota.

Deve-se ter cautela sobre o que entender da associação entre 0,1 bar de sobrepressão na onda de choque e 1 % de fatalidade. Ao ocorrer a passagem da onda de choque por uma pessoa os principais efeitos são os efeitos do diferencial de pressão entre diferentes partes do corpo e as tensões geradas (em casos extremos pode ocorrer hemorragia pulmonar, mas, os níveis de sobrepressão necessários são superiores a 1 bar), assim como o deslocamento que o corpo pode sofrer, com um ganho de quantidade de movimento. Dependendo da velocidade atingida, o choque do corpo contra estruturas fixas pode causar danos sérios, mas aqui, novamente, 0,1 bar não são suficientes para deslocar uma pessoa. Porque então a associação entre 0,1 bar e 1% de letalidade? A razão é simples: colapso de instalações, principalmente de alvenaria. O nível de 0,1 bar já pode causar algum dano grave em casas de alvenaria, o que poderia levar a fatalidades de pessoas no interior de prédios de alvenaria, em caso de colapso. Com isto posto, tem-se reforçado o argumento de que os possíveis danos de acidentes com origem no processo do Complexo Termelétrico de Candiota ficariam restritos ao interior dos limites da planta.

Portanto, ainda que o nível sobrepressão pudesse ser observado fora dos limites da Usina, não se poderia considerar que haveria risco para a população, pois não existem prédios na área próxima à cerca. Ou seja, de acordo com os resultados obtidos com o programa Phast e a análise feita, pode-se concluir que **os cenários de acidente com origem nas atividades desenvolvidas no Complexo Termelétrico de Candiota não teriam potencial de causar fatalidades fora das instalações da Usina.**

É claro que os efeitos internos às instalações são também muito importantes. Observando-se, por exemplo, as Figuras 6.9 ou 6.12, pode-se ver que dentro dos círculos em verde que corresponde ao nível de sobrepressão de 0,1 bar na onda de choque, há diversos prédios onde há presença de muitas pessoas e casas de controle. Com níveis de sobrepressão iguais ou superiores a 0,1 bar, pelos critérios da CETESB, haveria chance de letalidade. Por outro lado, se forem levados em conta os critérios da norma holandesa (Tabela 6.24, Seção 6.4), a preocupação maior estaria para níveis acima de 0,3 bar de sobrepressão.

Além dos cenários de acidentes avaliados e até aqui apresentados, foram ainda simulados dois possíveis cenários de acidente: (a) vazamento de GLP, fase vapor, pela válvula de um botijão de 45 kg e (b) ruptura catastrófica de botijão de 45 kg. Conforme pode ser verificado nas listagens de saída do programa Phast apresentada no Anexo E, para o caso (a) o alcance da nuvem até o limite inferior de inflamabilidade seria de somente 4 m (noite) e de 5 m (dia) para o caso (a), enquanto que no caso (b) seria de 26 m (dia) e 19 m (noite). Ou seja, cenários de acidente com GLP também teriam alcances limitados, sem potencial de atingindo pontos externos da Usina.

6.4 Efeito Dominó

O efeito dominó, como o nome sugere, é entendido como o efeito de um acidente que provoca a ocorrência de um ou mais novos acidentes, em cascata, com a ampliação dos danos, temporal ou espacialmente.

Para o caso onde o acidente inicial resulta na formação de uma onda choque, admite-se que o Efeito Dominó pode ocorrer em áreas de processo atingidas por explosões com sobrepressões acima de 0,3 bar (vide Tabela 6.22). Esse nível de sobrepressão pode causar abalo em tubulações que conectam equipamentos de processo afetados. Com danos a tubulações e equipamentos (tanques com matérias perigosos, por exemplo) pode-se ter novos acidentes com a propagação e ampliação dos danos.

Para situações onde o efeito é a geração de fluxo térmico ou exposição às chamas diretamente, a exposição direta é, obviamente, capaz de ampliar o incêndio e fluxos térmicos altos (~100 kW/m²) podem causar danos até ao aço.

Com relação a fluxos térmicos, no Complexo Termelétrico de Candiota, este é um efeito que não tem potencial de causar novos acidentes com ampliação dos danos (em instalações onde há grandes inventários de gases liquefeitos inflamáveis, tais como charutos ou esferas de GLP, ou armazenagem de produtos sensíveis ao calor, o efeito dominó pode ser um fator importante).

Tabela 6.22– Níveis de sobrepressão x dano esperado

Sobrepressão (bar)	Dano esperado
0,05	Pequenos danos nas estruturas de casas.
0,1	Falhas nas amarras das chapas de aço ou painéis de alumínio, seguido de deformação. Destruição da amarração dos painéis (tábuas) de madeira das casas comuns.
0,2	Leve distorção da armação de aço dos edifícios fechados. Colapso parcial das paredes e telhados das casas.
0,3	Ruptura de construções industriais “leves” cobertas. Destruição de áreas arborizadas.
0,43	Destruição quase total das casas.

Fonte: AICHE – Chemical Process Quantitative Risk Analysis

Na Holanda, onde há uma legislação bastante desenvolvida na área de riscos industriais, as recomendações para probabilidades de fatalidade associada a níveis de sobrepressão em caso de explosão estão apresentadas na Tabela 6.23.

Tabela 6.23 – Níveis de sobrepressão e probabilidade de fatalidade

Sobrepressão (bar)	Risco social interno	Risco social para população
$\Delta P > 0,3$	1	1
$0,1 > \Delta P > 0,3$	0,025	0
$\Delta P < 0,1$	0	0

Fonte: Reference Manual Bevi Risk assessment, Ver. 3.2, Julho 2009

Mesmo no caso de explosões, poderia haver ampliação de danos mas com magnitude inferior aos danos causados pela explosão inicial, a que potencialmente estaria causando o efeito dominó. Se for levado em conta o fato de que o objetivo do trabalho é a avaliação dos riscos para a população, a análise do efeito dominó poderia terminar aqui, pois a contribuição deste tipo de causa (que é só mais uma causa para um determinado cenário de acidente), via de regra, é desprezível quando comparada com as demais causas corriqueiramente consideradas.

Os principais resultados em termos de consequências para as instalações das Fases A, B e C, decorrentes de efeito dominó associado aos efeitos físicos dos cenários acidentais analisados até aqui, serão apresentados a seguir.

Examinando-se a Figura 6.15, vê-se que na explosão confinada de vapor de óleo combustível e ar, no interior da fornalha da Fase B teria potencial de atingir muitas estruturas dentro de raio de 162 m (círculo em verde). Dentro da área que poderia ser atingida encontram-se muitas das principais estruturas das três fases (A, B e C). Mas, os danos esperados são sobre as próprias estruturas, pois nas mesmas não se tem grandes inventários de produtos perigosos que poderiam ampliar os acidentes. Dentro da área que poderia ser atingidas há tanques de líquido combustível, mas o colapso de algum deles daria lugar a cenário de acidente do tipo incêndio em poça, cujos potenciais danos restringem-se às imediações do próprio local do tanque.

O mesmo se aplica aos demais eventos avaliados, ainda que as explosões possam causar danos severos em outras estruturas dentro da zona que seria atingida pela onda de choque com pico de sobrepressão capaz de causar danos sérios, tais estruturas não contém inventários de produtos perigosos (inflamáveis ou tóxicos) com potencial de gerar novas liberações e ampliar os danos para muito além do que seria causado pelo evento inicial.

Pode-se, portanto concluir, que o efeito dominó não seria significativo para o estudo de Análise de Riscos das Fases A, B e C do Complexo Termelétrico de Candiota.

7 AVALIAÇÃO DAS FREQUÊNCIAS

Tipicamente, o risco de um acidente fica perfeitamente caracterizado quantitativamente como um conjunto formado por três elementos, conforme indicado a seguir:

$$\text{RISCO} = \{\text{Cenário, Frequência, Consequência}\}$$

A avaliação quantitativa de riscos requer que se estime o conjunto de pares de frequências e consequências de cada um dos possíveis cenários representativos da instalação. O risco será medido pela combinação (produto) dos valores de frequência e de consequência de cada um dos cenários de acidente.

Se não houver fatalidades entre a população, não há consequências, portanto o risco não é significativo e não precisa ser estimado. Se não há risco a ser estimado, não há necessidade de estimativa de frequências.

8 AVALIAÇÃO DOS RISCOS

Os resultados da Análise de Vulnerabilidade mostraram que não são esperadas fatalidades entre as pessoas da população externa às instalações da Usina, portanto não é necessário fazer cálculos dos riscos do Complexo Termelétrico de Candiota.

9 COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise dos riscos associados à operação da Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), no município de Candiota, Estado do Rio Grande do Sul.

O trabalho consistiu numa revisão e ampliação dos estudos anteriores das Fases A e B, realizado pela Herco, e da Fase C feito pela DNV, onde essencialmente, foram revisados os cenários de acidente com alguma reformulações e adições de novos cenários de acidente. Em nenhum dos eventos representativos analisados, os resultados obtidos pelas simulações realizadas com o programa Phast, para efeitos físicos com capacidade de causar fatalidades, provocariam danos fora do perímetro das instalações da Usina.

A metodologia utilizada para a realização deste estudo é a mesma hoje usada nacional e internacionalmente. O programa empregado para as estimativas de efeitos físicos *PHAST – Process Hazard Analysis Software Tool*, versão 6.6 (versão mais atual disponível), é o principal programa para este tipo de avaliação hoje em uso no mundo. Na Holanda, o país onde é mais avançado o uso de análise de riscos, o único programa oficialmente aceito para uso é o Phast-NL (versão adaptada do programa para a Holanda).

A análise histórica realizada anteriormente foi atualizada, mas as conclusões da mesma permaneceram iguais ao que havia sido observado em 2006. A identificação dos cenários de acidente representativos foi feita com as Análises Preliminares de Perigos (APP) das Fases A e B, em 2005, pela Herco, e da Fase C, em 2006, pela DNV, suas revisões/atualizações, em 2011, e a seleção dos eventos para quantificação de efeitos físicos foi realizada com base na categoria de severidade das consequências. Não foram identificados eventos na categoria catastrófica (IV). Todos os eventos classificados na categoria de severidade crítica (III) foram avaliados, mas dado os resultados obtidos como programa Phast para os alcances de nuvem inflamável, radiação térmica e sobrepressão na onda de choque em caso de explosão mostraram que todos os alcances para níveis com potencial de letalidade ficariam internos às instalações, portanto, a classificação de severidade crítica poderia ser revisada para baixo.

Deve-se ter em conta que, num estudo onde o objetivo é avaliar o risco para a população externa, a classificação em categorias de severidade é feita com base nas possíveis consequências extra muros. Assim, um evento que destruísse as instalações, mas não causasse fatalidades na população, algo claramente “catastrófico”, não teria esta classificação por não causar danos fora da Usina.

As principais observações com relação aos cenários analisados são:

- Cenários de acidentes envolvendo liberação acidental de produto inflamável levariam à formação de nuvem com alcances pequenos, de modo que os possíveis danos ficariam restritos às imediações do ponto de liberação.
- Analogamente, seriam reduzidas as distâncias até onde se poderia ter danos por fluxo térmico associado a incêndio em poça, ou seja, também, para este tipo de efeito físico, os potenciais danos ficariam restritos às imediações do sinistro.

- Os alcances para alguns dos eventos que resultariam em explosão são mais expressivos, apesar de não terem capacidade de causar danos extra-muros poderiam provocar danos de monta às instalações. O evento com o maior alcance, com 209 m para o nível de 0,1 bar (sobrepessão com potencial para causar 1 % de fatalidade, de acordo com a CETESB), foi o Cenário 15ABC: “Explosão de mistura de vapor inflamável e ar no interior do tanque de armazenagem de óleo combustível 1A (5000 m³) por queda de raio ou falha humana (trabalho a quente).”.
- Os Cenários 18C (Explosão de mistura de vapor de óleo combustível e ar, no interior da fornalha da caldeira da Fase C), 22C (BLEVE da caldeira da Fase C) e 31B (Ignição de mistura de vapor de óleo diesel e ar, na câmara de combustão da caldeira da Fase B por falha no sistema de instrumentação da caldeira (monitoramento e reação) levando à explosão de mistura de vapor de diesel com ar, na fornalha da Fase B) também pode causar danos severos às instalações da UTE, pois seus alcances para 0,1 bar foram superiores a 160 m.

De acordo com testes realizados com uma amostra de pó de carvão de Candiota pela Explosion Testing Ltd., na Inglaterra, o carvão de Candiota usado no Complexo Termelétrico de Candiota é do tipo “B”, não explosivo (ver cópia do laudo no Anexo F). Portanto, não houve necessidade de considerar a explosão de nuvem de pó de carvão.

Em virtude dos efeitos analisados não atingirem população externa não há como gerar resultados para Risco Social, nem para Risco Individual, pois se não há potencial para causar fatalidades, não há risco mensurável.

Portanto, de acordo com os critérios de tolerabilidade de riscos adotados como referência para este presente estudo (CETESB), os resultados obtidos neste trabalho estão compatíveis com a ocupação local, não comprometendo as instalações já existentes.

Durante a realização da APP do Complexo Termelétrico de Candiota, foram identificados alguns pontos para os quais foram recomendadas medidas de redução de riscos (preventivas ou mitigadoras). A quase totalidade das mesmas já foi implantada, contribuindo assim para aumentar ainda mais a segurança da Usina.

Os resultados obtidos com o uso do programa Phast para o alcance até onde se poderia esperar danos com origem em eventos acidentais numa usina termelétrica a carvão estão dentro do esperado. O combustível utilizado é sólido e o combustível complementar, o óleo combustível, tem pressão de vapor muito baixa, ou seja, em ambos os combustíveis, não se tem como gerar por ação do vento nuvens de material inflamável com alcances maiores do que alguns metros. Os eventos onde seria possível explosão confinada ou ruptura de vaso com líquido acima do ponto de ebulição (caldeira) com geração de onda de choque também resultaram em alcances para níveis de danos letais que ficam internos às instalações.

A localização das instalações é rural, ou seja, não há ocupação com residências próximas da Usina. Portanto, mesmo que houvesse eventos capazes de causar danos extra muros, não haveria população para sofrer os danos. Existe uma preocupação em manter e até melhorar esta situação por meio de acordo com a Prefeitura de Candiota para garantir que a região próxima das instalações seja

de uso exclusivo industrial, ou seja, que não sejam autorizadas residências nas imediações do Complexo Termelétrico de Candiota.

Com base no que foi apresentado em termos de resultados e análise pode-se concluir que os riscos associados à operação da Usina Termelétrica Presidente Médici (Fases A e B) e da Usina Termelétrica Candiota III (Fase C), em Candiota, RS, são perfeitamente toleráveis e atendem tanto a critérios de aceitabilidade nacionais (CETESB, FEPAM etc.) como internacionais (Holanda, Reino Unido etc.).

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIChE. "*Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*", Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, USA, 1989.
2. AIChE. "*Guidelines for Evaluation the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVES*", Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, USA, 1994.
3. CETESB, "*Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos*", São Paulo, Maio 2003.
4. Health and Safety Executive. "*Canvey: an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area, HMSO*", June 1978.
5. TNO-CPR-14E. "*Methods for the Calculation of the Physical Effects of the Escape of Dangerous Materials: Liquids and Gases*", (The Yellow Book), Directorate General of Labour, Holanda, 3ª Edição, 2005.
6. TNO-CPR-16E. "*Methods for the Determination of Possible Damage: to people and objects from releases for hazardous materials*", (The Green Book), Directorate General of Labour, Holanda, 1ª Edição, 1992.
7. "AIChE, American Institute of Chemical Engineers - *Guidelines for Process Equipment Reliability Data with Data Tables*, 1989, p.179"
8. M.W. Roberts and W.K. Crowley. "Evaluation of flammability hazards in non-nuclear safety analysis", 14-th EFCOG Safety Analysis Workshop, San Francisco, CA, 2004
9. DNV Technica, "*PHASt – Process Hazard Analysis Software Tools*", versão 6.6, 2010.
10. PRINCIPIA, "*Master Guide, Software para Construção de Planilhas de APP*", versão 3.14, 2005.
11. Lees, Frank P., "*Loss Prevention in the Process Industries – Vol.1*", London: Butterworth, 1996, 2ª Edição, p.343".
12. "Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, *A Pilot Study - A Report to the Rijnmond Public Authority* - D. Reidel Publishing Company, 1982, p.384".

11 EQUIPE TÉCNICA

1. Eng^o César Antônio Leal - – CREA/RS n°: 37953
IBAMA n°: 1959678
2. Eng^o José Luis Lopes Alves – CREA/RS n°: 36016
IBAMA n°: 786219



CREA-RJ

Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Rio de Janeiro

ART ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Nº AL 30589

2ª Via - Contratado

NATUREZA

Obra/Serviço

Desempenho Cargo/Função

Receituário Agrônômico

Registro de Direito Autoral

Múltipla

CATEGORIA

Ofício/Notificação

Auto de Infração

Exigência de:

Nº _____

TIPO

Vinculada

Substituta

Co-Responsabilidade

N da ART principal _____

01. Nº do Registro do Profissional 25893	02. Nome do Profissional FLAVIO DUIZ BARROS DUIZ
03. Título do Profissional ENGENHEIRO QUÍMICO	04. Há Prof. Co-Responsável? <input type="radio"/> sim <input checked="" type="radio"/> não
07. Nº do Registro da Empresa 1974200027	08. Nome da Empresa DET VORSKE VERITAS LTDA.
09. Nome do Contratante COMPANHIA DE GERAÇÃO TÉRMICA DE ENERGIA ELÉTRICA	
10. Endereço (Logradouro, Rua, Av., etc...) RUA SETE DE SETEMBRO	
11. Bairro CENTRO	12. Município PORTO ALEGRE
13. Estado RS	14. CEP 90010-190

15. Nº do Contrato CGTEE/OTC/09/2009/07	16. Ramo (Tab. 2) 07	17. Ativid. Técnicas Res. 218 (Tab. 3) 012405	18. Especif. da Atividade (Tab. 4) 73175	19. Complemento (Tab. 5)
20. Quantificação	21. Nº Pavt.	22. Data início 17.02.06	23. Prazo do contrato <input type="radio"/> Ind. <input type="radio"/> Det. _____ mês(es) _____ dia(s)	24. N.H.H./J.T. 117.274,80
25. Valor cont./Honorários				
26. Salário				
27. Descrição/Informações Complementares <i>Serviços de elaboração de Estudos Quantitativos de Análise de Riscos (EAR) de Usina Termoeletrica de Parua, a ser desenvolvidos para a fase "C" da Usina Termoeletrica Presidente Médici, no município de Candiota/RS e áreas de influência do empreendimento.</i>				
28. Endereço da Obra/Serviço (Logradouro, Rua, Av., etc...) RUA SETE DE SETEMBRO				
29. Bairro CENTRO				
30. Município RIO DE JANEIRO RJ 20050002				

33. Data	34. Profissional Contratado <i>Flavio Duiz Barros Duiz</i>	35. Contratante <i>Det Vorske Veritas</i>
----------	---	--

ESTA ART SÓ É VÁLIDA COM A APRESENTAÇÃO DA GUIA DE RECOLHIMENTO QUITADA

REMETER ESTA VIA AO CREA-RJ

SB SOLICITAÇÃO DE BAIXA

ART Nº AL 30589

MOTIVO

Término da Obra/Serviço

Rescisão do Contrato

Outro _____

Data _____

Data _____

Nome do Requerente _____

Assinatura _____

Rua Buenos Aires nº 40 - 2º andar - Centro - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20.070-022

Tel: (21) 2206-9662 - TELECREA: (21) 2518-0550 - Fax: (21) 2518-0723 - www.crea-rj.org.br - crea-rj@crea-rj.org.br

Junho de 2011

114

ANEXO A

DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES E LAYOUT UTE CANDIOTA II (FASES A E B)

ANEXO B

DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DA UTE CANDIOTA III (FASE C)

ANEXO C

FICHAS DE INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA SOBRE PRODUTOS QUÍMICOS (FISPQ)

ANEXO D

PLANILHAS DA ANÁLISE PRELIMINAR DE PERIGOS

ANEXO E

LISTAGEM DAS SIMULAÇÕES

ANEXO F

LAUDO DE EXPLOSIVIDADE DO CARVÃO PELA EXPLOSION TESTING LTD