PRIO SUPPLY S.A.

"EXPANSÃO DO PARQUE DE GPL"

- PROJETO DE EXECUÇÃO -

ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL

VOLUME V – ANÁLISE DE RISCO

FEVEREIRO DE 2016

TRIFÓLIO
Estudos e Projectos Ambientais e Paisagísticos, Lda

matriz de risco

NOTA INTRODUTÓRIA

A TRIFÓLIO – Estudos e Projetos Ambientais e Paisagísticos, Lda., elaborou o presente Estudo de Impacte Ambiental da "Expansão do Parque de GPL", em fase de Projeto de Execução.

O Estudo de Impacte Ambiental compreende os seguintes volumes:

VOLUME I – RESUMO NÃO TÉCNICO

VOLUME II – RELATÓRIO SÍNTESE

VOLUME III – PEÇAS DESENHADAS

VOLUME IV – ANEXOS TÉCNICOS

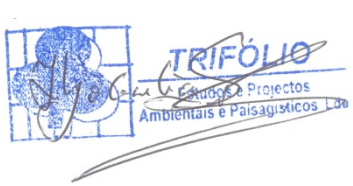
VOLUME V – ANÁLISE DE RISCO

A TRIFÓLIO agradece a todos os que colaboraram no fornecimento de informações e elementos de cartografia para a elaboração do presente estudo.

Lisboa, Fevereiro de 2016

TRIFOLIO - Estudos e Projetos Ambientais e Paisagísticos Lda

Assinado de forma digital por TRIFOLIO - Estudos e Projetos Ambientais e Paisagísticos Lda
Dados: 2016.02.21 13:30:35 +01'00'



Hugo Garcia dos Santos,

Eng.º do Ambiente

Este documento foi redigido de acordo com as regras do Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa (aprovado pela Resolução da Assembleia da República n.º 26/91, de 23 de agosto)

ÍNDICE GERAL

1 INTRODUÇÃO 1

2 2.E.11.2. CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA ENVOLVENTE 5

2.1 2.E.11.2.1. ELEMENTOS DE USO SENSÍVEL 5

2.2 2.E.11.2.2. ELEMENTOS CONSTRUÍDOS 8

2.3 2.E.11.2.3. PMOT DA ENVOLVENTE RELEVANTES 9

2.4 2.E.11.2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS USOS DO SOLO 10

2.5 2.E.11.2.5. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUÍDOS E DOS RECETORES AMBIENTAIS 11

2.6 2.E.11.2.6. ANÁLISE DE RISCO DE ACIDENTES GRAVES 12

3 2.F.11.3. CENÁRIOS DE ACIDENTE 13

3.1 2.F.11.3.1. IDENTIFICAÇÃO, SELEÇÃO E ANÁLISE DOS POSSÍVEIS CENÁRIOS DE ACIDENTE 13

3.1.1 2.F.11.3.1.1. Análise Preliminar de Perigos 13

3.1.2 2.F.11.3.1.2. Identificação dos potenciais cenários de libertação de substâncias perigosas 34

3.1.3 2.F.11.3.1.3. Estimativa da frequência de ocorrência dos cenários de acidente considerados 35

3.1.4 2.F.11.3.1.4. Seleção de cenários 41

3.1.5 2.F.11.3.1.5. Cenários com atuação de medidas de prevenção/mitigação 42

3.2 2.F.11.3.2. MODELAÇÃO DOS CENÁRIOS SELECIONADOS 45

4 2.F.11.4. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SELECIONADOS 48

5 2.F.11.5. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ALCANCES 50

6 2.F.11.6. ZONAS DE PERIGOSIDADE 51

7 2.F.11.7. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ALCANCES AOS ELEMENTOS CONSTRUÍDOS 52

8 2.F.11.8. CONSEQUÊNCIAS PARA OS ORGANISMOS AQUÁTICOS 53

9 2.F.11.9. CONCLUSÃO SOBRE O IMPACTE DO PROJETO 54

ANEXOS

ANEXO A – PLANTAS

ANEXO B – CARTAS DA ENVOLVENTE 1:10 000 E 1:25 000

ANEXO C – RESULTADOS DA ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES

ANEXO D – CENÁRIOS DE ACIDENTE

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Equipa técnica 2
Tabela 2 - Substâncias perigosas existentes no estabelecimento 2
Tabela 3 - Quantidade de GPL na instalação da PRIO – Supply S.A. 4
Tabela 4 - Consequências dos acidentes 28
Tabela 5 - Origem dos acidentes 29
Tabela 6 - Consequências dos acidentes 30
Tabela 7 - Origem dos acidentes 31
Tabela 8 - Frequência de ocorrência dos cenários 36
Tabela 9 - Probabilidade de ocorrência dos cenários selecionados 38
Tabela 10 - Probabilidade de ocorrência dos subcenários 39
Tabela 11 - Probabilidade dos subcenários com inclusão dos sistemas automáticos 40
Tabela 12 - Cenários selecionados 41
Tabela 13 - Medidas de prevenção/mitigação e a sua eficácia 43
Tabela 14 - Valores-limite para a determinação das distâncias de segurança 47
Tabela 15 - Resumo dos alcances dos cenários considerados 48
Tabela 16 - Danos para 60 minutos - alcances máximos 51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas sísmicas e carta de isossistas de Portugal Continental 24
Figura 2 - Distribuição por consequência 28
Figura 3 - Distribuição das causas dos acidentes 29
Figura 4 - Distribuição por consequência 31
Figura 5 - Distribuição das causas dos acidentes 32
Figura 6 - Representação das zonas de perigosidade 50
Figura 7 - Representação dos maiores alcances 52
Figura 8 - Alcances globais dos 7 kW/m2 de todo o estabelecimento 54

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo de Análise de Risco no âmbito de Estudo de Impacte Ambiental (EIA) refere-se ao procedimento de licenciamento das alterações previstas a realizar ao estabelecimento ao abrigo do decreto-lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro que contempla o Regime Jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental (RJAIA).

O presente estudo refere-se às seguintes alterações:

- Ampliação do Parque de Taras (Oeste);
- Novo Parque de Taras (Este) e Novo Parque de Armazenamento de GPL a granel (reservatórios).

Todos os espaços estão projetados em recinto descoberto e nos lotes de terreno adjacentes à atual instalação de GPL e ao futuro parque de armazenamento de gasolinas (já licenciado) do estabelecimento da **PRIO - Supply, S.A.**

As alterações previstas realizar ao estabelecimento foram consideradas pelas entidades oficiais como enquadradas num dos critérios do RJAIA, pelo que deverá ser este o instrumento a utilizar no processo de avaliação do impacte das alterações em projeto.

Neste sentido foi considerado que o projeto de alterações em projeto se enquadra no RJAIA por aplicação da subalínea ii), da alínea b) do n.º 4 do artigo 1.º do decreto-lei n.º 151-B/2013, de 31 de outubro, considerando que se trata de uma tipologia enquadrável na alínea d) do n.º 3 do Anexo II, que se refere a projetos de armazenagem subterrânea e superficial de gases combustíveis no âmbito da indústria da energia por se tratar de uma ampliação de um projeto já existente e não ter sido anteriormente sujeito a AIA. A aplicação dos critérios, superiormente estabelecidos, remetem para a obrigatoriedade de AIA no caso de projetos que incluam a armazenagem superficial de gases combustíveis em quantidades iguais ou superiores a 300 toneladas em estabelecimentos da indústria da energia.

Importa ainda referir que, a "Expansão do Parque de GPL" está abrangida pelo regime de prevenção de acidentes graves, pelo que o EIA inclui a presente Análise de Risco, uma vez que o atual projeto configura uma "*alteração substancial*", na aceção do artigo 2.º do Decreto-Lei n.º 254/2007 de 12 de Julho, bem como nos termos do artigo 25.º do Decreto-Lei n.º 150/2015 de 5 de Agosto que ("*estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvem substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para a saúde humana e para o ambiente*" e revogou o Decreto-Lei n.º 254/2007), uma vez que

existe um aumento significativo da quantidade de substâncias perigosas presentes no estabelecimento.

Foram ainda seguidos os pressupostos técnicos do Guia AIA EA.G.02.01.00 de Janeiro de 2013 da Agência Portuguesa de Ambiente para a concretização da presente Análise de Risco.

A equipa técnica responsável pelo presente documento é apresentada na tabela seguinte:

Tabela 1 – Equipa técnica

NOME	CATEGORIA PROFISSIONAL	FUNÇÃO
Hugo Garcia dos Santos	Eng.º do Ambiente	Coordenador do Estudo de Impacte Ambiental
Mário Macedo e João Soares [Matriz de Risco]	Eng.º de Segurança	Coordenação da Análise de Risco

A tabela seguinte resume a informação relevante acerca das substâncias perigosas presentes atualmente no estabelecimento da PRIO – Supply S.A..

Tabela 2 - Substâncias perigosas existentes no estabelecimento

IDENTIFICAÇÃO	ESTADO FÍSICO	TIPO DE ARMAZENAGEM	PERIGOSIDADE	DESIGNADA/ CATEGORIA	QUANTIDADE (TON.)
Gasóleo	Líquido	Reservatório Atmosférico	H226; H411	Sim/P5c; E2	55 347,50
Gasolina	Líquido	Reservatório Atmosférico	H224; H411	Sim/P5a; E2	23 281,00
GPL	Líquido	Reservatórios e Garrafas G22	H220	Sim/P2	241,00
Bioetanol	Líquido	Reservatório Atmosférico	H225	Não/P5c	198,00
CTR-EP1-2822	Líquido	Reservatório Atmosférico	H411	Não/E2	2,00
CTR-EP3-2813	Líquido	Reservatório Atmosférico	H411	Não/E2	1,00

Identificação	Estado físico	Tipo de armazenagem	Perigosidade	Designada/ Categoria	Quantidade (Ton.)
GOM-PO25Y	Líquido	Reservatório Atmosférico	H411	Não/E2	1,00
HITEC6470 Gasoline Fuel Additive	Líquido	Reservatório	H226; H411	Não/P5c; E2	1,00
HITEC4557 Diesel Fuel Additive	Líquido	Reservatório	H226; H411	Não/P5c; E2	1,00
HITEC4661 Fuel Additive	Líquido	Reservatório	H411	Não/E2	1,00
VIOLET CARBUREX BRP liquide	Líquido	Reservatório atmosférico	H411	Não/E2	1,00

Considerando que os novos parques de garrafas podem, no limite estar, completamente preenchidos com contentores de garrafas de G110 cheias (45 kg de propano cada, pois a PRIO não comercializa garrafas do tipo G110 com butano), tal corresponderia à situação em que estariam presentes as maiores quantidades de GPL. Caso o parque seja utilizado também para garrafas do tipo G22 as quantidades de GPL presentes serão significativamente inferiores.

Neste sentido com o presente projeto de alteração, o parque de armazenagem e enchimento de garrafas de GPL ficará no futuro com as seguintes quantidades máximas de GPL.

Tabela 3 - Quantidade de GPL na instalação da PRIO – Supply S.A.

IDENTIFICAÇÃO	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	CONDIÇÕES	PERIGOSIDADE	DESIGNADA/ CATEGORIA	QUANTIDADE (TON.)
GPL	Reservatórios	4 x 49 500 l	Pressão de vapor	H220	Sim/P2	114,840
GPL	Garrafas G22	10 010 x 21,6 l	Pressão de vapor	H220	Sim/P2	125,405
GPL	Garrafas G110	9064 x 110 l	Pressão de vapor	H220	Sim/P2	407,880
GPL	Garrafas G110	45 408 x110 l	Pressão de vapor	H220	Sim/P2	2 043,360
GPL	Reservatórios	9 x 570 000 l	Pressão de vapor	H220	Sim/P2	2 975,400*
					TOTAL	**5 666,885**

NOTAS: para o cálculo das quantidades considerou-se que as garrafas de G22 contém 10 kg de butano e os reservatórios estão cheios com butano (densidade=0,58). Relativamente às garrafas de G110 considerou-se que contém 45 kg de propano (densidade=0,51)

O estabelecimento encontra-se atualmente licenciado, para as quantidades de substâncias perigosas listadas na Tabela 1, sendo composto pelas instalações do parque de tanques, parque de armazenamento e enchimento de garrafas de GPL e futura instalação de armazenagem de gasolinas estando enquadrado no Decreto-Lei n.º 254/2007, de 12 de julho, regime aplicável por as autorizações terem sido submetidas antes da publicação e entrada em vigor do decreto-lei n.º 150/2015, de 5 de agosto, que revoga o decreto-lei n.º 254/2007.

2 2.E.11.2. CARACTERIZAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA ENVOLVENTE

2.1 2.E.11.2.1. ELEMENTOS DE USO SENSÍVEL

O parque de tanques da **PRIO – Supply S.A.** está localizado na área de jurisdição do Porto de Aveiro, num local denominado Ilha da Mó do Meio. No porto de Aveiro, o estabelecimento localiza-se na Zona Logística e Industrial (ZALI), encontrando-se esta zona inserida na área do Plano de Ordenamento e Expansão do Porto de Aveiro. Na envolvente aos locais de implantação do parque de armazenagem de GPL existem diversas infraestruturas associadas à zona portuária, tais como edifícios de escritórios, torre de vigia/comando, armazéns, embarcações, cais e algumas unidades industriais vizinhas. A sul encontram-se implantadas unidades industriais e o aglomerado populacional da Gafanha da Nazaré.

No anexo B inclui-se uma carta, à escala 1:10 000 com indicação da localização do estabelecimento e a representação dos elementos de uso sensível da envolvente num raio de 2 km, centrado na área de implementação do presente estudo. Como se pode verificar, praticamente toda a área incluída dentro deste raio encontra-se desocupada ou ocupada com explorações de salinas e atividades similares ou contém infraestruturas e equipamentos do Porto de Aveiro e instalações de estabelecimentos industriais. A Gafanha da Nazaré é considerada um aglomerado populacional de baixa densidade habitacional, identificando-se os seguintes elementos de uso sensível mais importantes:

- Escola Básica de Chave;
- Escola Básica de Cambeia;
- Escola Básica do 2º e 3º ciclo da Gafanha da Nazaré;
- Pavilhão Desportivo da Gafanha da Nazaré.

Na área de influência da armazenagem da PRIO e na sua envolvente, não existem, num raio de 900 metros, recetores/alvos sensíveis, nomeadamente aglomerados populacionais ou habitações isoladas, áreas de recreio ou lazer, escolas ou hospitais. As primeiras habitações surgem a partir dos 950 a 1000 metros de distância da área de implantação do parque de armazenagem.

Outros elementos relevantes são:

- **Vias rodoviárias**

Perto da instalação não existem vias rodoviárias de grande tráfego de veículos. As existentes são utilizadas para acesso aos diferentes estabelecimentos industriais e instalações portuárias. Os riscos que podem decorrer destas vias sobre as instalações são as possíveis fontes de ignição que podem representar os veículos que por elas circulam.

Tendo em conta a distância a que as vias rodoviárias se encontram dos locais mais sensíveis da instalação, considera-se igualmente pouco provável que uma eventual fuga de produtos no interior da instalação forme uma nuvem inflamável que venha a adquirir energia de ativação num veículo que circule nestas vias.

Os reservatórios e as garrafas de GPL encontram-se suficientemente afastados das vedações que circunscrevem as instalações, pelo que o risco de colisão de um veículo vindo do exterior é muito reduzido.

- **Vias fluviais**

Os navios que têm que carregar e descarregar utilizam o canal de São Jacinto e o canal da Vila como acesso. Para além disso, outros navios também circulam na zona transportando diferentes mercadorias. A presença dos ditos navios faz com que haja risco de colisão contra o cais de carga/descarga com a possibilidade de fugas de produtos.

Dada a distância a que se encontra o porto e o cais, não se prevê que possam constituir uma fonte de perigo para as instalações.

- **Base aérea de S. Jacinto**

A poente do parque de combustíveis localiza-se a Base Aérea de S. Jacinto, encontrando-se o ponto mais próximo desta infraestrutura militar a 3 km das instalações da PRIO Supply.

Refira-se, no entanto, que a orientação da pista (norte/sul) faz com que os corredores de aterragem e descolagem se desenvolvam em áreas afastadas do parque de combustíveis. Adicionalmente, salienta-se o facto do espaço aéreo sobre a área onde se encontram as instalações do Parque de Tanques de Aveiro ser de sobrevoo interdito. Atendendo a estas circunstâncias considera-se que o risco de um acidente com uma aeronave poder afetar as instalações do Parque de Tanques de Aveiro de modo a originar um acidente grave é reduzido.

Tratando-se de uma área de uso essencialmente industrial, não existem muitos elementos de uso sensível e consequentemente com grandes taxas de ocupação neste local.

Relativamente a instalações industriais na proximidade abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 150/2015, de 5 de agosto, relativo à prevenção e controlo de acidentes graves existem 3

estabelecimentos de nível inferior de perigosidade (NIP) e 4 estabelecimentos de nível superior de perigosidade (NSP):

- APD Química, S.A. - NIP
- BRESFOR - Indústria do Formol, S.A. (Centro de Produção) - NSP
- BRESFOR - Indústria do Formol, S.A. (Terminal Químico) - NIP
- CIRES - Companhia Industrial de Resinas Sintéticas, S.A. - NSP
- PPS - Produtos Petrolíferos, SA - NSP
- PRIO Biocombustíveis - NIP
- SGPAMAG - Sociedade de Granéis Parque de Aveiro Movimentação e Armazenagem de Granéis SA - NSP

2.2 2.E.11.2.2. ELEMENTOS CONSTRUÍDOS

Como anteriormente referido, na envolvente do estabelecimento existem diversas infraestruturas associadas ao porto, tais como edifícios de escritórios, torre de vigia/comando, armazéns, embarcações, cais e algumas unidades industriais vizinhas. A sul encontram-se implantadas unidades industriais e o aglomerado populacional da Gafanha da Nazaré.

O estabelecimento da PRIO confronta:

- A norte/noroeste, num raio de 2,0 km, localizam-se as instalações portuárias da:
    - CUF (ex-Petrogal) - armazenagem de hidrocarbonetos;
    - Bresfor - armazenagem de metanol;
    - Cruz e Irmão;
    - Dow Chemicals Portugal - armazenagem de difenilmetano diisocianato e anilina;
    - APD Química - armazenagem de etanol e peróxido de hidrogénio;
    - CIRES - armazenagem de cloreto de vinilo em esferas;
    - CUF – Químicos Industriais;
    - PPS, Produtos Petrolíferos, S.A. - armazenagem de GPL.
- A nascente, no lote contíguo ao do terminal, situa-se a fábrica de Biodiesel da PRIO-Biocombustíveis;
- A sul, a cerca de 0,50 km situa-se a fábrica da Bresfor;
- A sudoeste situa-se a zona de areal da Administração do Porto de Aveiro.

Todo o estabelecimento insere-se na Zona Logística e Industrial (ZALI), que fica a norte da freguesia, encontrando-se esta zona inserida na área do plano de ordenamento e expansão do Porto de Aveiro. Não existe qualquer núcleo populacional nesta área, os núcleos populacionais da freguesia da Gafanha da Nazaré desenvolvem-se todos a sul da ZALI.

Segundo os Censos 2011, a freguesia da Gafanha da Nazaré do concelho de Ílhavo, onde se insere o estabelecimento, tem 8828 alojamentos familiares, sendo a população residente de 14 756 pessoas.

2.3 2.E.11.2.3. PMOT DA ENVOLVENTE RELEVANTES

Para a identificação dos instrumentos de ordenamento do território aplicáveis à área em estudo, foi consultado o Sistema Nacional de Informação Territorial da Direção-Geral do Território e do Urbanismo que se apresentam de seguida.

- Programa Nacional da Politica de Ordenamento do Território
- Planos Sectoriais:
    - Rede Natura 2000;
    - Plano De Gestão Das Bacias Hidrográficas Que Integram A Região Hidrográfica 4 (RH4) - PGBH Do Vouga, Mondego E Lis e das Ribeiras Do Oeste;
    - PNA Plano Nacional Da Água;
    - Plano Regional De Ordenamento Florestal Do Centro Litoral;
    - POOC Ovar-Marinha Grande;
    - PIOT Ria De Aveiro;
    - Plano Rodoviário Nacional.
- Plano Diretor Municipal do concelho de Ílhavo.

No anexo B inclui-se a planta n.º 10 100 da Administração de Porto de Aveiro, atualizada a Julho 2015, com representação da ocupação atual e prevista das áreas na envolvente das instalações do parque de tanques da PRIO.

2.4 2.E.11.2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS USOS DO SOLO

Na área em estudo para a implantação do projeto e na sua envolvente direta, identificamos as seguintes áreas associadas aos usos do solo, encontrando-se no EIA a sua representação gráfica na **Desenho n.º 06**, presente no Volume III – Peças Desenhadas:

- Áreas Industriais – Estas áreas surgem com elevada representatividade na área de estudo, nomeadamente na envolvente direta da "Expansão do Parque de GPL", e prendem-se com unidades industrias relevantes para a dinâmica do Porto de Aveiro, como são a PRIO – BIO, CIRES, a DOW, a CRUZ – IRMÃO, a CUF, a APD Química, a QUIMIGAL, a PPS e por último a BRESFOR. Observam-se áreas de armazenagem de combustíveis e produtos químicos, áreas de transformação de formol entre outras atividades associadas.
- Áreas Sem Uso (Expansão do Porto de Aveiro) – São áreas que se encontram no interior da Área de Jurisdição do Porto de Aveiro e servirão no futuro para a instalação de complexos industriais.

No domínio das áreas naturais, a área ambiental vulnerável mais próxima é o Sítio da Ria de Aveiro, nos termos da Resolução do Conselho de Ministros n.º 45/2014, de 8 de Julho - Sítio PTCON0061 Ria de Aveiro.

Em termos de ordenamento do território, no **Desenho n.º 09**, presente no Volume III – Peças Desenhadas podemos verificar a compatibilidade do projeto com as áreas de equipamento e infraestruturas integradas na área portuária, em conformidade com o PDM de Ílhavo.

2.5 2.E.11.2.5. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS CONSTRUÍDOS E DOS RECETORES AMBIENTAIS

No anexo B está disponível a carta da envolvente, à escala de 1:10 000, com identificação dos elementos construídos e dos recetores ambientais da envolvente do estabelecimento que foram identificados e caraterizados, permitindo-se ainda reconhecer o estabelecimento e os seus limites.

2.6 2.E.11.2.6. ANÁLISE DE RISCO DE ACIDENTES GRAVES

De acordo com os resultados obtidos nas modelações dos cenários de acidente envolvendo o GPL armazenado, e face às instalações existentes na envolvente, considera-se que não existe agravamento do risco do estabelecimento pela implementação do projeto relativo ao aumento da capacidade do parque de garrafas e da armazenagem de GPL a granel.

Atualmente os quatro reservatórios de 49,5 m^3 da instalação são reabastecidos através de cisternas rodoviárias. Com a implementação do projeto toda esta parte do processo será praticamente automatizada, com pouca intervenção do homem em manobras de ligar e desligar mangueiras, sendo o processo de reabastecimento da armazenagem a granel, substituído pela receção através do gasoduto. Com esta alteração reduz-se o número de manobras de carga e descarga e desta forma a probabilidade de ocorrência de acidentes nas operações com viaturas cisternas.

De acordo com os dados históricos disponíveis, pode considerar-se que, de um modo geral, os parques de armazenamento de garrafas são instalações seguras não havendo registos de um número significativo de acidentes nestas instalações cuja origem seja a própria instalação. A maior parte dos acidentes em parques de garrafas de GPL, cujos efeitos tenham sido relevantes, resultaram de eventos que se iniciaram no exterior das instalações, mas em que as mesmas vieram a ser posteriormente envolvidas.

Durante os cerca de quatro anos de laboração da instalação de armazenamento e enchimento de garrafas do estabelecimento da **PRIO – Supply S.A.**, não existem registos de acidentes com GPL.

3 2.F.11.3. CENÁRIOS DE ACIDENTE

3.1 2.F.11.3.1. IDENTIFICAÇÃO, SELEÇÃO E ANÁLISE DOS POSSÍVEIS CENÁRIOS DE ACIDENTE

Atendendo a que o presente estudo incide apenas sobre o projeto dos novos parques de armazenagem de garrafas e de armazenamento de GPL a granel, e que, em tudo o resto, se mantêm inalterado, e de acordo com as informações do Relatório de Segurança aprovado, o conteúdo desta secção incidirá apenas sobre as alterações previstas no projeto.

Esta seção tem como objetivo evidenciar quais as fontes de risco que podem requerer ou justificar a aplicação de medidas mitigadoras que possam reduzir o risco. Regra geral, estas áreas e sectores são caracterizados pelas quantidades de GPL que estão presentes e pelos processos envolvidos, bem como pelo histórico de acidentes ocorridos quer na instalação existente, quer em instalações similares.

3.1.1 2.F.11.3.1.1. Análise Preliminar de Perigos

Como anteriormente referido, nesta fase é realizada a identificação sumária das zonas e de alguns dos equipamentos que possam ser considerados críticos do ponto de vista da segurança, considerando as fontes de perigo internas, relacionadas com a presença de substâncias perigosas, e naturais, decorrentes ou com implicações para a presente análise preliminar. Será igualmente apresentada a análise histórica de acidentes ocorridos em instalações similares envolvendo o GPL, propano e butano.

- **Fontes de perigo internas**

Com esta etapa pretende-se identificar as principais fontes de perigo internas relacionadas com a presença de substâncias perigosas, neste caso o GPL (propano e butano) ou com as atividades do processo e consideradas de risco. Os riscos associados às fontes de perigo internas são no essencial devidos a perdas de contenção do produto armazenado e movimentado na instalação de GPL da **PRIO – Supply S.A.**. O nível de risco depende basicamente da substância e da quantidade libertada que está limitada à capacidade quer das garrafas, existentes nas zonas de armazenamento de garrafas de GPL, quer dos nove reservatórios de 570 m^3 do novo parque de armazenamento a granel.

As fontes de risco internas têm geralmente a sua origem em falhas técnicas ou falhas humanas.

A análise das fontes de risco internas considerou as seguintes zonas e atividades:

- Armazenagem de garrafas de GPL em contentores;
  - Ampliação do parque de armazenagem de taras
  - Novo parque para garrafas
- Atividades de movimentação de garrafas de GPL em contentores (movimentação interna na instalação e carga de veículos para expedição);
- Reabastecimento, armazenagem e trasfega no novo parque de armazenamento de GPL a granel;
  - Reservatórios
  - Equipamentos de impulsão
  - Linhas de transporte
- Operações de Manutenção.

➢ **Armazenagem de Garrafas**

A armazenagem de garrafas nos parques é feita em contentores metálicos. Os contentores de G110 tem uma capacidade de 11 garrafas cada, os contentores de G22 tem uma capacidade de 35 garrafas cada.

O numero máximo de garrafas presentes é o seguinte:

- Na atual instalação de GPL – 10 010 garrafas de G22;
- Na ampliação do parque de taras – 9064 de G110;
- No novo parque para garrafas – 45 408 de G110.

Cada uma das garrafas apresenta o perigo potencial da ocorrência de fuga de GPL a qual pode ocorrer por:

- Falha intrínseca da válvula de cabeça da garrafa

  Falha devida a falha mecânica da válvula que pode originar uma fuga do conteúdo da garrafa onde esta se encontre. As garrafas e respetivos acessórios são inspecionados em todas as operações de enchimento e é efetuada uma prova de estanqueidade às válvulas após o enchimento das garrafas. As garrafas que apresentem fugas (controlo efetuado pelo operador recorrendo a sabonária nas

garrafas G110 e máquina de deteção de fugas nas garrafas G22) são rejeitadas e encaminhadas para manutenção não sendo colocadas no circuito de distribuição, pelo que é pouco provável a ocorrência deste tipo de falhas nos parques de armazenagem.

- Falha intrínseca do corpo da garrafa

  Falha suscetível de ocorrer quer por defeito mecânico ou metalúrgico quer por corrosão ou por fadiga.

  No processo de enchimento, as garrafas são inspecionadas cuidadosamente antes de serem encaminhadas para o enchimento. As garrafas que se apresentem em mau estado ou cujo prazo de validade/inspeção tenha sido ultrapassado são retiradas do processo de enchimento e encaminhadas para manutenção. Estas práticas permitem manter este risco em níveis aceitáveis.

- Ação mecânica externa que provoque a falha da válvula de cabeça ou do corpo da garrafa

  Falha suscetível de ocorrer por impacto de objeto/estrutura (equipamento de movimentação, por exemplo).

  As garrafas não são movimentadas individualmente sendo-o em contentores metálicos e recorrendo a meios de movimentação adequados. Os operadores são formados especificamente neste tipo de operações e estão sensibilizados para as regras de segurança na operação o que reduz significativamente a probabilidade de ocorrência de impactos que provoquem a perfuração dos invólucros das garrafas.

  As válvulas das garrafas são protegidas por uma gola que impede quer o impacto de objetos diretamente na válvula quer o impacto devido à queda da garrafa. Neste sentido, considera-se este risco como reduzido.

  Adicionalmente a altura de armazenagem é limitada a dois contentores sobrepostos (que equivale a cerca de 3 metros) no caso das garrafas de G110 e cinco contentores sobrepostos, no caso das garrafas de G22 totalizando 3,75 metros de altura. São sempre utilizados contentores metálicos na movimentação o que reduz a probabilidade de queda individual de uma garrafa, onde seja desenvolvida energia suficiente para provocar a sua perfuração. Assim, ainda que seja possível a ocorrência deste tipo de eventos, a sua probabilidade de ocorrência é reduzida e ficará, em princípio confinada a um número muito reduzido de garrafas, o que limita as potenciais consequências.

- Falha por exposição ao calor

  Falha suscetível de ocorrer provocada pelo jacto inflamado proveniente de outra garrafa que se encontre na proximidade.

Com efeito, atendendo à capacidade das garrafas, uma fuga ocorrerá sempre em quantidades limitadas, admitindo-se, no entanto, que se possa formar uma atmosfera inflamável que, caso entre em combustão, desenvolverá uma quantidade de calor relativamente elevada, embora localizada. No entanto, em situações extremas é possível que um evento deste tipo possa afetar outras garrafas nas proximidades, provocando no limite, o seu rebentamento, fenómeno que tem o potencial para produzir danos pessoais e materiais.

- **Movimentação de Garrafas de GPL**

A movimentação das garrafas é feita com recurso a empilhadores, encontrando-se as garrafas nos contentores metálicos como já referido. Não está previsto movimentar garrafas individualmente.

Identificam-se nestas operações os riscos seguintes:

- Ação mecânica externa que provoque a falha da válvula de cabeça ou do corpo da garrafa

  Falha suscetível de ocorrer por impacto de objeto/estrutura (equipamento de movimentação, por exemplo).

  As garrafas não são movimentadas individualmente sendo-o em contentores metálicos e recorrendo a meios de movimentação adequados. Os operadores são formados especificamente neste tipo de operações e estão sensibilizados para as regras de segurança na operação o que reduz significativamente a probabilidade de ocorrência de impactos que provoquem a perfuração dos invólucros das garrafas.

  As válvulas das garrafas são protegidas por uma gola que impede quer o impacto de objetos diretamente na válvula quer o impacto devido à queda da garrafa. Neste sentido, considera-se este risco como reduzido.

  Adicionalmente a altura de armazenagem é limitada a dois contentores sobrepostos (que equivale a cerca de 3 metros) no caso das garrafas de G110 e cinco contentores sobrepostos, no caso das garrafas de G22 totalizando 3,75 metros de altura. São sempre utilizados contentores metálicos na movimentação o

que reduz a probabilidade de queda individual de uma garrafa, onde seja desenvolvida energia suficiente para provocar a sua perfuração. Assim, ainda que seja possível a ocorrência deste tipo de eventos, a sua probabilidade de ocorrência é reduzida e ficará, em princípio confinada a um número muito reduzido de garrafas, o que limita as potenciais consequências.

- Queda de garrafa durante operação de movimentação que provoque a falha da válvula de cabeça ou do corpo da garrafa.

  As garrafas não são movimentadas individualmente sendo-o em contentores metálicos e recorrendo a meios de movimentação adequados. Os operadores são formados especificamente neste tipo de operações e estão sensibilizados para as regras de segurança na operação o que reduz significativamente a probabilidade de ocorrência de impactos que provoquem a perfuração dos invólucros das garrafas.

  Adicionalmente a altura de armazenagem é limitada a dois contentores sobrepostos (que equivale a cerca de 3 metros) no caso das garrafas de G110 e cinco contentores sobrepostos, no caso das garrafas de G22 totalizando 3,75 metros de altura. São sempre utilizados contentores metálicos na movimentação o que reduz a probabilidade de queda individual de uma garrafa, onde seja desenvolvida energia suficiente para provocar a sua perfuração. Assim, ainda que seja possível a ocorrência deste tipo de eventos, a sua probabilidade de ocorrência é reduzida e ficará, em princípio confinada a um número muito reduzido de garrafas, o que limita as potenciais consequências.

  As válvulas das garrafas são protegidas por uma gola que impede quer o impacto de objetos diretamente na válvula quer o impacto devido à queda da garrafa. Neste sentido, considera-se este risco como reduzido.

Neste sentido, atendendo à sua capacidade, uma fuga numa garrafa ocorrerá sempre em quantidades limitadas, admitindo-se, no entanto, que se possa formar uma atmosfera inflamável que, caso entre em combustão, desenvolverá uma quantidade de calor relativamente elevada, embora localizada. No entanto, em situações extremas é possível que um evento deste tipo possa afetar outras garrafas nas proximidades, provocando, no limite, o seu rebentamento, fenómeno que tem o potencial para produzir danos pessoais e materiais.

➢ **Novo parque de GPL a granel – Reabastecimento, Armazenagem e Trasfega**

- **Reservatórios**

Cada um dos reservatórios apresenta o perigo potencial de ocorrência de fuga ou derrame de produto. Atendendo à sua capacidade, esta fuga ou derrame pode ocorrer em quantidades apreciáveis, situação que poderá culminar na formação de uma atmosfera inflamável que, no caso de entrar em combustão, poderá libertar uma quantidade de energia elevada, capaz de afetar os reservatórios vizinhos ou equipamentos instalados, ou de agravar uma situação já existente, produzindo danos pessoais e materiais.

Os cuidados postos nas operações de manipulação dos produtos, reforçadas por medidas de carácter permanente de controlo das fontes de ignição, bem como as inspeções e provas periódicas a que os reservatórios são sujeitos minimizam consideravelmente a probabilidade da ocorrência de um acidente desta natureza.

Os reservatórios utilizados são cilíndricos horizontais, recobertos e operam à pressão de vapor do produto. São um dos equipamentos que representam um risco elevado, essencialmente pela quantidade de produto armazenado, se bem que, historicamente, o número de roturas catastróficas deste tipo de reservatórios seja extremamente baixo.

As falhas relacionadas com os equipamentos utilizados na armazenagem de GPL e que tem potencial para desencadear acidentes graves, podem ocorrer pelas seguintes causas:

- Falhas de material por defeito mecânico ou metalúrgico, ou mesmo por corrosão ou fadiga

  Os reservatórios obedecem a critérios de conceção assentes em códigos e normas específicos que são aceites universalmente. Adicionalmente, o plano de manutenção prevê inspeções e provas periódicas que permitem detetar atempadamente sinais de corrosão e/ou de fadiga de material.

- Rotura por impacto de veículos.

  A área de armazenagem está corretamente sinalizada e afastada da zona de circulação de veículos, impedindo assim a eventual colisão com veículos devido a manobras na proximidade. Adicionalmente, o facto de os reservatórios serem recobertos confere-lhes uma proteção adicional contra eventuais impactos mecânicos.

- Explosão interna provocada por impacto de raios.

A instalação possui um sistema para-raios instalado num dos postes de iluminação mais altos e está protegida com uma rede de terras que abrange toda a instalação elétrica desde a baixada até à alimentação e ligação à terra dos equipamentos de armazenagem. Também neste caso o recobrimento dos reservatórios confere uma proteção adicional contra este tipo de evento.

- Roturas por sobrepressão nos reservatórios, por exposição a incêndio exterior e insuficiência da capacidade de descarga das válvulas de segurança.

  Para prevenir estes eventuais acidentes os reservatórios estão recobertos por material inerte o que lhes confere um isolamento térmico e proteção adicional, existindo sistemas dedicados de deteção de fugas e de chama, além dos reservatórios estarem equipados com sistemas fixos de arrefecimento no topo.

- Fuga nas válvulas de segurança dos reservatórios por sobrepressão, ou por disparo intempestivo, devido a falha do mecanismo da válvula.

  O plano de manutenção inclui inspeções, provas e calibrações periódicas a estes equipamentos.

- Operações de reabastecimento, armazenagem e trasfega

  Para evitar falhas relacionadas com as operações de reabastecimento, armazenagem e trasfega existem procedimentos e instruções escritas e é garantida a formação do pessoal envolvido.

As operações de abastecimento de GPL dos reservatórios são executadas através do gasoduto que está previsto construir. Toda a envolvente do gasoduto e os cuidados construtivos necessários, serão os mesmos do oleoduto existente e cumprirá com a Portaria n.º 765/2002, de 1 de julho, que aprova o Regulamento de Segurança Relativo ao Projeto, Construção, Exploração e Manutenção dos Oleodutos de Transporte de Hidrocarbonetos Líquidos e Liquefeitos.

Os nove reservatórios receberão assim o GPL do gasoduto e abastecerão os quatro reservatórios existentes na instalação, que por sua vez servem para alimentar a estação de enchimento de garrafas da instalação e a ilha de enchimento de cisternas.

Tratando-se de um processo praticamente todo automatizado com pouca intervenção do homem em manobras de ligar e desligar mangueiras flexíveis e utilização de viaturas cisternas, reduz-se a ocorrência de acidentes nas operações até aqui efetuadas com os processos tradicionais de abastecimento dos reservatórios existentes.

- **Equipamentos de impulsão**

Relativamente a equipamentos de impulsão (bombas, compressores e sistemas associados) considera-se que são elementos críticos, já que, por um lado representam fontes potenciais de perda de produto (através dos empanques, juntas, etc.) e, por outro, podem causar efeitos indesejáveis sobre o resto da instalação.

Os riscos que apresentam estes equipamentos podem ser provocados por:

- Falhas/roturas no veio das bombas e compressores

  Podendo provocar a rotura parcial ou mesmo total das mesmas. O plano de manutenção inclui revisões periódicas ao estado dos equipamentos de impulsão, dado que são elementos de grande importância o que permite controlar eficazmente este risco.

- Perda de contenção nos empanques mecânicos:

  O plano de manutenção inclui revisões periódicas aos empanques mecânicos o que permite controlar eficazmente este risco.

- Falhas na operação, apresentando-se os seguintes casos:
  - Cavitação, pulsação ou golpe de aríete
  - Válvula de compressão fechada (sobrepressão)
  - Corte na aspiração com funcionamento em vazio

O dimensionamento da instalação e do processo, no que diz respeito à seleção dos equipamentos, suas características e localização, e no que se refere à definição dos órgãos e sistemas de segurança associados bem como as práticas e os procedimentos de manutenção e de operação, são eficazes no controlo deste risco.

- **Linhas de transporte**

Nas linhas de transporte são utilizadas redes de tubagem para o transporte do gás entre os nove reservatórios de armazenagem a granel, os quatro reservatórios de serviço já existentes, e a tubagem de ligação ao braço de carga de cisternas.

De forma geral a perda de contenção no transporte por tubagens pode surgir como consequência dos seguintes efeitos:

- Rotura por colisão de equipamentos

Por movimento de equipamentos e materiais durante ações de manutenção ou construção, queda de objetos pesados dos níveis superiores, etc.

As medidas adotadas para a prevenção deste tipo de situações são a separação física dos equipamentos das áreas de circulação. O traçado das tubagens desenvolve-se com as adequadas distâncias de modo a minimizar a probabilidade de ocorrência deste tipo de acidentes. Todos os trabalhos de manutenção desenvolvidos são superiormente autorizados, depois de sujeitos a avaliação de riscos são produzidas Autorizações de Trabalho específicas.

- **Corrosão interna**, relacionada com eventuais contaminantes do GPL, com as características do material das tubagens, etc. estão previstas ações de manutenção e inspeções periódicas aos circuitos novos que permitem identificar e atuar em tempo, sobre as anomalias detetadas.
- **Corrosão externa**, relacionada com as condições atmosféricas e a exposição salina do local. Se o sistema de tubagens estiver submetido a tensões elevadas, esta corrosão pelo exterior pode provocar a sua rotura total. Para evitar esta corrosão, as tubagens são sujeitas a tratamento de superfície adequado. Adicionalmente, e à semelhança das medidas adotadas para controlar a corrosão interna, as políticas de manutenção preventiva e de inspeções e provas já instituídas no estabelecimento permitem identificar e atuar em tempo sobre os eventuais focos de corrosão.
- Falhas por fadiga do material

  As medidas a adotar neste caso passam pela seleção de materiais adequados, os quais tenham passado as provas de qualidade correspondentes e pelas inspeções periódicas previstas.
- Rotura pelo efeito de ações da natureza

  Não se prevê que existam ações da natureza que possam neste local e com o *layout* previsto provocar fugas de GPL contudo estão instituídos procedimentos escritos com as medidas a tomar em caso de situações originadas por ação da natureza.
- Rotura ou deformação devido a tensões térmicas

  Situação possível, mas pouco provável já que nenhuma das operações envolvidas na sua exploração requer práticas de aquecimento/arrefecimento, encontrando-se a variação de temperatura limitada à amplitude térmica do local.

- Rotura das uniões soldadas

  Devido a defeitos na própria soldadura ou falta de inspeções periódicas. A implementação do plano de inspeções periódicas, no qual se faz a inspeção às tubagens consideradas críticas, reduz eficazmente este risco.

- Roturas por sobrepressões provocadas por manobra rápida de válvulas de choque hidráulico

  O dimensionamento das tubagens, quer no que diz respeito à seleção dos materiais e respetivas espessuras, quer no que diz respeito ao seu traçado, reduzem, de modo eficaz, este risco.

- Rotura de juntas que se encontram nas uniões entre as tubagens e equipamentos por uma má manutenção, ou juntas erradas. As condições de projeto e as práticas de manutenção permitem obviar este fator de risco.

- Fuga de produto. Ao deslocar-se por uma tubagem aberta (sem ligação, falta de flange cega, etc.). As práticas e os procedimentos de manutenção e de operação são eficazes no controlo deste risco.

- Flanges mal apertadas

  As práticas e os procedimentos de operação e de manutenção periódica permitem controlar esta situação sendo eficazes no controlo deste risco.

➢ **Operações de Manutenção**

As operações de manutenção a que são submetidos os diversos equipamentos que constituem a instalação são, todas elas, efetuadas por pessoal qualificado ou firmas especializadas.

A execução de toda e qualquer atividade/operação suscetível de fornecer energia de ativação é, obrigatoriamente, precedida de Autorização de Trabalho. Este procedimento aplica-se quer a pessoal interno quer a colaboradores externos ou empreiteiros.

Sob o ponto de vista da segurança não se prevê que as infraestruturas existentes ou previstas no projeto em apreciação, possam constituir fonte de risco na medida em que os equipamentos utilizados podem considerar-se como intrinsecamente seguros e são submetidos a operações de inspeção e manutenção com carácter sistemático e periódico.

Não se considera, pois, que este tipo de operações possa constituir, por si só, fonte de perigo para a instalação.

- **Em síntese**

As situações de derrame de GPL que possam degenerar em incêndio têm apenas potencial para provocar a eventual contaminação dos solos devido às águas de combate a incêndio utilizadas.

A probabilidade de ocorrência de uma destas situações de falha está relacionada com a frequência da utilização dos equipamentos, com a periodicidade das ações de manutenção e de inspeção efetuadas, com a capacidade e com o diâmetro das tubagens envolvidas e com as condições meteorológicas na altura.

As situações de incêndio em áreas de armazenagem estão relacionadas com as quantidades armazenadas, o ponto de inflamação das substâncias e a sua combustibilidade. Por outro lado, o cenário de incêndio é definido pela sua duração, pela área ocupada e pela capacidade de ventilação no local, isto é a disponibilidade de comburente e combustível.

Resumindo, a formação dos operadores e dos condutores de viaturas de transporte e movimentação de GPL, o facto de se tratar de uma instalação que controla as suas fontes de ignição, cumprindo com a Diretiva ATEX e dispondo de uma política de manutenção preventiva e de inspeções e provas, reduzem a probabilidade de ocorrência deste tipo de riscos relacionados com a sua atividade interna.

No anexo A estão disponíveis as plantas de segurança e das redes de drenagem do projeto de expansão do parque de GPL da PRIO.

- **Fontes de perigo naturais**

No que se refere a perigos naturais, consideram-se relevantes os seguintes fenómenos:

- Sismos
- Ventos fortes
- Raios
- Cheias e inundações

- **Sismos**

Tendo em atenção o Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP), o local do empreendimento objeto do presente estudo, encontra-se inserido na zona sísmica C que representa a segunda zona de risco mais baixa.

Com base no Mapa de Intensidade Sísmica máxima observadas em Portugal, durante os anos de 1902 e 1972, o valor que correspondente a esta zona foi de grau VII - Muito Forte da Escala de *Mercalli* Modificada.

As consequências de um sismo deste tipo são ocorrência de danos nas alvenarias de qualidade inferior, incluindo fraturas. As chaminés mais fracas partem ao nível das coberturas. Queda de reboco, tijolos soltos, pedras, telhas, cornijas, parapeitos soltos e ornamentos arquitetónicos. Algumas fraturas nas alvenarias de qualidade intermédia. Ondas nos tanques. Água turva com lodo. Pequenos desmoronamentos e abatimentos ao longo das margens de areia e de cascalho. Os diques de betão armado para irrigação são danificados. As pessoas têm dificuldade em permanecer em pé e os automóveis em circulação sentem a trepidação.

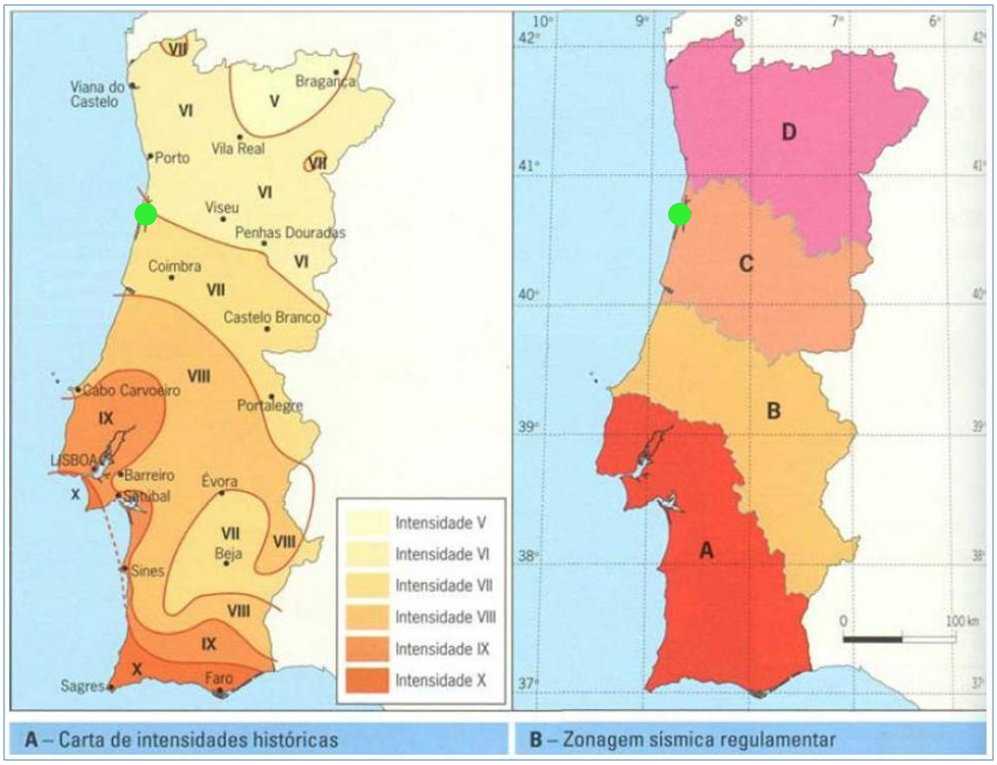


Figura 1 - Zonas sísmicas e carta de isossistas de Portugal Continental

Assim, atendendo às características de sismicidade da zona onde está localizado o estabelecimento da **PRIO** Supply, admite-se que a ocorrência de um sismo de grau VII terá muito baixas consequências ao nível estrutural nos novos parques de garrafas e nos reservatórios de GPL a granel.

No que se refere aos efeitos diretos de um sismo sobre as garrafas armazenadas considera-se a possibilidade de ocorrência de falha do contentor e a eventual queda de garrafas com cedência quer da válvula de cabeça, quer do corpo ser muito rara. Isto devido ao facto de as garrafas terem gola de proteção da válvula, de estarem alojadas nos contentores metálicos e a altura de armazenagem ser limitada a dois contentores sobrepostos, o que reduz significativamente a probabilidade de ocorrência deste tipo de eventos pelo que se considera o risco como muito reduzido.

- **Ventos**

Ainda que incluamos aqui como uma possível fonte de risco a considerar, não parece ser uma grande ameaça para o parque de armazenagem a presença de fortes ventos na zona já que não existem estruturas esbeltas no local. Mesmo existindo a possibilidade de que o vento forte provoque quedas de contentores e cedência do corpo de uma garrafa ou da sua válvula considera-se que as seguranças intrínsecas existentes tornam este risco com uma probabilidade de ocorrência muito remota.

- **Raios**

Em caso de tempestades com fortes descargas elétricas, os contentores metálicos de garrafas seriam as estruturas mais vulneráveis. Para além da probabilidade baixa de ocorrer o evento iniciador, os efeitos serão, em princípio, muito limitados admitindo-se que, caso o fenómeno ocorra, venha no pior cenário estar envolvido um número limitado de garrafas.

O estabelecimento possui um sistema de captação de descargas atmosféricas composto por para-raios, que protegem toda a zona de processo e armazenagem.

- **Cheias e inundações**

As instalações encontram-se situadas numa zona de rias e canais a 300 metros da ria de Aveiro e a uma cota de aproximadamente 4 metros de altura, relativamente à altura média

das águas do mar. Em caso de fortes tempestades com chuvas torrenciais prolongadas e em situação de maré cheia, pode eventualmente ocorrer a inundação das instalações.

Atendendo ao tipo de atividade e aos equipamentos instalados, não se prevê que um evento deste tipo possa ter consequências relevantes para o exterior e elementos sensíveis da envolvente.

- **Análise histórica de acidentes ocorridos em instalações similares**

Após a identificação das fontes de perigo foi efetuada uma análise dos acidentes ocorridos em instalações similares. Para tal, recorreu-se à base de dados **FACTS**, gerida pelo *Unified Industrial & Harbour Fire Department in Rotterdam-Rozenburg*, Holanda.

Para tal foram aplicados filtros à base de dados de modo a selecionar a substância que se considerou representativa do processo, genericamente o GPL.

A análise histórica foi desenvolvida para a atividade de armazenagem a granel e em garrafas e para a atividade de abastecimento dos reservatórios de reserva por gasoduto dentro das instalações e para a atividade de movimentação de garrafas em contentores, da seguinte forma:

- Da consulta às bases relativas ao GPL, propano e butano, efetuaram-se pesquisas segundo as atividades desenvolvidas quer no armazenamento a granel quer em garrafas;
- Com os resultados destas pesquisas analisaram-se os tipos de acidentes já ocorridos tendo-se constatado que existem registos de *BLEVE*, explosões, incêndios e fugas de gás;
- Após a análise dos dados obtidos foram eliminados os acidentes que se consideraram não ter qualquer relação com a instalação em estudo.

Note-se que no mesmo incidente podem produzir-se simultaneamente ou sequencialmente vários dos fenómenos descritos anteriormente.

Da análise das principais causas que podem produzir acidentes, segundo o histórico realizado, constatou-se o seguinte:

- **Falha técnica**: aqui incluem-se falhas de material, falhas de soldadura, corrosão, sobrepressão, etc.;

- **Falha humana/operação**: produzidas geralmente por erros de manutenção, procedimentos incorretos de operação, falhas na montagem, etc.;
- **Causas naturais**: referidas principalmente a queda de raios, chuvas intensas, inundações, ventos fortes, etc.;
- **Desconhecidas**: normalmente relacionadas com as falhas humanas/ operação e técnicas;
- **Sabotagem, vandalismo ou terrorismo**: ações externas geralmente com o objetivo de causar danos na instalação.

Apresenta-se de seguida o resumo dos resultados obtidos nas pesquisas efetuadas.

Garrafas de GPL

Na pesquisa à Base de dados FACTS por atividade de armazenagem e movimentação de garrafas, obtiveram-se 24 acidentes envolvendo o GPL, apresentando-se os resultados no anexo C.

Neste sentido foram utilizadas as seguintes chaves:

Quanto à atividade:

- *STORAGE*

Quanto ao local:

- *STORAGE/DEPOT*

Quanto à substância:

- *LPG*
- *Propane*
- *Butane*

Quanto ao tipo de reservatório:

- *Cylinder/Canister*

CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES

A análise efetuada apenas se debruçou nos acidentes considerados envolvendo o GPL em garrafas nas atividades selecionadas.

No que se refere às suas consequências verifica-se que os incêndios são os efeitos com maior relevância, seguidos das explosões e depois as fugas. Com o propano liquefeito os incêndios, as explosões e as fugas estão intimamente relacionados pois normalmente, quando um ocorre, ocorrem os outros.

Tabela 4 - Consequências dos acidentes

TIPO	NÚMERO DE ACIDENTES	% TOTAL
Incêndio	23	36,5
Explosão	17	27,0
Fuga	17	27,0
BLEVE	6	9,5
Total	**63**	**100,0**

A figura seguinte apresenta a distribuição dos acidentes por consequência.

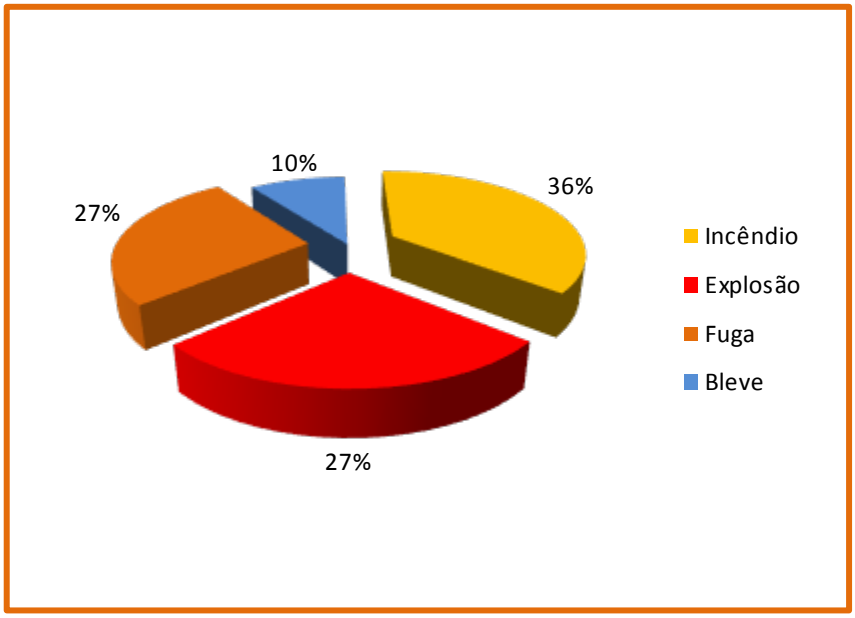


Figura 2 - Distribuição por consequência

No que se refere às causas, 7 acidentes tiveram origem em causas desconhecidas, 5 em falha humana, 4 em ações de sabotagem ou vandalismo, 3 em falhas técnicas, 3 em operação e 2 em causas naturais.

Tabela 5 - Origem dos acidentes

TIPO	NÚMERO DE ACIDENTES	% TOTAL
Desconhecida	7	29,2
Falha Humana	5	20,8
Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	4	16,7
Técnica	3	12,5
Operação	3	12,5
Natural	2	8,3
Total	**24**	**100,0**

A figura seguinte apresenta a distribuição dos acidentes por causa.

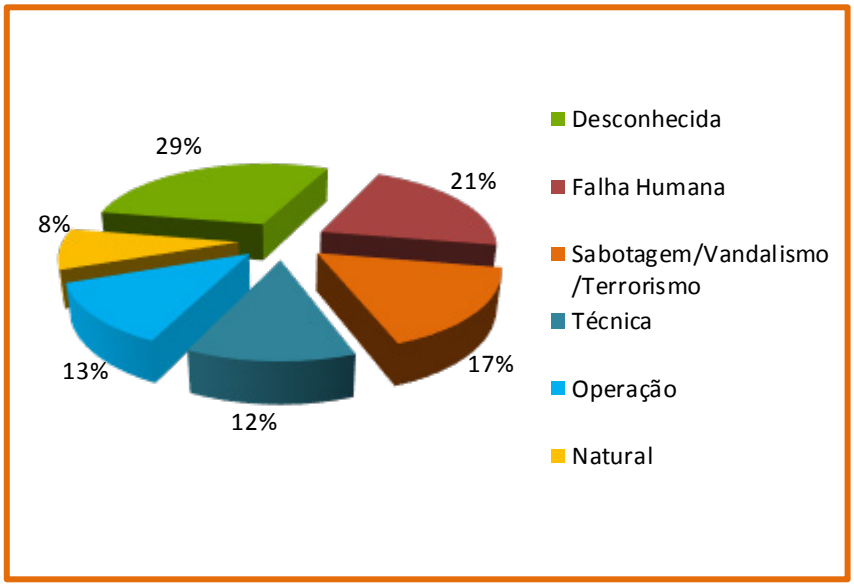


Figura 3 - Distribuição das causas dos acidentes

Reservatórios de GPL

Na pesquisa à Base de dados FACTS por atividade de armazenagem e de abastecimento de GPL a granel, obtiveram-se 35 acidentes envolvendo o GPL, apresentando-se os resultados no anexo C.

Neste sentido foram utilizadas as seguintes chaves:

Quanto à atividade:

- *STORAGE*

Quanto ao local:

- *STORAGE/DEPOT*

Quanto à substância:

- *LPG*
- *Propane*
- *Butane*

Quanto ao tipo de reservatório:

- *Tank*
- *Pipeline*
- *Reservoir*
- *Vessel (onde não se obtiveram quaisquer registos)*

CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES

A análise efetuada apenas se debruçou nos acidentes considerados envolvendo o GPL, propano e butano em reservatórios nas atividades selecionadas.

No que se refere às suas consequências verifica-se que as fugas são os efeitos com maior relevância, seguidos dos incêndios e das explosões. Com o propano liquefeito os incêndios, as explosões e as fugas estão intimamente relacionados pois normalmente, quando um ocorre, ocorrem os outros.

Tabela 6 - Consequências dos acidentes

TIPO	NÚMERO DE ACIDENTES	% TOTAL
Fuga	31	45,6
Incêndio	21	30,9
Explosão	16	23,5
Total	**68**	**100,0**

A figura seguinte apresenta a distribuição dos acidentes por consequência.

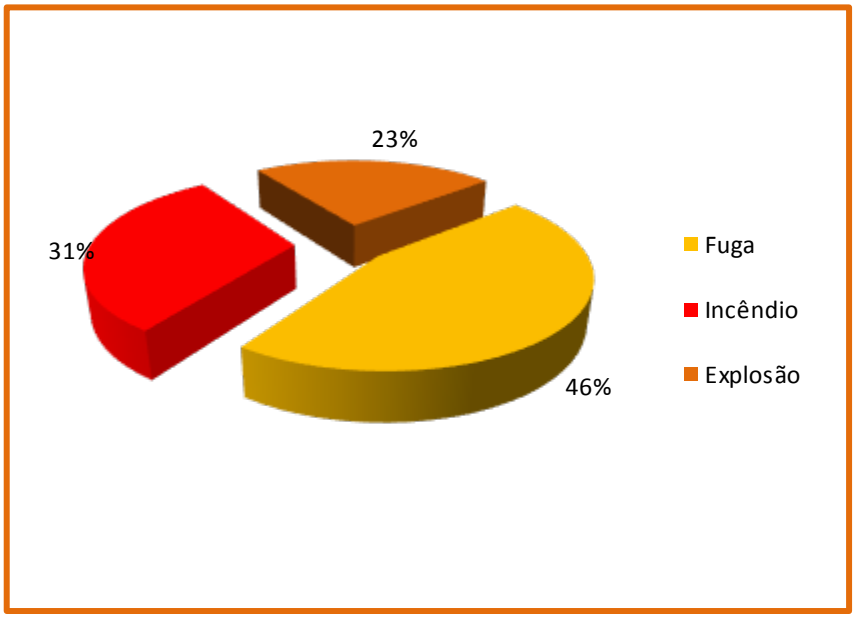


Figura 4 - Distribuição por consequência

No que se refere às causas, 10 acidentes tiveram origem em causas desconhecidas, 10 em falha humana, 9 em falhas técnicas, 3 em causas naturais, 2 em operação e 1 em ações de sabotagem ou vandalismo.

Tabela 7 - Origem dos acidentes

TIPO	NÚMERO DE ACIDENTES	% TOTAL
Desconhecida	10	28,6
Falha Humana	10	28,6
Técnica	9	25,7
Natural	3	8,6
Operação	2	5,7
Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	1	2,9
Total	**35**	**100,0**

A figura seguinte apresenta a distribuição dos acidentes por causa.

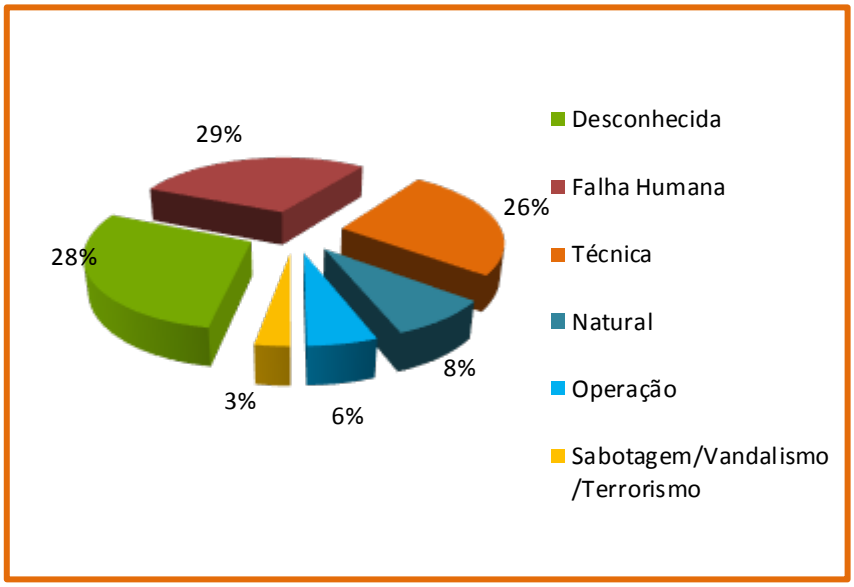


Figura 5 - Distribuição das causas dos acidentes

Conclusões

Armazenagem de garrafas de GPL

Tendo por base os resultados obtidos, pode concluir-se que os acidentes típicos envolvendo a atividade de armazenagem de garrafas de GPL consistem em incêndios, explosões e fugas, decorrentes principalmente de causas desconhecidas (29,2%), de falhas humanas (20,8%), de sabotagens e atos de vandalismo (16,7%), de falhas técnicas (12,5%) e de operação (12,5%).

Face ao histórico e ao número de dados em análise, conclui-se que existe credibilidade nas conclusões obtidas, isto é, considera-se ser expectável que os acidentes tipo com maior probabilidade de ocorrência, na armazenagem de garrafas de GPL em projeto, são os incêndios e as explosões de GPL. As fugas neste tipo de parque, devido à capacidade das garrafas, são normalmente de pequena dimensão não tendo por vezes a mesma importância de registo que os acidentes que envolvem incêndios e explosões.

No que às causas encontradas diz respeito, encontra-se uma prevalência de causas desconhecidas. Não será displicente referir que as causas humanas, de operação, ou mesmo técnicas, sejam de considerar pois estão intimamente relacionadas com a atividade e principalmente com a formação do pessoal interveniente. As falhas de origem natural neste tipo de atividade são, de acordo com a base de dados consultada, ocasionais.

De acordo com os dados disponíveis, pode considerar-se que, de um modo geral, os parques de armazenamento de garrafas são instalações seguras não havendo registos de um número significativo de incidentes neste tipo de instalações cuja origem seja a própria instalação. A maior parte dos incidentes em parques de garrafas, cujos efeitos tenham sido relevantes, resultaram de eventos que se iniciaram no exterior das instalações, mas em que as mesmas vieram a ser envolvidas.

Armazenagem e abastecimento de GPL a granel

Tendo por base os resultados obtidos, pode concluir-se que os acidentes típicos envolvendo a atividade de armazenagem e abastecimento de GPL a granel consistem em fugas, incêndios e explosões, decorrentes principalmente de causas desconhecidas (28,6%), de falhas humanas (28,6%) e de falhas técnicas (25,7%).

Face ao histórico e ao número de dados em análise, conclui-se que existe credibilidade nas conclusões obtidas, isto é, considera-se ser expectável que os acidentes tipo com maior probabilidade de ocorrência no projeto do novo parque de GPL a granel, são as fugas, os incêndios e as explosões.

No que às causas encontradas diz respeito, encontra-se uma prevalência de causas desconhecidas e de causas humanas. Não será displicente referir que as causas de operação ou mesmo técnicas, sejam de considerar pois estão intimamente relacionadas com a atividade e principalmente com a formação do pessoal interveniente.

De acordo com os dados disponíveis, pode considerar-se que, de um modo global, o projeto de alteração da instalação de GPL da **PRIO – Supply S.A.** não deverá acrescentar significativamente qualquer aumento de possibilidade de ocorrência de incidentes, devendo manter-se uma instalação segura, tal como o registo nulo de incidentes dos anos de operação que já tem, assim o demonstra.

No anexo C incluem-se os resultados da pesquisa à base de dados de acidentes relacionados FACTS "*hazardous materials accidents knowledge base*", para as duas situações analisadas garrafas de GPL e armazenamento e abastecimento de GPL a granel.

3.1.2 2.F.11.3.1.2. Identificação dos potenciais cenários de libertação de substâncias perigosas

Dos resultados obtidos na análise preliminar de perigos, das fontes de perigo naturais e do histórico de acidentes ocorridos em instalações similares, identificaram-se os possíveis cenários envolvendo as garrafas de GPL nos seguintes locais:

- Ampliação do parque de armazenagem de taras existente na instalação de GPL;
- Novo parque para garrafas.

Tendo sido apenas considerados os potenciais cenários que envolvem garrafas de G110, contendo propano:

- Colapso de garrafa de propano G110

  Devido ao tamanho e capacidade das garrafas considerou-se a rotura total.

- Falha de válvula de cabeça de garrafa de propano por ação mecânica externa

  No que se refere ao cenário de libertação contínua a partir de um orifício com um diâmetro equivalente de 6 mm, que corresponde ao diâmetro do orifício da válvula de cabeça. Considera-se este cenário credível e representativo da instalação, pelo que será tratado neste estudo o cenário de acidente envolvendo uma garrafa G110.

Estes cenários são consubstanciados no seguinte:

- O propano é uma substância extremamente inflamável tornando assim estas zonas de armazenamento zonas de risco;
- As fugas são devidas a falhas de estanqueidade das válvulas de cabeça, rutura completa da válvula de cabeça ou perfuração do corpo da garrafa que provocará a sua rotura total;
- Ocorrendo uma fuga e se os vapores de propano libertados adquirirem energia de ativação poder-se-á ter um incêndio no local.

Da mesma forma identificaram-se os possíveis cenários envolvendo os reservatórios no parque de armazenamento de GPL a granel:

- Colapso de reservatório de GPL

  Evento com baixa probabilidade de ocorrência, principalmente por se tratarem de reservatórios recobertos.

- Falha de tubagem de 3” de ligação aos reservatórios de GPL

Considerada a rotura total.

- Rotura em tubagem de 6” de trasfega na fase liquida no interior da instalação

  Considerada a rotura total.

- Rotura em tubagem do gasoduto de abastecimento no interior da instalação

  Considerada a rotura total.

Estes cenários são consubstanciados no seguinte:

- O GPL é uma substância extremamente inflamável tornando assim estas zonas dos reservatórios de armazenamento a granel zonas de risco;
- As fugas são eventualmente devidas a falhas de válvulas de segurança dos reservatórios ou cedência de juntas em uniões;
- Ocorrendo uma fuga e se os vapores de GPL libertados adquirirem energia de ativação poder-se-á ter um incêndio no local ou eventualmente um jacto inflamado, ancorado no ponto de fuga.

3.1.3 2.F.11.3.1.3. Estimativa da frequência de ocorrência dos cenários de acidente considerados

Para a caracterização dos cenários seguiram-se as orientações constantes na publicação *Guidelines for Quantitative Risk Assessments* produzida pelo TNO edição de 2005, vulgarmente conhecida como ***Purple Book***.

Pelo facto dos parques de garrafas não serem propriamente instalações características, objeto das análises de risco especificas e detalhadas consideradas nos documentos de referência, podem considerar-se as garrafas G110 também como *reservatórios estacionários sob pressão*, sem proteção exterior, uma vez que, de acordo com o *Purple Book* este tipo de equipamento corresponde a reservatórios sob pressão em que a pressão é substancialmente superior a 1 bar absoluto, não existindo no documento de referência qualquer restrição quanto à sua capacidade.

Os reservatórios de armazenamento de GPL a granel foram considerados como *reservatórios estacionários sob pressão* com proteção exterior devido ao facto de serem recobertos com materiais inertes e não abrasivos, tipo talude, na totalidade da sua superfície exterior e devidamente sustentados.

Assim foram considerados os seguintes eventos iniciadores, com reservatórios sob pressão com e sem revestimento exterior, nas condições em que se prevê se venham a encontrar na instalação de armazenamento e enchimento de garrafas da **PRIO** e as situações que eventualmente podem contribuir para a perda de contenção de produto, apresentando-se os elementos obtidos na tabela seguinte.

Tabela 8 - Frequência de ocorrência dos cenários

EVENTO	FREQUÊNCIA	NOTAS
Colapso de garrafa do tipo G110	$1{,}00 \times 10^{-6}$/ano	*Purple Book - Secção 3.2.1* Nota 8 - Considerando a rotura catastrófica de uma garrafa de gás sob pressão
Libertação contínua a partir de um orifício em garrafa do tipo G110	$1{,}00 \times 10^{-5}$/ano	*Purple Book - Secção 3.2.1* Tab. 3.3 - G.3 - Considerando uma fuga contínua de um orifício com 10 mm de diâmetro (1)
Colapso de reservatório de GPL com libertação instantânea de todo o conteúdo	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ano	*Purple Book - Secção 3.2.1* Nota 2 - Considerando uma libertação instantânea de um reservatório recoberto
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (100 mm)	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ano	*Purple Book - Secção 3.2.1* Nota 2 – Devido ao diâmetro elevado da rotura, 100 mm, considera-se a frequência deste cenário idêntica à de libertação instantânea de um reservatório recoberto (2)
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	$1{,}00 \times 10^{-5}$/ano	*Purple Book - Secção 3.2.1* Tab. 3.3 - G.3 - Considerando uma fuga contínua de um orifício com 10mm de diâmetro
Rotura total de tubagem (diâmetro nominal > 75 e < 150 mm)	$3{,}00 \times 10^{-7}$/m.ano	*Purple Book - Secção 3.2.3* Tab. 3.7 - G.1 - Considerando uma rotura total da tubagem de 3” de ligação aos reservatórios de serviço

EVENTO	FREQUÊNCIA	NOTAS
Rotura total de tubagem (diâmetro nominal > a 150 mm)	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ m.ano	*Purple Book - Secção 3.2.3* Tab. 3.7 - G.1 - Considerando uma rotura total da tubagem de 6" de ligação ao gasoduto ou da fase gasosa dentro da instalação

(1). Tendo em conta o diâmetro da válvula de cabeça da garrafa de G110 é de 6 mm, atribui-se a mesma frequência de uma rotura a partir de um orifício com um diâmetro equivalente de 10 mm num reservatório sob pressão, considerando que as consequências de um cenário deste tipo não diferem significativamente do cenário da rotura a partir de um orifício de 6 mm.

(2). Considera-se que este cenário devido às dimensões da rotura 100 mm, é idêntico ao cenário do colapso de reservatório de GPL, neste caso recoberto com libertação instantânea de todo o conteúdo, situação muito pouco provável.

Os valores de probabilidade/frequência apresentados referem-se aos eventos iniciadores dos cenários considerados. Para o cálculo da probabilidade de ocorrência dos cenários não será tido em conta a possibilidade de intervenção humana, não sendo assim contabilizadas as intervenções dos operadores na reposição dos desvios que possam ocorrer, nem a atuação das equipas de intervenção, internas e externas.

As probabilidades de ocorrência que envolvem as garrafas de G110 foram consideradas de acordo com o número de garrafas que existem nos parques de garrafas em estudo.

As probabilidades de ocorrência que envolvem os reservatórios de GPL a granel foram consideradas para os nove reservatórios iguais.

As probabilidades de ocorrência que envolvem tubagens quer de receção através do gasoduto, quer para ligação aos quatro reservatórios de serviço, foram consideradas para os maiores comprimentos das linhas expostas dentro da instalação.

Assim, tendo em conta o referido anteriormente, os cenários de acidente considerados têm as probabilidades de ocorrência constantes na tabela seguinte, calculadas de acordo com os pressupostos constantes nas notas anexas.

Tabela 9 - Probabilidade de ocorrência dos cenários selecionados

EVENTO INICIADOR	PROBABILIDADE EI	PROBABILIDADE FINAL
Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$1{,}00 \times 10^{-6}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-3}$/ano (1)
Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	$1{,}00 \times 10^{-6}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-3}$/ano (2)
Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$1{,}00 \times 10^{-5}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-2}$/ano (1)
Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	$1{,}00 \times 10^{-5}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-2}$/ano (2)
Colapso de reservatório de GPL com libertação instantânea de todo o conteúdo	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-7}$/ano (3)
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (100 mm)	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-7}$/ano (3)
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	$1{,}00 \times 10^{-5}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-5}$/ano (3)
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	$3{,}00 \times 10^{-7}$/m.ano	$3{,}72 \times 10^{-4}$/ano (4)
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ m.ano	$1{,}22 \times 10^{-4}$/ano (5)
Rotura total de tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	$1{,}00 \times 10^{-7}$/ m.ano	$2{,}20 \times 10^{-5}$/ano (6)

(1). Considerando que a capacidade máxima de armazenamento da ampliação do parque de taras é 9064 garrafas G110.

(2). Considerando que em cada um dos seis grupos de armazenagem deste novo parque para garrafas, nunca se ultrapassarão as 8382 garrafas de G110 armazenadas.

(3). Considerando que existem 9 reservatórios iguais de 570 m^3 na mesma área.

(4). Considerando que o comprimento da tubagem exposta de 3” é de 1240 metros.

(5). Considerando que o comprimento da tubagem exposta de 6” é de 1220 metros.

(6). Considerando que o comprimento da tubagem exposta do gasoduto dentro da instalação é de 220 metros.

Atendendo ao produto em estudo, GPL, considera-se que o cenário de falha de contenção resulta em fuga de gás que pode ocorrer na fase liquida ou vapor mas relacionada com a atividade de armazenagem. Quanto ao facto de ser possível adquirir energia de ativação, dentro da instalação, para iniciar um eventual incêndio, considera-se este facto pouco

provável pois tratam-se de zonas ATEX, onde o controlo das fontes de ignição é fundamental.

Tendo em conta as recomendações constantes no documento de referência *Layer of Protection Analysis - SIMPLIFIED PROCESS RISK ASSESSMENT*, editado em 2001 pelo *Center for Chemical Process Safety do American Institute of Chemical Engineers*, relativamente à possibilidade de ignição, a probabilidade de ocorrência de uma ignição imediata na sequência da libertação de um inflamável é 0,10 (uma vez em cada 10 ocorrências), numa área em que exista controlo sobre as fontes de ignição, como é o caso.

Os valores de probabilidade/frequência apresentados na tabela anterior referem-se aos cenários considerados sem considerar a possibilidade de ignição. O desenvolvimento das probabilidades de ocorrência dos cenários anteriormente referidos, não vão ser afetados pela eventual atuação do pessoal da instalação, não sendo assim contabilizadas as intervenções dos operadores na reposição dos desvios que possam ocorrer, nem a atuação das equipas de intervenção, internas e externas.

Assim, tendo em conta a probabilidade de ocorrência dos eventos iniciadores, teremos como possíveis subcenários:

Tabela 10 - Probabilidade de ocorrência dos subcenários

EVENTO INICIADOR	PROBABILIDADE FINAL	PROBABILIDADE SUBCENÁRIO	
		Fuga sem ignição	Inflamação
Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$9{,}06 \times 10^{-3}$/ano	$8{,}16 \times 10^{-3}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-4}$/ano
Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	$8{,}38 \times 10^{-3}$/ano	$7{,}54 \times 10^{-3}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-4}$/ano
Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$9{,}06 \times 10^{-2}$/ano	$8{,}16 \times 10^{-2}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-3}$/ano
Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	$8{,}38 \times 10^{-2}$/ano	$7{,}54 \times 10^{-2}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-3}$/ano
Colapso de reservatório de GPL com libertação instantânea de todo o conteúdo	$9{,}00 \times 10^{-7}$/ano	$8{,}10 \times 10^{-7}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-8}$/ano
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (100 mm)	$9{,}00 \times 10^{-7}$/ano	$8{,}10 \times 10^{-7}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-8}$/ano
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	$9{,}00 \times 10^{-5}$/ano	$8{,}10 \times 10^{-5}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-6}$/ano

EVENTO INICIADOR	PROBABILIDADE FINAL	PROBABILIDADE SUBCENÁRIO	
		Fuga sem ignição	Inflamação
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	$3,72 \times 10^{-4}$/ano	$3,35 \times 10^{-4}$/ano	$3,72 \times 10^{-5}$/ano
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”	$1,22 \times 10^{-4}$/ano	$1,10 \times 10^{-4}$/ano	$1,22 \times 10^{-5}$/ano
Rotura total de tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	$2,20 \times 10^{-5}$/ano	$1,98 \times 10^{-5}$/ano	$2,20 \times 10^{-6}$/ano

Relativamente aos sistemas de deteção e atuação automática de arrefecimento, relacionados com os cenários envolvendo os reservatórios de GPL e as tubagens dentro da instalação, poderiam ser adotados os valores constantes na publicação *RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND RISK Practical methods for engineers, David J Smith*, que são os seguintes:

- Falha de sistemas de deteção de gás P = $4,4 \times 10^{-2}$/ano
- Falha na atuação do sistema de arrefecimento P = $1,0 \times 10^{-1}$/ano

Desta forma e com base nestes elementos obtinham-se os valores de probabilidade seguintes:

Tabela 11 - Probabilidade dos subcenários com inclusão dos sistemas automáticos

EVENTO INICIADOR	PROBABILIDADE SUBCENÁRIO	PROBABILIDADE FALHA SISTEMA	PROBABILIDADE FINAL
Colapso de reservatório de GPL com libertação instantânea de todo o conteúdo	$8,10 \times 10^{-7}$/ano	$1,00 \times 10^{-1}$/ano	$8,10 \times 10^{-8}$/ano
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (100 mm)	$8,10 \times 10^{-7}$/ano	$1,00 \times 10^{-1}$/ano	$8,10 \times 10^{-8}$/ano
Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	$8,10 \times 10^{-5}$/ano	$1,00 \times 10^{-1}$/ano	$8,10 \times 10^{-6}$/ano
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	$1,67 \times 10^{-4}$/ano	$4,40 \times 10^{-2}$/ano	$1,47 \times 10^{-5}$/ano
Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”	$5,49 \times 10^{-5}$/ano	$4,40 \times 10^{-2}$/ano	$4,83 \times 10^{-6}$/ano
Rotura total de tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	$1,98 \times 10^{-5}$/ano	$4,40 \times 10^{-2}$/ano	$8,71 \times 10^{-7}$/ano

3.1.4 2.F.11.3.1.4. Seleção de cenários

Tendo em conta as probabilidades de ocorrência calculadas na Tabela 9 e o critério para a seleção de cenários cuja probabilidade de ocorrência é igual ou superior a **$1x10^{-6}$/ano** consideram-se representativos do presente estudo os cenários de acidente seguintes:

Tabela 12 - Cenários selecionados

CENÁRIO	PROBABILIDADE SUBCENÁRIO	
	Fuga sem ignição	Inflamação
A - Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$8{,}16 \times 10^{-3}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-4}$/ano
B - Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	$7{,}54 \times 10^{-3}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-4}$/ano
C - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	$8{,}16 \times 10^{-2}$/ano	$9{,}06 \times 10^{-3}$/ano
D - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo parque garrafas	$7{,}54 \times 10^{-2}$/ano	$8{,}38 \times 10^{-3}$/ano
E - Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	$8{,}10 \times 10^{-5}$/ano	$9{,}00 \times 10^{-6}$/ano
F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	$3{,}35 \times 10^{-4}$/ano	$3{,}72 \times 10^{-5}$/ano
G - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”	$1{,}10 \times 10^{-4}$/ano	$1{,}22 \times 10^{-5}$/ano
H - Rotura total tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	$1{,}98 \times 10^{-5}$/ano	$2{,}20 \times 10^{-6}$/ano

Assim e tendo em conta os critérios anteriormente referidos e as probabilidades de ocorrência calculadas, consideraram-se representativos do projeto os seguintes cenários de acidente:

- **Cenário A - Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras - libertação instantânea do conteúdo e inflamação do produto**
- **Cenário B - Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas - libertação instantânea do conteúdo e inflamação do produto**
- **Cenário C - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras - libertação e inflamação do produto**

- **Cenário D - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo parque garrafas - libertação e inflamação do produto**
- **Cenário E - Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm) - libertação e inflamação do produto**
- **Cenário F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3" - libertação e inflamação do produto**
- **Cenário G - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6" - libertação e inflamação do produto**
- **Cenário H - Rotura total tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6" - libertação e inflamação do produto**

3.1.5 2.F.11.3.1.5. Cenários com atuação de medidas de prevenção/mitigação

No projeto foram utilizados critérios de segurança rigorosos que minimizam a eventual propagação de acidentes entre unidades.

Manteve-se o critério em vigor no estabelecimento de segregação entre as zonas administrativas e de segurança para restringir a circulação de veículos e consequentemente minimizar as fontes de ignição.

As distâncias entre as unidades, componentes da instalação e o resto das instalações do estabelecimento foram estabelecidas seguindo as recomendações do Regulamento de Segurança das Instalações de Petróleo Bruto, seus Derivados e Resíduos (Decreto n.º 36 270 de 9 de maio de 1947) e a NFPA 58 - *Liquefied Petroleum Gas Code*.

Tendo em conta os resultados do estudo dos potenciais cenários de acidente e a estimativa da sua ocorrência, foram consideradas as medidas de prevenção e de mitigação em seguida descritas. Por uma questão de sistematização, as medidas serão agrupadas por cenário, independentemente de tal levar à repetição de medidas.

Para além da eficácia das medidas adotadas, será referido em que termos os fatores de risco das medidas consideradas, irão intervir na redução da probabilidade de ocorrência do cenário e eventualmente nas suas consequências.

Tabela 13 - Medidas de prevenção/mitigação e a sua eficácia

CENÁRIO	MEDIDAS ADOTADAS	EFICÁCIA
Cenário – A e B Colapso de garrafa de propano G110	Códigos de dimensionamento e de construção das garrafas muito exigentes	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistema de controlo e deteção de fugas	Redução da magnitude das consequências
	Inspeção individual a cada garrafa antes de iniciar o circuito de enchimento	Redução da probabilidade de ocorrência
	Verificação individual de fugas pelas válvulas de cabeça, após a operação de enchimento	Redução da probabilidade de ocorrência
	Implementação do manual de proteção contra explosões (Diretiva ATEX)	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistemas de combate a incêndios dedicados à zona de armazenagem de taras e monitores de água instalados em locais estratégicos	Redução da magnitude das consequências
	Gola protetora das válvulas de cabeça das garrafas contra ações mecânicas externas e/ou queda sobre superfície rígida	Redução da probabilidade de ocorrência
Cenário – C e D Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110	Os contentores de garrafas formam um conjunto estrutural estável que não permite o movimento interno das garrafas estando o corpo das garrafas e as válvulas protegidos contra impacto externo de objetos ou queda de garrafas durante o transporte	Redução da probabilidade de ocorrência
	Limitação da altura de armazenamento das garrafas	Redução da probabilidade de ocorrência
	Vigilância e controlo de acessos e sistema CCTV	Redução da probabilidade de ocorrência
	Vias de circulação interna claramente definidas e sem necessidade de os veículos de transporte efetuarem manobras complicadas	Redução da probabilidade de ocorrência
	Plano de emergência (incluindo as equipas, organização e meios disponíveis no local, fixos e portáteis/móveis)	Redução da magnitude das consequências
	Procedimentos de operação e/ou qualificação dos operadores para todas as atividades, incluindo as de rotina e ocasionais	Redução da probabilidade de ocorrência
	Procedimento de autorizações de trabalho	Redução da probabilidade de ocorrência
	Formação e treino (inicial e contínua) aos operadores nos processos de operação, incluindo as ações e procedimentos em caso de incidente	Redução da magnitude das consequências
Cenário E - Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	Códigos de dimensionamento de materiais e equipamentos, incluindo válvulas de alívio de pressão e sistemas de controlo de parâmetros críticos (nível e pressão)	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistema de controlo e deteção e contenção de fugas	Redução da magnitude das consequências
	Controlo do plano de carga recorrendo a meios informáticos onde são definidos produtos, quantidades e procedimentos a seguir	Redução da probabilidade de ocorrência
	Supervisão do processo recorrendo a meios informáticos e possibilidade de isolar os circuitos através de válvulas de comando à distância	Redução da magnitude das consequências
	Condições de instalação (distâncias de segurança e zonas de retenção)	Redução da probabilidade de ocorrência e da magnitude das consequências
	Ligação dos reservatórios, tubagens e acessórios a sistema de rede equipotencial e para-raios	Redução da probabilidade de ocorrência
	Implementação do manual de proteção contra explosões (Diretiva ATEX)	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistemas fixos de arrefecimento e combate a incêndios dedicados aos reservatórios e monitores de água instalados em locais estratégicos	Redução da magnitude das consequências

CENÁRIO	MEDIDAS ADOTADAS	EFICÁCIA
	Vigilância e controlo de acessos e sistema CCTV	Redução da probabilidade de ocorrência
	Vias de circulação interna claramente definidas e sem necessidade de os veículos de transporte efetuarem manobras complicadas	Redução da probabilidade de ocorrência
	Plano de emergência (incluindo as equipas, organização e meios disponíveis no local, fixos e portáteis/móveis)	Redução da magnitude das consequências
	Procedimentos de operação e/ou qualificação dos operadores para todas as atividades, incluindo as de rotina e ocasionais	Redução da probabilidade de ocorrência
	Existência de um programa de manutenção preventiva baseado em ações de inspeção e prova a sistemas e equipamentos	Redução da probabilidade de ocorrência
	Procedimento de autorizações de trabalho	Redução da probabilidade de ocorrência
	Formação e treino (inicial e contínua) aos operadores nos processos de operação, incluindo as ações e procedimentos em caso de incidente	Redução da magnitude das consequências
Cenário F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3” **Cenário G – Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”** **Cenário H – Rotura total de tubagem do gasoduto - diâmetro nominal 6”**	Códigos de dimensionamento de materiais e equipamentos, incluindo válvulas de alívio de pressão e sistemas de controlo de parâmetros críticos (nível e pressão)	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistema de controlo e deteção e contenção de fugas	Redução da magnitude das consequências
	Controlo do plano de carga recorrendo a meios informáticos onde são definidos produtos, quantidades e procedimentos a seguir	Redução da probabilidade de ocorrência
	Supervisão do processo por recorrendo a meios informáticos e possibilidade de isolar os circuitos através de válvulas de comando à distância	Redução da magnitude das consequências
	Condições de instalação (distâncias de segurança)	Redução da probabilidade de ocorrência e da magnitude das consequências
	Ligação dos reservatórios, tubagens e acessórios a sistema de rede equipotencial e para-raios	Redução da probabilidade de ocorrência
	Implementação do manual de proteção contra explosões (Diretiva ATEX)	Redução da probabilidade de ocorrência
	Sistemas de combate a incêndios dedicados às linhas e monitores de água instalados em locais estratégicos	Redução da magnitude das consequências
	Vigilância e controlo de acessos e sistema CCTV	Redução da probabilidade de ocorrência
	Vias de circulação interna claramente definidas e sem necessidade de os veículos de transporte efetuarem manobras complicadas	Redução da probabilidade de ocorrência
	Plano de emergência (incluindo as equipas, organização e meios disponíveis no local, fixos e portáteis/móveis)	Redução da magnitude das consequências
	Procedimentos de operação e/ou qualificação dos operadores para todas as atividades, incluindo as de rotina e ocasionais	Redução da probabilidade de ocorrência
	Existência de um programa de manutenção preventiva baseado em ações de inspeção e prova a sistemas e equipamentos	Redução da probabilidade de ocorrência
	Procedimento de autorizações de trabalho	Redução da probabilidade de ocorrência
	Formação e treino (inicial e contínua) aos operadores nos processos de operação, incluindo as ações e procedimentos em caso de incidente	Redução da magnitude das consequências

Para além das medidas descritas na tabela anterior, há ainda que ter em conta um conjunto de medidas transversais, relacionadas não só com a segurança da instalação de GPL da

PRIO mas principalmente com a segurança no geral do Parque de Tanques, que existem e que estão implementadas, como sejam:

- Planos de manutenção que incluem a inspeção e provas periódica a reservatórios e equipamentos selecionados;
- Existência de Manual ATEX e identificação das zonas com atmosferas potencialmente explosivas e controlo efetivo das fontes de ignição;
- Existência de Plano de Emergência e organização para a emergência testada e treinada;
- Existência de Sistema de deteção de gases e chama que ativam alarmes, havendo depois o acionamento (remoto ou local) da válvula de dilúvio que alimenta a tubagem do sistema arrefecimento por água dos reservatórios de GPL;
- Sistema de incêndio com central de bombagem redundante e com a possibilidade de funcionamento sem recurso à rede elétrica, garantindo a autonomia necessária para o pior cenário, quer em termos de combustível quer em termos de abastecimento de água;
- Circuito de incêndio em anel, permitindo que em caso de eventual rotura de troço de tubagem se mantenha caudal em outras bocas de incêndio;
- Tanque de água de incêndio dedicado ao circuito de incêndio.

3.2 2.F.11.3.2. MODELAÇÃO DOS CENÁRIOS SELECIONADOS

A modelação dos cenários foi efetuada com base em pressupostos que, traduzindo uma simplificação da realidade, permitem uma boa aproximação dos possíveis desenvolvimentos, a saber:

- As consequências dos acidentes modelados refletem as condições mais desfavoráveis, propagação direcional sem grandes interferências de obstáculos, nomeadamente no que se refere ao alcance de níveis de radiação e efeitos de dispersão;
- Todas as distâncias apresentadas têm como origem o centro geométrico do local onde ocorre o evento e representam distâncias máximas, na direção do vento e ao nível do solo;

- A dispersão de nuvens inflamáveis foi modelada até 50% do limite inferior de inflamabilidade (LII) da substância em causa;
- Perda de carga numa fuga. Nos cenários em que foi considerada a fuga de GPL por reservatório assumiu-se como perda de carga, devida à geometria e irregularidade do orifício de descarga os valores seguintes:
    - 38% para roturas de reservatórios
    - 0% para roturas totais de tubagens
- Perda de carga numa fuga - No cenário em que foi considerada a fuga de GPL por um orifício de garrafa, assumiu-se como perda de carga, devida à geometria e regularidade do orifício o valor de 1;
- Nos cenários em que ocorre uma fuga, seguida de explosão da nuvem libertada/vaporizada, em regime de ignição retardada, foi calculada a maior massa explosiva suscetível de se formar, determinada pelos modelos utilizados;
- Na representação da radiação emitida em cenários de incêndio em jacto (*jet fire*), são desenhadas as áreas de influência da radiação incidente sob a forma radial em torno da fonte, independentemente da direção do jacto face à imprevisibilidade de determinação da sua direção exata que dependerá da localização do local onde se localiza a fuga;
- Na modelação de cenários que envolvem a formação de jactos inflamados em tubagens e reservatórios considerou-se que o jacto se formará com uma inclinação de 45º em relação à horizontal;
- Nos cenários em que foi considerado o derrame de produto, foi assumido que a área máxima que o derrame poderia ocupar, não existindo barreiras físicas que o limitem, como por exemplo uma bacia de retenção, seria de 300 m^2;

  No caso de existirem barreiras físicas que limitem a dispersão do derrame, a área máxima considerada para o cenário respetivo foi a área limitada pelas barreiras físicas;
- Nos cenários em que ocorre derrame, seguido de explosão da nuvem vaporizada, em regime de ignição retardada, foi calculada a massa explosiva presente com base num retardo à ignição de 10 minutos ou determinada pelos modelos utilizados;

- Nos cenários de rotura de tubagem adotou-se uma abordagem conservadora ao considerar que o tempo necessário para atuação dos operadores no isolamento dos circuitos ou para eventual isolamento automático, seria no máximo 300 segundos;
- A direção do vento utilizada foi a que maior frequência apresenta ao longo do ano, isto é noroeste (NW);
- Em termos meteorológicos, foram seguidas as recomendações para a modelação de cenários constantes no *Purple Book*. Assim, foi considerado o regime mais frequente dentro dos critérios da publicação referida, vento de 5 ms^{-1} com estabilidade atmosférica neutra (classe D), que se representará por condição D/5;
- Considera-se que as condições atmosféricas se mantêm durante um período de tempo elevado e em toda a área abrangida pela nuvem dispersa, dentro dos limites das concentrações de estudo;

Os efeitos dos cenários foram calculados tendo em conta os valores de referência constantes na tabela seguinte.

Tabela 14 - Valores-limite para a determinação das distâncias de segurança

	LIMIAR DA POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE LETALIDADE	LIMIAR DA POSSIBILIDADE DE OCORRÊNCIA DE EFEITOS IRREVERSÍVEIS NA SAÚDE HUMANA
Dose tóxica*	AEGL 3* (60 min)	AEGL 2 (60 min)
Radiação térmica (exposição de 30 s)	7 kW/m^2	5 kW/m^2
Inflamabilidade	50% Limite inferior de inflamabilidade	---
Sobrepressão	0,14 bar	0,05 bar

* A dose tóxica não é relevante face aos valores do limite inferior de inflamabilidade do GPL.

AEGL - *Acute Exposure Guideline Levels*, Environment Protection Agency, EUA.

A determinação dos efeitos e das consequências dos acidentes industriais graves considerados foi feita com recurso aos modelos matemáticos incluídos no *package* **EFFECTS 9.0.23**, produzido e distribuído pelo TNO (Holanda), que contém os modelos para a determinação dos efeitos físicos e as consequências da libertação de produtos perigosos e incorpora os elementos constantes nas publicações *Yellow Book* (edição de 2005) e *Green Book* (edição de 1992), ambos produzidos e editados pelo TNO (Holanda).

O desenvolvimento dos cenários considerados, nos termos e valores-limite referidos encontram-se disponíveis no anexo D.

4 2.F.11.4. DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS SELECIONADOS

A descrição dos cenários selecionados, os resultados obtidos e as respetivas consequências, estão disponíveis no anexo D, onde estão indicados:

- Os equipamentos envolvidos e a sua localização;
- A massa libertada e a quantidade presente;
- O acontecimento crítico e o fenómeno perigoso em análise;
- O tempo de libertação, o caudal e o diâmetro de fuga;
- As condições meteorológicas mais frequentes.

No quadro seguinte estão resumidos os resultados dos principais alcances dos cenários considerados.

Tabela 15 - Resumo dos alcances dos cenários considerados

ACIDENTE	DISPERSÃO NUVEM LII/2 (m)		DISTÂNCIA INCÊNDIO DE JACTO (m)		DISTÂNCIA INCÊNDIO DE DERRAME (m)		DISTÂNCIA SOBREPRESSÃO (m)	
	C	L	5,0 kW/m^2	7,0 kW/m^2	5,0 kW/m^2	7,0 kW/m^2	50 mbar	140 mbar
Cenário A - Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	--	--	60	50	--	--	62	27
Cenário B - Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	--	--	60	50	--	--	62	27
Cenário C - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	5,4	0,6	6,3	5,6	--	--	--	--
Cenário D - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo parque garrafas	5,4	0,6	6,3	5,6	--	--	--	--
Cenário E - Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)	34	8	23	21	52	47	18	6
Cenário F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	43	9	85	74	52	47	27	9
Cenário G - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”	44	10	82	72	52	47	27	10
Cenário H - Rotura total tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	47	11	94	83	52	47	28	10

Como anteriormente referido, no anexo D estão disponíveis os resultados dos desenvolvimentos dos cenários considerados, as suas consequências e as respetivas modelações. Neste estudo foram consideradas as massas libertadas e as quantidades máximas presentes nos locais em estudo da instalação em projeto, a explicação do acontecimento critico e do fenómeno perigoso, as condições meteorológicas mais frequentes no local e as representações gráficas dos alcances perante os resultados obtidos.

5 2.F.11.5. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ALCANCES

Tendo em conta os resultados obtidos nas modelações dos cenários selecionados e anteriormente descritos, e os limiares expressos na Tabela 13, identificaram-se as zonas de perigosidade representadas na figura seguinte.

Para a definição das zonas de perigosidade foram os representados os maiores alcances de cada um dos efeitos de referência obtidos nas modelações, nomeadamente os valores correspondentes ao limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade e o limiar da possibilidade de ocorrência de efeitos irreversíveis na saúde humana, que se designam por zona de letalidade e por zona de efeitos irreversíveis.

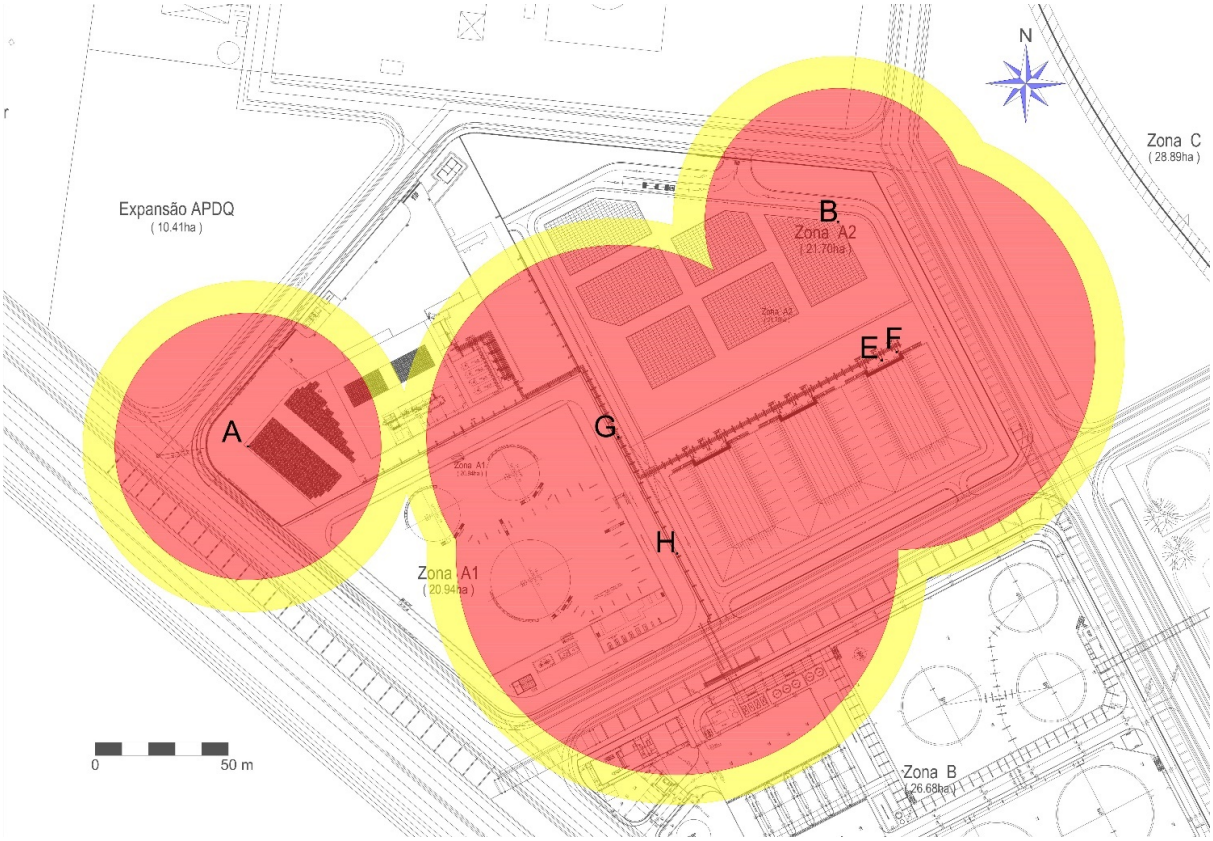


Figura 6 - Representação das zonas de perigosidade

No caso dos cenários considerados no âmbito do presente estudo, os maiores alcances das zonas de limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade e de efeitos irreversíveis correspondem ambos aos obtidos com o cenário H.

6 2.F.11.6. ZONAS DE PERIGOSIDADE

Tendo em conta os resultados obtidos na modelação dos cenários selecionados e os limiares definidos na Tabela 13, identificam-se as zonas de perigosidade da Tabela seguinte.

Estas zonas representam o alcance dos piores cenários obtidos para as três localizações consideradas, ampliação do parque de taras, novo parque de garrafas e novo parque de armazenamento de GPL a granel, correspondendo aos cenários A, B, F e H.

Tabela 16 - Danos para 60 minutos - alcances máximos

CENÁRIO	LIMIAR DE EFEITOS IRREVERSÍVEIS (m)	LIMIAR DA LETALIDADE (m)
Cenário A - Colapso de garrafa de propano G110 – Ampliação do parque de taras	62	50
Cenário B - Colapso de garrafa de propano G110 – Novo parque para garrafas	62	50
Cenário F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”	85	74
Cenário H - Rotura total tubagem do gasoduto- diâmetro nominal 6”	**94**	**83**

Analisando os resultados obtidos, que estão disponíveis no anexo D, verifica-se que, para os cenários considerados, estas áreas atingem distâncias que podem alcançar no máximo os 94 metros no limiar dos efeitos irreversíveis e 83 metros no limiar da letalidade que corresponde ao cenário H. tratando-se de um cenário envolvendo o gasoduto dentro da instalação, este só poderá ocorrer nas proximidades da sua esteira.

Contudo, tratando-se de um efeito da radiação gerada por um jacto inflamado, há que ter em conta que as distâncias obtidas e representadas nas plantas do estabelecimento, não refletem a existência de barreiras físicas à propagação dos efeitos, nomeadamente as estruturas existentes, os muros de delimitação e as diferenças de cota da instalação, factos que poderão diminuir os referidos alcances e consequentemente os seus efeitos.

7 2.F.11.7. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ALCANCES AOS ELEMENTOS CONSTRUÍDOS

A representação gráfica das distâncias obtidas nos cenários estudados e os seus alcances aos elementos construídos estão devidamente identificados no anexo D que inclui os cálculos das modelações. Nenhum dos cenários estudados tem alcance suficiente para atingir algum dos elementos sensíveis identificados anteriormente no ponto 2.E.11.2.

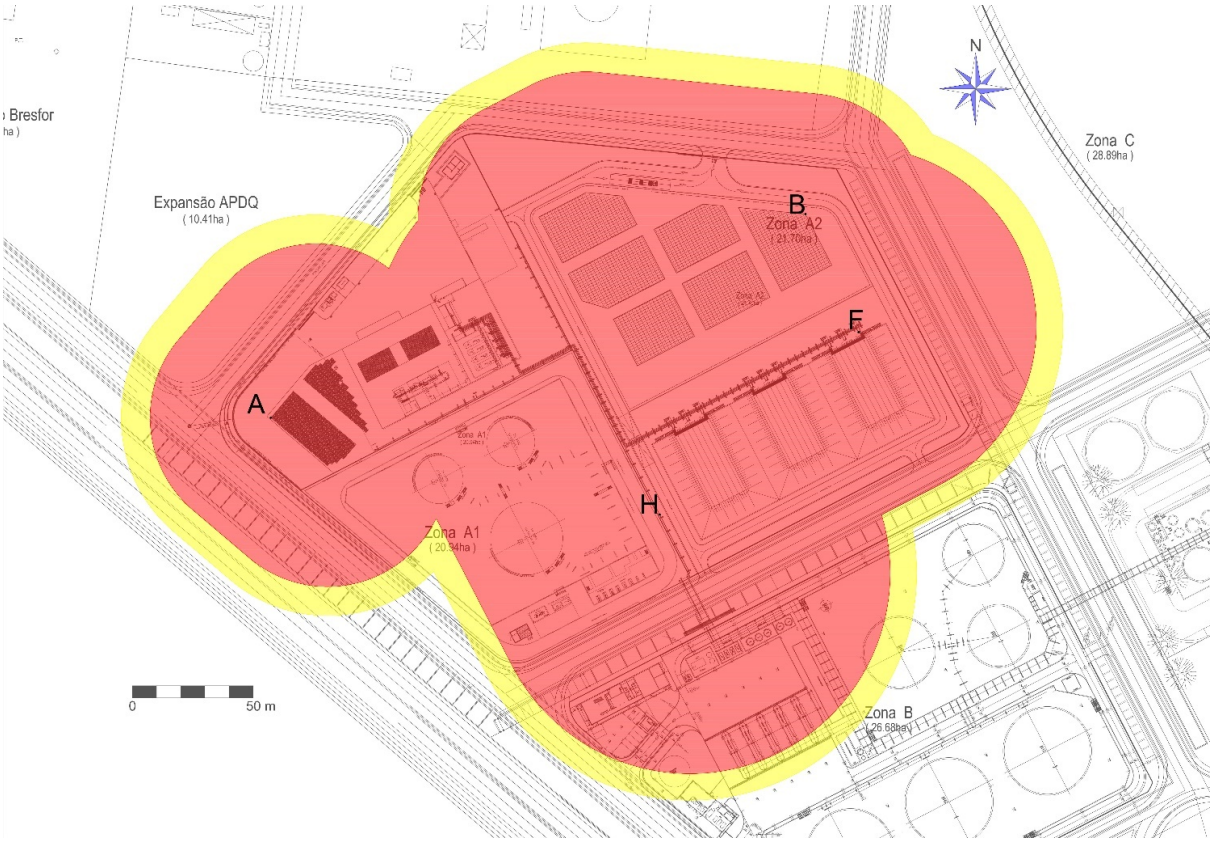


Figura 7 - Representação dos maiores alcances

Como já referido no anexo B inclui-se uma carta, à escala 1:10 000 com indicação da localização da instalação e representação dos elementos relevantes da envolvente.

8 2.F.11.8. CONSEQUÊNCIAS PARA OS ORGANISMOS AQUÁTICOS

A substância envolvida neste projeto, GPL, não é considerada perigosa para os organismos aquáticos.

Na situação de caudais anormais de águas resultantes do combate a incêndio, os sistemas de drenagem separativa existentes e os meios da instalação para contenção de derrames, permitem conter numa primeira fase as eventuais águas e espumas utilizadas em situação de emergência.

9 2.F.11.9. CONCLUSÃO SOBRE O IMPACTE DO PROJETO

Tendo em conta os resultados da análise de risco efetuada ao projeto em estudo e as medidas de segurança previstas e consideradas, verifica-se que, de um modo geral, a probabilidade de ocorrência de um acidente grave é baixa, da ordem de $10^{-5}/10^{-6}$ para os cenários representativos mais gravosos.

No que diz respeito aos cenários diretamente relacionados com o projeto que podem constituir um agravamento do risco do estabelecimento, verifica-se que estes estão contidos no risco existente não alterando os efeitos/consequências dos cenários já anteriormente estudados para todo o estabelecimento. Este facto poderá ser confirmado na figura seguinte em que estão representados os maiores alcances dos cenários nos 7 kW/m^2.

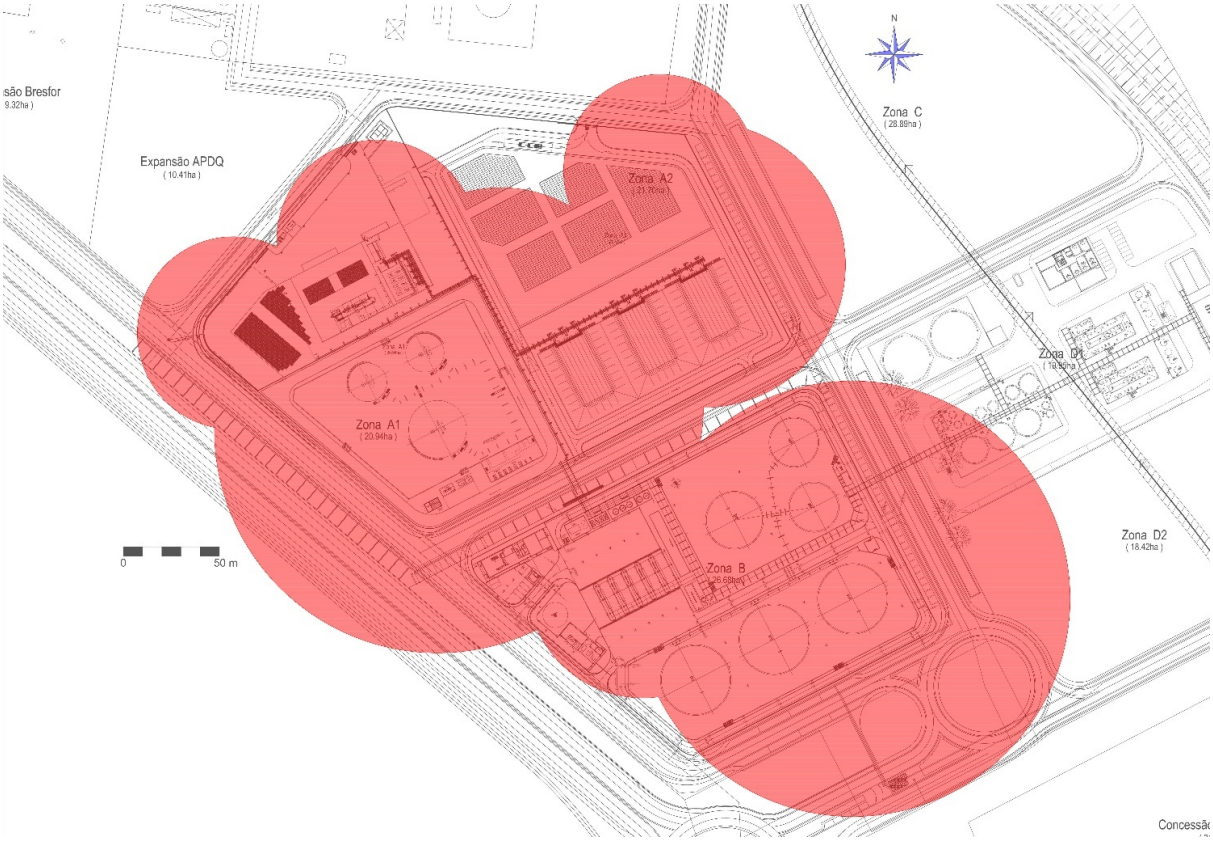


Figura 8 - Alcances globais dos 7 kW/m2 de todo o estabelecimento

Desta forma no que se refere aos restantes cenários suscetíveis de ocorrer no Parque de Tanques existente, estes não são significativamente alterados como resultado da implementação deste projeto de armazenagem de garrafas e de GPL a granel.

Adicionalmente, tendo em conta os resultados da modelação dos cenários, verifica-se que os cenários associados a este projeto ficarão praticamente confinados ao perímetro do estabelecimento, sem produzir efeitos para além dos seus limites, sendo que, mesmo dentro do estabelecimento, não é previsível, exceto em casos excecionais, a afetação de outras unidades para além daquelas em que o incidente possa ter tido origem.

Relativamente aos resultados da modelação dos cenários, verifica-se que as proteções existentes e o facto de se estar perante infraestruturas robustas, os alcances reais e as suas consequências serão bastante menores que as obtidas nas modelações, pois as estruturas edificadas e as diferenças de nível irão reter a propagação quer da radiação quer da eventual formação de nuvens inflamáveis.

Sob o ponto de vista ambiental, os efeitos/consequências dos acidentes suscetíveis de ocorrer serão igualmente reduzidos, tendo em conta as medidas e segurança, ativas e passivas, adotadas não sendo provável que venham a ser afetadas áreas ambientalmente sensíveis.

Quanto aos fatores de qualidade do ambiente relacionados com a normal operação da instalação em projeto, nomeadamente qualidade do ar, água, ruído e áreas sensíveis, não é expectável que venham a ser afetadas na envolvente, e que dessa forma se registem alterações consideráveis, tomando como referência a situação atual, na área abrangida pelo estabelecimento.

Assim, considera-se que o projeto em estudo não constitui uma alteração ao risco já existente e que, tendo em conta as relevantes medidas de segurança existentes, trata-se de um risco perfeitamente aceitável, apresentando-se como impactes positivos importantes, o emprego e a atividade económica local.

ANEXOS

ANEXO A - PLANTAS

SIMBOLOGIA:

- LIMITE DA INTERVENÇÃO
- TUBAGEM DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS A EXECUTAR
- TUBAGEM DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EXISTENTE
- GEODRENOS
- CALEIRA DE DRENAGEM
- CALEIRA DE DRENAGEM COM GRELHA
- CV – CAIXA 60x60cm SIFONADA
- CV – CÂMARA DE VISITA Ø1.00/Ø1.25

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	DESENHOU	DESENHOU	APROVOU
B	10.02.2016	ACTUALIZAÇÃO	AM	.	.

PRIO SUPPLY, S.A.

TERMINAL DE GRANÉIS LIQUIDOS, LOTE-B, PORTO DE AVEIRO
3834-907 GAFANHA DA NAZARÉ
TELEF. 351 234 390 010 FAX. 351 234 390 019

ESTE DOCUMENTO É PROPRIEDADE DA PRIO SUPPLY, S.A. NÃO PODENDO SER COPIADO, REPRODUZIDO, UTILIZADO NO TODO OU EM PARTE, OU COMUNICADO A TERCEIROS SEM A SUA EXPRESSA AUTORIZAÇÃO E DEVERÁ SER DEVOLVIDO QUANDO SOLICITADO

INSTALAÇÃO: PARQUE DE COMBUSTIVEIS, AVEIRO
EXPANSÃO DO PARQUE DE GPL

TÍTULO:

DIRECÇÃO E COORDENAÇÃO

PROJECTO DE LICENCIAMENTO
REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS
PLANTA

DESENHOU	AM	22.01.2016
VERIFICOU	.	.
APROVOU	.	.

ESCALAS: 1:250

FICHEIRO: .

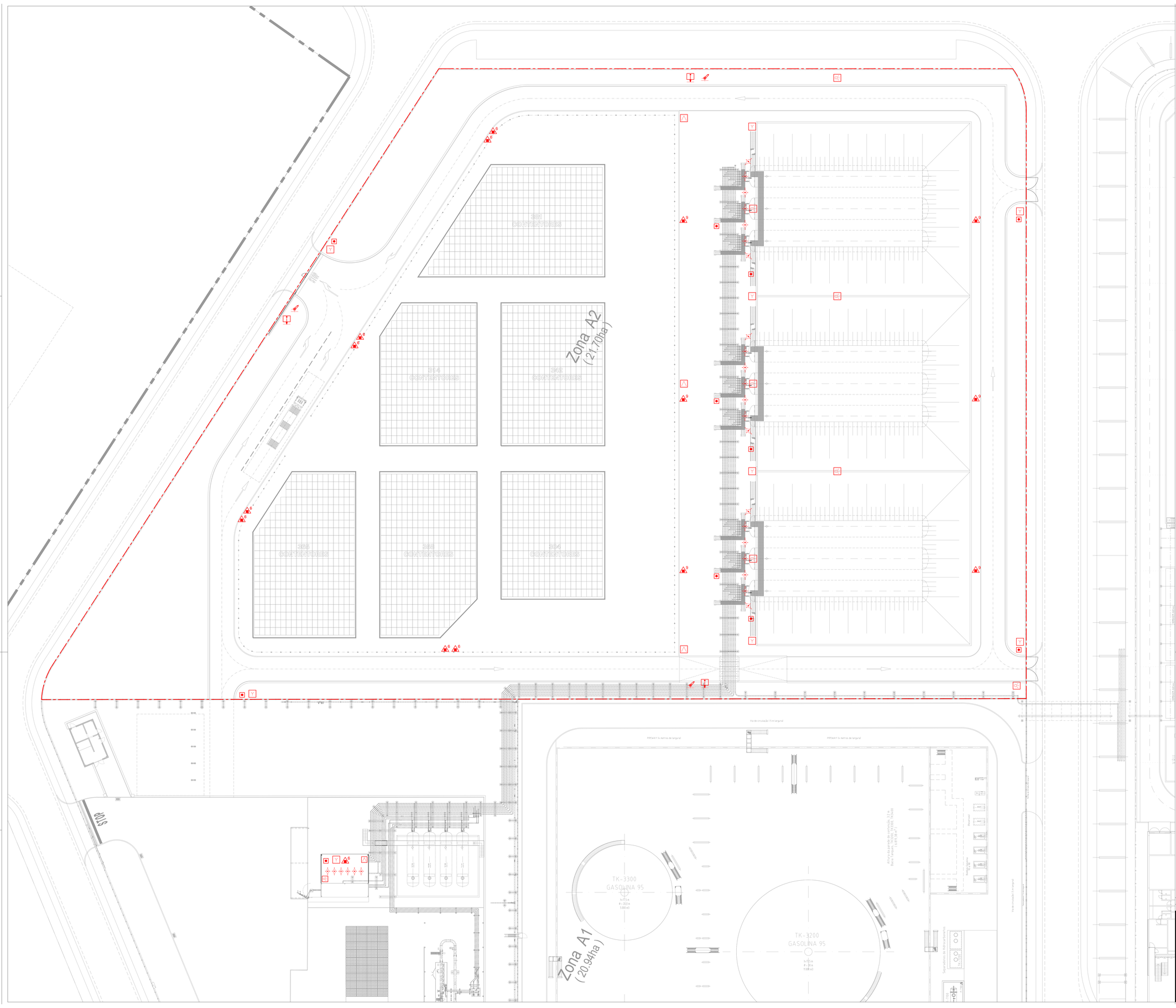
DESENHO Nº: 13678.02.PL.DC.04

REVISÃO: 0 A B

SUBSTITUI: .

SUBSTITUÍDO POR: .

PROTÉCNICO
Projectos e Empreendimentos Técnicos
RUA JOÃO GONÇALVES NETO, 63 – AP. 34 ARADAS 3811-801 AVEIRO
TEL. 234 377 370 | FAX. 234 377 371 | protecnico.geral@netvisao.pt | www.protecnico.pt



SIMBOLOGIA:

- LIMITE DA INTERVENÇÃO

MEIOS DE 1ª INTERVENÇÃO:

- EXTINTOR PORTÁTIL DE PÓ QUIMICO ABC COM CAPACIDADE INDICADA

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETEÇÃO DE INCÊNDIOS:

- BOTONEIRA MANUAL DE ALARME
- DETETOR DE CHAMAS

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE DETEÇÃO DE GÁS:

- DETETOR DE GÁS

SISTEMAS DE ÁGUA DE ARREFECIMENTO:

- DIFUSORES (ARREFECIMENTO)

REDE DE INCÊNDIOS:

- CANHÃO MONITOR 3800L/MIN C/ 65M DE ALCANCE
- HIDRANTE STORZ (2X50MM+1X75MM) + CAIXA DE INTEMPÉRIE

CORTES DE ENERGIA:

- BOTONEIRA DE PARAGEM DE EMERGÊNCIA (ESD)

REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	DESENHOU	DESENHOU	APROVOU
B	10.02.2016	INTRODUÇÃO DE NOVOS EQUIPAMENTOS	AM	-	-

prio

PRIO SUPPLY, S.A.

TERMINAL DE GRANÉIS LIQUIDOS, LOTE-B, PORTO DE AVEIRO
3834-907 GAFANHA DA NAZARÉ
TELEF. 351 234 390 010 FAX. 351 234 390 019

ESTE DOCUMENTO É PROPRIEDADE DA PRIO SUPPLY, S.A. NÃO PODENDO SER COPIADO, REPRODUZIDO, UTILIZADO NO TODO OU EM PARTE, OU COMUNICADO A TERCEIROS SEM A SUA EXPRESSA AUTORIZAÇÃO E DEVERÁ SER DEVOLVIDO QUANDO SOLICITADO

INSTALAÇÃO: PARQUE DE COMBUSTÍVEIS, AVEIRO
EXPANSÃO DO PARQUE DE GPL

TÍTULO: **DIRECÇÃO E COORDENAÇÃO**
PROJECTO DE LICENCIAMENTO
SISTEMAS DE DETEÇÃO E EXTINÇÃO DE INCÊNDIOS
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

DESENHOU:	CP	27.01.2016
VERIFICOU:	-	-
APROVOU:	-	-
ESCALAS:	1:250	
FICHEIRO:		

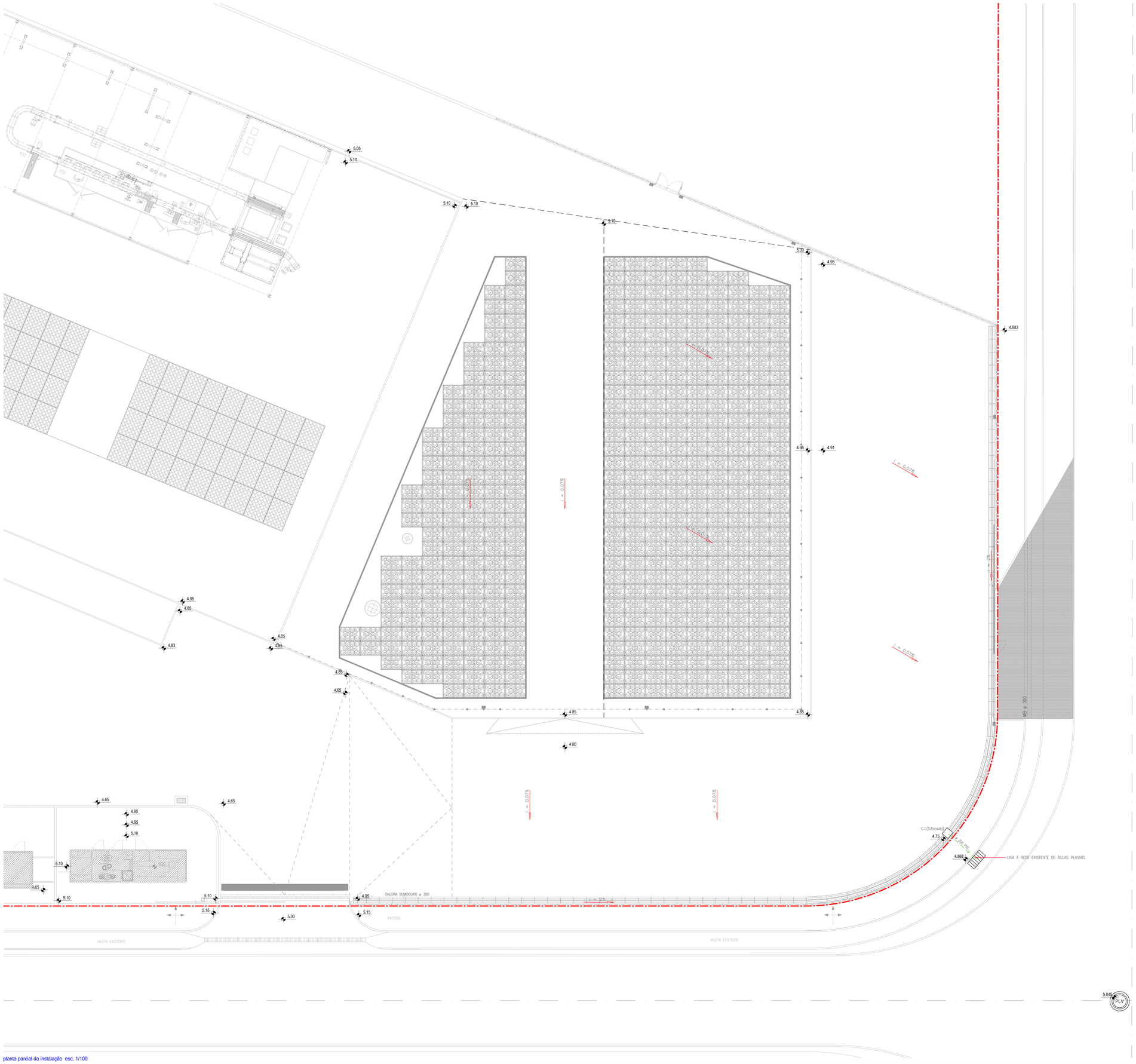
DESENHO Nº: 13678.02.PL.DC.11

REVISÃO	0	A	B				

SUBSTITUI:

SUBSTITUIDO POR:

PROTÉCNICO
PROTECÇÃO E CONTROLO DE RISCOS
RUA JOÃO GONÇALVES NETO, 63 – AP. 34 ARADAS 3811-801 AVEIRO
TEL. 234 377 370 | FAX. 234 377 371 | protecnico.geral@netvisao.pt | www.protecnico.pt



planta parcial da instalação esc. 1/100

Legenda Drenagens

SIMBOLO	DESIGNAÇÃO
	– Rede de Águas Pluviais
	– tubo de queda de águas pluviais
	– Coluna de ventilação
	– Sentido de escoamento
	– Câmara de inspecção (C.I.)
	– Sumidouro
C.R.L.	– Caixa Ramal de Ligação

n – número do tubo de queda
– diâmetro de tubo de queda
i – inclinação do tubagem

MATERIAIS
B – Betão
FG – Ferro galvanizado
MB – Manilha de betão
FC – Fibrocimento
G – Grés
PVC – Policloreto de vinilo
PE – Polietileno
PP – Polipropileno

- LIMITE DE PROPRIEDADE

Desenho Nº	Alterações	Data

Técnico Responsável: Luís Manuel Babo Simões
Eng.º Téc. Civil - Membro nº 4291 (OET)* Projectista nº 4058
Assinatura:

Projectista:
petrocivil INSTALADORES E PROJECTISTAS ESTRUTURAS, LDA.
Rua do Rego Lameiro, 50-1º - 4300 - 454 PORTO
Tel: 225 371 194 / Tlm: 935 371 194
www.petrocivil.pt
E-Mail: petrocivil@petrocivil.pt

prio energy

Proprietário:
PRIO SUPPLY, S.A.

Morada da Instalação:
TGL - Terminal de Granéis Líquidos, Lote B - Porto de Aveiro
Freguesia de Gafanha da Nazaré - Concelho de Ilhavo - Distrito de Aveiro

Caracterização da Instalação:
PARQUE DE ARMAZENAGEM DE GPL
LICENCIAMENTO

Descrição:
Projecto para a construção de um parque do "Tipo A" para armazenagem de 9.064 garrafas de G110 LTS. Capacidade total - 997,04 Toneladas

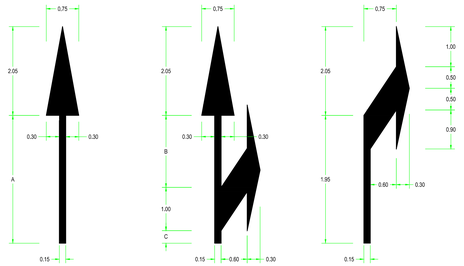
Designação:
planta parcial (Drenagem de Águas Pluviais)

Projectou:			Projecto Nº	Desenho Nº
Desenhou:	Rui Simões	26 Janeiro 2016	2016.016.R0	07
Verificou:				
Escalas: 1/100			File:	Plot Scale: 10:1

Este desenho é propriedade da "PETROCIVIL". Não podendo ser reproduzido sem autorização previa.

Desenho Assinado por computador, Audiocad 2005

SETAS DE SELECÇÃO



90<V15<40 Km/h	
L=5,00m	L=6,00m
A=2,95	A=3,95
B=1,66	B=2,16
C=0,29	C=0,79
D=2,25	D=3,25
E=1,00	E=1,00
F=0,90	F=0,90
G=1,75	G=1,75

NOTAS:

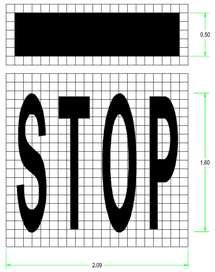
- V15 CORRESPONDE À VELOCIDADE QUE SÓ É ULTRAPASSADA POR 15% DOS CONDUTORES

- A TINTA DAS PINTURAS NO PAVIMENTO DEVERÃO SER COM TINTA TERMOPLÁSTICA NA COR BRANCA, EXCEPTO AS PINTURAS DE LUGARES RESERVADOS A DEFICIENTES E GPL QUE DEVERÃO SER AMARELAS.

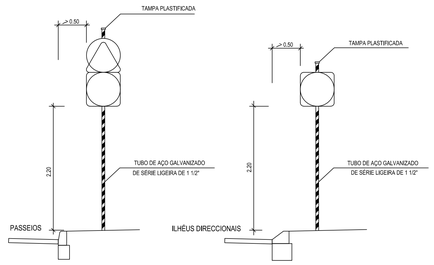
- PINTURAS DE LETRAS NA RODOVIA DE ACORDO COM A NORMA DA JAE P13.1.2/95

- DIMENSÕES CORES E FORMAS DE ACORDO COM O DECRETO REGULAMENTAR 22-A/98.

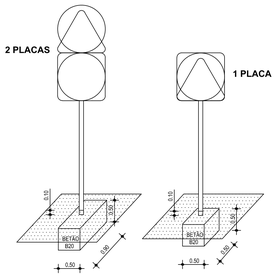
STOP



LOCALIZAÇÃO SINALIZAÇÃO VERTICAL



INSTALAÇÃO SINALIZAÇÃO VERTICAL



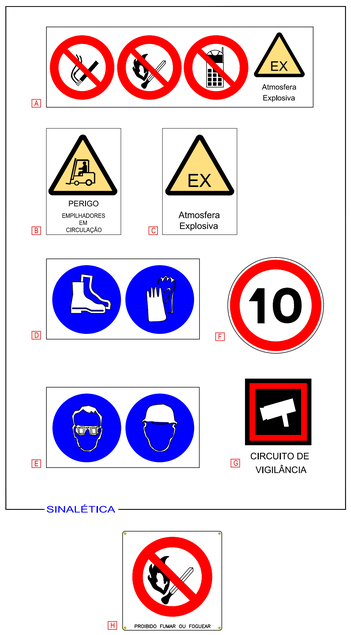
Legenda (Meios de combate)

- EXTINTOR DE PÓ QUIMICO ABC DE 6 Kg
- EXTINTOR DE PÓ QUIMICO ABC SOBRE RODAS DE 25 Kg
- CONE DE SINALIZAÇÃO TEMPORÁRIA (A área de estacionamento onde permanece o veiculo cisterna deverá estar devidamente sinalizado)
- BOTONEIRA MANUAL DE ALARME DE INCÊNDIO

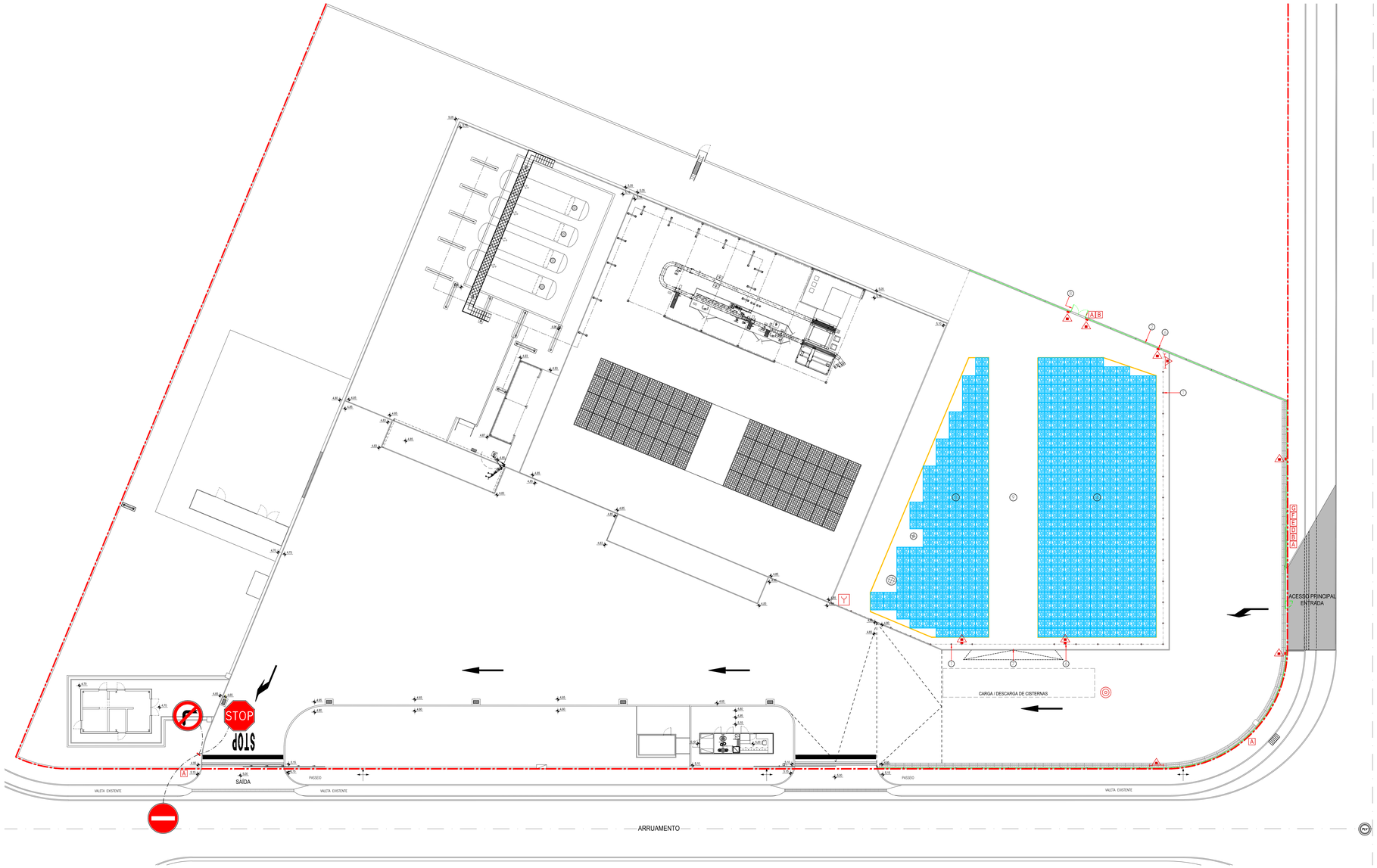
9 - PAVIMENTO EM BETÃO HIDRAÚLICO
8 - PORTA DE DUAS FOLHAS DE ABRIR PARA O EXTERIOR (2,00m)
7 - ABERTURA PARA CARGA E DESCARGA DOS CONTENTORES (10.00m)
6 - EXTINTOR DE PÓ QUIMICO 6 KG DO TIPO A,B,C
5 - INDICADOR: "É PROIBIDO FUMAR OU FOGUEAR" (ver pormenor A)
4 - AREA DEMARCADA NO PAVIMENTO PARA ARMAZENAGEM DE 546 CONTENTORES DE 11 GARRAFAS CADA DE 110L
3 - AREA DEMARCADA NO PAVIMENTO PARA ARMAZENAGEM DE 278 CONTENTORES DE 11 GARRAFAS CADA DE 110L
2 - VEDAÇÃO EM PRUMOS E REDE METÁLICA DE MALHA # ≤ 50mm
1 - BALIZADOR REDONDO FIXO ø10cm, EM POLÍMERO DE ALTA DENSIDADE (1.00m ALTURA)

Legenda

- LIMITE DE PROPRIEDADE



SINALÉTICA



planta geral da instalação esc. 1/200

Desenho Nº	Alterações	Data

Técnico Responsável: Luís Manuel Babo Simões — Assinatura:
Engº Tec. Civil - Membro nº 4291 (OE)"7 Projectista nº 4058

Projectista:
petrocivil — PROJECTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS, LDA
Rua do Rego Lameiro, 50-1º - 4300 - 454 PORTO
Tel: 225 371 194 / Fax: 939 371 194
www.petrocivil.pt
e-Mail: petrocivil@petrocivil.pt

prio energy

Proprietário: PRIO SUPPLY, S.A.

Morada da Instalação: TGL - Terminal de Granéis Líquidos, Lote B - Porto de Aveiro
Freguesia de Gafanha da Nazaré - Concelho de Ilhavo - Distrito de Aveiro

Caracterização da Instalação: PARQUE DE ARMAZENAGEM DE GPL
LICENCIAMENTO

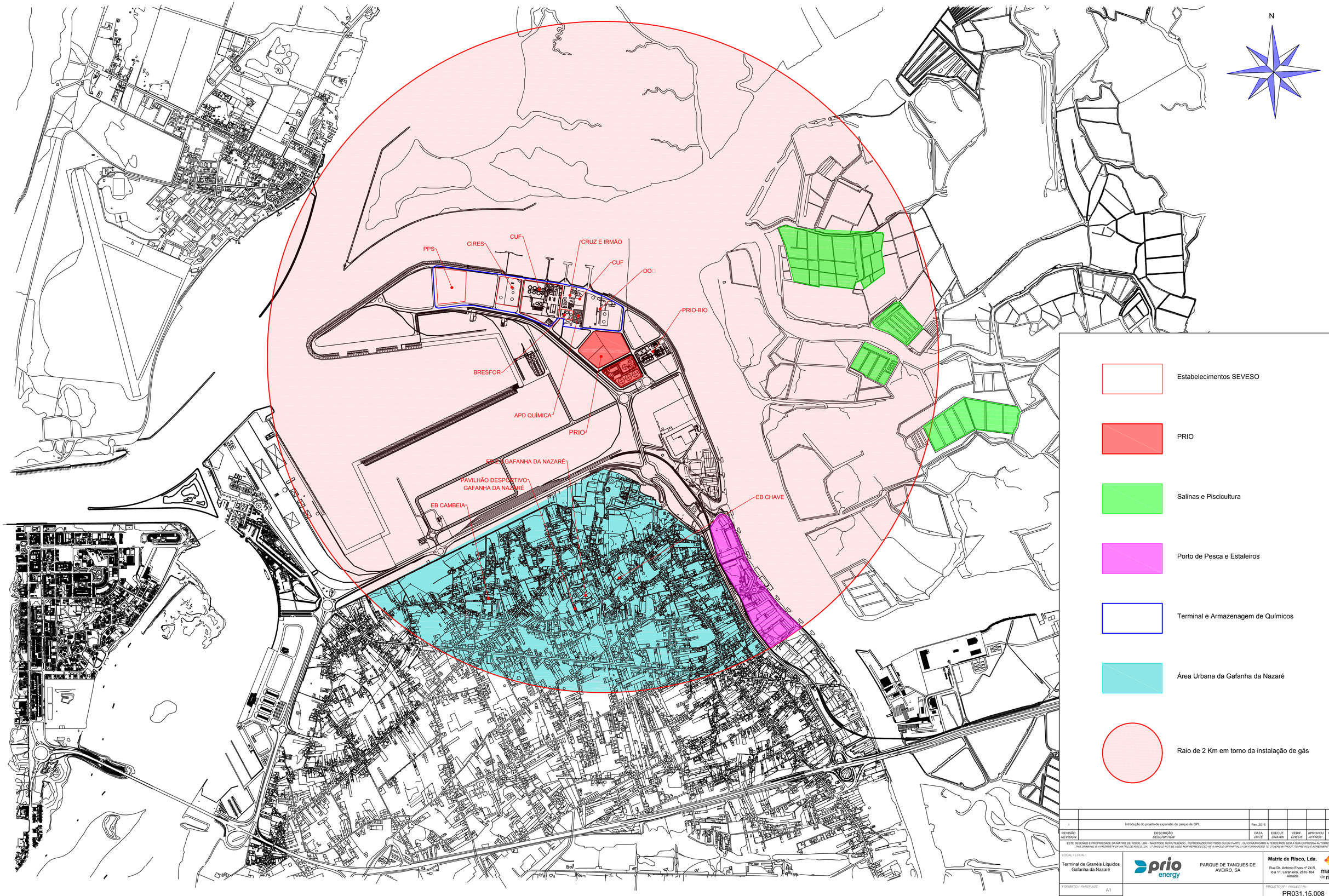
Descrição: Projecto para a construção de um parque do "Tipo A" para armazenagem de 9.064 garrafas de G110 LTS. Capacidade total - 997.04 Toneladas

Designação: planta geral (Segurança e Meios de 1ª Intervenção)

			Projecto Nº	Desenho Nº
Projectou:			2016.016.R0	08
Desenhou:	Rui Simões	25 Janeiro 2016		
Verificou:				
Escalas: 1:200			Fls:	Ref. Scale: 10:1

Este desenho é propriedade da "PETROCIVIL". Não podendo ser reproduzido sem autorização prévia.
Este desenho foi executado por computador. Autodesk 2009

ANEXO B – CARTAS DA ENVOLVENTE 1:10 000 E 1:25 000



REVISÃO / REVISION	DESCRIÇÃO / DESCRIPTION	DATA / DATE	EXECUT. / DRAWN	VERIF. / CHECK	APROVOU / APPROV.	CLIENTE / CLIENT
1	Introdução do projeto de expansão do parque de GPL	Fev. 2016				

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE DA MATRIZ DE RISCO, LDA. - NÃO PODE SER UTILIZADO , REPRODUZIDO NO TODO OU EM PARTE , OU COMUNICADO A TERCEIROS SEM A SUA EXPRESSA AUTORIZAÇÃO
THIS DRAWING IS A PROPERTY OF MATRIZ DE RISCO,LDA. - IT SHOULD NOT BE USED NOR REPRODUCED AS A WHOLE OR PARTIALLY OR FORWARDED TO OTHERS WITHOUT ITS PREVIOUS AGREEMENT

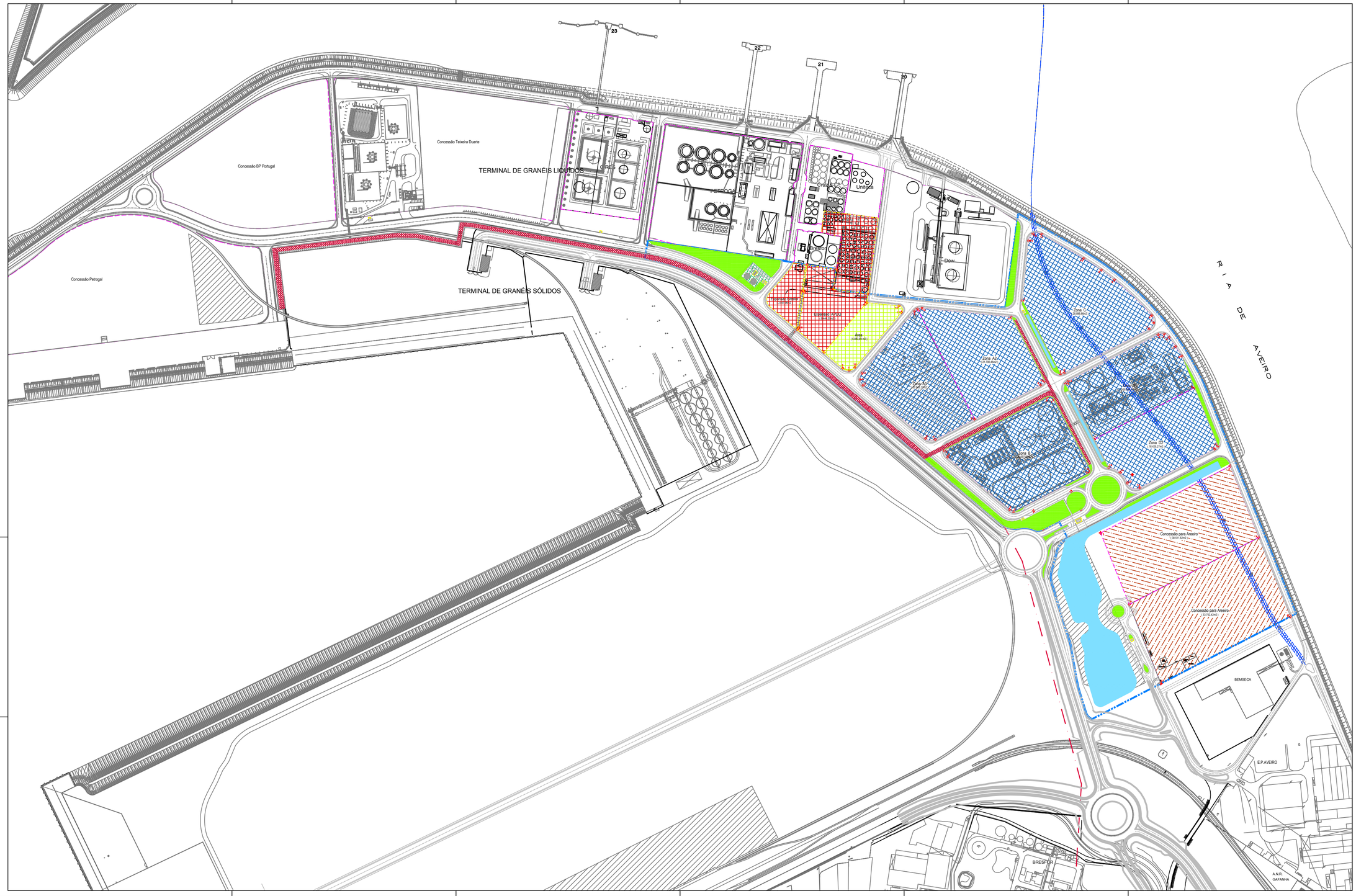
LOCAL / *LOCAL*:
Terminal de Granéis Líquidos Gafanha da Nazaré

PARQUE DE TANQUES DE AVEIRO, SA

Matriz de Risco, Lda.
Rua Dr. António Elvas nº 24 B, lo a 11, Laranjeiro, 2810-164 Almada

Envolvente Industrial e Urbana

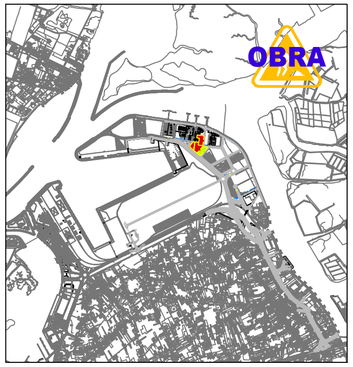
FORMATO / *PAPER SIZE*:	A1
PLOT / *PLOT SCALE*:	1:1
ESCALAS / *SCALES*:	1:10000
FOLHA Nº / *SHEET No.*:	1/1
PROJETO Nº / *PROJECT No.*:	PR031.15.008
DESENHO Nº / *DRAWING No.*:	PR031.15.008.001
Nº CLIENTE (DESENHO) / *CLIENT'S DRAWING No.*:	



PONTO		EXPANSÃO	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	AREEIROS
1	M	-48.696,05	-48.562,45	-48.518,22	-48.390,27	-48.270,57	-48.259,89
	P	109.753,09	109.687,47	109.453,56	109.668,43	109.471,65	109.317,40
2	M	-48.744,85	-48.567,54	-48.513,05	-48.389,44	-48.318,26	-48.045,87
	P	109.760,23	109.683,61	109.513,05	109.584,36	109.564,07	109.427,94
3	M	-48.751,23	-48.653,96	-48.410,36	-48.386,42	-48.313,68	-47.999,52
	P	109.716,87	109.591,48	109.355,40	109.678,52	109.568,19	109.309,89
4	M	-48.749,39	-48.657,56	-48.403,15	-48.379,31	-48.156,02	-48.212,63
	P	109.716,63	109.570,74	109.351,91	109.682,19	109.645,00	109.199,26
5	M	-48.758,20	-48.652,43	-48.278,45	-48326,50	-48.154,90	-48.160,38
	P	109.656,46	109.560,64	109.416,32	109.379,93	109.646,23	109.068,67
6	M	-48.761,20	-48.549,35	-48.276,41	-48.319,85	-48.146,43	-47.966,10
	P	109.652,87	109.473,24	109.420,41	109.581,56	109.640,58	109.179,35
7	M	-48.716,85	-48.533,15	-48.336,90	-48.179,56	-48.136,75	
	P	109.615,26	109.471,40	109.537,53	109.654,01	109.625,23	
8	M	-48.685,59	-48.468,00	-48.348,53	-48.175,30	-48.125,66	
	P	109.589,09	109.509,05	109565,44	109.676,71	109609,48	
9	M	-48.675,31	-48508,95		-48.237,07	-48.134,73	
	P	109.585,87	109.561,37		109.735,66	109.557,31	
10	M	-48.665,33	-48.352,56		-48.287,94	-48.066,93	
	P	109.590,81	109.567,85		109.771,04	109.460,62	
11	M	-48.588,54	-48.407,50		-48.357,41	-48.071,41	
	P	109.681,55	109.674,23		109.811,14	109.455,72	
12	M	-48592,96	-48.554,92		-48.371,40	-48.195,36	
	P	109.692,47	109.688,72		109.811,44	109.391,69	
13	M	-48.646,05			-48.379,26	-48.216,06	
	P	109.697,68			109.799,86	109.400,02	
14	M	-48.644,16				-48.227,71	
	P	109.712,31				109.416,71	
15	M	-48.701,99				-48.246,59	
	P	109.720,06				109.425,21	

LEGENDA:

- LIMITE DE ÁREAS CONCESSIONADAS
- ZONA DE IMPLANTAÇÃO DA ESTEIRA DE PIPELINES
- ZONA DE IMPLANTAÇÃO DA ESTEIRA DE PIPELINES (BRESFOR)
- ZONA VERDE
- ZONA DE IMPLANTAÇÃO DE DEPÓSITO DE ÁGUA (1.222,57m2)
- BACIA / CANAL DE DRENAGEM DA ÁGUA DE BOMBAGEM E LAVAGEM DA AREIA
- EXPANSÃO DE ÁREAS CONCESSIONADAS NO ACTUAL TERMINAL QUÍMICO (19.826,68m2)
- NOVAS ÁREAS A CONCESSIONAR NO TGL DO PORTO DE AVEIRO (135.012,80m2)
- CONCESSÃO PARA AREEIROS (64.264,04m2)
- TRAÇADO DO EMISSÁRIO DA SIMRIA E FAIXA DE PROTECÇÃO
- LIMITE DO PLANO (334.523,58m2)



REVISTO	DATA	DESENHADO	VERIFICADO	APROVADO	OBSERVAÇÕES
.	Julho 2015	Sérgio Dias	.	.	Atualização
.	Agosto 2006	Pedro Paiva	.	.	REVISÃO DO PROJECTO

ESTE DESENHO É PROPRIEDADE DO PORTO DE AVEIRO NÃO PODE SER UTILIZADO, COPIADO A TERCEIROS, REPRODUZIDO NO TODO OU EM PARTE SEM EXPRESSA AUTORIZAÇÃO

PROJECTO

ZONA PORTUÁRIA DE AVEIRO

PARQUE LOGÍSTICO EM ÁREA ADJACENTE AO TERMINAL GRANÉIS LÍQUIDOS DO PORTO DE AVEIRO

PROJECTO DE EXECUÇÃO – IMPLANTAÇÃO

DESIGNAÇÃO

IMPLANTAÇÃO/SÍNTESE LOCALIZAÇÃO

Porto de AVEIRO

APA - ADMINISTRAÇÃO DO PORTO DE AVEIRO, S.A.

PROJECTADO	SD	PROJ. Nº	.
DESENHADO	SD	SUBSTITUI	.
VERIFICADO		SUBSTITUIDO	.
APROVADO		DATA	JULHO 2015
		ESCALAS	1:2000 1:25000
		DESENHO Nº	10.100

DINF
Direcção de Infra-estruturas

ANEXO C - RESULTADOS DA ANÁLISE HISTÓRICA DE ACIDENTES

Ano	País	Atividade	Localização	Reservatório	Causa	Evento inicial	Consequência	Mortes	Feridos	Substância
1970	GB	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Humana	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1971	NL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Bleve/Incêndio/Fuga			Butane
1974	D	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	Desconhecida	Explosão/Incêndio			Butane
1975	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Técnica	Manutenção	Bleve/Incêndio/Fuga			Butane
1982	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1984	MEX	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Humana	Manutenção	Bleve/Incêndio/Fuga	☠	✚	LPG
1984	NL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Humana	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Butane
1985	GB	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga		✚	LPG
1985	NL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Humana	Manutenção	Explosão/Incêndio			Propane
1986	NL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Técnica	Curto-circuito	Explosão/Incêndio			Propane
1990	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	Manutenção	Bleve/Incêndio/Fuga			LPG
1994	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Técnica	Curto-circuito	Explosão/Incêndio			Propane
1999	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	Manutenção	Fuga			LPG
1999	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2000	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Humana	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga		✚	Propane
2002	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio		✚	Propane
2003	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Operação	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga		✚	LPG
2003	MAL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Natural	Desconhecida	Explosão/Incêndio			LPG
2004	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio		✚	LPG
2004	CDN	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Operação	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2004	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Natural	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga		✚	Propane
2006	F	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	Desconhecida	Bleve/Incêndio/Fuga		✚	LPG
2009	RH	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Operação	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2011	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Cylinder/Canister	Desconhecida	Desconhecida	Bleve/Incêndio/Fuga		✚	LPG

Ano	País	Atividade	Localização	Reservatório	Causa	Evento inicial	Consequência	Mortes	Feridos	Substância
1951	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Natural	Manutenção	Fuga			Butane
1974	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			LPG
1980	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio			Propane
1980	D	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Manutenção	Fuga			Butane
1980	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Desconhecida	Explosão/Incêndio			LPG
1981	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank/Reservoir	Natural	Queda Raio	Incêndio/Fuga			Propane
1983	E	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			LPG
1983	TT	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			LPG
1984	NL	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Manutenção	Incêndio/Fuga			LPG
1986	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Colisão	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1989	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1992	D	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Colisão	Fuga			Butane
1992	I	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank/Pipeline	Desconhecida	Desconhecida	Fuga			LPG
1993	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Incêndio			Propane
1994	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Explosão/Fuga			Propane
1994	D	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1998	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
1998	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Sabotagem/Vandalismo/Terrorismo	Colisão	Incêndio/Fuga			Propane
1998	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Manutenção	Fuga			LPG
1999	F	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Colisão	Incêndio/Fuga			Propane
2000	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Natural	Fuga			Propane
2000	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Fuga			LPG
2001	CDN	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Curto-circuito	Explosão/Incêndio			Propane
2001	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Colisão	Fuga			Propane
2001	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Colisão	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2001	I	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Manutenção	Fuga			LPG
2002	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Natural	Queda Raio	Incêndio/Fuga			Propane
2002	I	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Operação	Desconhecida	Fuga			LPG
2003	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2005	AUS	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Fuga			LPG
2005	GB	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Desconhecida	Desconhecida	Fuga			LPG
2006	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Técnica	Desconhecida	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2006	CN	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Humana	Desconhecida	Fuga			LPG
2008	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Pipeline	Técnica	Manutenção	Explosão/Incêndio/Fuga			Propane
2010	USA	STORAGE	STORAGE/DEPOT	Tank	Operação	Colisão	Incêndio/Fuga			LPG

ANEXO D - CENÁRIOS DE ACIDENTE

Cenário A - Colapso de Garrafa de propano G110 – Ampliação do Parque de Taras (Oeste)

Condições Específicas do Acidente	

• Colapso de garrafa de propano - G110
• Um incidente no parque levou ao colapso de uma garrafa
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Massa de produto na garrafa 45 kg	

PROBABILIDADES	
Fuga sem ignição - 8,16 × 10^{-3}	**Inflamação – 9,06 × 10^{-4}**

EFEITOS

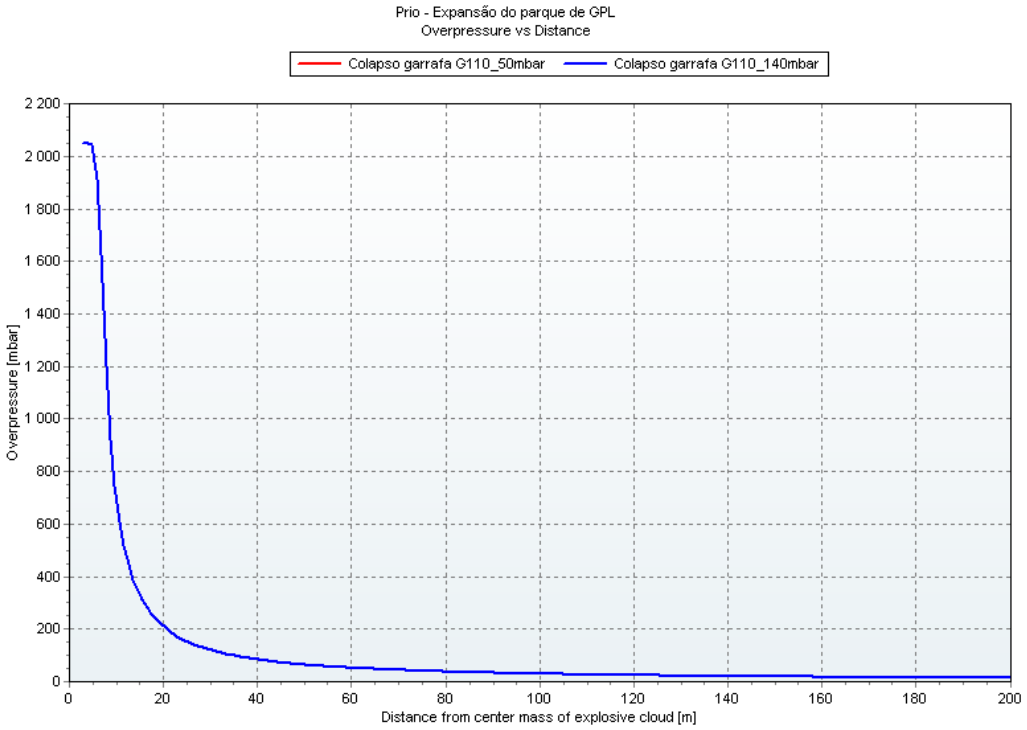
Explosão

Para o cálculo dos efeitos deste cenário utilizou-se o modelo de rebentamento de reservatório sob pressão *Model: Explosion (Multi Energy model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* que contêm todos os eventos decorrentes do colapso de uma garrafa de propano. A tabela seguinte resume os principais efeitos resultantes da modelação.

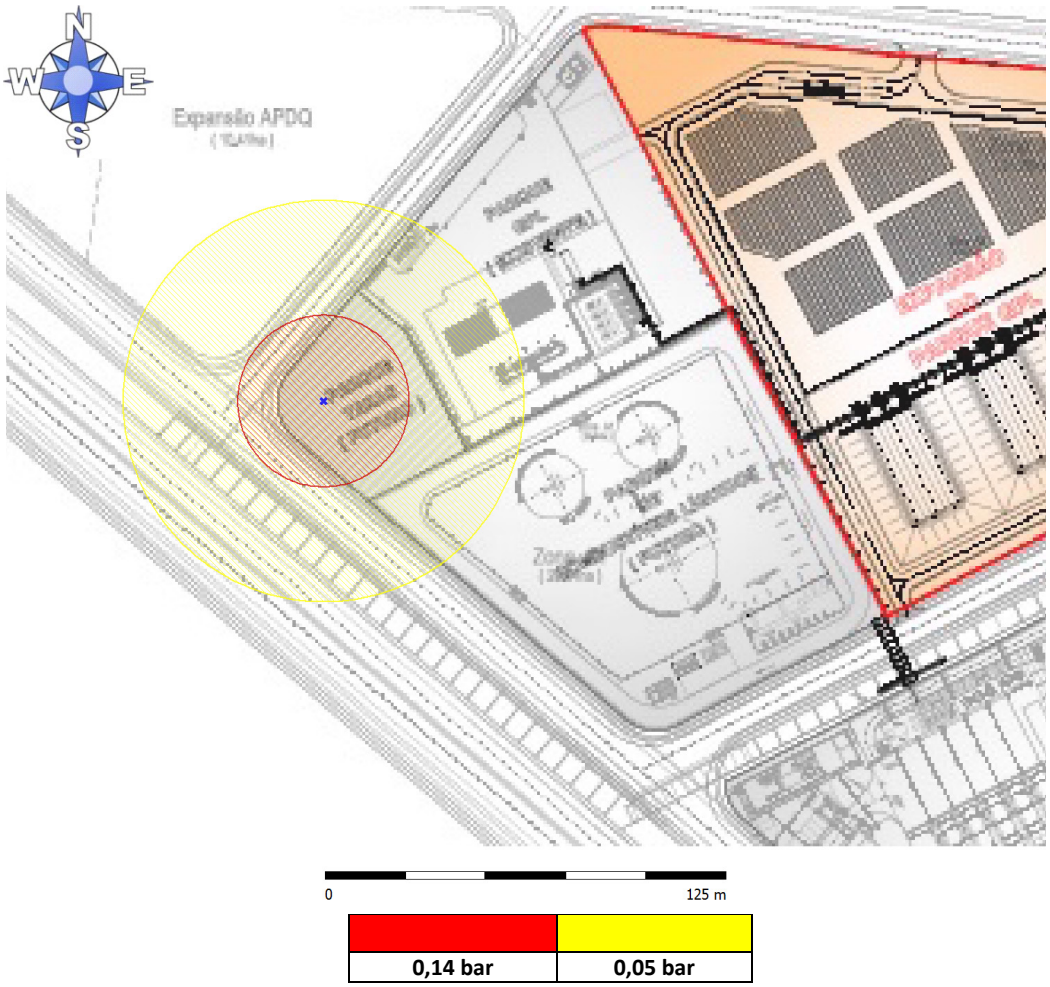
Efeitos físicos do colapso de garrafa de propano G110

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	27
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	62

O gráfico seguinte representa a variação da sobrepressão resultante da explosão em função da distância ao local da explosão.



A figura seguinte representa as curvas dos níveis de sobrepressão 0,05 bar e 0,14 bar resultantes da explosão de garrafa G110 sobrepostas numa planta do local.



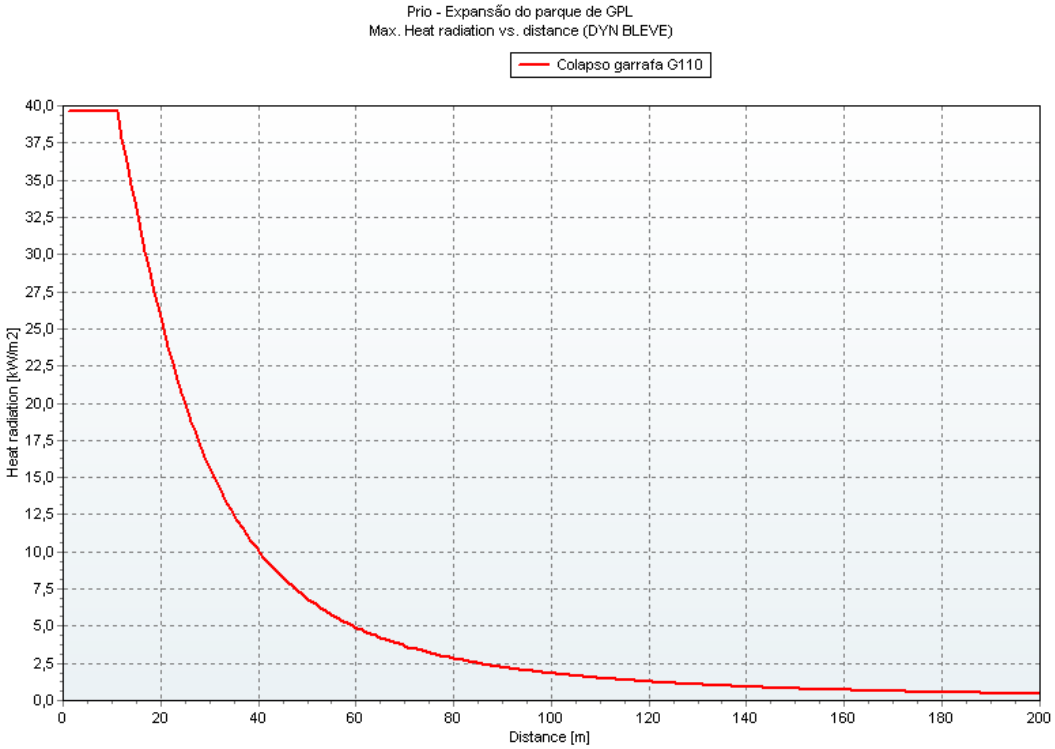
Bleve

Para o cálculo dos efeitos térmicos do colapso da garrafa utilizou-se o modelo de BLEVE de reservatório sob pressão *Model: BLEVE (Static or Dynamic model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO*. A tabela seguinte resume os principais efeitos resultantes da modelação.

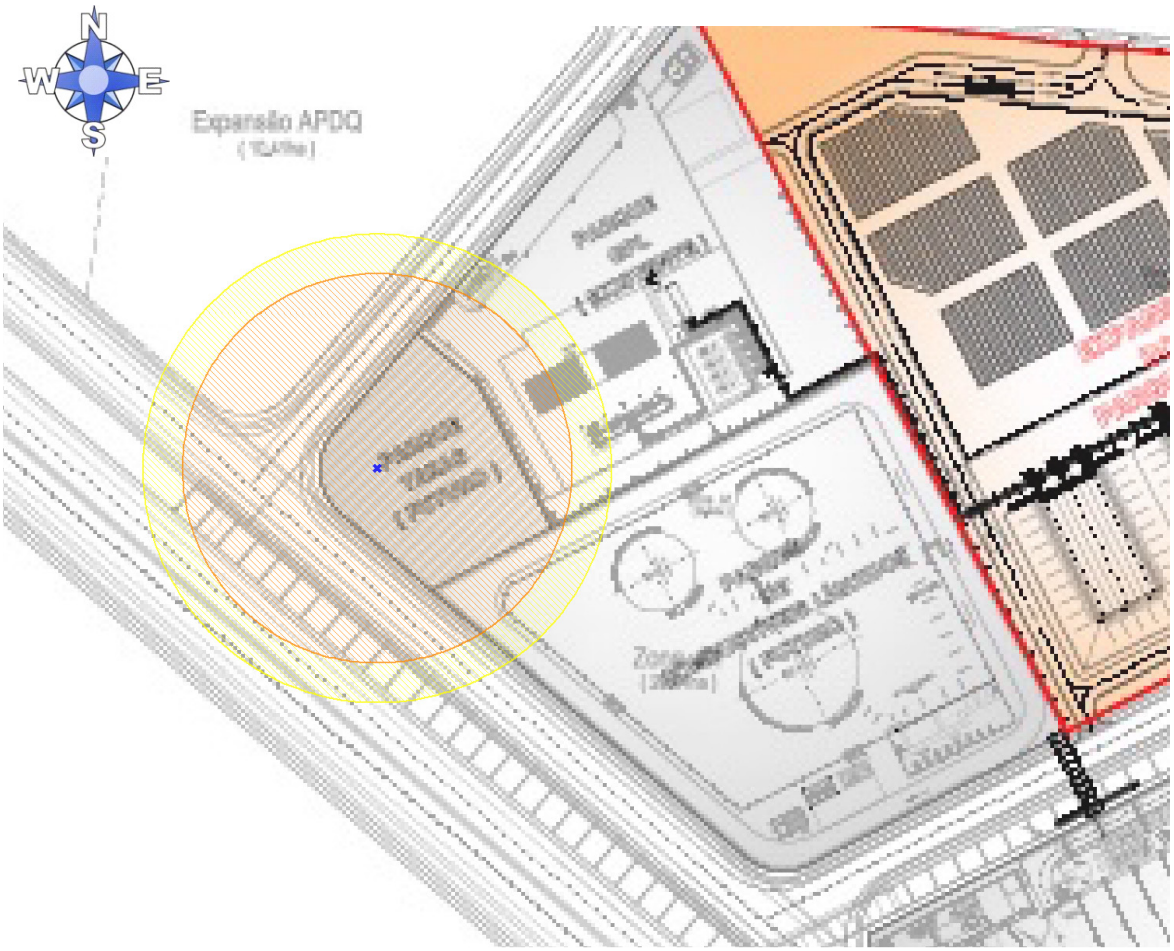
Efeitos físicos do BLEVE de garrafa de gás G110

EFEITO	VALOR
Raio da bola de fogo (m)	11
Duração da bola de fogo (s)	2,3
Distância a que se faz sentir a radiação 7,0 kW/m^2 (m)	50
Distância a que se faz sentir a radiação 5,0 kW/m^2 (m)	60

O gráfico seguinte representa a variação da radiação térmica resultante da bola de fogo do colapso de garrafa G110 em função da distância.



A figura seguinte representa as curvas com a área abrangida pela bola de fogo e pelos níveis de radiação 5,0 kW/m^2 e 7,0 kW/m^2 aplicadas sobre uma planta do local. Atendendo às distâncias alcançadas e, sobretudo, ao curto tempo de duração do fenómeno (cerca de 2 segundos), não se prevêem danos significativos na instalação de GPL nem se prevêm quaiquer consequências dos efeitos dos fenómenos no exterior do estabelecimento.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos directos para os humanos, não se prevêem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 27 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes da projecção de fragmentos com origem na explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos relevantes até uma distância de cerca de 27 m, sendo que os efeitos deixarão de ser significativos para distâncias acima dos 62 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, há que ter em conta que o tempo de exposição será sempre muito diminuto, atendendo à duração prevista para a bola de fogo (2,3 segundos). Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 60 m do centro da bola de fogo.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 50 metros do centro da bola de fogo (nível de radiação de 7 kW/m^2).

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, face à curta duração do fenómeno, não ocorram danos relevantes no interior da instalação e sem impacto no exterior da ampliação do parque de garrafas.

Resultados da Modelação

Case description: Colapso garrafa G110_50mbar
Model: Explosion (Multi Energy model)
version: 5.03 (12/01/2016)
Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions
compared to: Colapso garrafa G110_140mbar

Parameters		
Inputs	Colapso garrafa G110_50mbar	Colapso garrafa G110_140mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Total mass in explosive range (kg)	45	45
Fraction of flammable cloud confined (-)	0,08	0,08
Curve number	8 (Very strong deflagration)	8 (Very strong deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	200	200
Offset between release point and cloud centre (m)	0	0
Threshold overpressure (mbar)	**50**	**140**
Results	Colapso garrafa G110_50mbar	Colapso garrafa G110_140mbar
Confined mass in explosive range (kg)	3,6	3,6
Total combustion energy (MJ)	165,65	165,65
Peak overpressure at Xd (mbar)	13,527	13,527
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,015	1,015
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	11,957	11,957
Positive phase duration at Xd (ms)	17,678	17,678
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	62,44	**26,689**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program		Effects 9.0.23.
Chemical database		YAWS database
Chemical source		Purple book database
Chemical source date		22/07/1999

Case description: Colapso garrafa G110

Model: BLEVE (Static or Dynamic model)

version: 9.1.0.0 (12/01/2016)

Reference: Static BLEVE: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.7 Dynamic BLEVE: W.E. Martinsen and J.D. Marx, An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs, In: proceedings of the international conference and workshop on modelling the consequences of accidental releases of hazardous materials, sept. 28 - oct. 1 1999, San Francisco, California p.p. 605-621.

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of BLEVE calculation	Static BLEVE model (Yellow Book)
Total mass in vessel (kg)	45
Initial temperature in vessel (°C)	16
Distance from centre of vessel (Xd) (m)	200
Height of the receiver (m)	1,5
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Results	
Duration of the Fire Ball (s)	2,2923
Max Diameter of the Fire Ball (m)	22,329
Max Height of the Fire Ball (m)	22,329
Surface emissive power (max) (kW/m2)	208,18
Heat radiation first contour at (m)	59,555
Heat radiation second contour at (m)	49,512
Heat radiation third contour at (m)	35
(Max) heat radiation level at Xd (kW/m2)	0,44253
(Max) Viewfactor at Xd (-)	0,0030827
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	68,956
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	
Percentage first degree burns at Xd (%)	
Percentage second degree burns at Xd (%)	
Percentage third degree burns at Xd (%)	
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário B - Colapso de Garrafa de propano G110 – Novo Parque para Garrafas (Este)

Condições Específicas do Acidente	

• Colapso de garrafa de propano - G110
• Um incidente no parque levou ao colapso de uma garrafa
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Massa de produto na garrafa 45 kg	

PROBABILIDADES	
Fuga sem ignição - 7,54 x 10^{-3}	**Inflamação – 8,38 x 10^{-4}**

EFEITOS

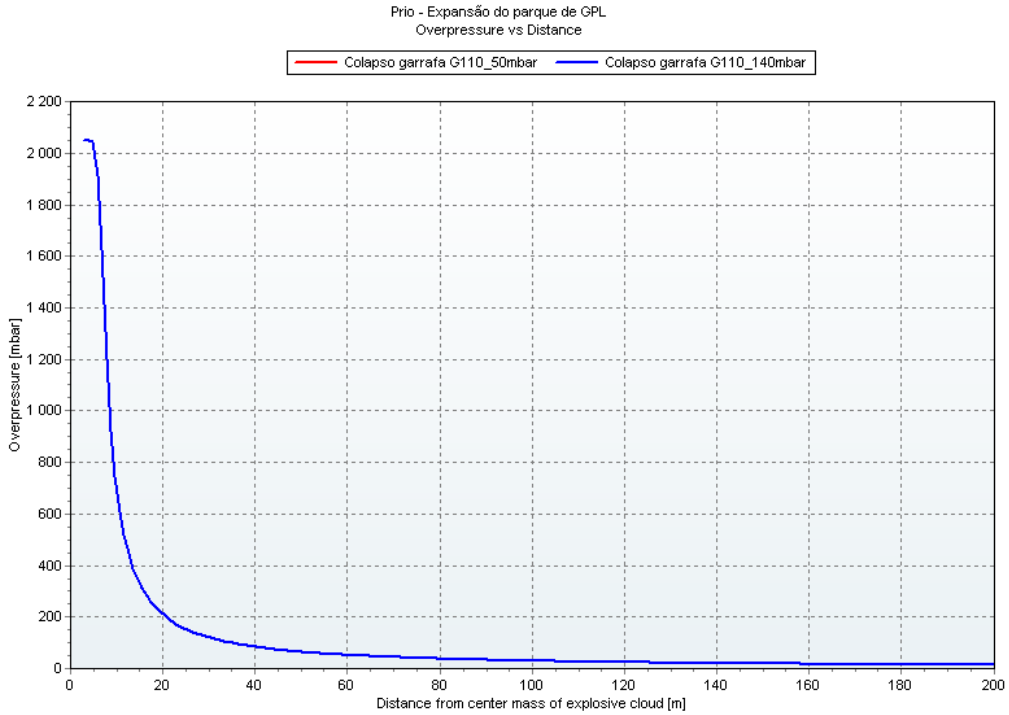
Explosão

Para o cálculo dos efeitos deste cenário utilizou-se o modelo de rebentamento de reservatório sob pressão *Model: Explosion (Multi Energy model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* que contêm todos os eventos decorrentes do colapso de uma garrafa. A tabela seguinte resume os principais efeitos resultantes da modelação.

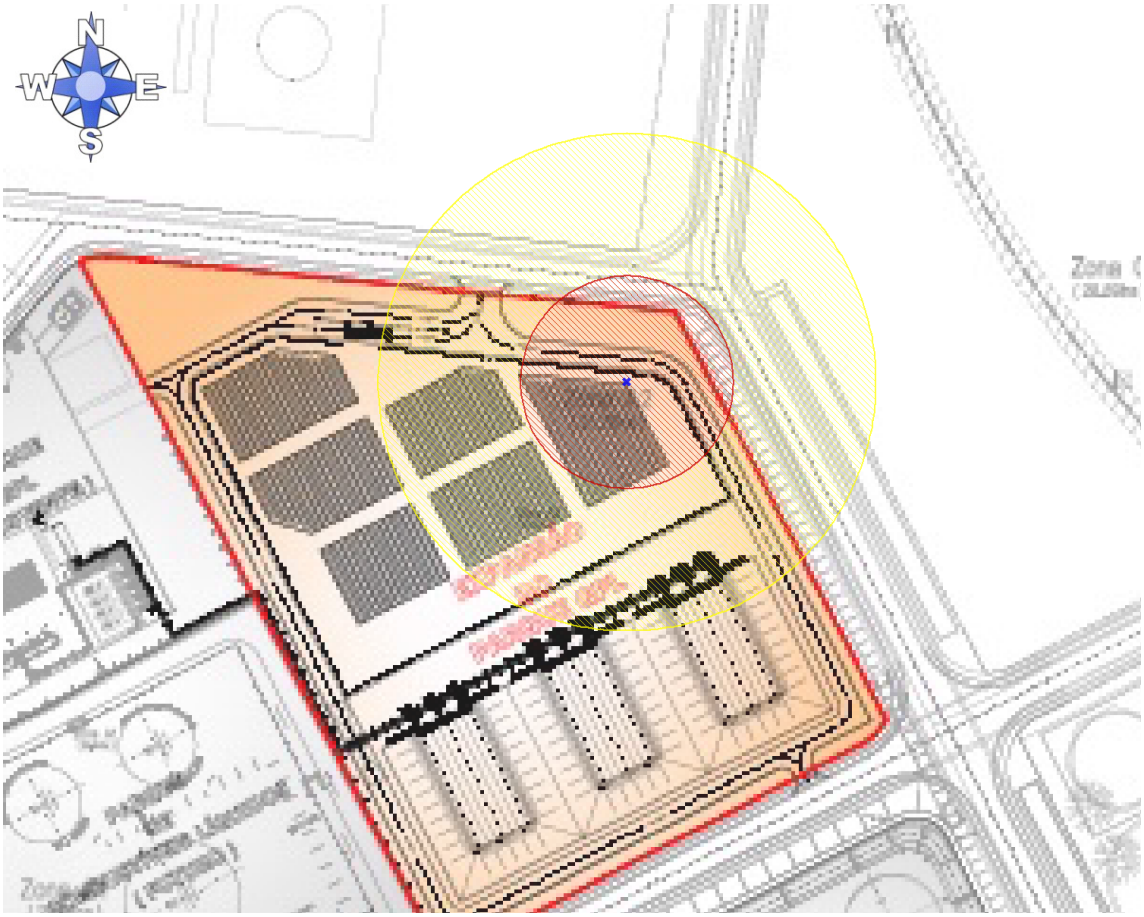
Efeitos físicos do colapso de garrafa de propano G110

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	27
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	62

O gráfico seguinte representa a variação da sobrepressão resultante da explosão em função da distância ao local da explosão.



A figura seguinte representa as curvas dos níveis de sobrepressão 0,05 bar e 0,14 bar resultantes da explosão de garrafa G110 sobrepostas numa planta do local.



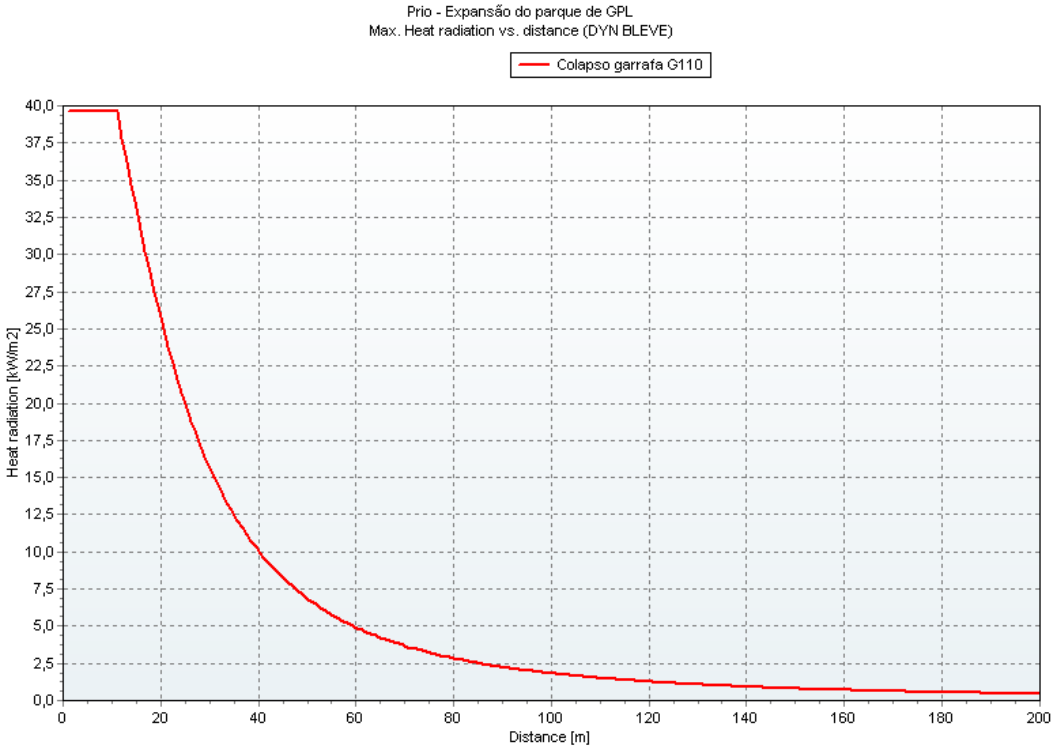
Bleve

Para o cálculo dos efeitos térmicos do colapso da garrafa utilizou-se o modelo de BLEVE de reservatório sob pressão *Model: BLEVE (Static or Dynamic model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO*. A tabela seguinte resume os principais efeitos resultantes da modelação.

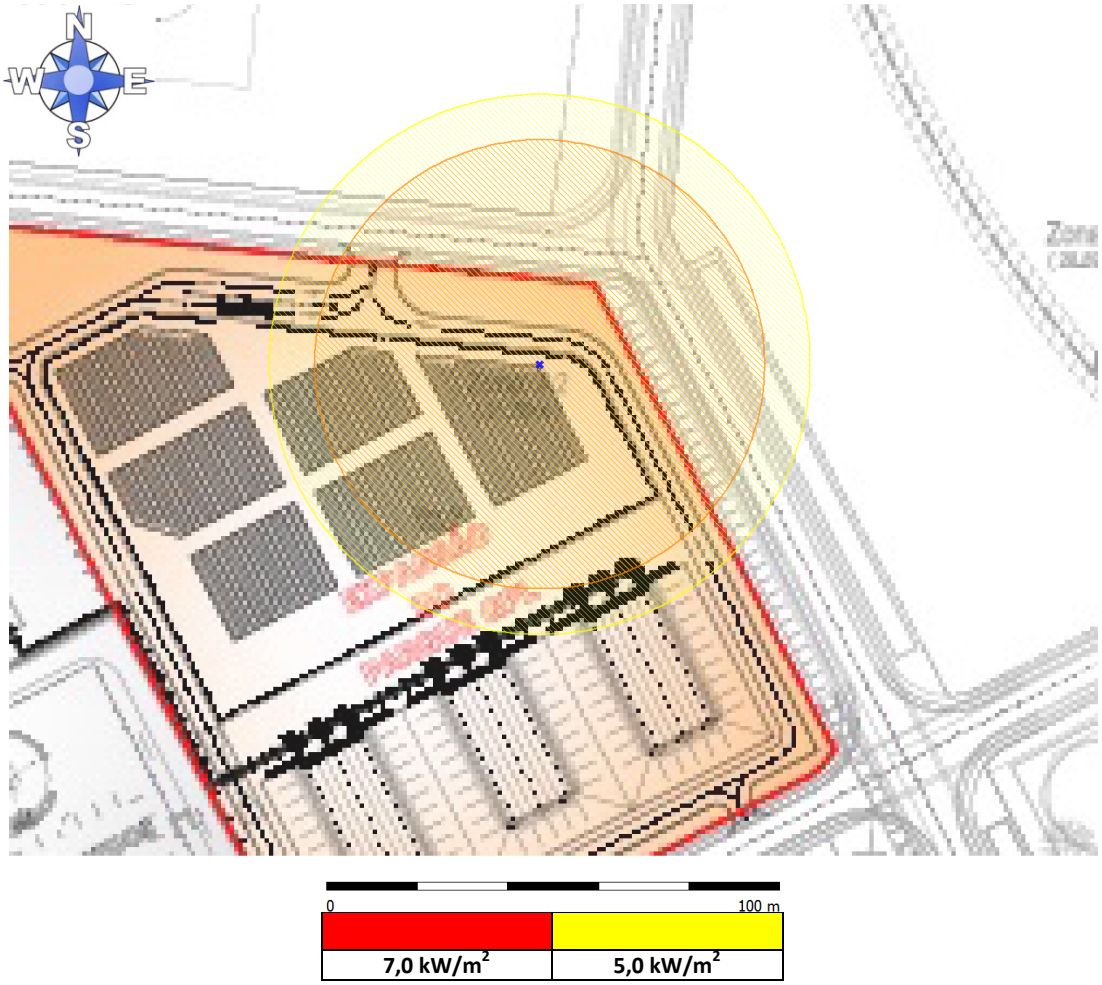
Efeitos físicos do BLEVE de garrafa de gás G110

EFEITO	VALOR
Raio da bola de fogo (m)	11
Duração da bola de fogo (s)	2,3
Distância a que se faz sentir a radiação 7,0 kW/m^2	50
Distância a que se faz sentir a radiação 5,0 kW/m^2	60

O gráfico seguinte representa a variação da radiação térmica resultante da bola de fogo do colapso de garrafa G110 em função da distância.



A figura seguinte representa as curvas com a área abrangida pela bola de fogo e pelos níveis de radiação 5,0 kW/m^2 e 7,0 kW/m^2 aplicadas sobre uma planta do local. Atendendo às distâncias alcançadas e, sobretudo, ao curto tempo de duração do fenómeno (cerca de 2 segundos), não se prevêem danos significativos na instalação de GPL nem se prevêm quaiquer consequências dos efeitos dos fenómenos no exterior do estabelecimento.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos directos para os humanos, não se prevêem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 27 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes da projecção de fragmentos com origem na explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos relevantes até uma distância de cerca de 27 m, sendo que os efeitos deixarão de ser significativos para distâncias acima dos 62 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, há que ter em conta que o tempo de exposição será sempre muito diminuto, atendendo à duração prevista para a bola de fogo (2,3 segundos). Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 60 m do centro da bola de fogo.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 50 metros do centro da bola de fogo (nível de radiação de 7 kW/m^2).

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, face à curta duração do fenómeno, não ocorram danos relevantes no interior da instalação e sem impacto no exterior do novo parque de garrafas.

Resultados da Modelação

Case description: Colapso garrafa G110_50mbar
Model: Explosion (Multi Energy model)
version: 5.03 (12/01/2016)
Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions
compared to: Colapso garrafa G110_140mbar

Parameters		
Inputs	Colapso garrafa G110_50mbar	Colapso garrafa G110_140mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Total mass in explosive range (kg)	45	45
Fraction of flammable cloud confined (-)	0,08	0,08
Curve number	8 (Very strong deflagration)	8 (Very strong deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	200	200
Offset between release point and cloud centre (m)	0	0
Threshold overpressure (mbar)	**50**	**140**
Results	Colapso garrafa G110_50mbar	Colapso garrafa G110_140mbar
Confined mass in explosive range (kg)	3,6	3,6
Total combustion energy (MJ)	165,65	165,65
Peak overpressure at Xd (mbar)	13,527	13,527
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,015	1,015
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	11,957	11,957
Positive phase duration at Xd (ms)	17,678	17,678
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	62,44	**26,689**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program	Effects 9.0.23.	
Chemical database	YAWS database	
Chemical source	Purple book database	
Chemical source date	22/07/1999	

Case description: Colapso garrafa G110

Model: BLEVE (Static or Dynamic model)

version: 9.1.0.0 (12/01/2016)

Reference: Static BLEVE: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.7 Dynamic BLEVE: W.E. Martinsen and J.D. Marx, An improved model for the prediction of radiant heat from fireballs, In: proceedings of the international conference and workshop on modelling the consequences of accidental releases of hazardous materials, sept. 28 - oct. 1 1999, San Francisco, California p.p. 605-621.

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of BLEVE calculation	Static BLEVE model (Yellow Book)
Total mass in vessel (kg)	45
Initial temperature in vessel (°C)	16
Distance from centre of vessel (Xd) (m)	200
Height of the receiver (m)	1,5
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Results	
Duration of the Fire Ball (s)	2,2923
Max Diameter of the Fire Ball (m)	22,329
Max Height of the Fire Ball (m)	22,329
Surface emissive power (max) (kW/m2)	208,18
Heat radiation first contour at (m)	59,555
Heat radiation second contour at (m)	49,512
Heat radiation third contour at (m)	35
(Max) heat radiation level at Xd (kW/m2)	0,44253
(Max) Viewfactor at Xd (-)	0,0030827
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	68,956
Heat radiation dose at Xd (s*(kW/m2)^4/3)	
Percentage first degree burns at Xd (%)	
Percentage second degree burns at Xd (%)	
Percentage third degree burns at Xd (%)	
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário C - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Ampliação do Parque de Taras (Oeste)

Condições Específicas do Acidente	

• Fuga de propano pela válvula de cabeça de garrafa G110
• Diâmetro equivalente do orifício de fuga: 6 mm
• Após cerca de 2 minutos de fuga, ocorreu a inflamação do jacto
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Massa de produto na garrafa 45 kg	

PROBABILIDADES	
Fuga sem ignição - 8,16 × 10^{-2}	**Inflamação – 9,06 × 10^{-3}**

EFEITOS

Atendendo a que o orifício da válvula de cabeça tem um diâmetro de 6 mm, foi este o valor utilizado na modelação da fuga de gás numa garrafa do tipo G110. Para efeitos da modelação, considerou-se a garrafa na posição normal vertical pelo que a descarga foi modelada como sendo uma descarga de vapor de gás liquefeito.

Descarga

Numa primeira fase, calculou-se o tempo estimado para libertar todo o gás, considerando que o orifício da válvula representa um coeficiente de descarga de 1, isto é, sem interferências. Nas condições de processo assumidas, utilizou-se o modelo de descarga de gás *Liquefied Gas Top Venting (DIERS model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* e determinou-se um tempo de descarga de 856 segundos e um caudal de descarga de 0,11 kg/s.

O quadro seguinte resume os principais efeitos da descarga nas condições consideradas.

EFEITO	VALOR
Temperatura inicial do produto (ºC)	16
Pressão no interior da garrafa (bar)	7,5
Caudal médio de descarga (kg/s)	0,11
Tempo para a descarga total (s)	856

Dispersão

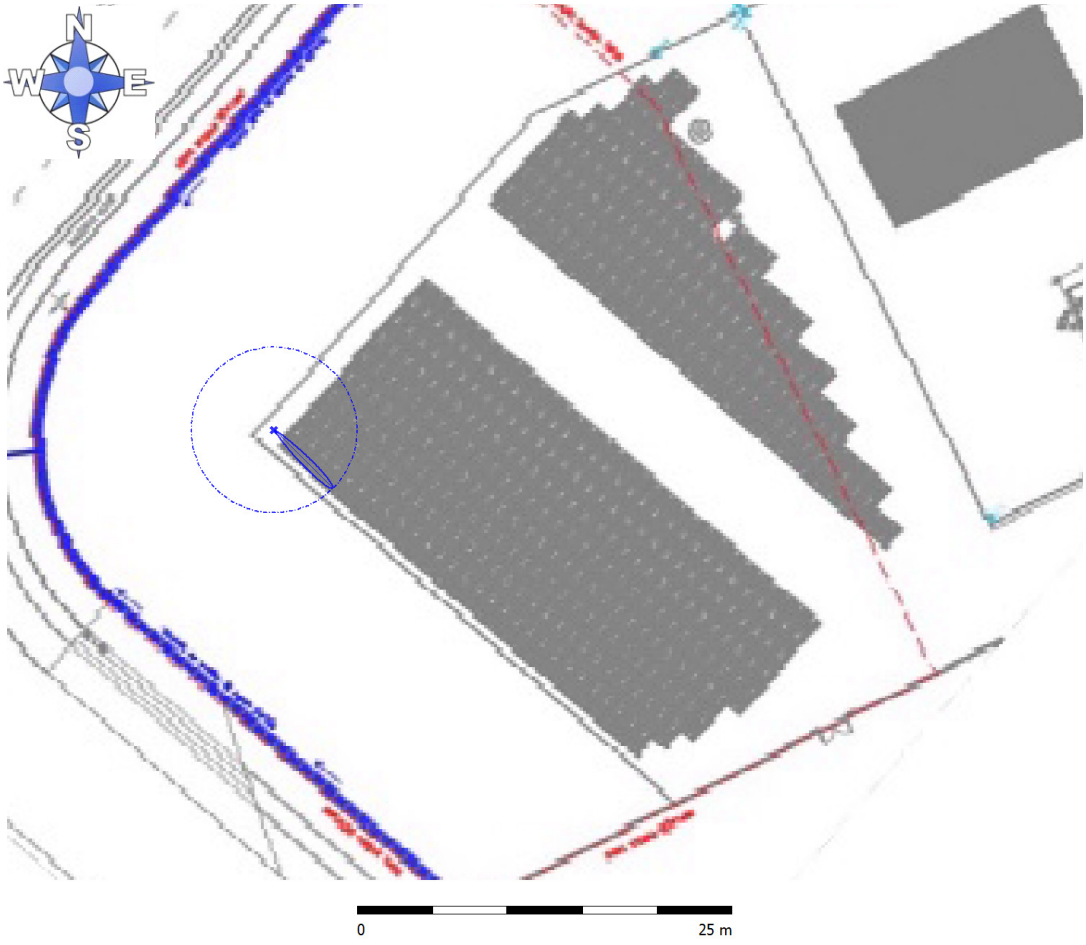
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável, como consequência da dispersão da nuvem, modelou-se a dispersão de propano tendo sido calculada a dispersão da nuvem até uma à concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Gas Turbulent Free Jet* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

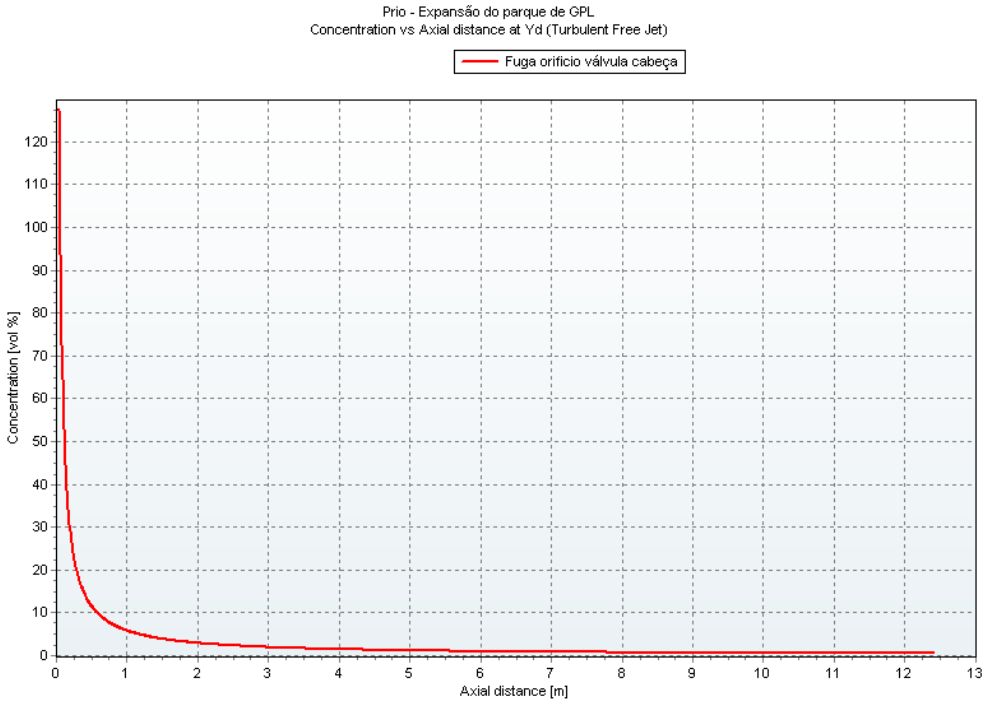
Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para o LII (m)	2,8
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para LII/2 (m)	5,4
Largura máxima da pluma para LII/2 (m)	0,63

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



O gráfico seguinte representa a taxa de variação da concentração de gás em função da distância ao ponto de libertação. Analisando o gráfico verifica-se que, nas condições modeladas, o gás libertado dispersará para concentrações seguras em áreas próximas ao ponto de libertação, admitindo-se um alcance máximo de uma concentração potencialmente perigosa, de cerca de 5,4 m, pelo que a inflamação do gás, caso ocorra, terá de ter como energia de activação uma fonte local.



Tendo em conta os resultados da dispersão do gás libertado pela fuga na cabeça de uma garrafa G110 e os baixos valores de massa explosiva obtidos (0,007 kg), não se prevê que se venha a ocorrer uma explosão. Acresce que, mesmo que tal acontecesse, seria sempre uma quantidade mínima e com efeitos reduzidos, sobretudo por se tratar de uma área não confinada.

Inflamação do jacto

Caso ocorra a ignição do jacto, este desenvolver-se-á sob a forma de um jacto ancorado no ponto de libertação. Para determinação dos efeitos foi utilizado o modelo combustão de jacto, *Jet Fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO*.

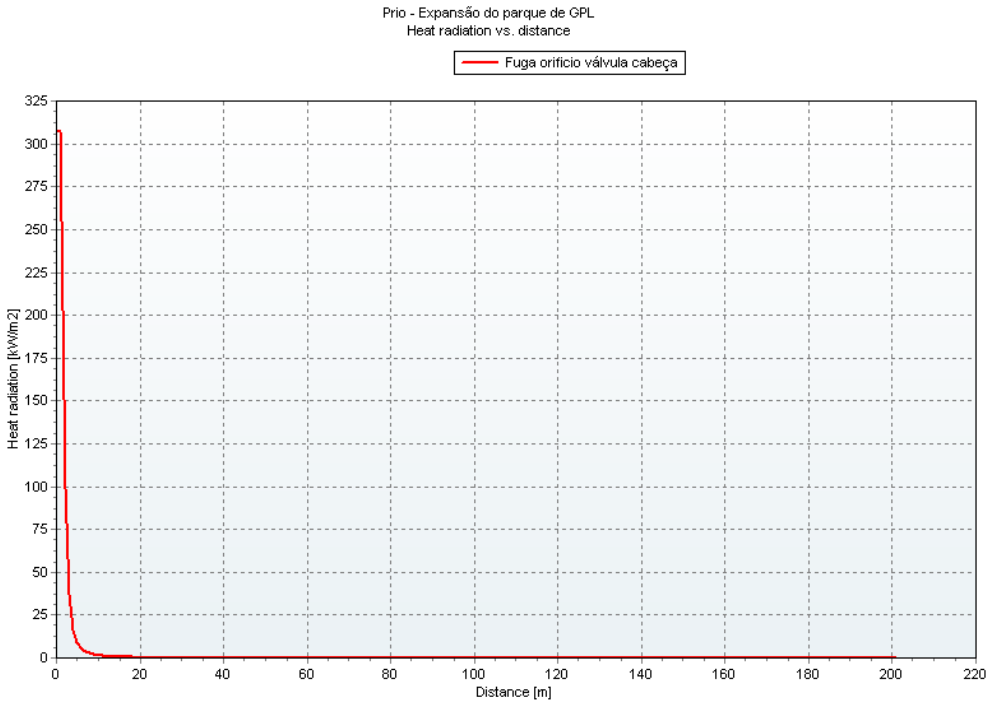
A apresenta os efeitos principais da combustão do jacto.

Efeitos físicos da combustão do jacto

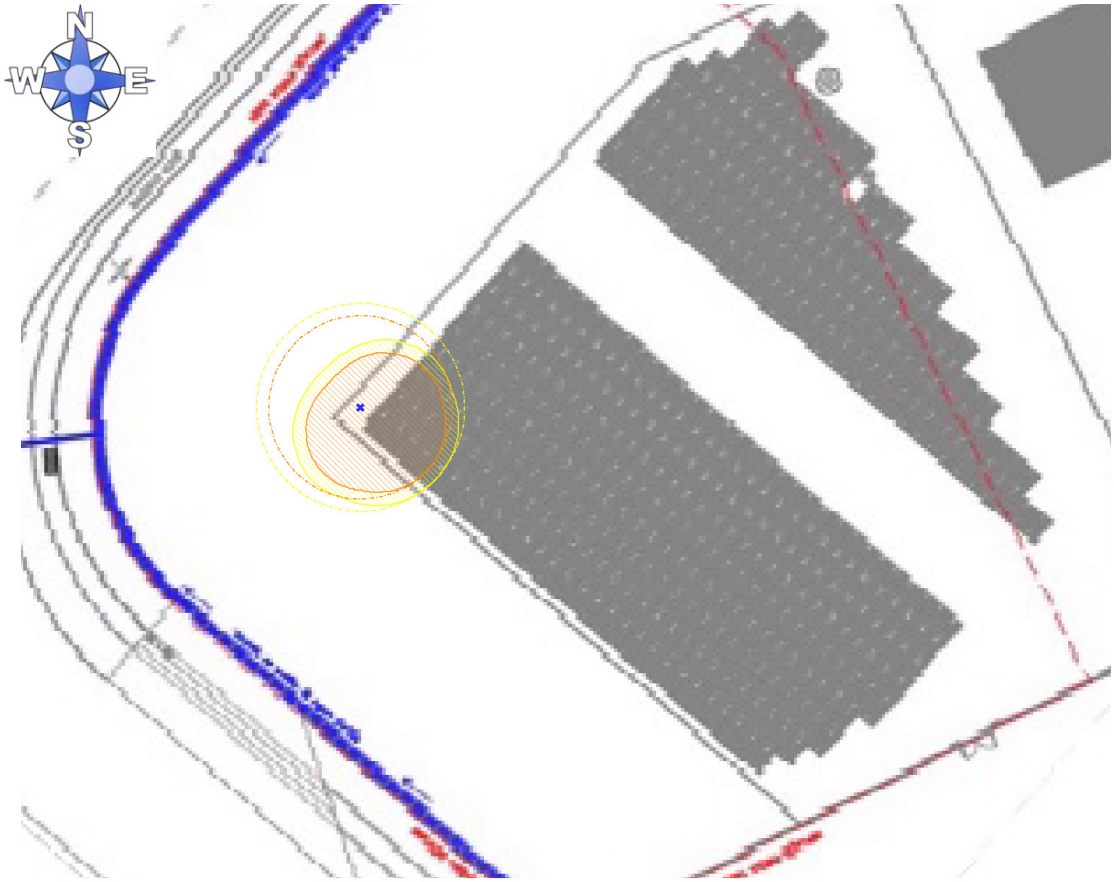
EFEITO	VALOR
Potência emissora da chama (kW/m^2)	306,97
Comprimento da chama (m)	2,8
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	5,6
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	6,3

A variação do valor do fluxo térmico libertado pela combustão em função da distância, medido a partir do limite das chamas, está representada na figura seguinte. Tal como se pode observar

no gráfico, os efeitos físicos deste fenómeno far-se-ão sentir até cerca dos 12 metros a partir do final das chamas (intensidade de radiação – 1 kW/m^2).



A figura seguinte representa a área abrangida pelo jacto inflamado e as curvas dos níveis de radiação relevante colocada sobre uma planta do local.



7,0 kW/m^2	5,0 kW/m^2

CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos directos para os humanos, não se prevêem consequências quer para os operadores quer para quem esteja fora da instalação, sendo que, para distâncias superiores a 12 m (nível de radiação de 1 kW/m^2) do ponto de libertação, não são de esperar consequências de qualquer tipo.

Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 6,3 m do jacto.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, no limite, a incidência do jacto sobre as garrafas mais próximas possa provocar danos e eventuais efeitos de dominó, sobretudo em situação de exposição prolongada.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que não ocorram danos relevantes fora da zona do parque de armazenagem de garrafas.

Resultados da Modelação

Case description: Fuga orificio válvula cabeça

Model: Liquefied Gas Top Venting (DIERS model)

version: 5.06 (19/01/2016)

Reference: Paragraph 2.5.3.2 Yellow Book 3rd Version (YB-97)

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release through hole in vessel
Pipeline length (m)	
Pipeline diameter (mm)	
Pipeline roughness (mm)	
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Vessel type	Vertical cylinder
Vessel volume (m3)	0,11
Length cylinder (m)	1,2
Filling degree (%)	100
Initial temperature in vessel (°C)	16
Pressure inside vessel determination	Use vapour pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	*7,5105*
Type of flow inside the vessel	Bubbly flow
Type of calculation	Calculate until device is empty
Maximum release duration (s)	
Results	
Initial mass in vessel (kg)	55,855
Time needed to empty vessel (s)	855,62
Mass flow rate at time t (kg/s)	
Exit vapour mass fraction at time t (-)	
Pressure at pipe exit at time t (bar)	
Temperature at pipe exit at time t (°C)	
Transition time to vapour flow (s)	456,79
Total mass released (kg)	26,622
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,13585
Representative release rate (kg/s)	0,11061
Representative outflow duration (s)	241
Representative temperature (°C)	16
Representative pressure (bar)	7,5105
Representative vapour mass fraction (-)	0,0027577
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Fuga orificio válvula cabeça (linked to Liquefied Gas Top Venting (DIERS model) - Fuga orificio válvula cabeça)

Model: Gas Turbulent free jet

version: 5.09 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4 and Critical Turbulent Buoyant Jets, Chen & Rodi

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Release rate definition	User defined
Mass flow rate (kg/s)	0,11061
Type of vessel outflow	*Release through hole in vessel*
Pipeline length (m)	
Pipeline diameter (mm)	
Pipeline roughness (mm)	
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Initial temperature in vessel (°C)	16
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	7,5105
Ambient temperature (°C)	16
Axial evaluation distance from release (Sd) (m)	2
Radial distance (Yd) (m)	0
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
X-coordinate of release (m)	267,1684
Y-coordinate of release (m)	-127,7601
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	90
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Results	
Initial source strength (kg/s)	0,11061
Density of the expanded gas (kg/m3)	1,8619
Concentration at (Sd,Yd) (mg/m3)	53050
Jet velocity at (Sd,Yd) (m/s)	25,032
Temperature at (Sd) (°C)	16
Limit of momentum region (m)	13,405
Froude number	3,9779E06
Width of the concentration contour (m)	0,62611
Input mass flow rate for dispersion calculations (kg/s)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	13,405
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Explosive mass (kg)	0,0073974
Maximum distance of source to LEL (m)	2,7579
Temperature after expansion (°C)	16
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Fuga orificio válvula cabeça (linked to Liquefied Gas Top Venting (DIERS model) - Fuga orificio válvula cabeça)
Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (19/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,11061
Exit temperature (°C)	16
Exit pressure (bar)	7,5105
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	90
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	200
X-coordinate of release (m)	267,1402
Y-coordinate of release (m)	-127,6941
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	Medium
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	173,93
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	47,268
Frustum lift off height (b) (m)	0,041746
Width of frustum base (W1) (m)	0,028464
Width of frustum tip (W2) (m)	1,035
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	2,7546
Surface area of frustum (m2)	5,5197
Surface emissive power (max) (kW/m2)	306,97
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	306,97
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	63,898
View factor at Xd (-)	1,0709E-05
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,0021005
Heat radiation first contour at (m)	6,313
Heat radiation second contour at (m)	5,5819
Heat radiation third contour at (m)	4,5131
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário D - Libertação contínua pela válvula de cabeça de uma garrafa de propano G110 – Novo Parque para Garrafas (Este)

Condições Específicas do Acidente	

• Fuga de propano pela válvula de cabeça de garrafa G110
• Diâmetro equivalente do orifício de fuga: 6 mm
• Após cerca de 2 minutos de fuga, ocorreu a inflamação do jacto
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Massa de produto na garrafa 45 kg	

PROBABILIDADES	
Fuga sem ignição - 7,54 x 10^{-2}	**Inflamação – 8,38 x 10^{-3}**

EFEITOS

Atendendo a que o orifício da válvula de cabeça tem um diâmetro de 6 mm, foi este o valor utilizado na modelação da fuga de gás numa garrafa do tipo G110. Para efeitos da modelação, considerou-se a garrafa na posição normal vertical pelo que a descarga foi modelada como sendo uma descarga de vapor de gás liquefeito.

Descarga

Numa primeira fase, calculou-se o tempo estimado para libertar todo o gás, considerando que o orifício da válvula representa um coeficiente de descarga de 1, isto é, sem interferências. Nas condições de processo assumidas, utilizou-se o modelo de descarga de gás *Liquefied Gas Top Venting (DIERS model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* e determinou-se um tempo de descarga de 856 segundos e um caudal de descarga de 0,11 kg/s.

O quadro seguinte resume os principais efeitos da descarga nas condições consideradas.

EFEITO	VALOR
Temperatura inicial do produto (ºC)	16
Pressão no interior da garrafa (bar)	7,5
Caudal médio de descarga (kg/s)	0,11
Tempo para a descarga total (s)	856

Dispersão

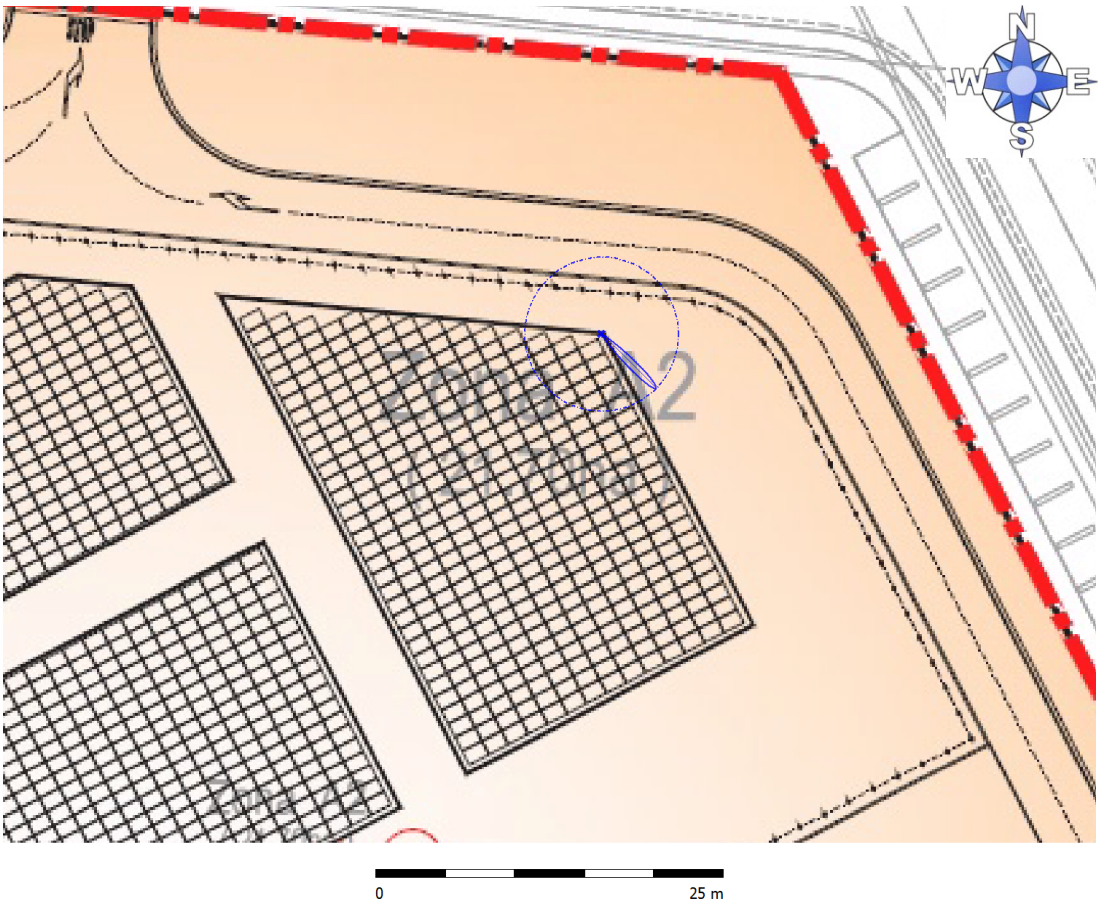
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável, como consequência da dispersão da nuvem, modelou-se a dispersão de propano tendo sido calculada a dispersão da nuvem até uma à concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Gas Turbulent Free Jet* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

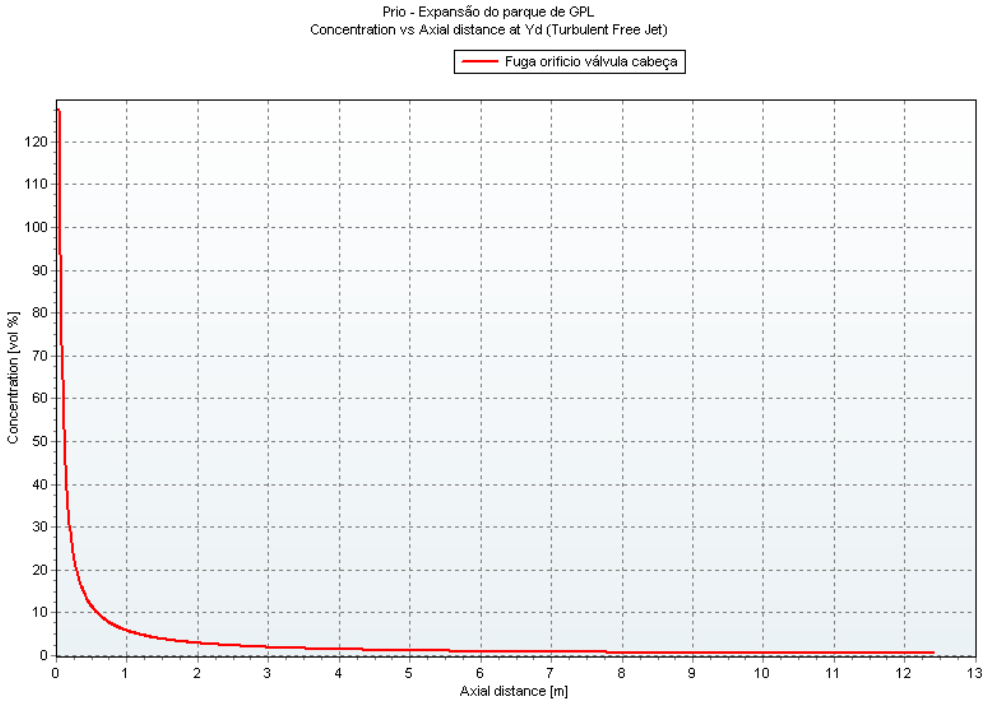
Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para o LII (m)	2,8
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para LII/2 (m)	5,4
Largura máxima da pluma para LII/2 (m)	0,63

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



O gráfico seguinte representa a taxa de variação da concentração de gás em função da distância ao ponto de libertação. Analisando o gráfico verifica-se que, nas condições modeladas, o gás libertado dispersará para concentrações seguras em áreas próximas ao ponto de libertação, admitindo-se um alcance máximo de uma concentração potencialmente perigosa, de cerca de 5,4 m, pelo que a inflamação do gás, caso ocorra, terá de ter como energia de activação uma fonte local.



Tendo em conta os resultados da dispersão do gás libertado pela fuga na cabeça de uma garrafa G110 e os baixos valores de massa explosiva obtidos (0,007 kg), não se prevê que se venha a ocorrer uma explosão. Acresce que, mesmo que tal acontecesse, seria sempre uma quantidade mínima e com efeitos reduzidos, sobretudo por se tratar de uma área não confinada.

Inflamação do jacto

Caso ocorra a ignição do jacto, este desenvolver-se-á sob a forma de um jacto ancorado no ponto de libertação. Para determinação dos efeitos foi utilizado o modelo combustão de jacto, *Jet Fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23*** - *TNO*.

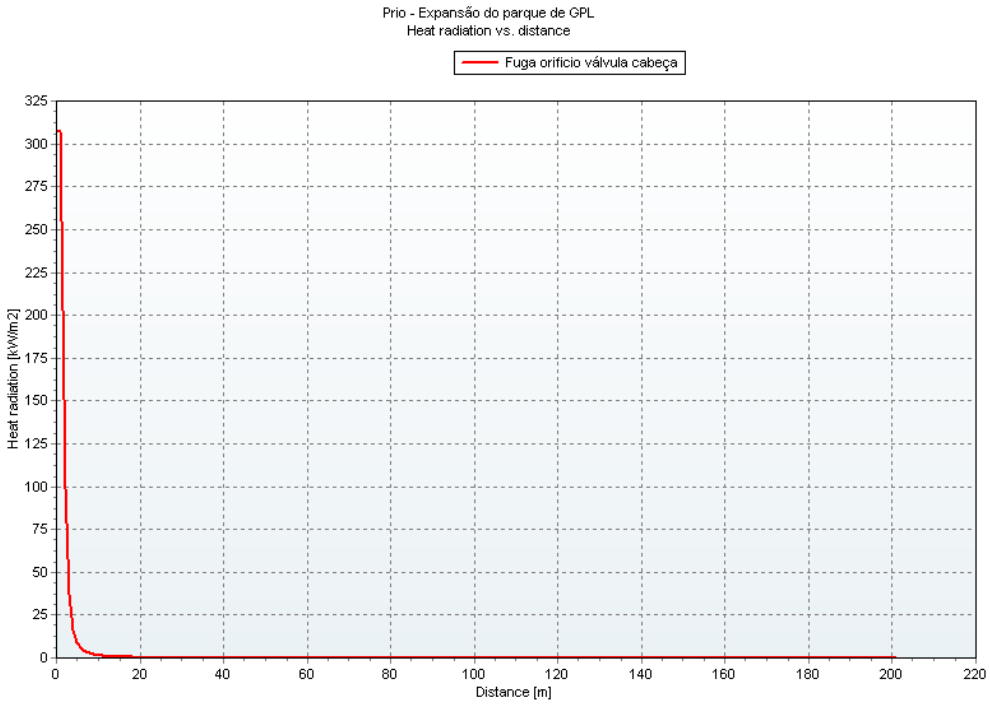
A apresenta os efeitos principais da combustão do jacto.

Efeitos físicos da combustão do jacto

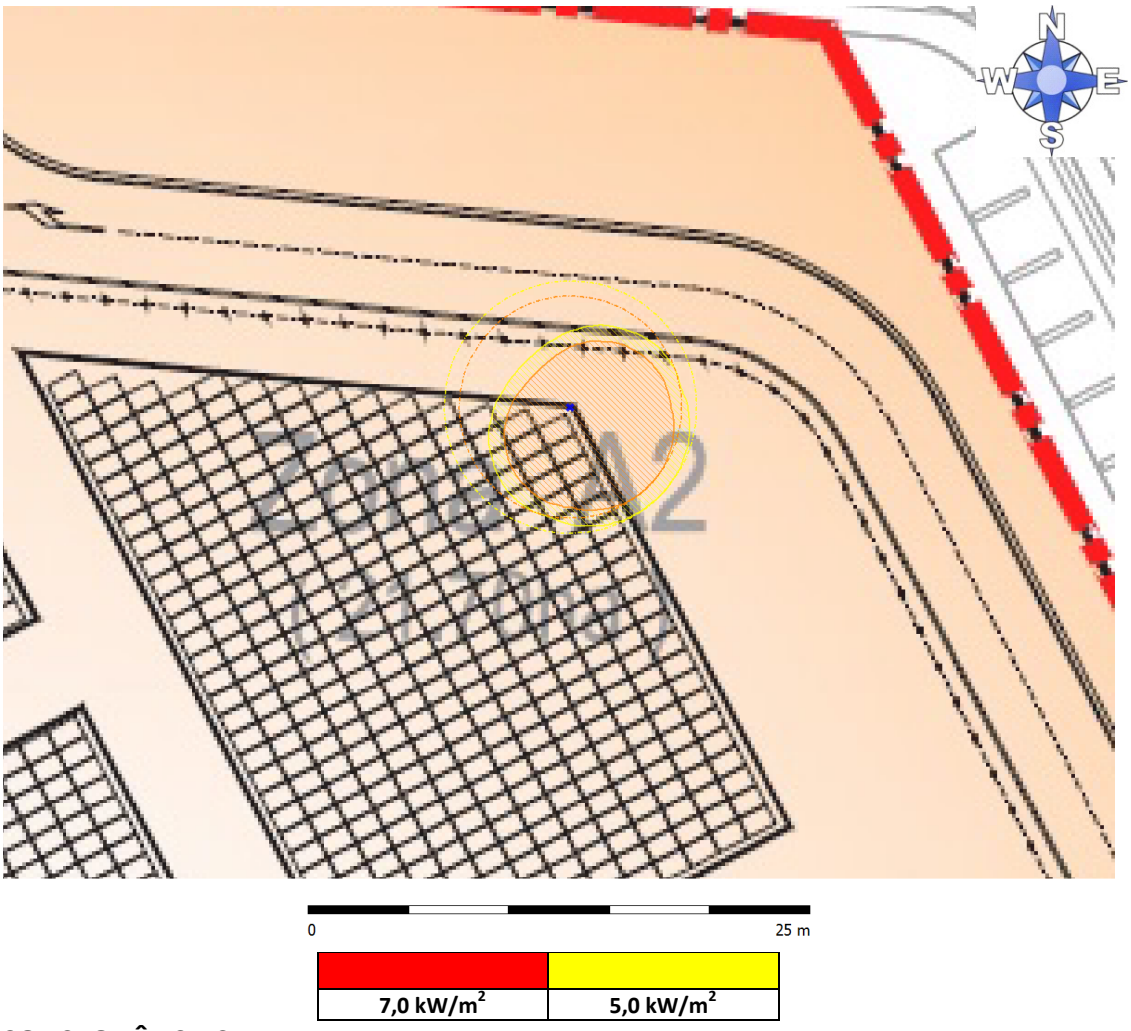
EFEITO	VALOR
Potência emissora da chama (kW/m^2)	306,97
Comprimento da chama (m)	2,8
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	5,6
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	6,3

A variação do valor do fluxo térmico libertado pela combustão em função da distância, medido a partir do limite das chamas, está representada na figura seguinte. Tal como se pode observar

no gráfico, os efeitos físicos deste fenómeno far-se-ão sentir até cerca dos 12 metros a partir do final das chamas (intensidade de radiação – 1 kW/m^2).



A figura seguinte representa a área abrangida pelo jacto inflamado e as curvas dos níveis de radiação relevante colocada sobre uma planta do local.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos directos para os humanos, não se prevêem consequências quer para os operadores quer para quem esteja fora da instalação, sendo que, para distâncias superiores a 12 m (nível de radiação de 1 kW/m^2) do ponto de libertação, não são de esperar consequências de qualquer tipo.

Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 6,3 m do jacto.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, no limite, a incidência do jacto sobre as garrafas mais próximas possa provocar danos e eventuais efeitos de dominó, sobretudo em situação de exposição prolongada.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que não ocorram danos relevantes fora da zona do parque de armazenagem de garrafas.

Resultados da Modelação

Case description: Fuga orificio válvula cabeça

Model: Liquefied Gas Top Venting (DIERS model)

version: 5.06 (19/01/2016)

Reference: Paragraph 2.5.3.2 Yellow Book 3rd Version (YB-97)

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release through hole in vessel
Pipeline length (m)	
Pipeline diameter (mm)	
Pipeline roughness (mm)	
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Vessel type	Vertical cylinder
Vessel volume (m3)	0,11
Length cylinder (m)	1,2
Filling degree (%)	100
Initial temperature in vessel (°C)	16
Pressure inside vessel determination	Use vapour pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	*7,5105*
Type of flow inside the vessel	Bubbly flow
Type of calculation	Calculate until device is empty
Maximum release duration (s)	
Results	
Initial mass in vessel (kg)	55,855
Time needed to empty vessel (s)	855,62
Mass flow rate at time t (kg/s)	
Exit vapour mass fraction at time t (-)	
Pressure at pipe exit at time t (bar)	
Temperature at pipe exit at time t (°C)	
Transition time to vapour flow (s)	456,79
Total mass released (kg)	26,622
Maximum mass flow rate (kg/s)	0,13585
Representative release rate (kg/s)	0,11061
Representative outflow duration (s)	241
Representative temperature (°C)	16
Representative pressure (bar)	7,5105
Representative vapour mass fraction (-)	0,0027577
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Fuga orificio válvula cabeça (linked to Liquefied Gas Top Venting (DIERS model) - Fuga orificio válvula cabeça)

Model: Gas Turbulent free jet

version: 5.09 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 4 and Critical Turbulent Buoyant Jets, Chen & Rodi

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Release rate definition	User defined
Mass flow rate (kg/s)	0,11061
Type of vessel outflow	*Release through hole in vessel*
Pipeline length (m)	
Pipeline diameter (mm)	
Pipeline roughness (mm)	
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Initial temperature in vessel (°C)	16
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	7,5105
Ambient temperature (°C)	16
Axial evaluation distance from release (Sd) (m)	2
Radial distance (Yd) (m)	0
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
X-coordinate of release (m)	267,1684
Y-coordinate of release (m)	-127,7601
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	90
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Results	
Initial source strength (kg/s)	0,11061
Density of the expanded gas (kg/m3)	1,8619
Concentration at (Sd,Yd) (mg/m3)	53050
Jet velocity at (Sd,Yd) (m/s)	25,032
Temperature at (Sd) (°C)	16
Limit of momentum region (m)	13,405
Froude number	3,9779E06
Width of the concentration contour (m)	0,62611
Input mass flow rate for dispersion calculations (kg/s)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	13,405
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Explosive mass (kg)	0,0073974
Maximum distance of source to LEL (m)	2,7579
Temperature after expansion (°C)	16
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Fuga orificio válvula cabeça (linked to Liquefied Gas Top Venting (DIERS model) - Fuga orificio válvula cabeça)
Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (19/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,11061
Exit temperature (°C)	16
Exit pressure (bar)	7,5105
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Rounded edges
Discharge coefficient (-)	*1*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	90
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	200
X-coordinate of release (m)	267,1402
Y-coordinate of release (m)	-127,6941
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	Medium
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	173,93
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	47,268
Frustum lift off height (b) (m)	0,041746
Width of frustum base (W1) (m)	0,028464
Width of frustum tip (W2) (m)	1,035
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	2,7546
Surface area of frustum (m2)	5,5197
Surface emissive power (max) (kW/m2)	306,97
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	306,97
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	63,898
View factor at Xd (-)	1,0709E-05
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,0021005
Heat radiation first contour at (m)	6,313
Heat radiation second contour at (m)	5,5819
Heat radiation third contour at (m)	4,5131
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário E - Libertação contínua a partir de um orifício em reservatório de GPL (10 mm)

Condições Específicas do Acidente	

• Libertação contínua através de orifício em reservatório - 10 mm
• GPL à pressão de vapor
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Duração da descarga – 3600 seg	

PROBABILIDADES	
Derrame/Fuga GPL – 8,10 × 10^{-5}	**Inflamação do jacto – 9,00 × 10^{-6}**

EFEITOS

Descarga

Considerando que o reservatório se encontra no máximo da sua capacidade e utilizando o modelo *Liquified Gas Bottom Discharge (TPDIS model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* obtiveram-se os resultados seguintes.

Descarga pela rotura

EFEITO	VALOR
Caudal representativo (kg/s)	1,26
Quantidade libertada numa hora (ton)	4,49

Dispersão do jacto

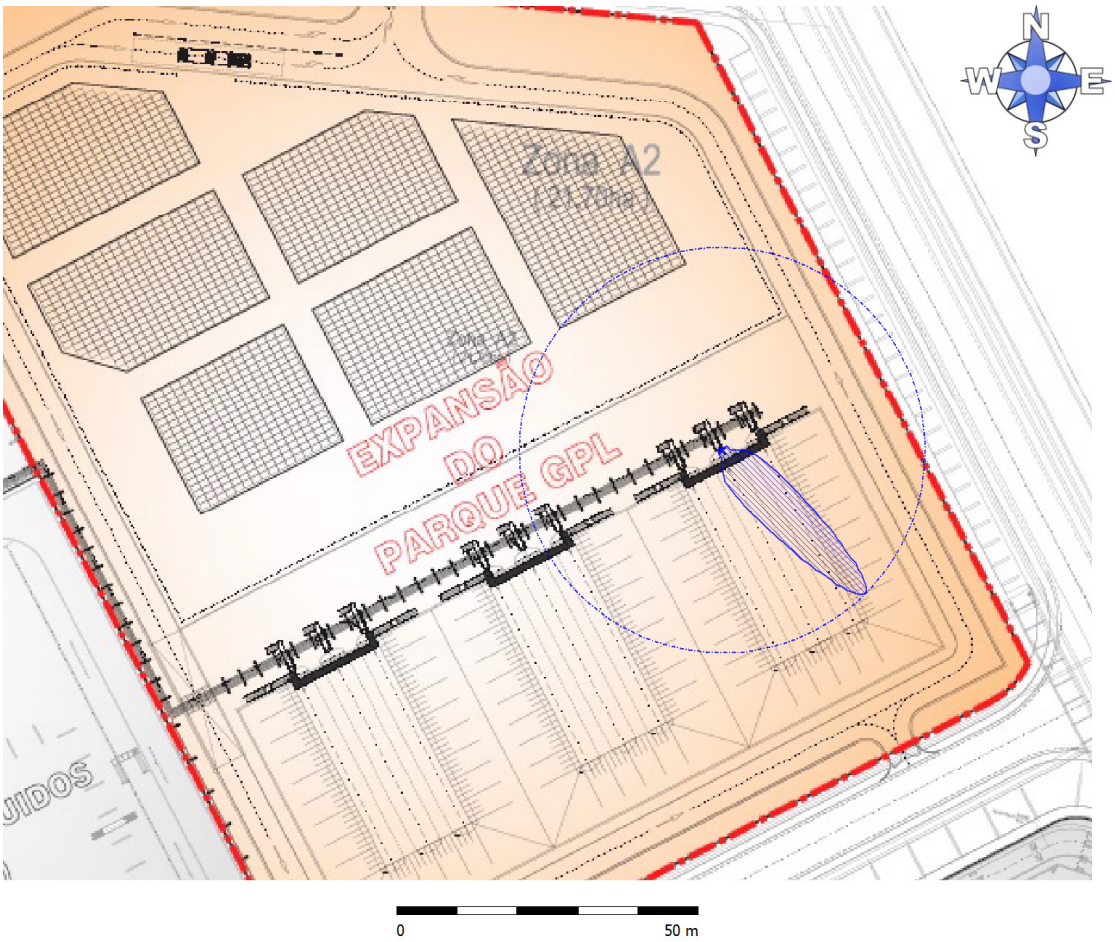
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável como consequência da dispersão do jacto, calculou-se a sua dispersão até uma concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Dense Gas Dispersion: Concentration* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando a descarga de um jacto horizontal e os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Comprimento da pluma segundo a direcção do vento (LII/2) (m)	34
Largura máxima da pluma (LII/2) (m)	8

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



Massa explosiva

Para determinar a massa de propano que efectivamente se encontra no domínio de inflamabilidade, e que irá explodir no caso de ignição retardada, utilizou-se o modelo *Dense Gas Dispersion: Explosive mass* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO.* Considerando os pressupostos e condições de libertação anteriormente referidas obteve-se um valor de massa de propano no domínio de inflamabilidade de 8,4 kg. Esta massa será constituída ao fim de cerca de 1791 segundos após o início da libertação e durará até ao final da descarga.

Explosão de nuvem

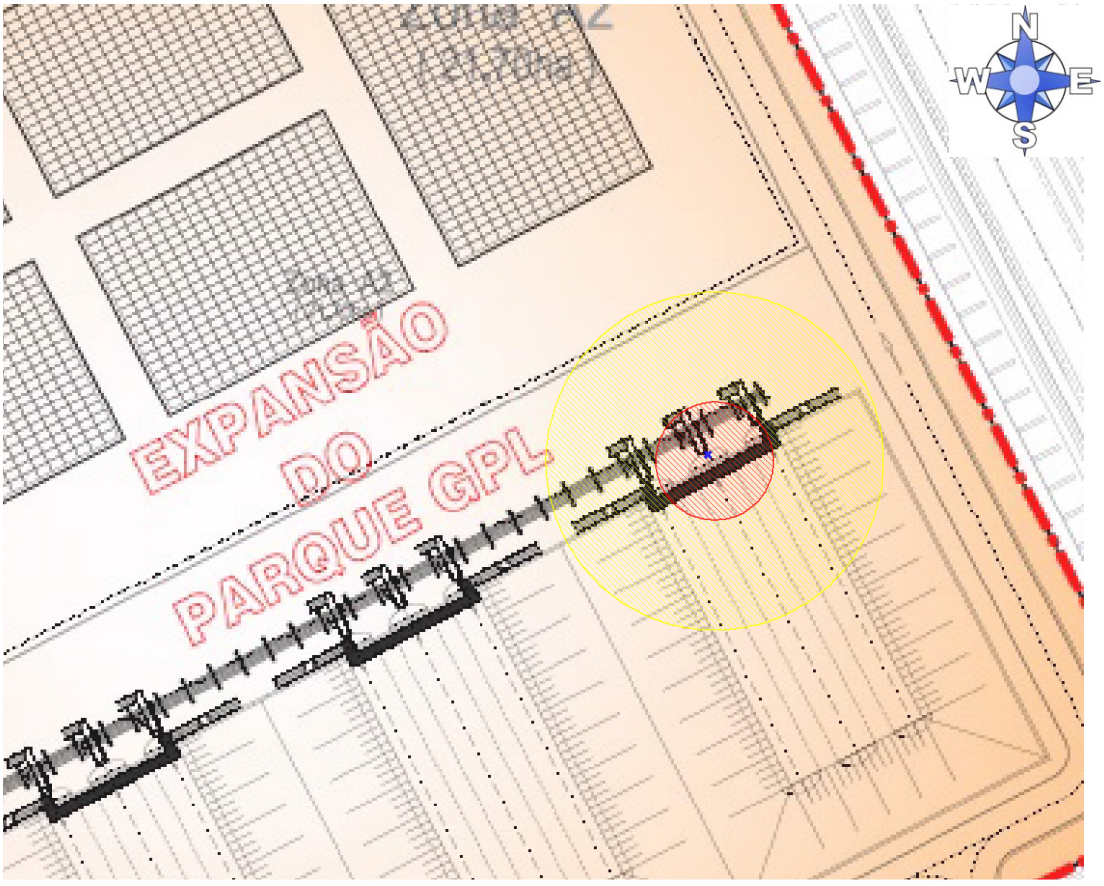
Considerando a massa explosiva acima calculada utilizou-se o modelo de multienergias *Explosion - Multi Energy model* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* para modelar a explosão da nuvem inflamável. Como pressupostos de modelação considerou-se que 10% da massa inflamável se encontraria confinada e um rendimento da explosão de 50% (correspondendo à curva 5 - deflagração média - do modelo utilizado).

Os resultados obtidos encontram-se no quadro seguinte:

Explosão de nuvem inflamável

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	6
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	18
Valor máximo de sobrepressão atingida (mbar)	206

A figura seguinte representa as áreas potencialmente atingidas pelos valores de sobrepressão acima referidos.



Inflamação do jacto

No caso de ocorrer a ignição do jacto (imediata ou retardada) ocorrerá a combustão do produto descarregado sob a forma de um jacto inflamado, ancorado no ponto de descarga.

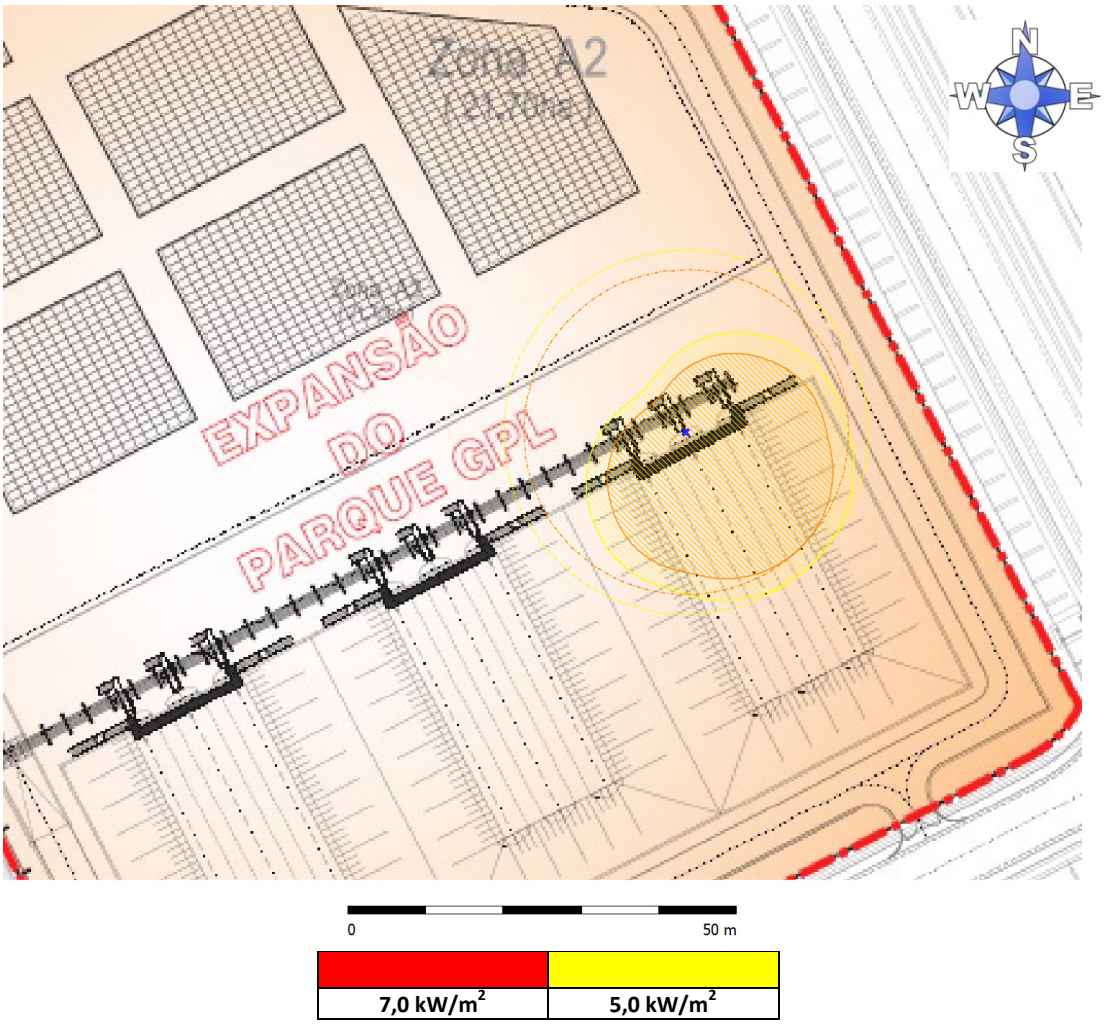
Para a modelação deste efeito, utilizou-se o modelo *Jet fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO,* assumindo-se uma elevação do jacto em relação à horizontal de 45º.

Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

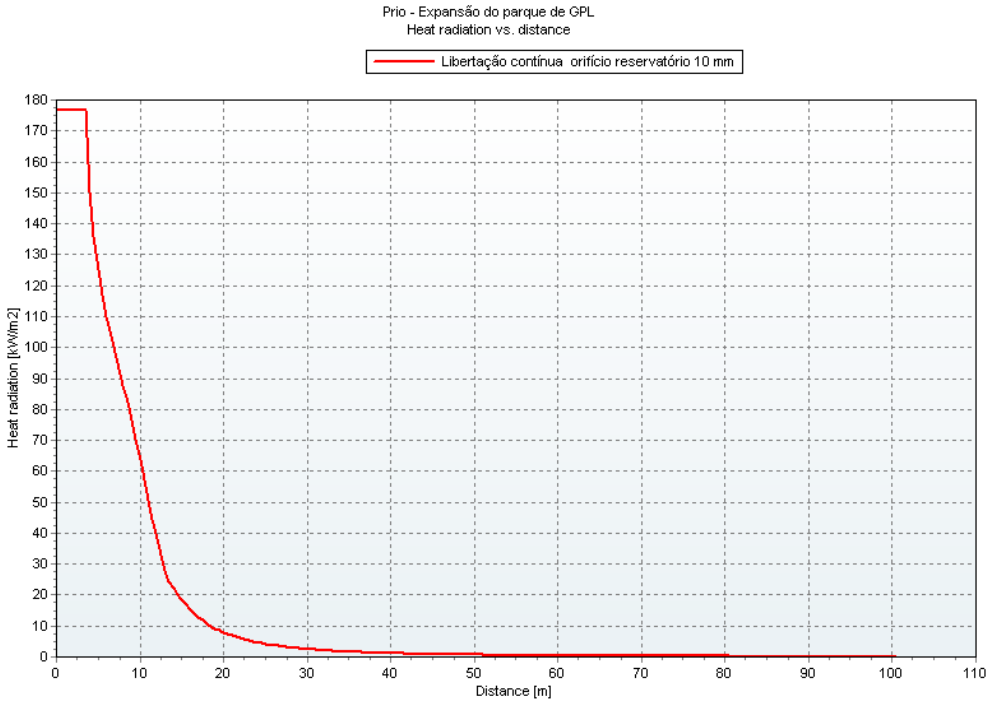
Combustão do jacto

EFEITO	VALOR
Comprimento do jacto inflamado (m)	11
Largura do jacto inflamado (m)	5
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	21
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	23
Emissividade da chama (kW/m^2)	176,7

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação em função da distância.



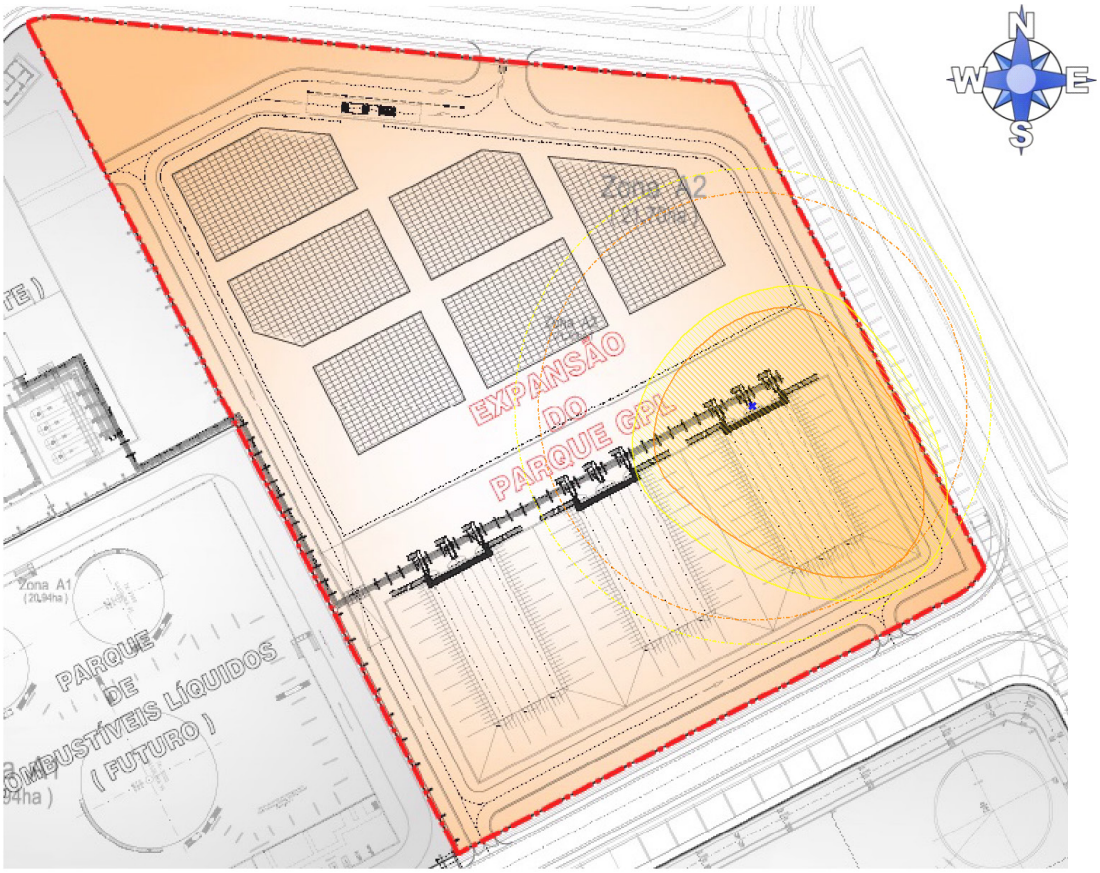
Incêndio do derrame

Com recurso ao modelo *Pool Fire* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

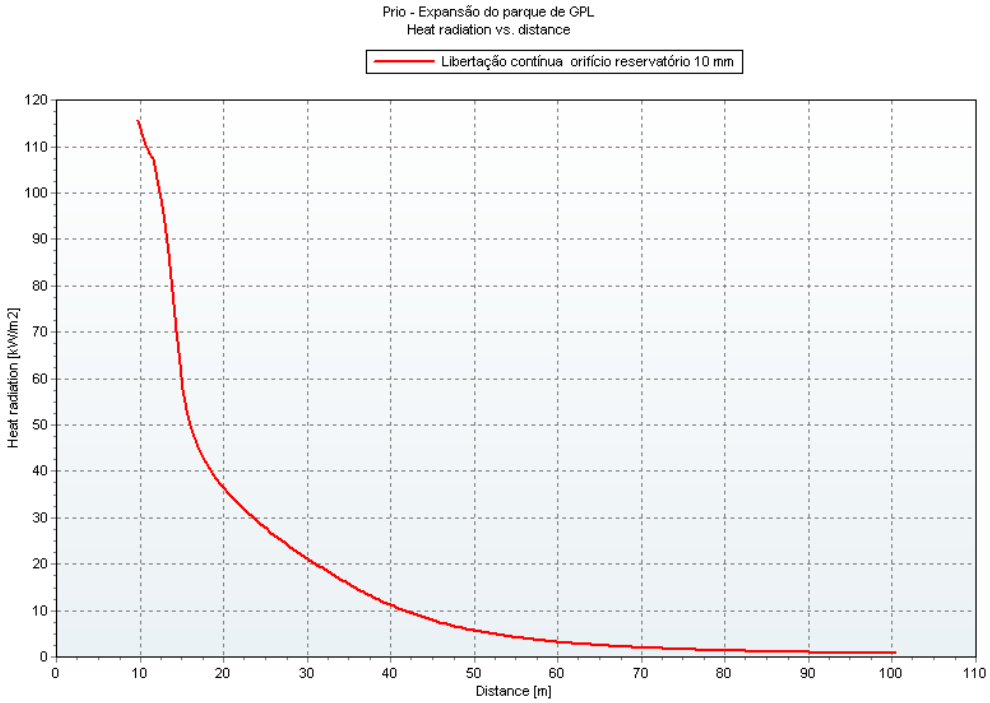
Combustão do derrame

EFEITO	VALOR
Comprimento da chama (m)	30
Emissividade da chama (kW/m^2)	61,1
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	47
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	52

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação em função da distância.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos directos para os humanos, não se prevêem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 6 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes de projecções com origem na explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos relevantes até uma distância de cerca de 6 m, sendo que os efeitos deixarão de ser significativos para distâncias acima dos 18 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, há que ter em conta que o tempo de exposição será sempre diminuto. Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 52 m da eventual combustão do derrame ou 23 m do jacto inflamado.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 47 m da eventual combustão do derrame ou 21 m do jacto inflamado (nível de radiação de 7 kW/m^2).

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados e os meios de protecção existentes e face à curta duração do fenómeno, admite-se que, não ocorram danos no exterior nem exista a afectação de órgãos ou equipamentos sensíveis na própria instalação.

Resultados da Modelação

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.08 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release through hole in vessel
Pipeline length (m)	
Pipeline diameter (mm)	
Pipeline roughness (mm)	
Hole diameter (mm)	10
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Height difference between pipe entrance and exit (m)	
Height leak above tank bottom (m)	1
Initial temperature in vessel (°C)	16
Vessel volume (m3)	570
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	38
Filling degree (%)	85
Expansion type	Adiabatic
n value	
Pressure inside vessel determination	Use vapour pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	*7,5105*
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	3600
Results	
Initial mass in vessel (ton (metric))	247,19
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	7,5105
Time needed to empty vessel (s)	*9,0074E05*
Massflowrate at time t (kg/s)	1,2602
Total mass released at time t (ton (metric))	4,4875
Pressure in vessel at time t (bar)	7,4964
Temperature in vessel at time t (°C)	15,931
VapourMass fraction at time t (%)	0
Liquid mass in vessel at time t (kg)	2,4153E05
Vapour mass in vessel at time t (kg)	1298,8
Height of liquid at time t (m)	3,4913
Fillingdegree at time t (%)	83,432
Exit pressure at time t (bar)	7,6205
Exit temperature at time t (°C)	15,931
Maximum mass flow rate (kg/s)	1,2617
Representative release rate (kg/s)	1,2616
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	15,997
Representative pressure at exit (bar)	7,637
Representative vapour mass fraction (-)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm

Model: Dense Gas Dispersion: Concentration

version: 5.13 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	1,2616
Duration of the release (s)	3600
Initial liquid mass fraction (%)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	15,997
X-coordinate of release (m)	390,47
Y-coordinate of release (m)	-368,4322
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	9
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	3600
Concentration averaging time (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	100
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0
Height (Zd) (m)	0
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	3550,4
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	1,9048E06
...at distance (m)	1,8447
Maximum distance to threshold concentration (m)	33,567
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	1,2616
Duration of the release (s)	1800
Initial liquid mass fraction (%)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	15,997
X-coordinate of release (m)	515,7408
Y-coordinate of release (m)	-425,1103
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	9
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	600
Concentration averaging time (s)	20
Use mass between LEL and UEL	Yes
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Explosive mass at time t (kg)	8,4315
Height to LEL at time t (m)	1,1
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	21,039
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	6,4613
Offset between release location and LEL at time t (m)	-0,02306
Maximum explosive mass (kg)	8,4315
...at time tmem (s)	1791
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	11,816
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	1800
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	21,039
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	6,4613
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	-0,02306
Maximum area of explosive cloud (m2)	100,97
...at time tmac (s)	1800
Explosive mass at time tmac (kg)	8,4315
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	21,039
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	6,4613
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	-0,02306
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	10,496
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_50 mbar

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

compared to: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_140 mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Libertação contínua orifício reservatório 10 mm)

Parameters		
Inputs	Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_50 mbar	Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_140 mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Total mass in explosive range (kg)	8,4315	8,4315
Fraction of flammable cloud confined (%)	10	10
Curve number	5 (Medium deflagration)	5 (Medium deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	100	100
Offset between release point and cloud centre (m)	10,496	10,496
Threshold overpressure (mbar)	50	**140**
X-coordinate of release (m)	515,7408	515,7408
Y-coordinate of release (m)	-425,1103	-425,1103
Predefined wind direction	NW	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*	*315*
Results	Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_50 mbar	Libertação contínua orifício reservatório 10 mm_140 mbar
Confined mass in explosive range (kg)	0,84315	0,84315
Total combustion energy (MJ)	38,796	38,796
Peak overpressure at Xd (mbar)	8,9252	8,9252
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,0151	1,0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	6,9182	6,9182
Positive phase duration at Xd (ms)	15,503	15,503
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	18,158	**6,3344**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program		Effects 9.0.23.
Chemical database		YAWS database
Chemical source		Purple book database
Chemical source date		22/07/1999

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (19/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	1,2616
Exit temperature (°C)	15,997
Exit pressure (bar)	7,637
Hole diameter (mm)	10
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	45
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	100
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	High
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	76,612
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	14,461
Frustum lift off height (b) (m)	0,17463
Width of frustum base (W1) (m)	1,0076
Width of frustum tip (W2) (m)	5,0028
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	11,473
Surface area of frustum (m2)	130,4
Surface emissive power (max) (kW/m2)	176,73
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	176,73
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	69,773
View factor at Xd (-)	0,001026
Heat radiation at Xd (kW/m2)	0,12652
Heat radiation first contour at (m)	23,4
Heat radiation second contour at (m)	20,862
Heat radiation third contour at (m)	17,138
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Libertação contínua orifício reservatório 10 mm

Model: Pool fire

version: 5.14 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Pool size determination	Confined
Total mass released (kg)	4487,5
Pool surface poolfire (m2)	300
Height of the receiver (m)	1,5
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Temperature of the pool (°C)	16
Pool burning rate	Calculate/Default
*Value of pool burning rate (kg/m2*s)*	
Fraction combustion heat radiated (%)	35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Amount of CO2 in atmosphere (%)	0,03
Distance from centre of the pool (Xd) (m)	100
Maximum heat exposure duration (s)	20
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Results	
Max Diameter of the Pool Fire (m)	19,544
Heat radiation at X (kW/m2)	0,73042
Heat radiation first contour at (m)	52,088
Heat radiation second contour at (m)	46,84
Heat radiation third contour at (m)	38,416
Combustion rate (kg/s)	29,7
Duration of the pool fire (s)	151,09
Heat emission from fire surface (kW/m2)	61,128
Flame tilt (deg)	52,509
View factor (%)	1,8199
Atmospheric transmissivity (%)	65,657
Flame temperature (°C)	747,45
Length of the flame (m)	29,638
Calculated pool surface area (m2)	300
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	299,5
Weight ratio of H2O/chemical (%)	163,5
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário F - Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 3”

Condições Específicas do Acidente	

• Fuga de GPL por rotura total de tubagem de 3” (76,2 mm) associada diretamente a um reservatório de 570 m^3
• Comprimento da tubagem de GPL até às primeiras interseções: 10 m
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Duração da descarga – 3600 seg	

PROBABILIDADES	
Derrame GPL – 3,35 × 10^{-4}	**Incêndio – 3,72 × 10^{-5}**

EFEITOS

Descarga

As tubagens diretamente associadas aos reservatórios têm no máximo 3” de diâmetro. Nas operações de trasfega de GPL entre os reservatórios de armazenagem (9x570 m^3) e os reservatórios de serviço (4x49,5 m^3), o caudal de trasfega é no máximo de 97 ton/h.

Considerando que o reservatório se encontra no máximo da sua capacidade e utilizando o modelo *Liquified Gas Bottom Discharge (TPDIS model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* obtiveram-se os resultados seguintes.

Descarga pela rotura

EFEITO	VALOR
Caudal representativo (kg/s)	21,26
Quantidade libertada numa hora (ton)	74

Derrame

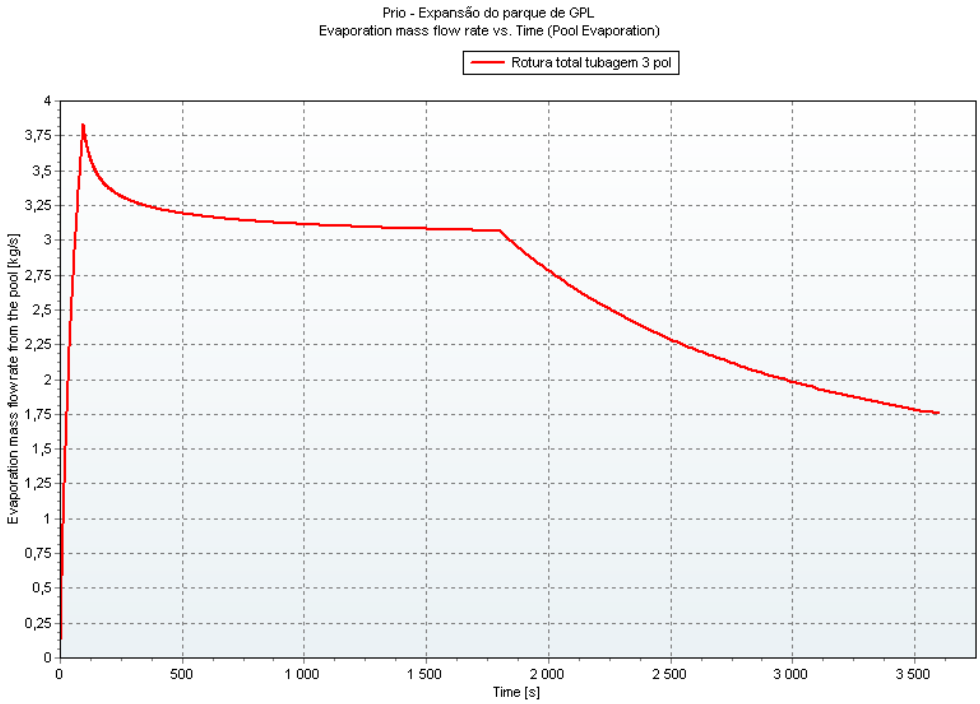
A rotura total pode ocorrer junto nas tubagens dos reservatórios de armazenagem.

Utilizando o modelo *Pool Evaporation* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão do derrame

EFEITO	VALOR
Área máxima do derrame (m^2)	300
Taxa de vaporização representativa (kg/s)	3,2
Duração representativa da vaporização (s)	3023

O comportamento do derrame, nomeadamente a evolução da taxa de vaporização em função do tempo, pode ser analisado no gráfico seguinte.



Dispersão

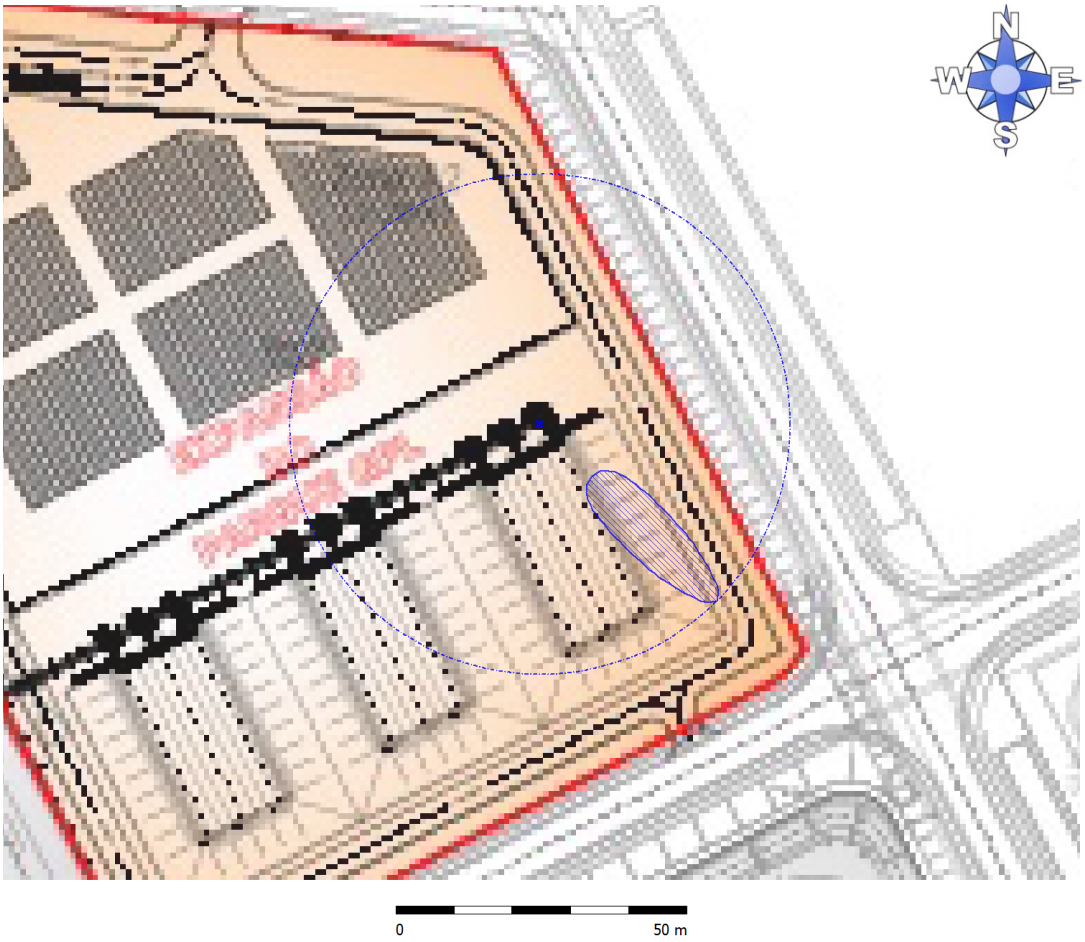
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável como consequência da dispersão da nuvem, modelou-se a dispersão de GPL tendo sido calculada a dispersão da nuvem até uma à concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Dense Gas Dispersion: Concentration* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando a evaporação a partir do derrame e os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para LII/2 (m)	43
Largura máxima da pluma para LII/2 (m)	9

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



Massa explosiva

Para determinar a massa de propano que efectivamente se encontra no domínio de inflamabilidade, e que irá explodir no caso de ignição retardada, utilizou-se o modelo *Dense Gas Dispersion: Explosive mass* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO.* Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obteve-se um valor de massa de propano, no domínio de inflamabilidade, de aproximadamente de 27 kg. Esta massa será constituída ao fim de cerca de 3012 segundos após o início da libertação e durará até ao final da descarga.

Explosão de nuvem

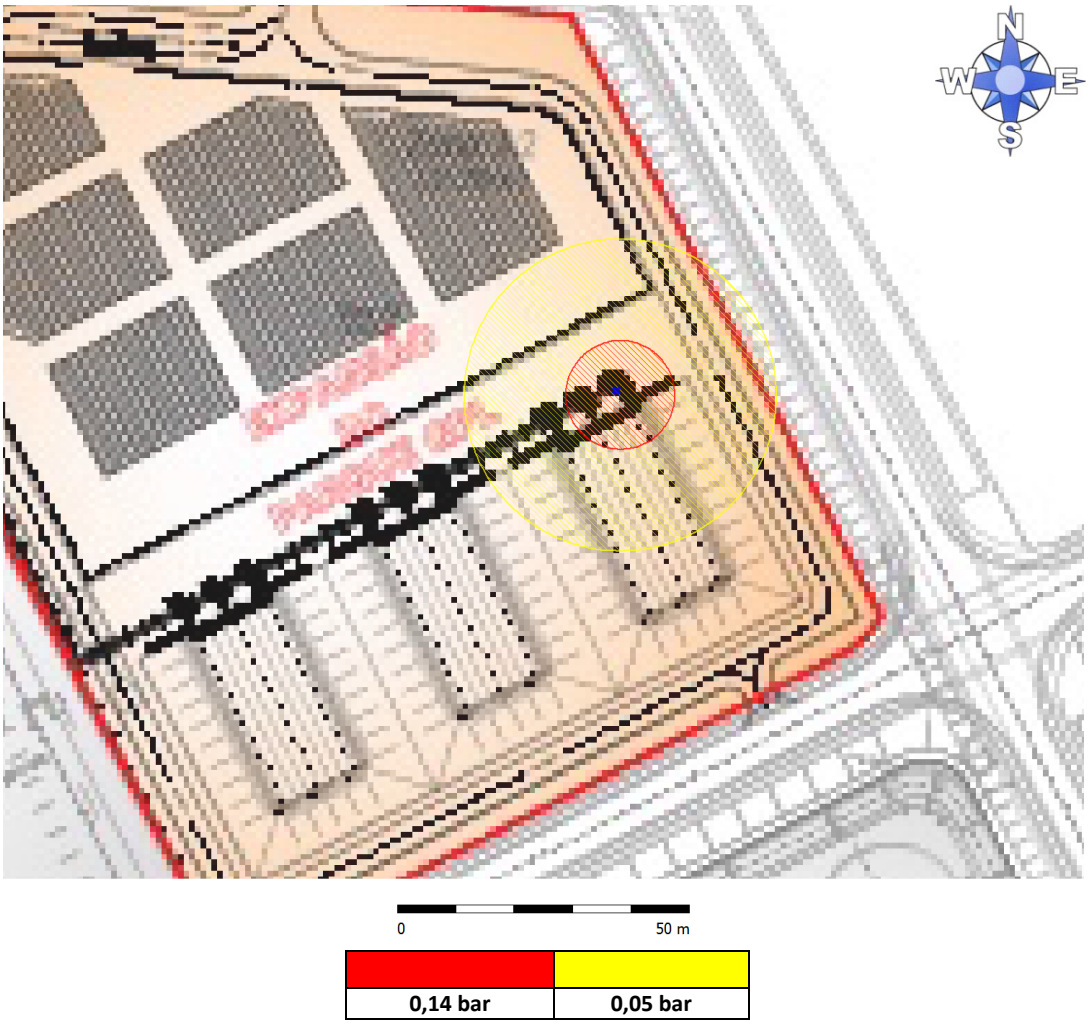
Considerando a massa explosiva acima calculada utilizou-se o modelo de multienergias *Explosion - Multi Energy model* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* para modelar a explosão da nuvem inflamável. Como pressupostos de modelação considerou-se que 10% da massa inflamável se encontraria confinada e um rendimento da explosão de 50% (correspondendo à curva 5 - deflagração média - do modelo utilizado).

Os resultados obtidos encontram-se no quadro seguinte:

Explosão de nuvem inflamável

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	9
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	27
Valor máximo de sobrepressão atingida (mbar)	206

A figura seguinte representa as áreas potencialmente atingidas pelos valores de sobrepressão acima referidos.



Inflamação do jato

No caso de ocorrer a ignição do jacto (imediata ou retardada) ocorrerá a combustão do produto descarregado sob a forma de um jacto inflamado, ancorado no ponto de descarga.

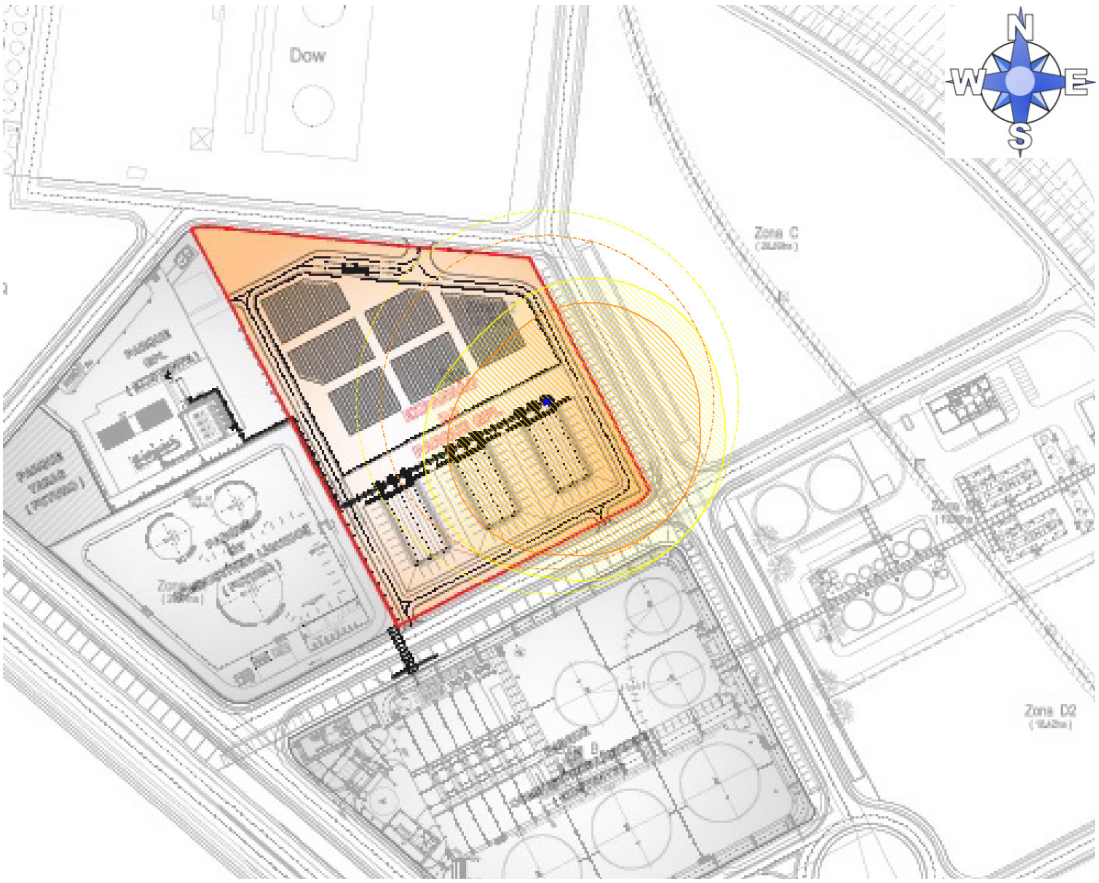
Para a modelação deste efeito, utilizou-se o modelo *Jet Fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO,* assumindo-se uma elevação do jato em relação à horizontal de 45º.

Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

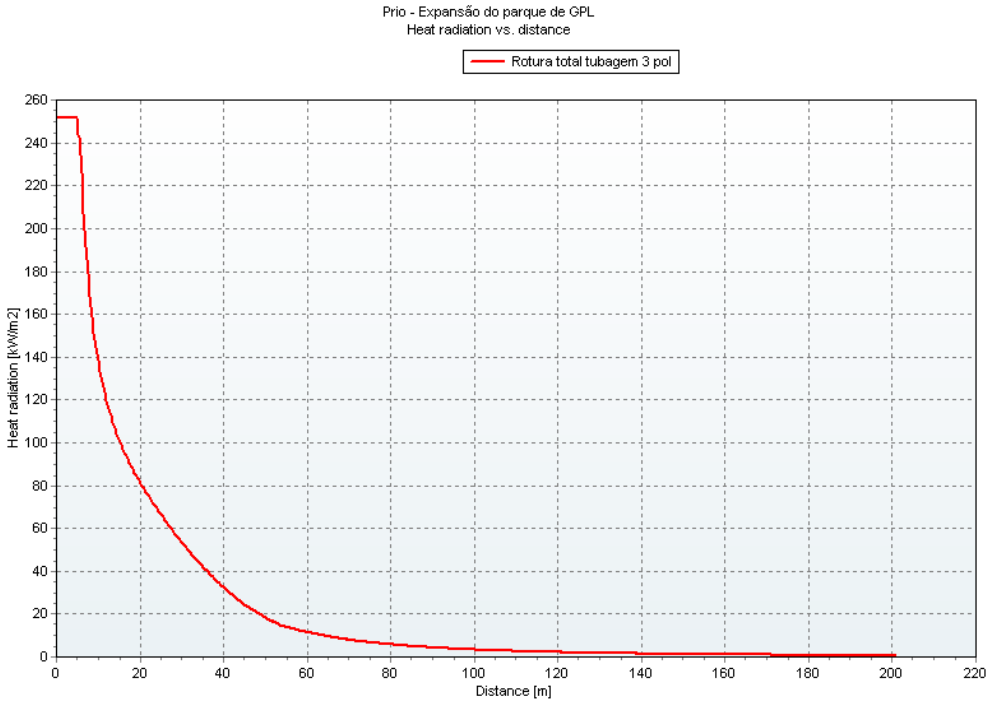
Inflamação do jato

EFEITO	VALOR
Comprimento do jacto inflamado (m)	39
Largura do jacto inflamado (m)	17
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	74
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	85
Emissividade da chama (kW/m^2)	251,5

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação incidente em função da distância.



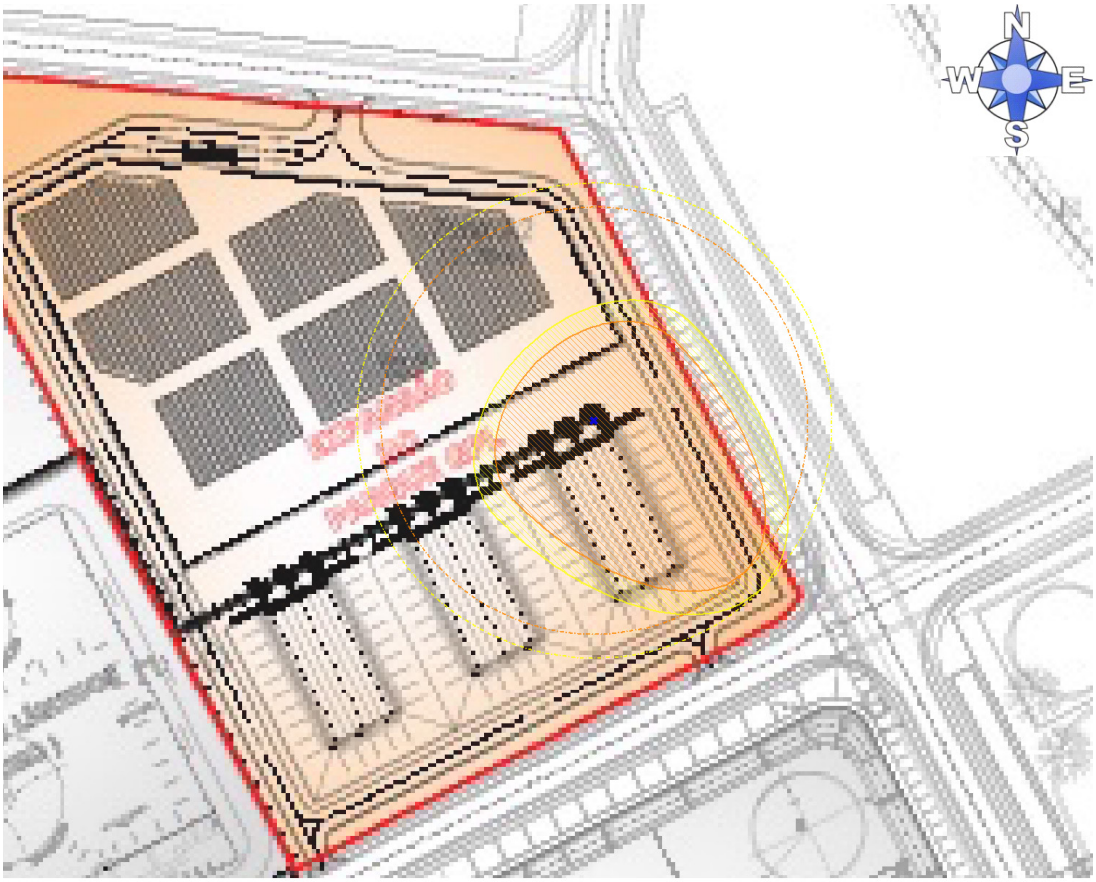
Incêndio do derrame

Com recurso ao modelo *Pool Fire* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

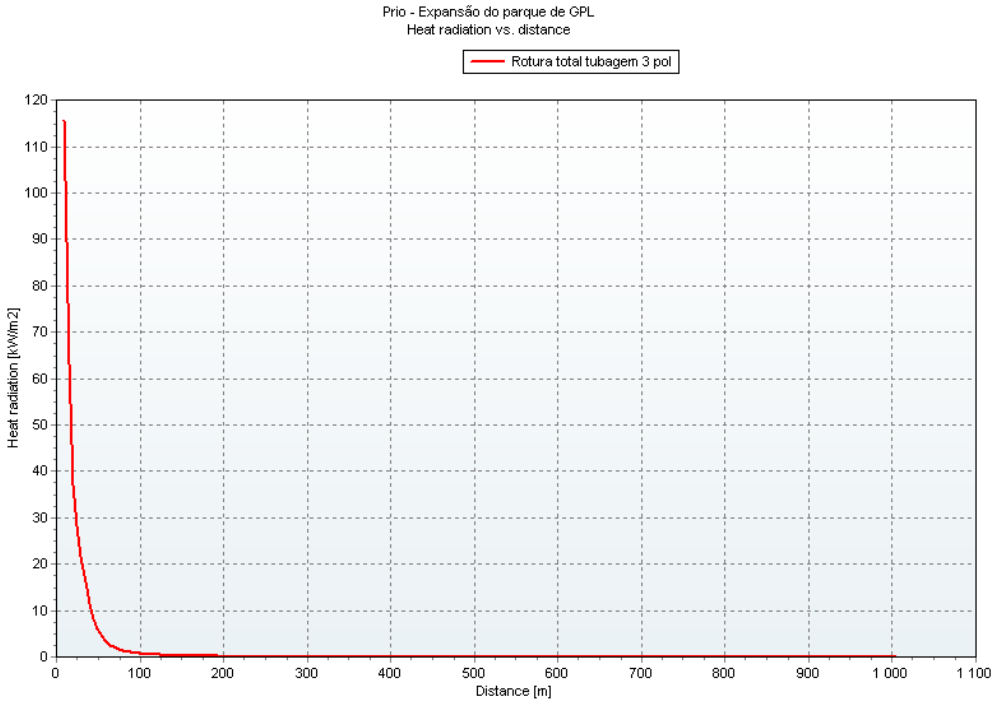
Combustão do derrame

EFEITO	VALOR
Comprimento da chama (m)	30
Emissividade da chama (kW/m^2)	
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	47
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	52

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação em função da distância.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos diretos para os humanos, não se preveem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 9 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes da projeção de fragmentos dos equipamentos adjacentes originado pela explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos, sobretudo para estruturas mais frágeis ou que apresentem superfícies de grande dimensão expostas aos efeitos da explosão (de frente para a zona da explosão) até uma distância de cerca de 9 m, sendo que os efeitos deixarão de produzir qualquer dano significativo para distâncias acima dos 27 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, quer do jato inflamado quer do derrame, verifica-se que os efeitos destes cenários, no que se refere aos valores de radiação de referência, não ficarão contidos dentro dos limites da instalação, não sendo, no entanto, previsíveis consequências relevantes. Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 52 m da eventual combustão do derrame ou 85 m do jacto inflamado.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 47 m da eventual combustão do derrame ou 74 m do jacto inflamado (nível de radiação de 7 kW/m^2).

Fora da área de ocorrência das chamas poderão ocorrer queimaduras do primeiro grau a pessoas expostas por períodos iguais ou superiores a 30 segundos em locais onde se faça

sentir um nível de radiação incidente superior a 5,0 kW/m^2, ou seja, a distâncias inferiores a 85 m do ponto de fuga do jacto inflamado, não se prevendo outro tipo de danos pessoais.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, face à duração do fenómeno ocorram danos significativos em alguns equipamentos da instalação.

Resultados da Modelação

Case description: Rotura total tubagem 3 pol

Model: Liquefied Gas Bottom Discharge (TPDIS model)

version: 5.08 (28/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Chapter 2 and Modelling source terms for the atmospheric dispersion of hazardous substances, Jaakko Kukkonen

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Type of vessel outflow	Release from vessel through (a hole in) pipe
Pipeline length (m)	10
Pipeline diameter (inch)	3
Pipeline roughness (mm)	0,045
Hole diameter (inch)	3
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Height difference between pipe entrance and exit (m)	0
Height leak above tank bottom (m)	0,5
Initial temperature in vessel (°C)	9
Vessel volume (m3)	570
Vessel type	Horizontal cylinder
Length cylinder (m)	38
Filling degree (%)	85
Expansion type	Adiabatic
n value	
Pressure inside vessel determination	Use vapour pressure
Initial (absolute) pressure in vessel (bar)	*6,1822*
Type of calculation	Calculate until specified time
Maximum release duration (s)	3600
Results	
Initial mass in vessel (kg)	2,5201E05
Initial (vapour) pressure in vessel (bar)	6,1822
Time needed to empty vessel (s)	*19350*
Massflowrate at time t (kg/s)	20,593
Total mass released at time t (kg)	74000
Pressure in vessel at time t (bar)	5,9839
Temperature in vessel at time t (°C)	7,8614
VapourMass fraction at time t (-)	0,029357
Liquid mass in vessel at time t (kg)	1,7627E05
Vapour mass in vessel at time t (kg)	2607,1
Height of liquid at time t (m)	2,5813
Fillingdegree at time t (%)	59,501
Exit pressure at time t (bar)	4,3815
Exit temperature at time t (°C)	-2,5573
Maximum mass flow rate (kg/s)	21,295
Representative release rate (kg/s)	21,26
Representative outflow duration (s)	1800
Representative temperature (°C)	-1,2418
Representative pressure at exit (bar)	4,5637
Representative vapour mass fraction (-)	0,028989
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 3 pol

Model: Pool evaporation

version: 5.18 (28/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation. Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Sterkenburg, R.P., Wijnant-Timmerman, S.I.: An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Diffusion coefficient in Schmidt number based on Fuller, Schetter and Gitting correlation, see http://www.thermopedia.com/content/696

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land
Type of release in pool	Semi-continuous
Mass flow rate of the source (kg/s)	21,26
Duration of the release (s)	1800
Total mass released (kg)	
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds
Type of pool growth on Water	
Temperature of the pool (°C)	9
Maximum pool surface area (m2)	300
Temperature of the subsoil (°C)	9
Temperature of the water (°C)	
Max temperature difference between pool and water (K)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	75
Solar radiation flux	Calculate value
Solar heat radiation flux (W/m2)	
Cloud cover (%)	40
Date: day number	1
Date: month number	2
Date: year number	2016
North/South latitude of the location (deg)	40,67
Type of subsoil (evaporation)	Isolation concrete
Subsoil roughness description (pool)	relatively flat sandy soil, gravel
Maximum evaluation time for evaporation (s)	3600
Results	
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0,75855
Time pool spreading ends (s)	95,5
Time until pool has totally evaporated (s)	
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	3,1871
Purple book representative evaporation duration (s)	3023,4
Representative temperature (°C)	-57,863
Representative pool diameter (m)	19,544
Density after mixing with air (kg/m3)	1,2859
Total evaporated mass (kg)	9635,8
... duration evaporation time (s)	3599,5
Corresponding representative pool surface area (m2)	300
Schmidt number used	1,5531
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 3 pol

Model: Dense Gas Dispersion: Concentration

version: 5.13 (28/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	3,1871
Duration of the release (s)	3023,4
Initial liquid mass fraction (-)	0
Fixed pool surface (m2)	*300*
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	-57,863
X-coordinate of release (m)	350,0943
Y-coordinate of release (m)	-193,5671
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	16
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	120
Concentration averaging time (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0
Height (Zd) (m)	1,5
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	29377
...at distance (m)	20,781
Maximum distance to threshold concentration (m)	42,948
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 3 poll_50mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Rotura total tubagem 3 pol (linked to Pool evaporation - Rotura total tubagem 3 pol))

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (28/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

compared to: Rotura total tubagem 3 pol_140mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Rotura total tubagem 3 pol (linked to Pool evaporation - Rotura total tubagem 3 pol))

Parameters		
Inputs	Rotura total tubagem 3 poll_50mbar	Rotura total tubagem 3 pol_140mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Total mass in explosive range (kg)	26,702	26,702
Fraction of flammable cloud confined (%)	10	10
Curve number	5 (Medium deflagration)	5 (Medium deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	50	50
Offset between release point and cloud centre (m)	1	1
Threshold overpressure (mbar)	50	**140**
X-coordinate of release (m)	350,0943	350,0943
Y-coordinate of release (m)	-193,5671	-193,5671
Predefined wind direction	NW	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*	*315*
Results	Rotura total tubagem 3 poll_50mbar	Rotura total tubagem 3 pol_140mbar
Confined mass in explosive range (kg)	2,6702	2,6702
Total combustion energy (MJ)	122,86	122,86
Peak overpressure at Xd (mbar)	26,012	26,012
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,0151	1,0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	29,311	29,311
Positive phase duration at Xd (ms)	22,536	22,536
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	26,665	**9,3022**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program		Effects 9.0.23.
Chemical database		YAWS database
Chemical source		Purple book database
Chemical source date		22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 3 pol

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (28/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	21,26
Exit temperature (°C)	-1,2418
Exit pressure (bar)	4,5637
Hole diameter (inch)	3
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	45
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	100
X-coordinate of release (m)	350,0943
Y-coordinate of release (m)	-193,5671
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	High
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	61,374
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	1,2783
Frustum lift off height (b) (m)	0,59178
Width of frustum base (W1) (m)	4,2538
Width of frustum tip (W2) (m)	17,379
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	38,861
Surface area of frustum (m2)	1590,7
Surface emissive power (max) (kW/m2)	251,52
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	251,52
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	71,488
View factor at Xd (-)	0,018431
Heat radiation at Xd (kW/m2)	3,3135
Heat radiation first contour at (m)	84,586
Heat radiation second contour at (m)	73,777
Heat radiation third contour at (m)	57,773
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 3 pol

Model: Pool fire

version: 5.14 (28/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Pool size determination	Confined
Total mass released (ton (metric))	74
Mass flow rate of the source (kg/s)	*21,26*
Duration of the release (s)	*1800*
Pool surface poolfire (m2)	300
Height of the receiver (m)	1,5
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Temperature of the pool (°C)	9
Pool burning rate	Calculate/Default
*Value of pool burning rate (kg/m2*s)*	
Fraction combustion heat radiated (-)	0,35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Distance from centre of the pool (Xd) (m)	1000
Maximum heat exposure duration (s)	20
X-coordinate of release (m)	350,0943
Y-coordinate of release (m)	-193,5671
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Results	
Max Diameter of the Pool Fire (m)	19,544
Heat radiation at X (kW/m2)	0,0032849
Heat radiation first contour at (m)	52,334
Heat radiation second contour at (m)	47,085
Heat radiation third contour at (m)	38,524
Combustion rate (kg/s)	29,7
Duration of the pool fire (s)	2491,6
Heat emission from fire surface (kW/m2)	61,128
Flame tilt (deg)	52,509
View factor (-)	0,00011705
Atmospheric transmissivity (%)	45,91
Flame temperature (°C)	747,45
Length of the flame (m)	29,638
Calculated pool surface area (m2)	300
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	299,5
Weight ratio of H2O/chemical (%)	163,5
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário G – Rotura total de tubagem - diâmetro nominal 6”

Condições Específicas do Acidente	

• Fuga de GPL por rotura total de tubagem de 6” (152 mm)
• Comprimento das tubagens de GPL (fase líquida) expostas na instalação: 610 m
• Caudal de descarga: 97 ton/h
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Duração da descarga – 300 seg	

PROBABILIDADES	
Derrame GPL – 1,10 × 10^{-4}	**Incêndio – 1,22 × 10^{-5}**

EFEITOS

Descarga

As operações de trasfega de GPL entre os reservatórios de armazenagem (9x570 m^3) e os reservatórios de serviço (4x49,5 m^3), o caudal de trasfega previsto na fase líquida é no máximo de 97 ton/h.

Considerando que, em caso rotura total da tubagem, os meios internos conseguirão ter a situação controlada no máximo ao fim de 5 minutos, estima-se que a quantidade total de produto libertado, durante esse período ao caudal considerado, será de cerca de 8,1 toneladas. Assim, teremos uma taxa média de descarga de 27 kg/s.

Derrame

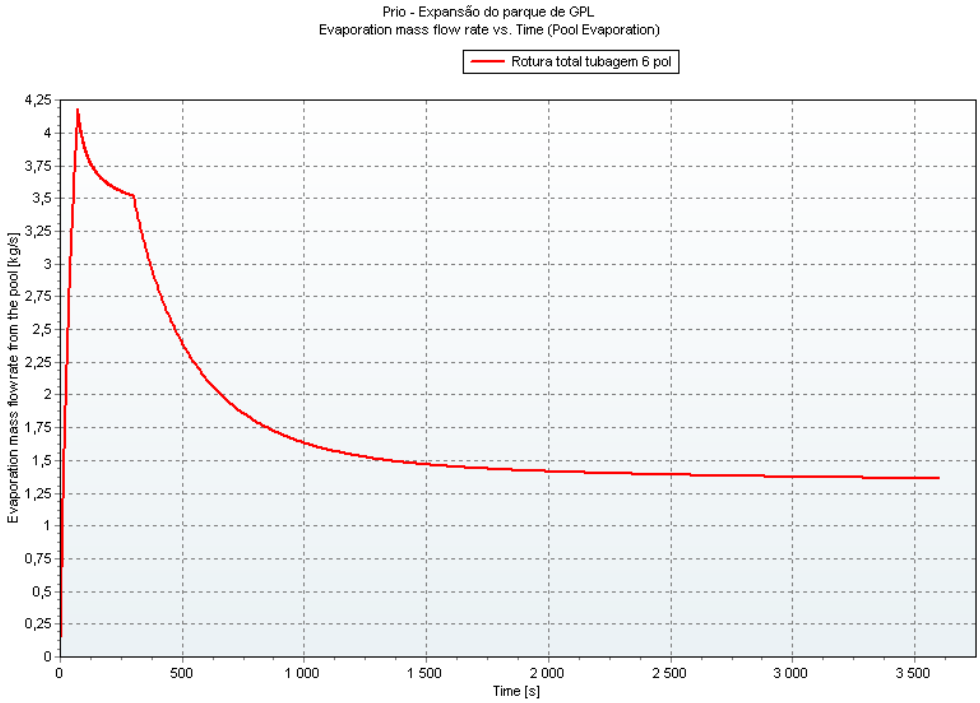
A rotura total pode ocorrer ao longo da tubagem que liga os reservatórios de armazenagem e os reservatórios de serviço.

Utilizando o modelo *Pool Evaporation* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão do derrame

EFEITO	VALOR
Área máxima do derrame (m^2)	212
Taxa de vaporização representativa (kg/s)	3,3
Duração representativa da vaporização (s)	1870

O comportamento do derrame, nomeadamente a evolução da taxa de vaporização em função do tempo, pode ser analisado no gráfico seguinte.



Dispersão

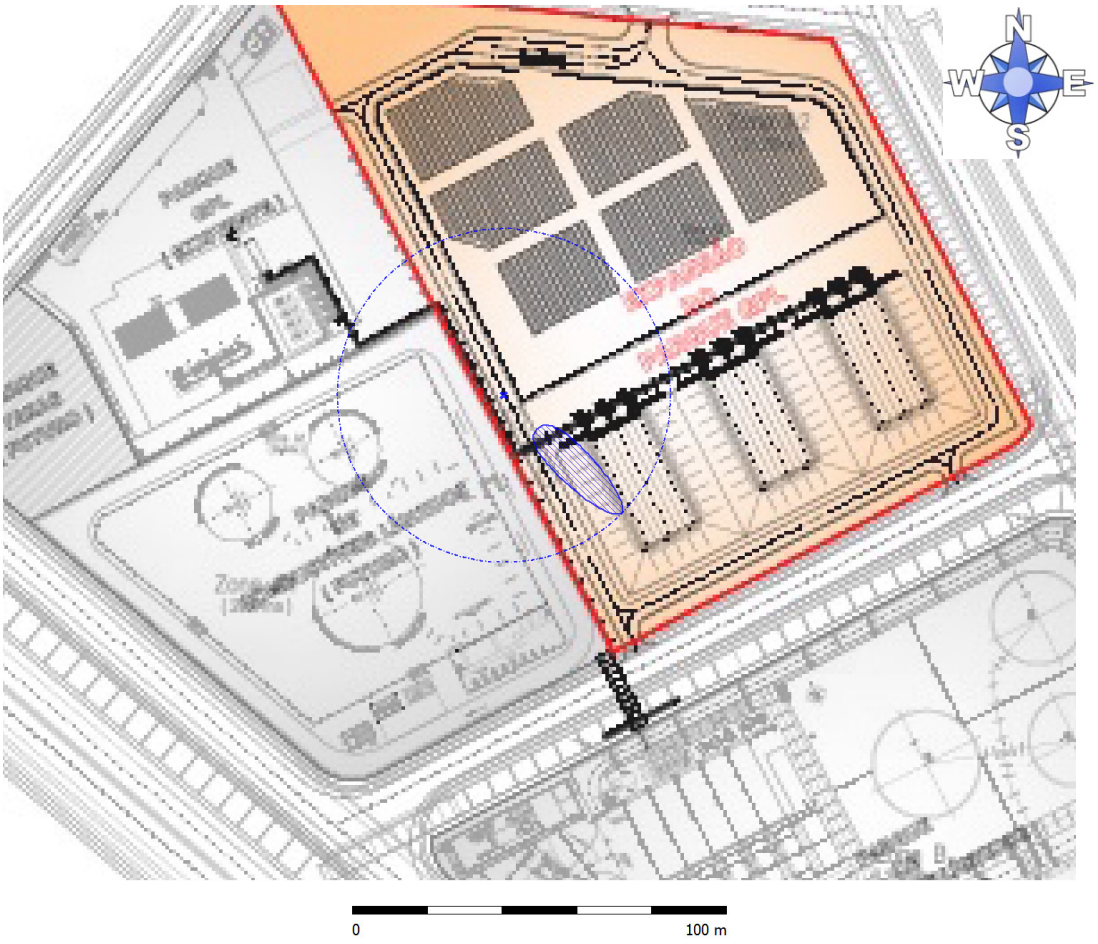
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável como consequência da dispersão da nuvem, modelou-se a dispersão de GPL tendo sido calculada a dispersão da nuvem até uma à concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Dense Gas Dispersion: Concentration* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando a evaporação a partir do derrame e os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para LII/2 (m)	44
Largura máxima da pluma para LII/2 (m)	10

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



Massa explosiva

Para determinar a massa de propano que efectivamente se encontra no domínio de inflamabilidade, e que irá explodir no caso de ignição retardada, utilizou-se o modelo *Dense Gas Dispersion: Explosive mass* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO.* Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obteve-se um valor de massa de propano, no domínio de inflamabilidade, de aproximadamente de 29 kg. Esta massa será constituída ao fim de cerca de 1530 segundos após o início da libertação e durará até ao final da descarga.

Explosão de nuvem

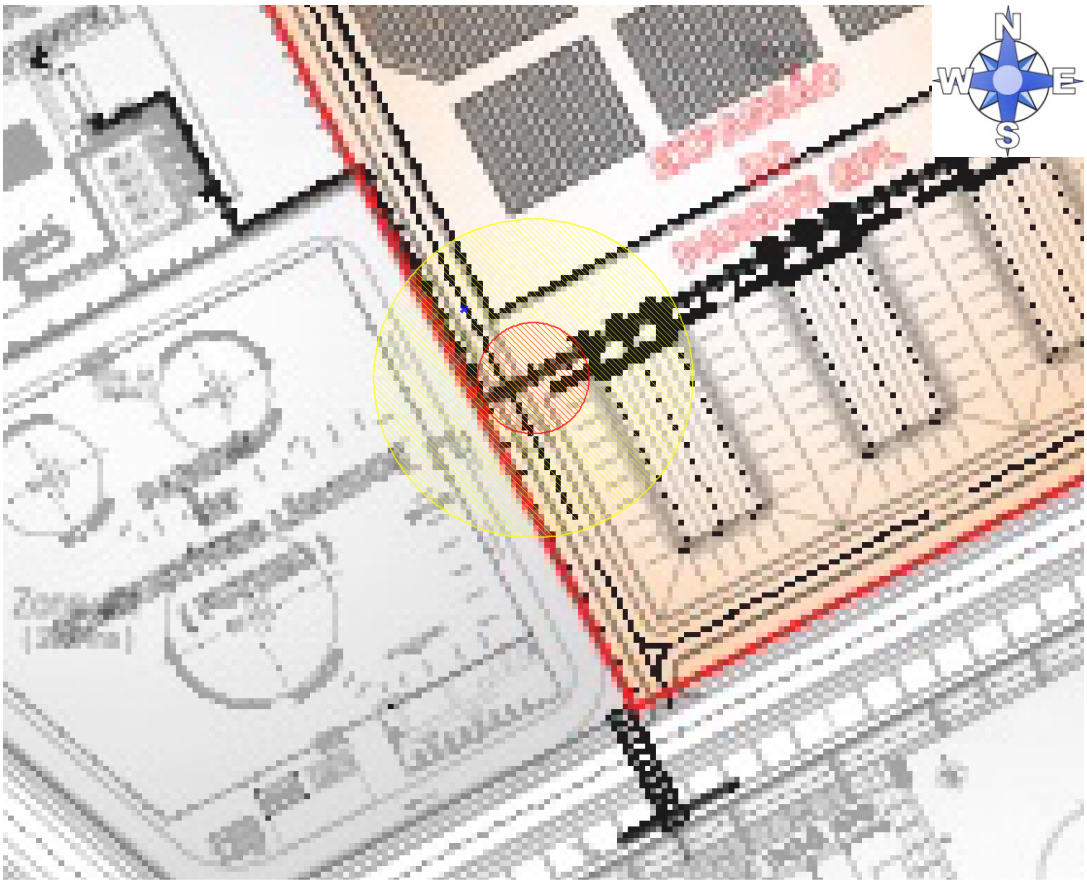
Considerando a massa explosiva acima calculada utilizou-se o modelo de multienergias *Explosion - Multi Energy model* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* para modelar a explosão da nuvem inflamável. Como pressupostos de modelação considerou-se que 10% da massa inflamável se encontraria confinada e um rendimento da explosão de 50% (correspondendo à curva 5 - deflagração média - do modelo utilizado).

Os resultados obtidos encontram-se no quadro seguinte:

Explosão de nuvem inflamável

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	10
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	27
Valor máximo de sobrepressão atingida (mbar)	206

A figura seguinte representa as áreas potencialmente atingidas pelos valores de sobrepressão acima referidos.



Inflamação do jato

No caso de ocorrer a ignição do jacto (imediata ou retardada) ocorrerá a combustão do produto descarregado sob a forma de um jacto inflamado, ancorado no ponto de descarga.

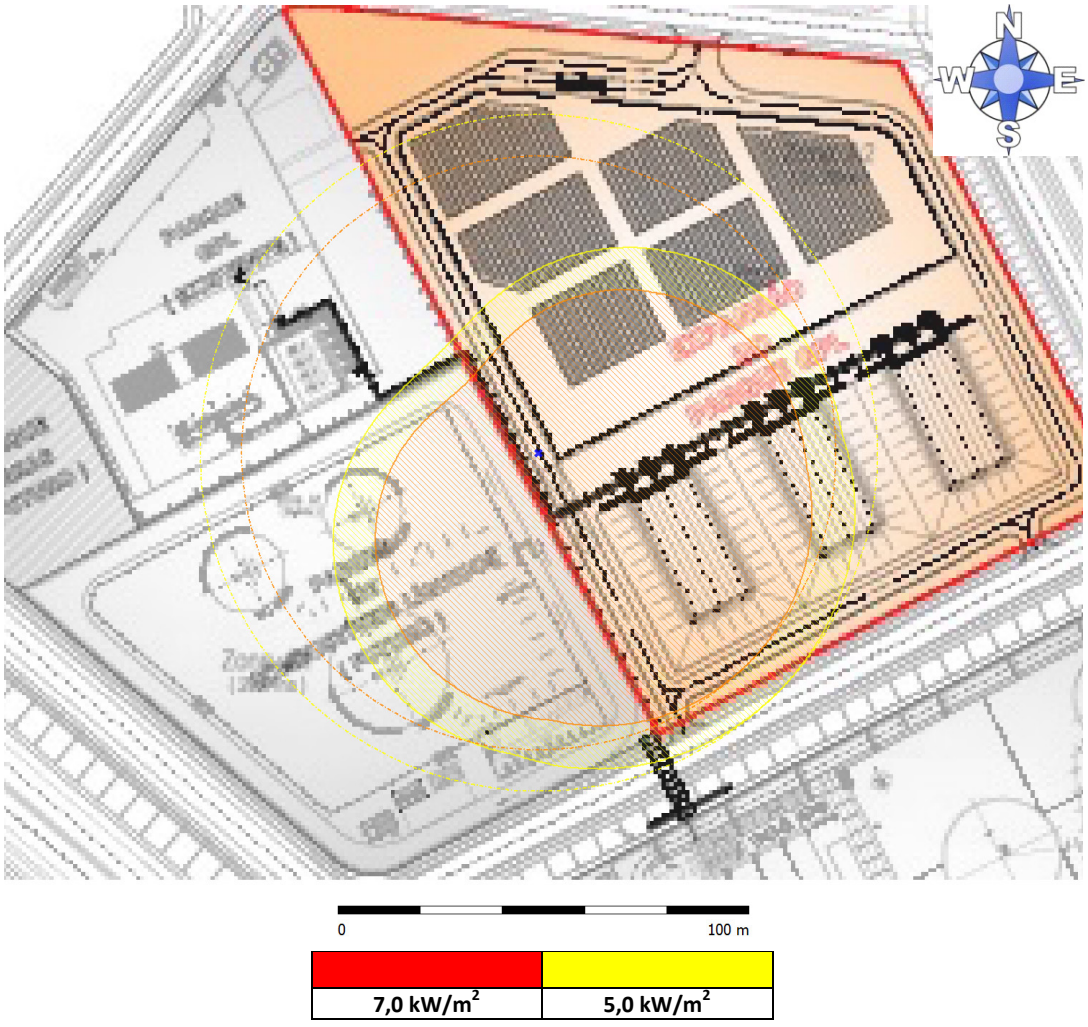
Para a modelação deste efeito, utilizou-se o modelo *Jet Fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO,* assumindo-se uma elevação do jato em relação à horizontal de 45º.

Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

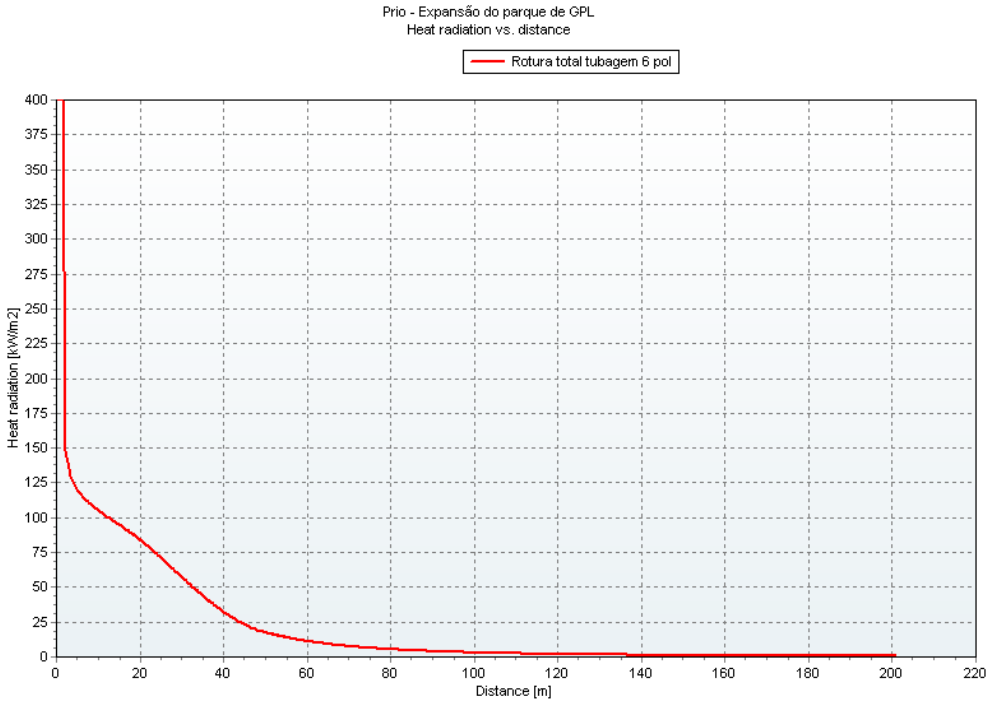
Inflamação do jato

EFEITO	VALOR
Comprimento do jacto inflamado (m)	36
Largura do jacto inflamado (m)	13
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	72
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	82
Emissividade da chama (kW/m^2)	400,0

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação incidente em função da distância.



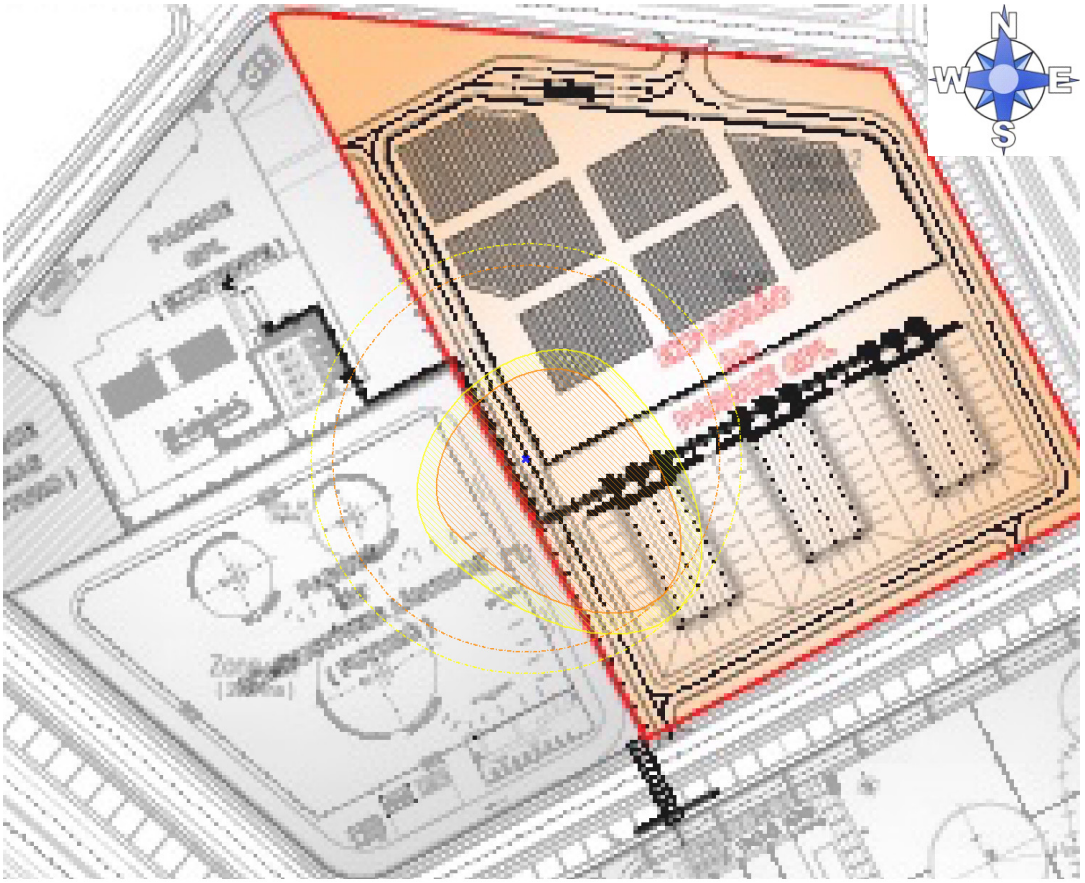
Incêndio do derrame

Com recurso ao modelo *Pool Fire* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

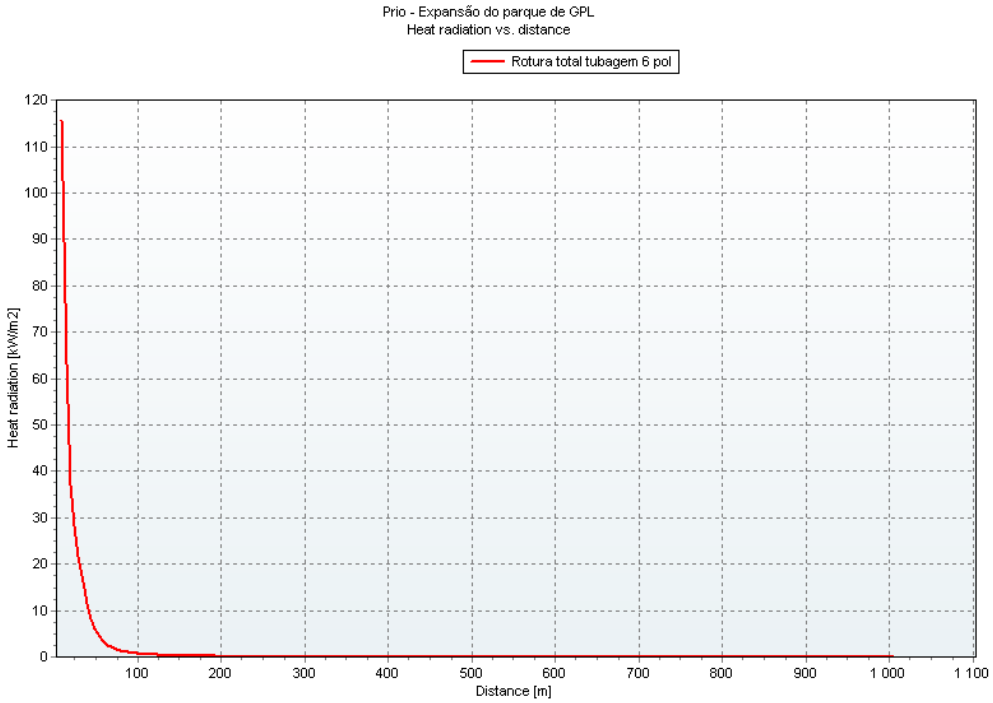
Combustão do derrame

EFEITO	VALOR
Comprimento da chama (m)	30
Emissividade da chama (kW/m^2)	61,1
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	47
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	52

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação em função da distância.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos diretos para os humanos, não se preveem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 10 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes da projeção de fragmentos dos equipamentos adjacentes originado pela explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos, sobretudo para estruturas mais frágeis ou que apresentem superfícies de grande dimensão expostas aos efeitos da explosão (de frente para a zona da explosão) até uma distância de cerca de 10 m, sendo que os efeitos deixarão de produzir qualquer dano significativo para distâncias acima dos 27 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, quer do jato inflamado quer do derrame, verifica-se que os efeitos destes cenários, no que se refere aos valores de radiação de referência, não ficarão contidos dentro dos limites da instalação, não sendo, no entanto, previsíveis consequências relevantes. Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 52 m da eventual combustão do derrame ou 82 m do jacto inflamado.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 47 m da eventual combustão do derrame ou 72 m do jacto inflamado (nível de radiação de 7 kW/m^2).

Fora da área de ocorrência das chamas poderão ocorrer queimaduras do primeiro grau a pessoas expostas por períodos iguais ou superiores a 30 segundos em locais onde se faça sentir um nível de radiação incidente superior a 5,0 kW/m^2, ou seja, a distâncias inferiores a 82 m do ponto de fuga do jacto inflamado, não se prevendo outro tipo de danos pessoais.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, face à duração do fenómeno ocorram danos significativos em alguns equipamentos da instalação.

Resultados da Modelação

Case description: Rotura total tubagem 6 pol

Model: Pool evaporation

version: 5.18 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation. Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Sterkenburg, R.P., Wijnant-Timmerman, S.I.: An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Diffusion coefficient in Schmidt number based on Fuller, Schetter and Gitting correlation, see http://www.thermopedia.com/content/696

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land
Type of release in pool	Semi-continuous
Mass flow rate of the source (kg/s)	27
Duration of the release (s)	300
Total mass released (kg)	
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds
Type of pool growth on Water	
Temperature of the pool (°C)	9
Maximum pool surface area (m2)	300
Temperature of the subsoil (°C)	9
Temperature of the water (°C)	
Max temperature difference between pool and water (K)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	75
Solar radiation flux	Calculate value
Solar heat radiation flux (W/m2)	
Cloud cover (%)	40
Date: day number	1
Date: month number	2
Date: year number	2016
North/South latitude of the location (deg)	40,67
Type of subsoil (evaporation)	Isolation concrete
Subsoil roughness description (pool)	relatively flat sandy soil, gravel
Maximum evaluation time for evaporation (s)	3600
Results	
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0,75855
Time pool spreading ends (s)	73,5
Time until pool has totally evaporated (s)	
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	3,3369
Purple book representative evaporation duration (s)	1870,2
Representative temperature (°C)	-49,587
Representative pool diameter (m)	16,423
Density after mixing with air (kg/m3)	1,2951
Total evaporated mass (kg)	6240,6
... duration evaporation time (s)	3599,5
Corresponding representative pool surface area (m2)	211,82
Schmidt number used	1,5531
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 6 pol

Model: Dense Gas Dispersion: Concentration

version: 5.13 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	3,3369
Duration of the release (s)	1870,2
Initial liquid mass fraction (-)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	-49,587
X-coordinate of release (m)	254,91
Y-coordinate of release (m)	-224,2853
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	16
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	120
Concentration averaging time (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0
Height (Zd) (m)	1,5
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	30172
...at distance (m)	20,781
Maximum distance to threshold concentration (m)	44,448
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 6 pol

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	3,3369
Duration of the release (s)	1870,2
Initial liquid mass fraction (-)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	-49,587
X-coordinate of release (m)	254,91
Y-coordinate of release (m)	-224,2853
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	16
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	120
Concentration averaging time (s)	20
Use mass between LEL and UEL	Yes
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Explosive mass at time t (kg)	28,503
Height to LEL at time t (m)	1,4
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	33,495
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	12,39
Offset between release location and LEL at time t (m)	-0,023015
Maximum explosive mass (kg)	28,503
...at time tmem (s)	1529,9
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	11,894
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	1870,2
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	33,495
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	12,39
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	-0,023015
Maximum area of explosive cloud (m2)	306,67
...at time tmac (s)	1870,2
Explosive mass at time tmac (kg)	28,503
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	33,495
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	12,39
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	-0,023015
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	16,724
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total tubagem 6 pol_50mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Rotura total tubagem 6 pol)

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

compared to: Rotura total tubagem 6 pol_140mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Rotura total tubagem 6 pol)

Parameters		
Inputs	Rotura total tubagem 6 pol_50mbar	Rotura total tubagem 6 pol_140mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Total mass in explosive range (kg)	28,503	28,503
Fraction of flammable cloud confined (%)	10	10
Curve number	5 (Medium deflagration)	5 (Medium deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	50	50
Offset between release point and cloud centre (m)	16,724	16,724
Threshold overpressure (mbar)	50	**140**
X-coordinate of release (m)	254,91	254,91
Y-coordinate of release (m)	-224,2853	-224,2853
Predefined wind direction	NW	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*	*315*
Results	Rotura total tubagem 6 pol_50mbar	Rotura total tubagem 6 pol_140mbar
Confined mass in explosive range (kg)	2,8503	2,8503
Total combustion energy (MJ)	131,15	131,15
Peak overpressure at Xd (mbar)	26,545	26,545
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,0151	1,0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	30,563	30,563
Positive phase duration at Xd (ms)	23,027	23,027
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	27,252	**9,5067**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program	Effects 9.0.23.	
Chemical database	YAWS database	
Chemical source	Purple book database	
Chemical source date	22/07/1999	

Case description: Rotura total tubagem 6 pol

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (26/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	27
Exit temperature (°C)	9
Exit pressure (bar)	6,5
Hole diameter (inch)	6
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	45
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	100
X-coordinate of release (m)	0
Y-coordinate of release (m)	0
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	High
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	234,63
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	4,3344
Frustum lift off height (b) (m)	0,55298
Width of frustum base (W1) (m)	0,13451
Width of frustum tip (W2) (m)	12,929
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	36,314
Surface area of frustum (m2)	887,96
Surface emissive power (max) (kW/m2)	400
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	400
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	71,326
View factor at Xd (-)	0,010588
Heat radiation at Xd (kW/m2)	3,0209
Heat radiation first contour at (m)	82,173
Heat radiation second contour at (m)	72,162
Heat radiation third contour at (m)	57,432
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

TRIFÓLIO

Case description: Rotura total tubagem 6 pol

Model: Pool fire

version: 5.14 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Pool size determination	Confined
Total mass released (ton (metric))	8,1
Mass flow rate of the source (kg/s)	*3,3369*
Duration of the release (s)	*1870,2*
Pool surface poolfire (m2)	300
Height of the receiver (m)	1,5
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Temperature of the pool (°C)	9
Pool burning rate	Calculate/Default
*Value of pool burning rate (kg/m2*s)*	
Fraction combustion heat radiated (-)	0,35
Soot Fraction	Calculate/Default
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Distance from centre of the pool (Xd) (m)	1000
Maximum heat exposure duration (s)	20
X-coordinate of release (m)	254,91
Y-coordinate of release (m)	-224,2853
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Results	
Max Diameter of the Pool Fire (m)	19,544
Heat radiation at X (kW/m2)	0,0032849
Heat radiation first contour at (m)	52,334
Heat radiation second contour at (m)	47,085
Heat radiation third contour at (m)	38,524
Combustion rate (kg/s)	29,7
Duration of the pool fire (s)	272,73
Heat emission from fire surface (kW/m2)	61,128
Flame tilt (deg)	52,509
View factor (-)	0,00011705
Atmospheric transmissivity (%)	45,91
Flame temperature (°C)	747,45
Length of the flame (m)	29,638
Calculated pool surface area (m2)	300
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	299,5
Weight ratio of H2O/chemical (%)	163,5
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Cenário H – Rotura total de tubagem do gasoduto - diâmetro nominal 6”

Condições Específicas do Acidente	

• Fuga de GPL por rotura total do gasoduto na instalação – 6” (152 mm)
• Comprimento do gasoduto na instalação: 220 m
• Caudal de descarga: 120 ton/h
• Condições atmosféricas
  ○ Vento – NW – 5 m/s
  ○ Estabilidade – D
  ○ Temperatura – 16 °C
• Duração da descarga – 300 seg	

PROBABILIDADES	
Derrame GPL – 1,98 × 10^{-5}	**Incêndio – 2,20 × 10^{-6}**

EFEITOS

Descarga

Durante a bombagem do GPL do cais para os reservatórios de armazenagem, o caudal de operação no gasoduto é no máximo de 120 ton/h. Considerando que, em caso rotura total do gasoduto, os meios internos conseguirão ter a situação controlada no máximo ao fim de 5 minutos, estima-se que a quantidade total de produto libertado, durante esse período ao caudal considerado, será de cerca de 10 toneladas. Assim, teremos uma taxa média de descarga de 33,3 kg/s.

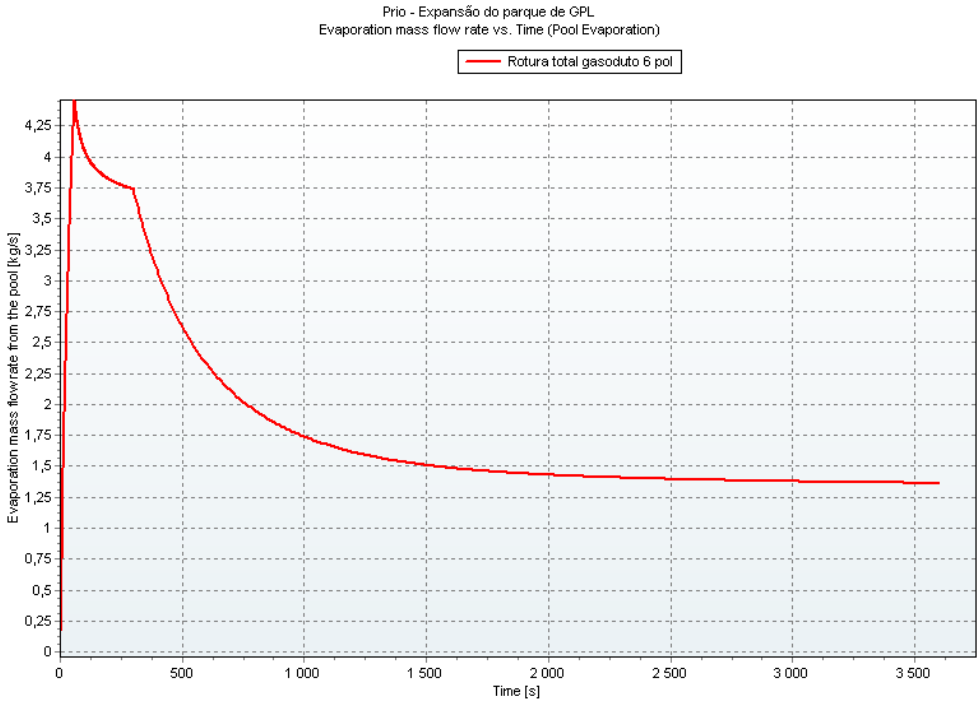
Derrame

Utilizando o modelo *Pool Evaporation* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão do derrame

EFEITO	VALOR
Área máxima do derrame (m^2)	218
Taxa de vaporização representativa (kg/s)	3,6
Duração representativa da vaporização (s)	1801

O comportamento do derrame, nomeadamente a evolução da taxa de vaporização em função do tempo, pode ser analisado no gráfico seguinte.



Dispersão

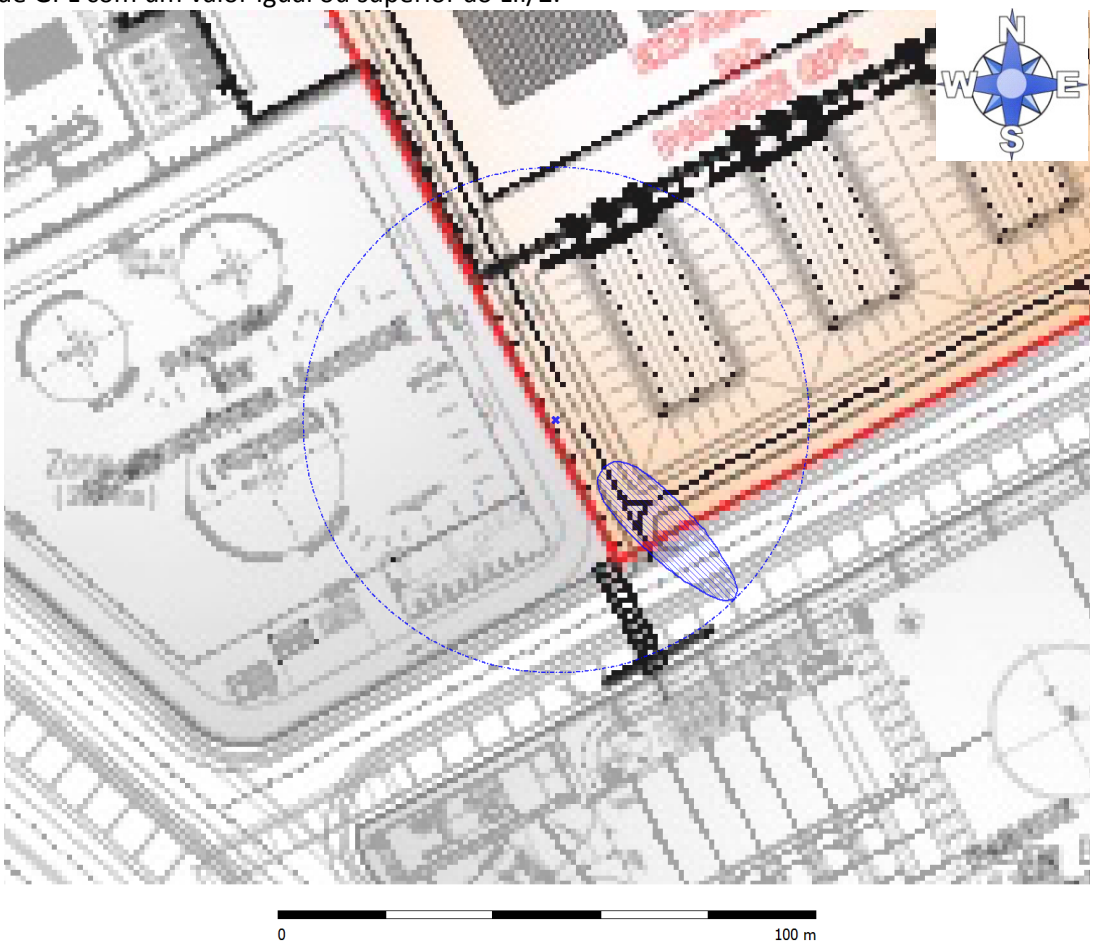
Com vista a caracterizar a área onde potencialmente se poderá formar uma atmosfera inflamável como consequência da dispersão da nuvem, modelou-se a dispersão de GPL tendo sido calculada a dispersão da nuvem até uma à concentração de metade do Limite Inferior de Inflamabilidade (1,05%).

Com recurso ao modelo *Dense Gas Dispersion: Concentration* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando a evaporação a partir do derrame e os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

Dispersão na atmosfera

EFEITO	VALOR
Distância na direcção do vento a que ocorre a diluição para LII/2 (m)	47
Largura máxima da pluma para LII/2 (m)	11

A figura seguinte representa a área onde potencialmente se poderão formar concentrações de GPL com um valor igual ou superior ao LII/2.



Massa explosiva

Para determinar a massa de propano que efectivamente se encontra no domínio de inflamabilidade, e que irá explodir no caso de ignição retardada, utilizou-se o modelo *Dense Gas Dispersion: Explosive mass* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO.* Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obteve-se um valor de massa de propano, no domínio de inflamabilidade, de aproximadamente de 32 kg. Esta massa será constituída ao fim de cerca de 1406 segundos após o início da libertação e durará até ao final da descarga.

Explosão de nuvem

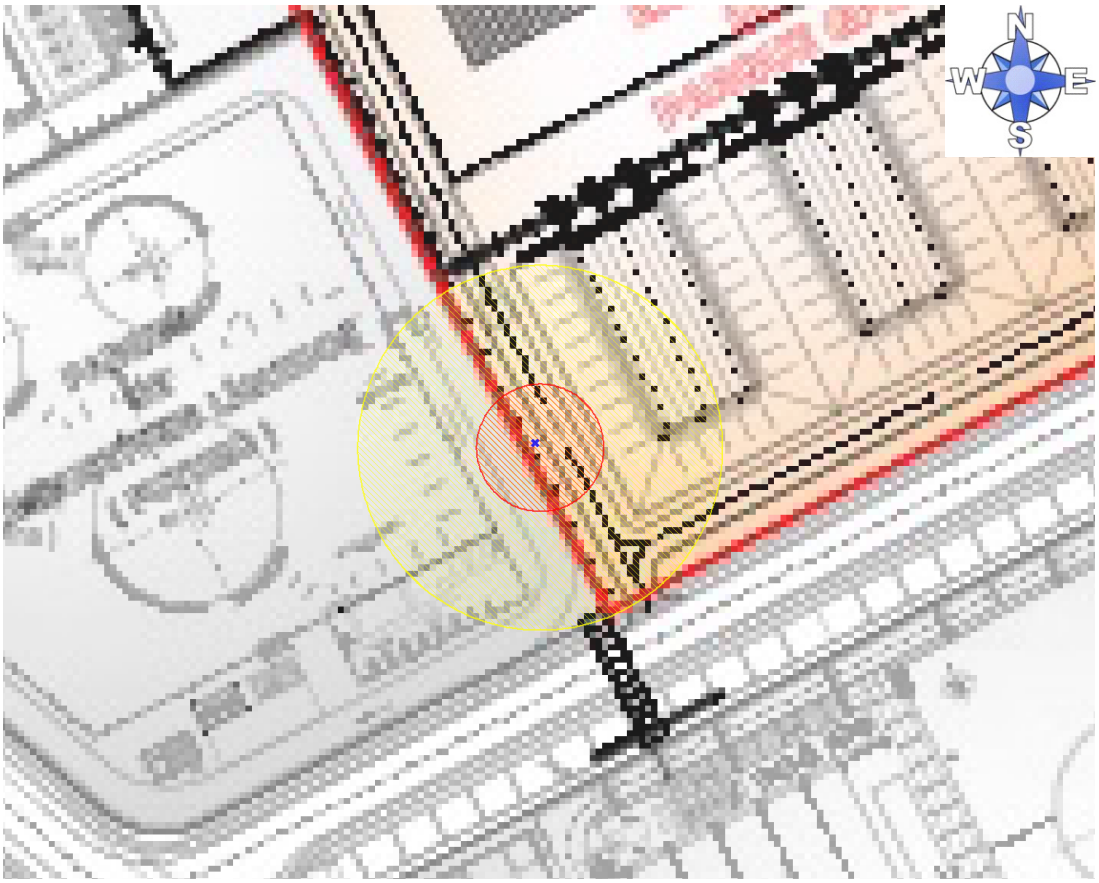
Considerando a massa explosiva acima calculada utilizou-se o modelo de multienergias *Explosion - Multi Energy model* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* para modelar a explosão da nuvem inflamável. Como pressupostos de modelação considerou-se que 10% da massa inflamável se encontraria confinada e um rendimento da explosão de 50% (correspondendo à curva 5 - deflagração média - do modelo utilizado).

Os resultados obtidos encontram-se no quadro seguinte:

Explosão de nuvem inflamável

EFEITO	VALOR
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,14 bar (m)	10
Distância a que se faz sentir a sobrepressão de 0,05 bar (m)	28
Valor máximo de sobrepressão atingida (mbar)	206

A figura seguinte representa as áreas potencialmente atingidas pelos valores de sobrepressão acima referidos.



0 50 m

0,14 bar	**0,05 bar**

Inflamação do jato

No caso de ocorrer a ignição do jacto (imediata ou retardada) ocorrerá a combustão do produto descarregado sob a forma de um jacto inflamado, ancorado no ponto de descarga.

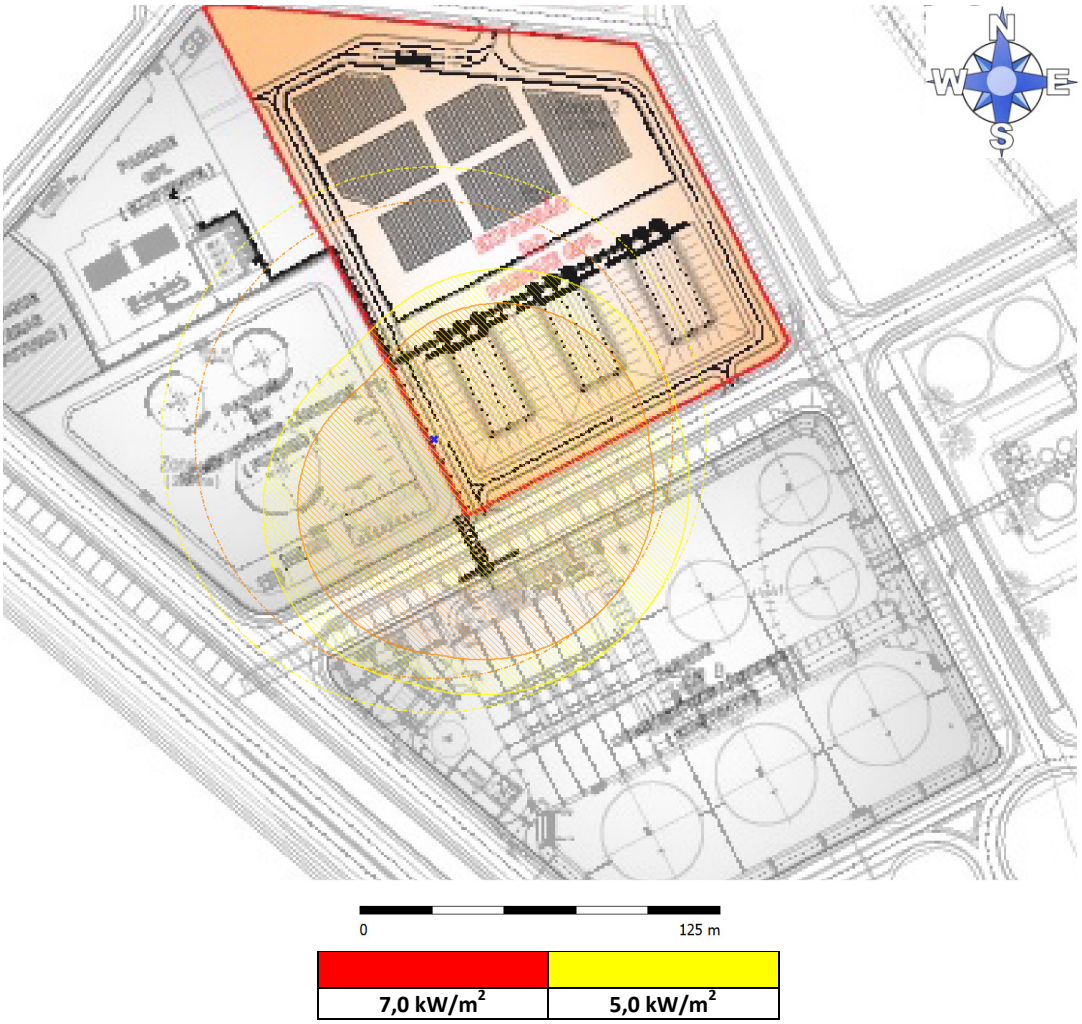
Para a modelação deste efeito, utilizou-se o modelo *Jet Fire (Chamberlain model)* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO,* assumindo-se uma elevação do jato em relação à horizontal de 45º.

Considerando os pressupostos e condições de libertação acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

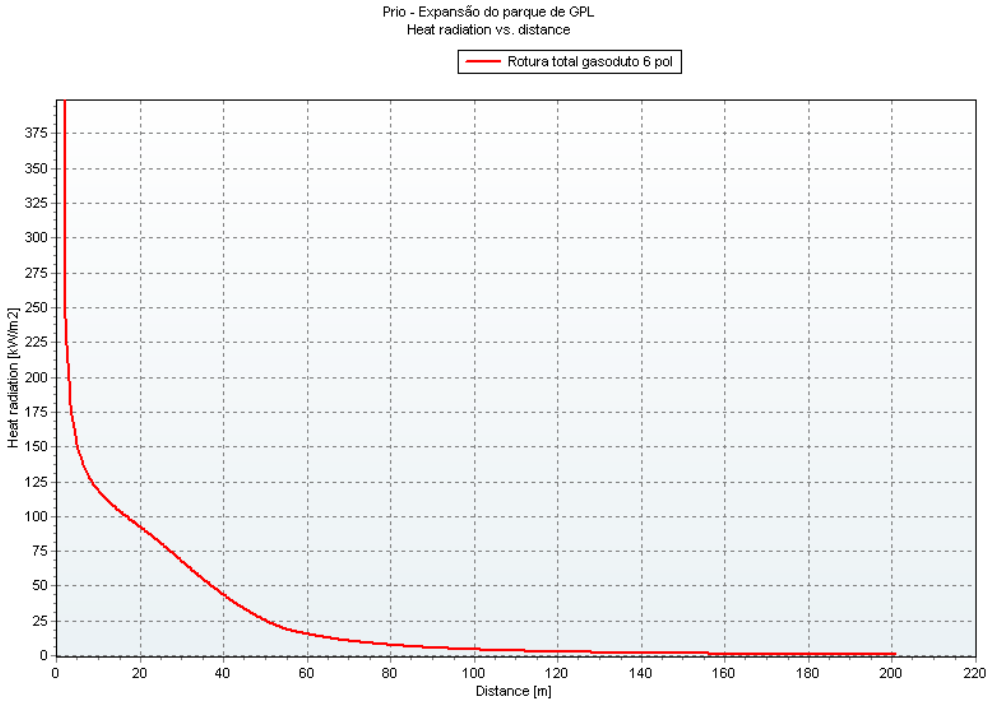
Inflamação do jato

EFEITO	VALOR
Comprimento do jacto inflamado (m)	41
Largura do jacto inflamado (m)	15
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	83
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	94
Emissividade da chama (kW/m^2)	400,0

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



O gráfico seguinte representa a variação da radiação incidente em função da distância.



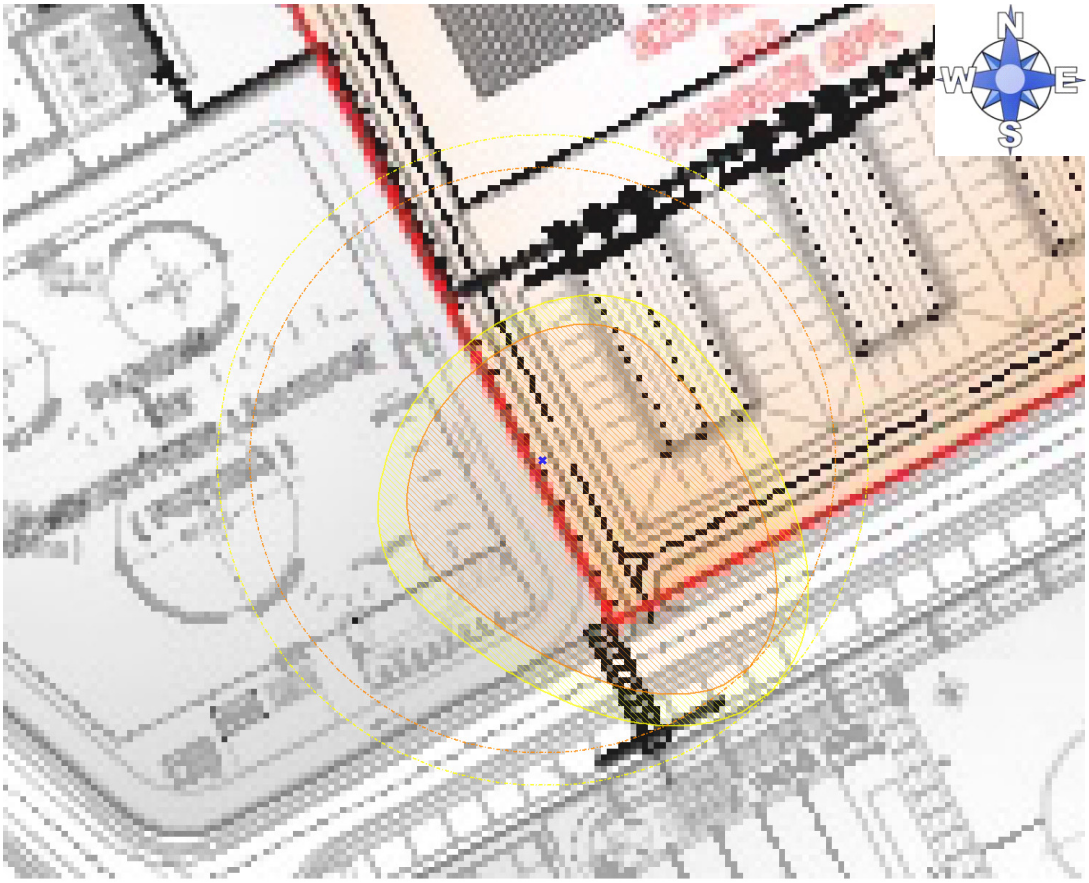
Incêndio do derrame

Com recurso ao modelo *Pool Fire* - ***EFFECTS 9.0.23.*** - *TNO* e considerando os pressupostos e condições acima referidas obtiveram-se os resultados seguintes.

Combustão do derrame

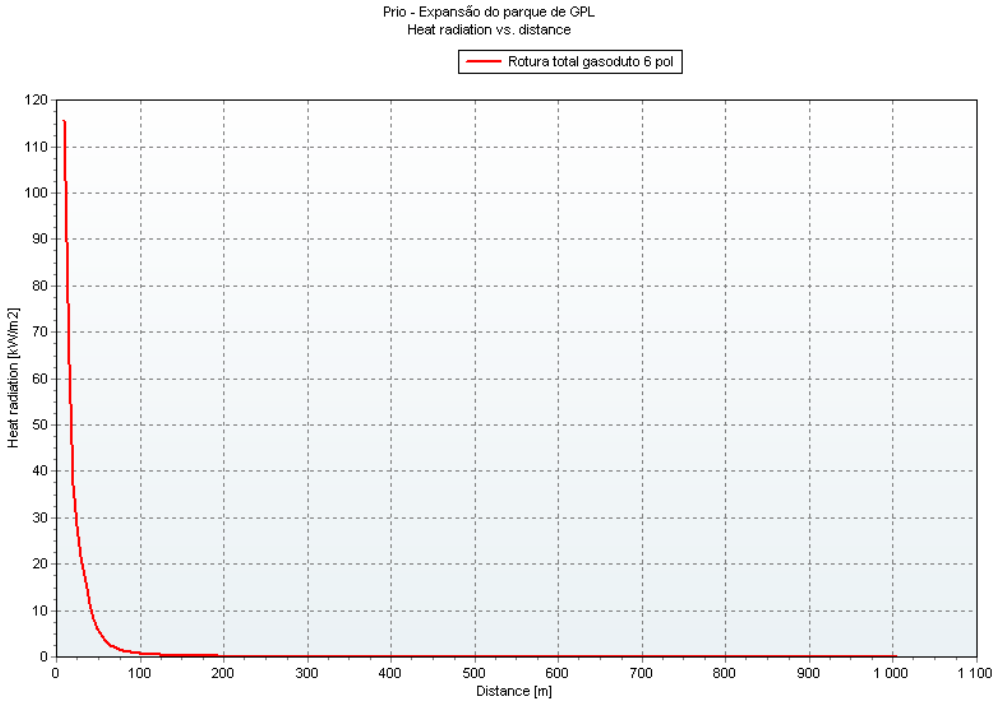
EFEITO	VALOR
Comprimento da chama (m)	30
Emissividade da chama (kW/m^2)	
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m^2 (m)	47
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m^2 (m)	52

A figura seguinte representa os níveis de radiação relevantes aplicados sobre uma carta local.



7,0 kW/m^2	**5,0 kW/m^2**

O gráfico seguinte representa a variação da radiação em função da distância.



CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos diretos para os humanos, não se preveem consequências significativas decorrentes da sobrepressão para distâncias superiores a 10 m do centro da explosão, ainda que possam ocorrer danos de gravidade variável decorrentes da projeção de fragmentos dos equipamentos adjacentes originado pela explosão.

Quanto às estruturas, admite-se a ocorrência de danos, sobretudo para estruturas mais frágeis ou que apresentem superfícies de grande dimensão expostas diretamente aos efeitos da explosão (de frente para a zona da explosão) até uma distância de cerca de 10 m, sendo que os efeitos deixarão de produzir qualquer dano significativo para distâncias acima dos 28 m do centro da explosão.

No que diz respeito às consequências associadas à radiação, quer do jato inflamado quer do derrame, verifica-se que os efeitos destes cenários, no que se refere aos valores de radiação de referência, não ficarão contidos dentro dos limites da instalação, não sendo, no entanto, previsíveis consequências relevantes. Assim, consideram-se apenas como relevantes as consequências para os humanos expostos a níveis de radiação que se encontre no limiar da zona de alerta (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 52 m da eventual combustão do derrame ou 94 m do jacto inflamado.

O limiar da possibilidade de ocorrência de letalidade faz-se teoricamente sentir a 47 m da eventual combustão do derrame ou 83 m do jacto inflamado (nível de radiação de 7 kW/m^2).

Fora da área de ocorrência das chamas poderão ocorrer queimaduras do primeiro grau a pessoas expostas por períodos iguais ou superiores a 30 segundos em locais onde se faça sentir um nível de radiação incidente superior a 5,0 kW/m^2, ou seja, a distâncias inferiores a 94 m do ponto de fuga do jacto inflamado, não se prevendo outro tipo de danos pessoais.

No que se refere a bens e equipamentos, tendo em conta os efeitos calculados, admite-se que, face à duração do fenómeno ocorram danos significativos em alguns equipamentos da instalação.

Resultados da Modelação

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol

Model: Pool evaporation

version: 5.18 (19/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 2rd Edition - Chapter 5: Evaporation. Trijssenaar-Buhre, I.J.M, Sterkenburg, R.P., Wijnant-Timmerman, S.I.: An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Diffusion coefficient in Schmidt number based on Fuller, Schetter and Gitting correlation, see http://www.thermopedia.com/content/696

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Use which representative step	First 20% average (flammable)
Evaporation from land or water	Land
Type of release in pool	Semi-continuous
Mass flow rate of the source (kg/s)	33,33
Duration of the release (s)	300
Total mass released (kg)	
Type of pool growth on Land	Spreading in bunds
Type of pool growth on Water	
Temperature of the pool (°C)	9
Maximum pool surface area (m2)	300
Temperature of the subsoil (°C)	9
Temperature of the water (°C)	
Max temperature difference between pool and water (K)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient pressure (bar)	1,0151
Ambient relative humidity (%)	75
Solar radiation flux	Calculate value
Solar heat radiation flux (W/m2)	
Cloud cover (%)	40
Date: day number	1
Date: month number	2
Date: year number	2016
North/South latitude of the location (deg)	40,67
Type of subsoil (evaporation)	Isolation concrete
Subsoil roughness description (pool)	relatively flat sandy soil, gravel
Maximum evaluation time for evaporation (s)	3600
Results	
Heat flux from solar radiation (kW/m2)	0,75855
Time pool spreading ends (s)	58,5
Time until pool has totally evaporated (s)	
Purple book representative evaporation rate (kg/s)	3,6133
Purple book representative evaporation duration (s)	1800,6
Representative temperature (°C)	-48,414
Representative pool diameter (m)	16,678
Density after mixing with air (kg/m3)	1,2988
Total evaporated mass (kg)	6506
... duration evaporation time (s)	3599,5
Corresponding representative pool surface area (m2)	218,47
Schmidt number used	1,5531
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol

Model: Dense Gas Dispersion: Concentration

version: 5.13 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	3,6133
Duration of the release (s)	1800,6
Initial liquid mass fraction (-)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	-48,414
X-coordinate of release (m)	272,5656
Y-coordinate of release (m)	-266,4056
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	16
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	120
Concentration averaging time (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	1000
Distance perpendicular to wind direction (Yd) (m)	0
Height (Zd) (m)	1,5
Predefined concentration	User defined
Threshold concentration (vol %)	1,05
Contour plot accuracy (%)	1
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Concentration at (Xd, Yd, Zd, t) (mg/m3)	0
Maximum concentration at (Yd, Zd) (mg/m3)	31625
...at distance (m)	22,105
Maximum distance to threshold concentration (m)	46,964
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol

Model: Dense Gas Dispersion: Explosive mass

version: 5.13 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book 3rd edition 1997 chapter 4; Ermak, D.L. User manual for SLAB Lawrence Livermore National Laboratory, June 1990

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Type of heavy gas release	Horizontal Jet release
Total mass released (kg)	
Mass flow rate of the source (kg/s)	3,6133
Duration of the release (s)	1800,6
Initial liquid mass fraction (-)	0
Fixed pool surface (m2)	
Diameter of expanded jet (m)	1
Temperature after release (°C)	-48,414
X-coordinate of release (m)	272,5656
Y-coordinate of release (m)	-266,4056
Z-coordinate (height) of release (m)	0
Offset X direction (distance) start dispersion (m)	0
Offset Z direction (height) start dispersion (m)	0
Ambient temperature (°C)	16
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) (1/m)	
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Ambient relative humidity (%)	75
Roughness length description	Open flat terrain; grass, few isolated objects.
Time t after start release (s)	120
Concentration averaging time (s)	20
Use mass between LEL and UEL	Yes
Resolution of the time consuming graphs	High
Results	
Explosive mass at time t (kg)	31,783
Height to LEL at time t (m)	1,4
Length of cloud (between LEL) at time t (m)	35,317
Width of cloud (between LEL) at time t (m)	12,956
Offset between release location and LEL at time t (m)	-0,023015
Maximum explosive mass (kg)	31,783
...at time tmem (s)	1405,5
Start time where 95% of maximum of explosive mass is reached (s)	12,028
Time where explosive mass starts decreasing below 95% of max (s)	1800,6
Length of cloud (between LEL) at time tmem (m)	35,317
Width of cloud (between LEL) at time tmem (m)	12,956
Offset between release location and LEL at time tmem (m)	-0,023015
Maximum area of explosive cloud (m2)	335,24
...at time tmac (s)	1800,6
Explosive mass at time tmac (kg)	31,783
Length of cloud (between LEL) at time tmac (m)	35,317
Width of cloud (between LEL) at time tmac (m)	12,956
Offset between release location and LEL at time tmac (m)	-0,023015
Offset between release centre and cloud centre at time tmac (m)	17,636
Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m)	0
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol_50mbar

Model: Explosion (Multi Energy model)

version: 5.03 (26/01/2016)

Reference: Yellow Book CPR14E 3rd Edition - Chapter 5: Vapour cloud explosions

compared to: Rotura total gasoduto 6 pol_140mbar (linked to Dense Gas Dispersion: Explosive mass - Rotura total gasoduto 6 pol)

Parameters		
Inputs	Rotura total gasoduto 6 pol_50mbar	Rotura total gasoduto 6 pol_140mbar
Chemical name	PROPANE (YAWS)	PROPANE (YAWS)
Ambient pressure (bar)	1,0151	1,0151
Total mass in explosive range (kg)	31,783	31,783
Fraction of flammable cloud confined (%)	10	10
Curve number	5 (Medium deflagration)	5 (Medium deflagration)
Distance from release (Xd) (m)	50	50
Offset between release point and cloud centre (m)	1	1
Threshold overpressure (mbar)	50	**140**
X-coordinate of release (m)	272,5656	272,5656
Y-coordinate of release (m)	-266,4056	-266,4056
Predefined wind direction	NW	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*	*315*

Results	Rotura total gasoduto 6 pol_50mbar	Rotura total gasoduto 6 pol_140mbar
Confined mass in explosive range (kg)	3,1783	3,1783
Total combustion energy (MJ)	146,24	146,24
Peak overpressure at Xd (mbar)	27,433	27,433
Peak dynamic pressure at Xd (mbar)	1,0151	1,0151
Pressure impulse at Xd (Pa*s)	32,741	32,741
Positive phase duration at Xd (ms)	23,87	23,87
Dist. from center mass of cloud at threshold overpressure (m)	28,259	**9,8582**
Blast-wave shape at Xd	Shock Wave	Shock Wave
Damage (general description) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to brick houses at Xd	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - - 1.5 kPa)	Damage to roofs, ceilings, minor crack formation in plastering, more than 1% damage to glass panels (1 - 1.5 kPa)
Damage to typical American-style houses at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Damage to structures (empirical) at Xd	No damage or very minor damage	No damage or very minor damage
Other information		
Main program		Effects 9.0.23.
Chemical database		YAWS database
Chemical source		Purple book database
Chemical source date		22/07/1999

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol

Model: Jet Fire (Chamberlain model)

version: 5.16 (27/01/2016)

Reference: Chamberlain, G.A., Development in design methods for predicting thermal radiation from flares~Chem. Eng. Res. Des. Vol.65 July 1987 pagina 299 - 309~Cook,J. et al, A comprehensive program for the calculation of flame radiation levels~Loss Prev. in Process Ind. January 1990, vol.3 ~

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	33,33
Exit temperature (°C)	9
Exit pressure (bar)	6,5
Hole diameter (inch)	6
Hole rounding	Sharp edges
Discharge coefficient (-)	*0,62*
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	45
Release height (Stack height) (m)	1
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Flame temperature (°C)	926,85
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Percentage of the flame covered by soot (%)	0
Maximum heat exposure duration (s)	20
Distance from release (Xd) (m)	100
X-coordinate of release (m)	272,5656
Y-coordinate of release (m)	-266,4056
Height of the receiver (m)	1,5
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Heat radiation damage Probit B	
Heat radiation damage Probit N	
Resolution for surface discretization	High
Results	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	192,03
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	3,3779
Frustum lift off height (b) (m)	0,62388
Width of frustum base (W1) (m)	0,67294
Width of frustum tip (W2) (m)	15,168
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	40,969
Surface area of frustum (m2)	1216,3
Surface emissive power (max) (kW/m2)	400
Surface emissive power (actual) (kW/m2)	400
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	71,604
View factor at Xd (-)	0,015061
Heat radiation at Xd (kW/m2)	4,3126
Heat radiation first contour at (m)	94,344
Heat radiation second contour at (m)	82,717
Heat radiation third contour at (m)	65,631
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999

Case description: Rotura total gasoduto 6 pol

Model: Pool fire

version: 5.14 (21/01/2016)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4

Parameters	
Inputs	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Pool size determination	Confined
Total mass released (ton (metric))	10
Mass flow rate of the source (kg/s)	*3,6133*
Duration of the release (s)	*1800,6*
Pool surface poolfire (m2)	300
Height of the receiver (m)	1,5
Height of the confined pool above ground level (m)	0
Temperature of the pool (°C)	9
Pool burning rate	Calculate/Default
*Value of pool burning rate (kg/m2*s)*	
Fraction combustion heat radiated (-)	0,35
Soot Fraction	Calculate/Default
Value of soot fraction (-)	
Wind speed at 10 m height (m/s)	5
Ambient temperature (°C)	16
Ambient relative humidity (%)	75
Amount of CO2 in atmosphere (-)	0,0003
Distance from centre of the pool (Xd) (m)	1000
Maximum heat exposure duration (s)	20
X-coordinate of release (m)	272,5656
Y-coordinate of release (m)	-266,4056
Predefined wind direction	NW
Wind comes from (North = 0 degrees) (deg)	*315*
Calculate contours for	Physical effects
Heat radiation level (lowest) for first contour plot (kW/m2)	5
Heat radiation level for second contour plot (kW/m2)	7
Heat radiation level (highest) for third contour plot (kW/m2)	12,5
Take protective effects of clothing into account	
Correction lethality protection clothing (-)	
Percentage of mortality for contour calculations (%)	
Heat radiation damage Probit A ((sec(W/m2)^n))*	
Results	
Max Diameter of the Pool Fire (m)	19,544
Heat radiation at X (kW/m2)	0,0032849
Heat radiation first contour at (m)	52,334
Heat radiation second contour at (m)	47,085
Heat radiation third contour at (m)	38,524
Combustion rate (kg/s)	29,7
Duration of the pool fire (s)	336,7
Heat emission from fire surface (kW/m2)	61,128
Flame tilt (deg)	52,509
View factor (-)	0,00011705
Atmospheric transmissivity (%)	45,91
Flame temperature (°C)	747,45
Length of the flame (m)	29,638
Calculated pool surface area (m2)	300
Weight ratio of HCL/chemical (%)	0
Weight ratio of NO2/chemical (%)	0
Weight ratio of SO2/chemical (%)	0
Weight ratio of CO2/chemical (%)	299,5
Weight ratio of H2O/chemical (%)	163,5
Other information	
Main program	Effects 9.0.23.
Chemical database	YAWS database
Chemical source	Purple book database
Chemical source date	22/07/1999