



CENÁRIO DE ACIDENTE - D

Rotura parcial (10% do diâmetro) de mangueira de descarga de Propano (P = $4,00 \times 10^{-5}$ /ano)

Fenómenos perigosos associados

- Formação de jato/Incêndio de jato/Incêndio de derrame (P = $3,99 \times 10^{-6}$ /ano)
- Formação de atmosfera inflamável, sem ignição com duração inferior a 10 minutos (P = $3,55 \times 10^{-5}$ /ano)

Cenário D - Rotura parcial de mangueira de descarga de Propano**Condições Específicas do Acidente**

- Rotura parcial de mangueira de descarga de Propano
- Quantidade de Propano na cisterna: 9 m³ (± 4,12 toneladas)
- Temperatura de descarga: 16 °C
- Pressão de transferência: 9,0 barg
- Diâmetro do orifício de descarga: 5 mm
- Condições atmosféricas:
 - Vento: NW / 2,2 m/s
 - Estabilidade: D
 - Temperatura: 14 °C
- Duração da descarga: 600 segundos (de acordo com a publicação Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis, secção 2.1.1.2, 2ª edição, CCPS 2000 e com a recomendação da DNV para tempo de descarga de roturas)

DESCARGA

Tendo em conta as condições iniciais assumidas, foi utilizado o modelo de descarga Liquefied Gas Bottom Discharge que integra a aplicação Effects 11.4 da GEXCON tendo sido obtidos os resultados seguintes.

Descarga de Propano

EFEITO	VALOR
Caudal representativo de descarga	0,17 kg/s
Tempo de descarga	600 s

Assumindo que ocorre a ignição imediata do jato produzido na descarga, recorreu-se ao modelo Jet Fire que integra a aplicação Effects 11.4 da GEXCON tendo sido obtidos os resultados seguintes.

Incêndio de Jato

EFEITO	VALOR
Comprimento do jato	7,4 m
Alcance da radiação 7 kW/m ²	10 m
Alcance da radiação 5 kW/m ²	11 m

A figura seguinte apresenta os alcances dos valores de radiação relevantes numa carta local.



Figura 1 - Rotura 10% do diâmetro de mangueira de descarga de propano. Alcance dos valores de radiação

Em termos de consequências para as pessoas, considerando um tempo de exposição à radiação de 30 segundos sem proteção específica do vestuário, apresenta-se na figura seguinte as zonas onde se admite que possam ocorrer até 1% de fatalidades (ou probabilidade de fatalidade).



Figura 2 - Rotura 10% do diâmetro de mangueira de descarga de propano. Probabilidade de ocorrência de fatalidades

Não havendo ignição do jato ocorrerá a formação de um derrame do produto libertado. Neste sentido, considerou-se um derrame restrito com uma área estimada de 100 m², constituída pelos acidentes no terreno.

Nestas condições com recurso ao modelo de evaporação (*Pool Evaporation do software Effects - 11.4.0 - TNO*) obtiveram-se os resultados seguintes, apresentando-se os resultados para o tempo de descarga considerado (600 segundos).

Dispersão do derrame de Propano

EFEITO	VALOR
Área máxima atingida pelo derrame	12,4 m ²
Taxa de vaporização representativa	3,2 kg/s
Duração da vaporização	1325 s

Tendo em conta as características do produto envolvido procedeu-se à modelação da dispersão dos vapores libertados na perspetiva da inflamabilidade.

DISPERSÃO DO PROPANO VAPORIZADO

Para a determinação dos efeitos da dispersão do Propano vaporizado, tendo em conta que a densidade da mistura vapor de Propano/ar a 0,5 m do solo ultrapassa em mais de 10%, a densidade do ar, foi seguida a recomendação do TNO em que, nestes casos, deve ser utilizado o modelo de dispersão de um gás denso. Assim, com recurso ao modelo *Dense Gas Dispersion: Flammable Cloud* do software *Effects - 11.4.0 - TNO* tendo sido obtidos os resultados seguintes.

Dispersão do Propano vaporizado

EFEITO	VALOR
Alcance da concentração LII/2 na direção do vento	34 m
Alcance da concentração LII/2 na perpendicular do vento	36 m
Massa inflamável máxima constituída	41,9 kg

A figura seguinte apresenta a área potencialmente afetada por este cenário.



Figura 3 - Rotura parcial de mangueira de propano. Alcance do LII/2

INCÊNDIO DE DERRAME

Caso ocorra uma fonte de ignição ocorrerá a inflamação do produto derramado no solo.

Neste sentido, foram calculados os efeitos da inflamação do derrame de Propano com recurso ao modelo *Pool Fire do software Effects - 11.4.0 - GEXCON*, considerando que poderia ser fornecida a energia de ativação necessária ao derrame, tendo sido obtidos os resultados que se incluem no quadro seguinte.

Combustão do derrame

EFEITO	VALOR
Altura das chamas	12,4 m
Emissividade das chamas	44,3 kW/m ²
Distância a que se faz sentir a radiação de 7,0 kW/m ²	13 m
Distância a que se faz sentir a radiação de 5,0 kW/m ²	15 m
Duração máxima da combustão (sem intervenção)	55 s

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



Figura 4 - Rotura parcial de mangueira de abastecimento de Propano. Incêndio de derrame

Em termos de consequências para as pessoas, considerando um tempo de exposição à radiação de 30 segundos sem proteção específica do vestuário, apresenta-se na figura seguinte as zonas onde se admite que possam ocorrer até 1% de fatalidades (ou probabilidade de fatalidade).

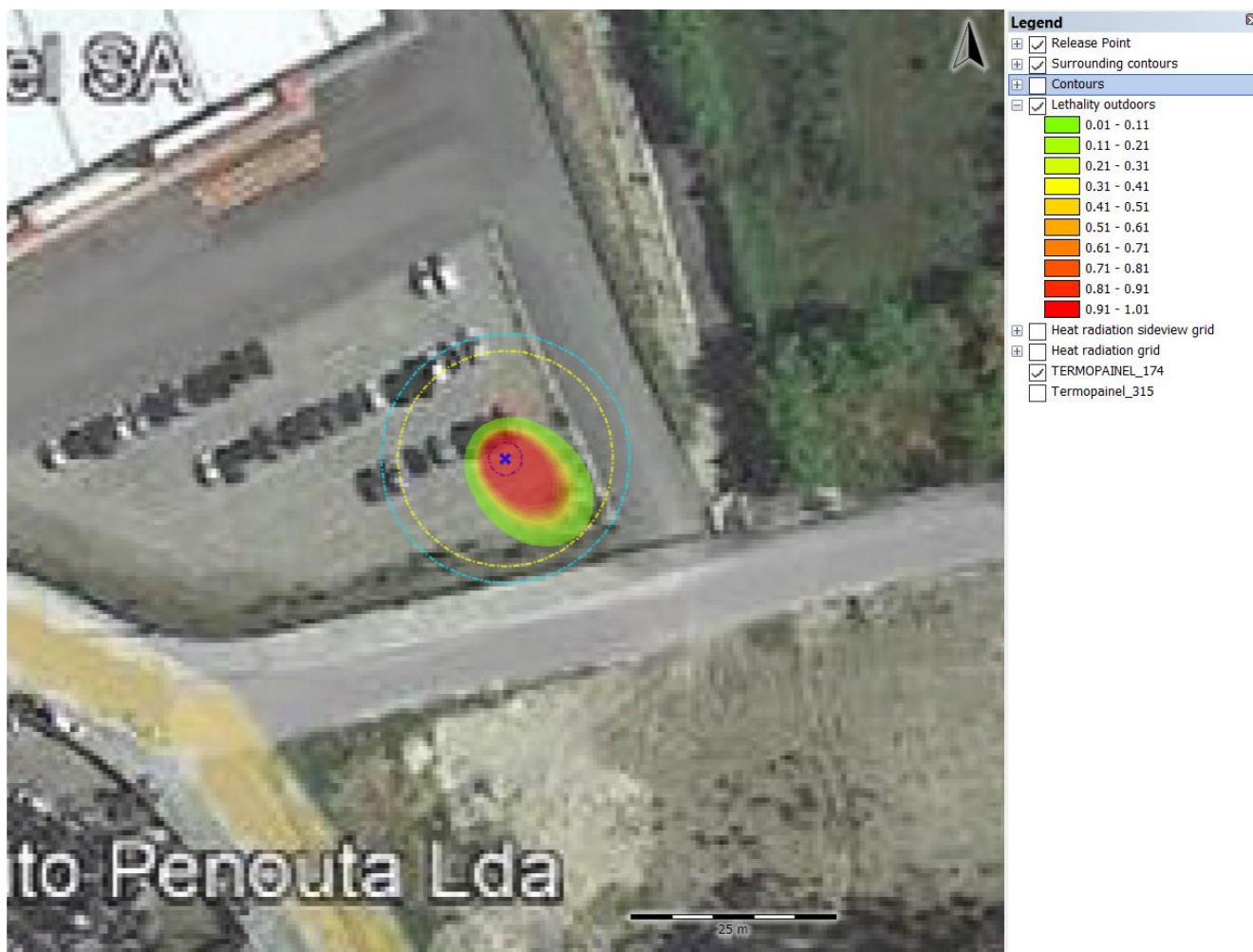


Figura 5 - Rotura parcial de mangueira de abastecimento de Propano. Probabilidade de ocorrência de mortes

A variação do valor do fluxo térmico libertado pela combustão em função da distância está representada no gráfico seguinte. Tal como se pode observar no gráfico, os efeitos físicos deste fenómeno far-se-ão sentir até cerca de 26 metros do limite do derrame (1 kW/m^2).

Analisando as figuras acima pode concluir-se que este cenário terá um impacto nulo na envolvente. Para o estabelecimento, designadamente para equipamentos, instalações e infraestruturas não se preveem igualmente impactos significativos.

CONSEQUÊNCIAS

No que se refere a danos pessoais, os gráficos anteriormente apresentados representam, para os diversos eventos suscetíveis de ocorrer, as áreas onde se prevê que possam ocorrer danos pessoais e materiais como consequência da exposição à radiação térmica.

No entanto, há que ter em consideração que as áreas representam a probabilidade de danos para uma duração de exposição de 30 segundos e que a probabilidade de se encontrarem operadores nas zonas afetadas pelos níveis de radiação mais elevados é muito baixa.



Em termos das consequências provenientes do calor libertado pela combustão do derrame, estima-se que para um tempo de exposição de 30 segundos a probabilidade de um indivíduo não protegido, que se encontre no limiar da zona de efeitos irreversíveis (nível de radiação de 5 kW/m^2), correspondente a cerca de 15 metros, absorver uma quantidade de energia que lhe provocará queimaduras do 1º Grau é de 38,9%, sendo a probabilidade de ocorrência de mortes, a esta mesma distância, de 0%.

Considerando 30 segundos como tempo suficiente para as pessoas se abrigarem da radiação incidente, verifica-se, tal como se pode observar no gráfico seguinte que, para intensidades de radiação inferiores a $2,5 \text{ kW/m}^2$ não são de esperar danos significativos (queimaduras de 1º Grau) para um tempo de exposição de 30 segundos.

De igual forma, não serão significativas as consequências resultantes de uma exposição com uma duração inferior a 12 segundos.

Em termos dos efeitos provocados pelos fumos e gases, não se prevê a ocorrência de zonas afetadas pelos gases da combustão, ao nível do solo, em que a concentração de fumos e gases atinja valores perigosos.

No que se refere aos efeitos deste cenário nas águas superficiais não se perspetivam impactos significativos atendendo às características do produto em causa que pode ser considerado como “limpo”. Poderão, no entanto, ocorrer situações de derrame de águas contaminadas proveniente da aplicação da água/espuma utilizadas no combate ao incêndio, sobretudo se estas forem aplicadas em grandes quantidades. Compete, neste caso, ao Comandante das Operações de Socorro, no local, tomar as providências necessárias para evitar este tipo de situações.

**Model: Liquefied Gas Bottom Discharge - Rotura 10% mangueira propano**

version: v2022.04.983b09d (19/04/2022)

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****Process Conditions**

Chemical name PROPANE (YAWS)

Initial temperature in vessel (°C) 16

Pressure inside vessel determination Use actual pressure

Initial (absolute) pressure in vessel (bar) 9

Calculation Method

Use which representative rate First 20% average (flammable)

Type of vessel outflow Release from vessel through (a hole in) pipe

Expansion type Adiabatic

Type of release calculation Calculate until specified time

Maximum release duration (s) 600

Process Dimensions

Vessel volume (m3) 9

Filling degree (%) 90

Vessel type Horizontal cylinder

Length cylinder (m) 5

Pipeline length (m) 2

Pipeline diameter (mm) 60

Pipeline roughness (mm) 0,045

Hole diameter (mm) 5

Hole rounding Sharp edges

Height difference between pipe entrance and exit (m) 1,5

Height leak above tank bottom (m) 0,1

Environment

Ambient pressure (bar) 1,015

Results**Process Conditions**

Initial (vapour) pressure in vessel (bar) 9

Source Definition

Initial mass in vessel (kg) 4127,8

Mass flow rate at time t (kg/s) 0,1142

Total mass released at time t (kg) 81,122

Pressure in vessel at time t (bar) 7,5102

Temperature in vessel at time t (°C) 15,998

Mass of liquid in vessel at time t (kg) 4031,4

Mass of vapour in vessel at time t (kg) 14,612

Translation for "MParameters.HeightOfLiquidAtTimeT.Default" is missing! (m) 1,2484

Filling degree at time t (%) 88,214

Exit pressure at time t (bar) 5,5137

Exit temperature at time t (°C) 5,0447

Exit vapour mass fraction at time t (-) 0,032621

Maximum mass flow rate (kg/s) 0,17589

Representative release rate (kg/s) 0,16557

Representative outflow duration (s) 600

Representative temperature (°C) 15,443

Representative pressure (bar) 7,3977

Representative vapour mass fraction (-) 0,0018005

Contour Dimensions**Other Information**

Main program EFFECTS 11.4.0.21072 Legacy

Last Calculation 19/04/2022 15:37:39



AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Estudo

Vers: 00

Rev: 0

Data: OUT2022

Last Duration	8s 6ms
Chemical database	
Chemical source	YAWS
Chemical source date	22/07/1999

EFFECTS report created by MJMACEDO-MDR\mjmac at 19/04/2022 15:59:00

Model: Jet Fire

version: v2022.10.377413d (21/10/2022)

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
~Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36

Parameters	
Inputs	
Process Conditions	
Chemical name	PROPANE (YAWS)
Exit temperature (°C)	15,848
Exit pressure (bar)	7,4795
Calculation Method	
Fraction of the flame covered by soot (-)	0
Source Definition	
(Calculated) Mass flow rate (kg/s)	0,23524
Process Dimensions	
Hole diameter (mm)	6
Hole rounding	Sharp edges
Outflow angle in XZ plane (0°=horizontal; 90°=vertical) (deg)	45
Release height (Stack height) (m)	0
Meteo Definition	
Meteorological data	Pasquill
Pasquill stability class	D (Neutral)
Wind speed at 10 m height (m/s)	2,2
Predefined wind direction	NW
Environment	
Ambient temperature (°C)	14
Ambient pressure (bar)	1,015
Ambient relative humidity (%)	70
Roughness length description	High crops; scattered large objects, $15 < x/h < 20$.
Amount of CO ₂ in atmosphere (-)	0,0003
Vulnerability	
Maximum heat exposure duration (s)	30
Take protective effects of clothing into account	No
Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m ²)^n))	-36,38
Heat radiation lethal damage Probit B	2,56
Heat radiation damage Probit N	1,3333
Accuracy	
Grid resolution	High
Reporting	
Distance from release centre (m)	20
Reporting/receiver height (Zd) (m)	1,5

Results	
Source Definition	
Type of flow of the jet	Two Phase flow
Exit velocity of expanding jet (m/s)	74,645
Fire Results	
Wind speed at avg. jet height (m/s)	1,8455
Angle between hole and flame axis (alpha) (deg)	3,4246
Frustum lift off height (b) (m)	0,11216
Width of frustum base (W1) (m)	0,061053
Width of frustum tip (W2) (m)	2,6991
Length of frustum (flame) (Rl) (m)	7,3652
Flame footprint dimensions D,-D,DMW,MW	6;0;6;3
Surface area of frustum (m ²)	38,166
Surface emissive power (clear flame) (kW/m ²)	113,02
Surface emissive power (sooted flame) (kW/m ²)	113,02
(Max) Heat radiation level at Xd (kW/m ²)	1,0821
Atmospheric transmissivity at Xd (%)	83,316
(Max) Viewfactor at Xd (-)	0,011491
Heat Radiation Dose at Xd (s*(kW/m ²)^4/3)	33,326



AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Estudo

Vers: 00

Rev: 0

Data: OUT2022

Percentage first degree Burns at Xd (%)	0
Percentage second degree Burns at Xd (%)	0
Percentage lethal Burns at Xd (%)	0
Distance to clothing burning dose (m)	6,3665

Contour Dimensions

Lethality Contours

Names	Max. Dist [m]	Min. Dist [m]	Dist. Width [m]	Max. Width [m]	Value [%]
1 % lethality contour	10	-2	3	13	1

Heat Radiation Contours

Names	Max. Dist [m]	Min. Dist [m]	Dist. Width [m]	Max. Width [m]	Value [kW/m2]
7 kW/m2 heat radiation contour	10	-2	3	13	7
5 kW/m2 heat radiation contour	11	-3	3	16	5

Other Information

Main program	EFFECTS 11.4.0.21072 Legacy
Last Calculation	21/10/2022 09:04:44
Last Duration	17s 172ms
Chemical database	
Chemical source	YAWS
Chemical source date	22/07/1999

EFFECTS report created by MJMACEDO-MDR\mjmac at 21/10/2022 09:05:38

**Model: Pool Evaporation - Rotura 10% mangueira propano**

version: v2022.04.983b09d (19/04/2022)

Reference: Yellow Book CPR14E 2nd 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****Process Conditions****Chemical name** PROPANE (YAWS)**Calculation Method****Use which representative rate** First 20% average (flammable)**Evaporation from land or water** Land**Type of release in pool** Instantaneous**Maximum evaluation time for evaporation (s)** 3600**Source Definition****Total mass released (kg)** 81,122**Temperature of the pool (°C)** 16**Process Dimensions****Type of pool growth on Land** Spreading**Meteo Definition****Wind speed at 10 m height (m/s)** 2,2**Environment****Temperature of the subsoil (°C)** 10**Ambient temperature (°C)** 14**Ambient pressure (bar)** 1,015**Ambient relative humidity (%)** 70**Solar radiation flux** Calculate value**Cloud cover (%)** 40**Date: day number** 1**Date: month number** 6**North/South latitude of the location (deg)** 41,3**Type of subsoil (evaporation)** Dry sandy subsoil**Subsurface roughness description (pool)** flat sandy soil, concrete, tiles, plant-yard**Results****Source Definition****Time pool spreading ends (s)** 4**Time until pool has totally evaporated (s)** 1325**Representative evaporation rate (kg/s)** 3,1927**Purple book representative evaporation duration (s)** 25,408**Representative temperature (°C)** -42,25**Representative pool diameter (m)** 3,9742**Density after mixing with air (kg/m3)** 1,6413**Total evaporated mass (kg)** 81,122**... duration evaporation time (s)** 1324,5**Pool surface area (m2)** 12,405**Schmidt number used** 3,0834**Dispersion model strategy** Dense gas**Environment****Heat flux from solar radiation (kW/m2)** 1,4435**Contour Dimensions****Other Information****Main program** EFFECTS 11.4.0.21072 Legacy**Last Calculation** 19/04/2022 15:37:40**Last Duration** 7s 620ms**Chemical database****Chemical source** YAWS**Chemical source date** 22/07/1999



AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Estudo

Vers: 00

Rev: 0

Data: OUT2022

EFFECTS report created by MJMACEDO-MDR\mjmac at 19/04/2022 15:59:32



Model: Dense Gas - Flammable Cloud

version: v2022.04.983b09d (19/04/2022)

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

Parameters

Inputs

Process Conditions

Chemical name PROPANE (YAWS)

Calculation Method

Type of heavy gas release Evaporating pool release

Source Definition

Mass flow rate of the source (kg/s) 3,1927

Duration of the release (s) 25,408

Pool surface area (m2) 12,405

Temperature after release (°C) -42,25

Meteo Definition

Meteorological data Pasquill

Pasquill stability class D (Neutral)

Wind speed at 10 m height (m/s) 2,2

Predefined wind direction NW

Environment

Ambient temperature (°C) 14

Ambient pressure (bar) 1,015

Ambient relative humidity (%) 70

Roughness length description Low crops; occasional large obstacles, x/h > 20.

Accuracy

Grid resolution High

Reporting

Ignition time flammable cloud Time maximum area cloud

Concentration averaging time (s) 20

Use 50% LFL for cloud contour Yes

Use mass between LFL and UFL Yes

Use dynamic concentration presentation No

Results

Meteo Definition

Inverse Monin-Obukhov length (1/L) used (1/m) 0

Concentration Results

Flammability threshold concentration (mg/m3) 19252

Maximum distance to flammable concentration (m) 34,521

Maximum flammable mass (kg) 41,918

Maximum area of flammable cloud (m2) 884,62

at Time T (s) 32,55

Flammable mass at time t (kg) 17,669

Area flammable cloud at time t (m2) 884,62

Volume of the flammable cloud at time t (m3) 1107,2

Height to LFL at time t (m) 0,1

Length of flammable cloud at time t (m) 34,433

Width of flammable cloud at time t (m) 35,48

Offset flammable cloud at time t (m) -1,86

Offset flammable cloud centre at time t (m) 15,357

Effective release height (m) 0

Contour Dimensions

Concentration contours

Names	Max. Dist [m]	Min. Dist [m]	Dist. Width [m]	Max. Width [m]	Value [mg/m3]
50% Lower Flammability Limit outer contour	34	-5	11	36	19252

Other Information

Main program EFFECTS 11.4.0.21072 Legacy

Last Calculation 19/04/2022 15:43:58



AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Estudo

Vers: 00

Rev: 0

Data: OUT2022

Last Duration	1m 4s
Chemical database	
Chemical source	YAWS
Chemical source date	22/07/1999

EFFECTS report created by MJMACEDO-MDR\mjmac at 19/04/2022 16:00:09

**Model: Pool Fire - Rotura 10% mangueira propano**

version: v2022.04.377413d (19/04/2022)

Reference: Yellow Book (CPR-14E), 3rd edition 1997, Paragraph 6.5.4~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1997) Modelling of Thermal radiation from external hydrocarbon poolfires, in Trans IChemE, Vol.75 part B, ~Rew, P.J. & Hulbert, W.G. (1996), Development of a pool fire thermal radiation model', HSE Contract research report no. 96, ~ Damage: Green Book 1st edition 1992, chapter 1 (Heat radiation); pages 11-36~

Parameters**Inputs****Process Conditions****Chemical name** PROPANE (YAWS)**Calculation Method****Type of pool fire calculation** Pool fire model Yellow Book**Type of pool fire source** Instantaneous**Fraction combustion heat radiated (-)** 0,35**Soot definition** Calculate/Default**Source Definition****Total mass released (kg)** 81,122**Temperature of the pool (°C)** 16**Process Dimensions****Type of pool shape (pool fire)** Circular**Max. pool surface area pool fire (m2)** 12,405**Height of the confined pool above ground level (m)** 0**Include shielding at bottomside flame** No**Meteo Definition****Wind speed at 10 m height (m/s)** 2,2**Predefined wind direction** NW**Environment****Ambient temperature (°C)** 14**Ambient pressure (bar)** 1,015**Ambient relative humidity (%)** 70**Amount of CO2 in atmosphere (-)** 0,0003**Vulnerability****Maximum heat exposure duration (s)** 30**Take protective effects of clothing into account** No**Heat radiation lethal damage Probit A ((sec*(W/m2)^n))** -36,38**Heat radiation lethal damage Probit B** 2,56**Heat radiation damage Probit N** 1,3333**Accuracy****Grid resolution** High**Reporting****Reporting/receiver height (Zd) (m)** 1,5**Distance from release centre (m)** 20**Results****Fire Results****Equivalent diameter of fire (m)** 3,9742**Flame footprint dimensions D,-D,DMW,MW** 11;-2;5;4**Calculated pool surface of the fire (m2)** 12,405**Combustion rate of the chemical (kg/s)** 1,4637**Duration of the fire (s)** 55,421**Surface emissive power flame (kW/m2)** 44,267**Soot fraction used (-)** 0,8**Flame tilt (deg)** 47,059**Flame temperature (°C)** 668,86**Length of the Flame (m)** 12,365**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**(Max) Heat radiation level at Xd (kW/m2)** 2,1128**Atmospheric transmissivity at Xd (%)** 81,746**(Max) Viewfactor at Xd (-)** 0,058387



AVALIAÇÃO DE COMPATIBILIDADE DE LOCALIZAÇÃO

Estudo

Vers: 00

Rev: 0

Data: OUT2022

Heat Radiation Dose at Xd ($s \cdot (kW/m^2)^{4/3}$)	81,333
Percentage first degree Burns at Xd (%)	0
Percentage second degree Burns at Xd (%)	0
Percentage lethal Burns at Xd (%)	0
Distance to clothing burning dose (m)	5,8914

Contour Dimensions

Lethality Contours

Names	Max. Dist [m]	Min. Dist [m]	Dist. Width [m]	Max. Width [m]	Value [%]
1 % lethality contour	13	-5	3	13	1

Heat Radiation Contours

Names	Max. Dist [m]	Min. Dist [m]	Dist. Width [m]	Max. Width [m]	Value [kW/m2]
7 kW/m2 heat radiation contour	13	-5	3	13	7
5 kW/m2 heat radiation contour	15	-6	4	17	5

Other Information

Main program	EFFECTS 11.4.0.21072 Legacy
Last Calculation	19/04/2022 15:37:42
Last Duration	5s 236ms
Chemical database	
Chemical source	YAWS
Chemical source date	22/07/1999

EFFECTS report created by MJMACEDO-MDR\mjmac at 19/04/2022 16:00:45