

# ANALISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES AMBIENTE NA EXTENSÃO DA ÁREA CLASSIFICADA DEVIDO À LIBERAÇÃO DE LÍQUIDO INFLAMÁVEL

Talles Caio Linhares de Oliveira<sup>1</sup>  
José Jailson Nicácio Alves<sup>2</sup>  
Aurélio Moreira Luiz<sup>3</sup>

## RESUMO

Liberações de líquidos inflamáveis produzidos na indústria petrolífera podem resultar em uma formação de uma poça evaporativa formando assim uma atmosfera explosiva. O software Effects foi utilizado para simular a liberação de isopreno em um dia quente e frio. As condições ambientais influenciam diretamente na poça e na extensão da área classificada. A área da poça no dia frio sofreu acréscimo de 53 % em seu tamanho quando comparada com o dia quente. O dia frio apresentou um maior extensão da área classificada do que o dia quente. A temperatura da poça prevista pelo modelo está dentro da faixa de temperatura relatada pela literatura. O tempo de evaporação da poça no dia frio é aproximadamente 1,7 vezes maior que o dia quente.

**Palavras-chave:** Área Classificada, Líquidos Inflamáveis, Poça Evaporativa.

## INTRODUÇÃO

As atividades da indústria de petróleo e gás possuem riscos de incêndio e explosão. Estes são inerentes ao próprio processo produtivo e ocorrem nas etapas de: exploração, produção, transporte, refino, armazenamento e distribuição.

Acidentes ocorridos em várias partes do mundo, tiveram como origem um equipamento elétrico indevidamente especificado para operar em uma área, cuja presença de substâncias inflamáveis no ambiente, criava condições especiais para a ocorrência destes acidentes (BOSSERT, 1986).

Desde o início da utilização da eletricidade pelas indústrias, no final do século XIX, equipamentos elétricos foram instalados em ambientes com presença de substâncias inflamáveis. Ainda nessa época, surgiram os primeiros debates sobre o potencial dos equipamentos elétricos se tornarem fontes de ignição de atmosferas explosivas. As

<sup>1</sup> Pós-Doutorando em Engenharia Química da UFCG, [tallescaio@hotmail.com](mailto:tallescaio@hotmail.com);

<sup>2</sup> Professor do Curso de Engenharia Química da UFCG, [jailson@eq.ufcg.edu.br](mailto:jailson@eq.ufcg.edu.br);

<sup>3</sup> Engenheiro de Equipamentos – Elétrica da Petrobras, [aurelio.luiz@petrobras.com.br](mailto:aurelio.luiz@petrobras.com.br);

máquinas elétricas tão necessárias para a indústria emergente também poderiam provocar explosões dentro de uma área industrial (ERTHAL, 2004).

Os riscos de explosão podem aparecer em qualquer indústria em que as substâncias inflamáveis sejam manipuladas, estas incluem inúmeras matérias-primas, produtos intermediários e acabados, como também nos resíduos gerados pelo processo. Assim, o risco da presença de uma atmosfera explosiva abrange os mais diversos processos e procedimentos de trabalho, afetando quase todos os ramos de atividade (IBARS e TORRENT, 2005).

Denomina-se substância inflamável o material que é inflamável por si mesmo ou que é capaz de produzir um gás, vapor ou névoa inflamável. As substâncias inflamáveis incluem: líquidos inflamáveis, gases ou vapores inflamáveis, gases liquefeitos e névoa inflamável (IEC 60079-10-1, 2015).

Segundo a norma IEC 60079-10-1 (2015) atmosfera explosiva pode ser definida como a mistura com ar, sob condições atmosféricas, de substâncias inflamáveis na forma de gás, vapor, poeira, fibras ou partículas suspensas, na qual, após a ignição, permite autosustentação de propagação.

De acordo a norma IEC 60079-10-1 (2015) área classificada é aquela na qual uma atmosfera explosiva de gás está presente ou é esperada para estar presente em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e utilização de equipamentos.

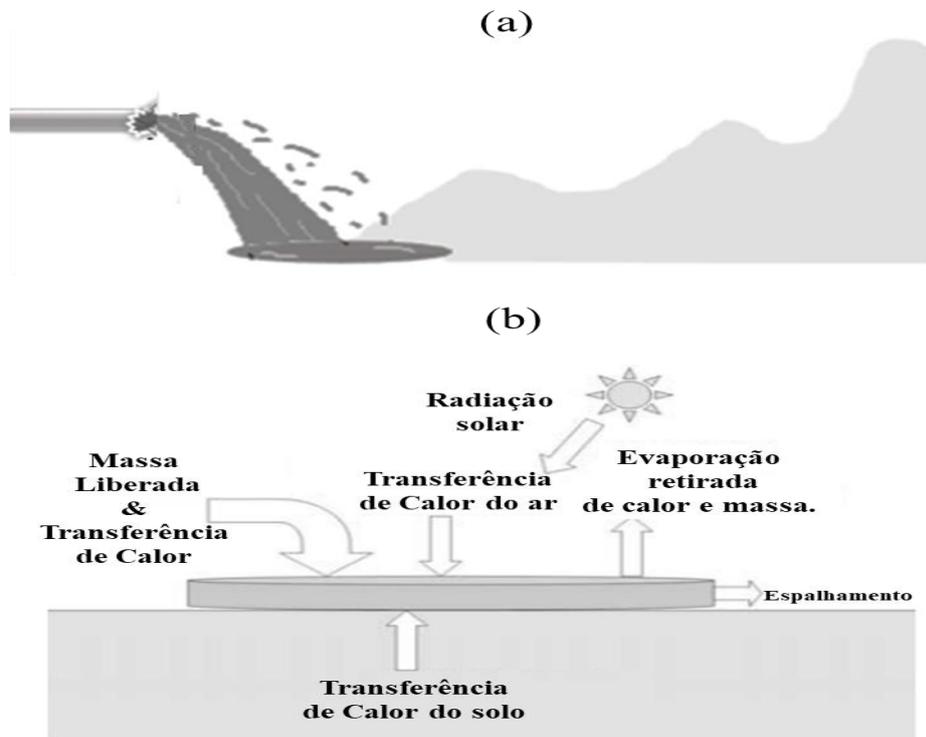
Derramamentos de líquidos podem resultar de acidentes de uma pequena fuga em um reservatório. Existem muitas variações dependendo da natureza do incidente, do tipo de material liberado, do ambiente e de outros fatores. A mais comum é a formação de poça em uma superfície, com o material a ser convertido da fase líquida para a fase gasosa devido à transferência de calor para a poça, e a vaporização conduzida pelo vento na interface líquido/vapor. A poça pode formar-se quase instantaneamente, ou pode ser continuamente alimentada de uma liberação mais lenta. Seu comportamento pode mudar ao longo do tempo, à medida que o líquido se espalha e o calor é transferido (PRICE et al. 2016; de DeVauil et al. 1995).

A superfície da poça pode ser o solo, um corpo de água, a superfície de uma estrutura, como uma plataforma de petróleo, ou outra estrutura de confinamento secundária. A natureza da superfície é importante para determinar a quantidade de transferência de calor para a poça, embora outras fontes de calor, tais como insolação, também possam ser importantes (PRICE et al. 2016).

Um típico cenário de liberação resultante da liberação de líquido é ilustrado na Figura 1a. Os fenômenos físicos (Figura 1b) que ocorrem durante o espalhamento e evaporação de uma poça incluem calor transferência do solo e ar para a poça, bem como fornecimento de calor por radiação solar. Além disso o balanço de massa e energia são influenciados pelo fluxo de massa (resultante do vazamento) para a poça, bem como pela massa em evaporação, a qual retira massa juntamente com calor de vaporização da poça.

Dentro do modelo de evaporação, as seguintes condições ambientais e climáticas são consideradas: tipos de solo, umidade, velocidade do vento e irradiação de calor dependendo da elevação solar e cobertura de nuvens.

Figura 1: (a) Cenário da Liberação. (b) Fenômeno Físico da Evaporação e Espalhamento da Poça.



Adaptado de: (a) Anjos (2017) e (b) Trijssenaar-Buhre (2009).

A emissão de um líquido inflamável evapora dependendo de suas características e da diferença entre as condições de pressão e temperatura em que ele estava no interior do sistema de armazenamento e as do meio ambiente. Se o líquido sai a uma temperatura inferior a temperatura de ebulição correspondente à pressão ambiente, a taxa de evaporação é pequena (IBARS e TORRENT, 2005).

A vaporização a partir de uma poça pode ser geralmente descrita de acordo com dois regimes principais: ebulição ou evaporação, associado com líquidos criogênicos e não-criogênicos (voláteis), respectivamente.

Os líquidos criogênicos têm pontos de ebulição que são significativamente mais baixos do que as temperaturas ambiente típicas, uma vez que as suas pressões de vapor saturadas são iguais a pressão ambiente à temperaturas relativamente baixas. Eles, portanto, tendem a sofrer inicialmente um comportamento de ebulição à temperatura ambiente.

Líquidos não-criogênicos, ou seja, aqueles com pontos de ebulição significativamente superiores à temperatura ambiente, tendem a sofrer apenas a evaporação, uma vez que a transferência de calor para a poça pode ser insuficiente para elevar a temperatura destes líquidos até a temperatura de ebulição. Várias situações possíveis podem ocorrer na evaporação de uma poça líquida. Estas incluem:

- 1) Um líquido em ebulição;
- 2) A evaporação de um líquido volátil;
- 3) A evaporação de um líquido relativamente não volátil.

Para líquido em ebulição a transferência de calor para uma poça ocorrerá quando ela estiver mais fria que o ambiente. Esta transferência é impulsionada pela convecção do ar na superfície superior da poça e por condução a partir da superfície abaixo da mesma. Com alguns fluidos criogênicos, o fluxo de calor na poça pode ser grande o suficiente para “ferver” o líquido. Neste caso, a poça permanece no seu ponto de ebulição, e a taxa de evaporação total é igual a razão do fluxo total de calor pelo calor de vaporização para o fluido (DeVaull et al. 1995).

Com um líquido criogênico derramado em terra, o fluxo de calor na poça irá diminuir ao longo do tempo à medida que a superfície do solo esfria até o ponto de ebulição líquido e aumenta a profundidade de penetração do solo arrefecido. Para os líquidos criogênicos flutuantes derramados sobre a água, a circulação convectiva constante da água mantém a transferência de calor por unidade de área para a poça e a taxa de evaporação em massa por unidade de área constante ao longo do tempo.

Para líquidos relativamente voláteis, a transferência de calor para a poça é equilibrada pelo calor perdido devido à vaporização líquida. No entanto, com um líquido volátil, a perda de calor da poça devido à ebulição ou evaporação rápida, pode ser grande o suficiente para causar um auto-arrefecimento do líquido restante. Neste caso, a temperatura da poça diminuirá abaixo do seu ponto de ebulição ou abaixo da temperatura ambiente (DeVaull et al. 1995).

De acordo com DeVaull et al. (1995), a evaporação de derramamentos de líquidos relativamente não-voláteis é impulsionada principalmente pela transferência de massa

convectiva na superfície superior da poça. Os argumentos de similaridade da camada limite para os números adimensionais de Schmidt, Nusselt e Peclet são usados para derivar um coeficiente de transferência de massa para um cenário particular. Este coeficiente é uma função da velocidade do vento, da geometria da poça e de vários coeficientes empíricos. A taxa de evaporação total é função da área da poça, da concentração de vapor ambiente e da pressão de vapor do produto químico e da derivada do coeficiente de transferência de massa.

Neste cenário, o calor perdido da poça por vaporização é equilibrado pela transferência de calor para a poça mais quaisquer mudança líquida no calor sensível do líquido. Para líquidos relativamente não-voláteis, a taxa de evaporação será baixa e, uma vez que as diferenças transitórias iniciais na poça e na temperatura atmosférica forem equilibradas, a temperatura da poça não se afastará muito da temperatura ambiente.

O presente estudo visa analisar a influência das condições ambiente na extensão da área classificada o estudo de pequenas liberações de líquidos com formação de poça para fins de classificação de áreas. O caso simulado aborda a liberação de um jato de líquido volátil com posterior formação de poça originando a atmosfera explosiva.

Neste trabalho o software comercial EFFECTS desenvolvido pela empresa GEXCON que tem sede na Noruega, sendo essa uma empresa líder mundial na área de segurança e gerenciamento de risco. O software EFFECTS foi desenvolvido tomando como base os “Livros Coloridos” de autoria governo holandês, sendo usados em todo o mundo como valioso material de referência em estudos de segurança.

## **METODOLOGIA**

O caso simulado aborda a liberação de um jato líquido com posterior formação de poça originando a atmosfera explosiva.

A Figura 2 ilustra as etapas no software EFFECTS o detalhamento de cada é descrito a seguir:

- I) Nessa etapa é calculada a vazão mássica de líquido.
- II) Nessa etapa são obtidos parâmetros da poça como tamanho, taxa de evaporação e temperatura. Os modelos de evaporação da poça funcionarão como um termo fonte para o modelo de dispersão subsequente.
- III) Nessa etapa é calculada a dispersão do gás com posterior obtenção da extensão nas concentrações de interesse (LIE,  $\frac{1}{2}$  LIE e  $\frac{1}{4}$  LIE), sendo LIE o limite inferior de explosividade.

O fluido em análise é o isopreno ( $C_5H_8$ ) cuja pressão de armazenamento é de  $2 \times 10^5$  Pa, a área de liberação do vazamento é de  $2,5 \text{ mm}^2$ .

Os dados das condições ambientais (Tabela 1) corresponde ao dia mais quente e mais frio do ano de 2016 da cidade Jamshedpur localizada na Índia.

Figura 2 – Esquema das etapas do modelo.

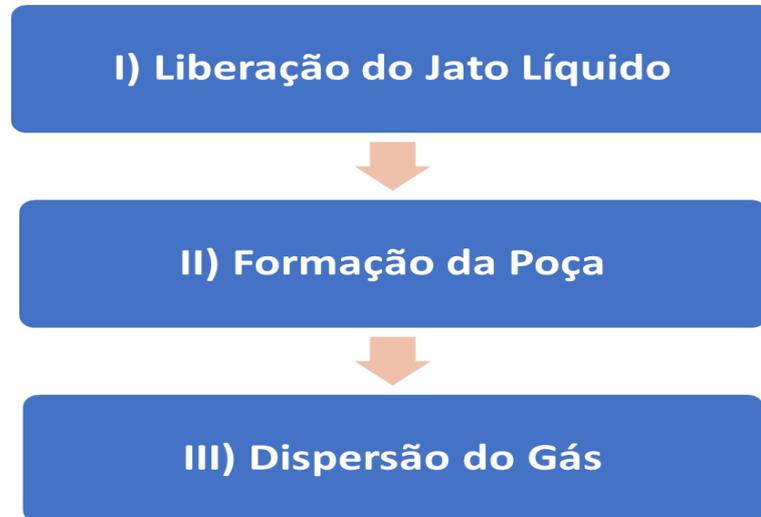


Tabela 1 – Condições ambientais.

Valores Medios	Dia Quente	Dia Frio
Carga Solar ( $W/m^2$ )	268,99	217,65
Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )	35,83	16,11
Temperatura do Solo( $^{\circ}C$ )	38,71	21,43
Umidade Relativa	50%	41%
Velocidade do Vento (m/s)	1,63	1,12

Fontes: Singh e Sharma (2017).

## REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir são apresentadas as equações dos modelos utilizados.

### I) Liberação de jato líquido

A Equação 1 (Gant, 2013) é utilizada para estimar a taxa de liberação de líquido no orifício.

$$Q_m = C_d A_o \sqrt{2\rho_L (P_{res} - P_{amb})} \quad (1)$$

Onde  $C_d$ ,  $A_o$ ,  $\rho_L$ ,  $P_{res}$  e  $P_{amb}$  são o coeficiente de descarga, área da secção transversal do orifício, densidade do líquido e pressão no reservatório e ambiente, respectivamente.

Para obter a extensão da área classificada é necessário calcular o ponto onde o jato toca o solo como mostrado na Figura 3, para isso a Equação 2 (MACMILLAN, 1998) foi utilizada.

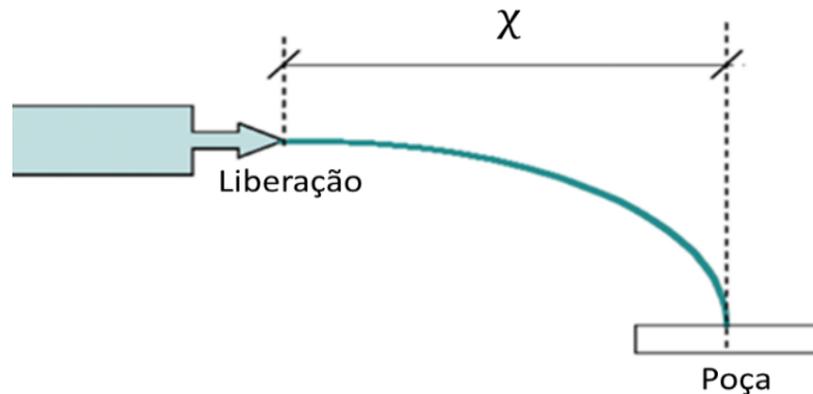
$$\chi = \sqrt{2v^2 y / g} \quad (2)$$

Onde:

$$v = \sqrt{\frac{2P_g}{\rho_L}} \quad (3)$$

Sendo  $v$ ,  $y$  e  $P_g$  a velocidade do jato, altura da liberação em relação ao solo e pressão gauge.

Figura 3 – Distância da liberação ao centro da poça.



## II) Formação da poça

A diminuição da massa da poça depende do fluxo de evaporação local médio e da sua área de superfície como mostra a Equação 3 (Trijssenaar-Buhre, 2009).

$$\frac{dQ_L}{dt} = -q''_v(t) A_p(t) + q'_r \quad (3)$$

Onde  $Q_L$ ,  $A_p(t)$ ,  $q_v''$ ,  $q_r''$ ,  $t$ , são a massa de líquido derramado, área superficial da poça, fluxo de evaporação, taxa de liberação da massa fluindo para a poça e tempo após o início da liberação, respectivamente.

A evaporação de um líquido requer calor. O calor será extraído do ambiente e também da própria poça, tendendo a diminuir sua temperatura média.

A conservação de energia, negligenciando todos os termos de fricção mecânica, aplicada a poça, resulta no balanço de energia por unidade de área na Equação 4 (Bosch e Weterings, 2005).

$$\frac{d(h \cdot \rho_L \cdot C_{p,L} \cdot T_p)}{dt} = H_s + H_a + H_{rl} + H_{rs} - q_v'' \cdot L_v \quad (4)$$

Onde  $h$ ,  $\rho_L$ ,  $C_{p,L}$ ,  $T_p$ ,  $H_s$ ,  $H_a$ ,  $H_{rl}$ ,  $H_{rs}$  e  $L_v$  são a profundidade da poça, densidade do líquido, temperatura do líquido, fluxo de calor convectivo do solo, fluxo de calor convectivo do ar, fluxo de calor solar irradiante de onda longa, fluxo de calor solar irradiante e calor latente de vaporização, respectivamente.

O líquido liberado se espalhará no solo nas imediações da liberação. A propagação continuará a menos que a poça seja contida por um dique ou canalizada para um reservatório, ou quando o líquido se espalhou a tal ponto que sua espessura é da mesma magnitude que a rugosidade do subsolo, ou até que a taxa de evaporação seja igual à taxa de liberação para que a quantidade de líquido na poça não aumente mais, alcançado assim o regime estacionário.

O espalhamento de uma poça para um líquido continuamente liberado em um solo horizontal não permeável pode ser avaliado pela seguinte equação diferencial mostrado pela Equação 5 (Trijssenaar-Buhre, 2009).

$$r_p^2(t) \frac{dr_p^2(t)}{dt} = \frac{2}{\pi} C'' \cdot g \cdot q'_{release} \cdot t^2 \quad (5)$$

Onde  $r_p$ ,  $g$ ,  $C''$  e  $q'_{release}$ , são o raio da poça, aceleração da gravidade, constante empírica igual a 1,08 para poça em terra, taxa de liberação da massa que entra na poça, respectivamente.

### III) Dispersão do Gás

A dispersão do gás inflamável é calculada resolvendo as equações de conservação (Equações 6-11) para massa, momento, energia e espécie (Ermak, 1990).

- **Espécie**

$$(\rho UBhm)' = \rho_s W_s B_s \quad (6)$$

- **Massa**

$$(\rho UBh)' = \rho_a (V_e h + W_e B) + \rho_s W_s B_s \quad (7)$$

- **Energia**

$$(\rho UBh C_p T)' = \rho_a (V_e h + W_e B) C_{pa} T_a + \rho_s W_s B_s C_{ps} T_s + f_{pc} + f_t \quad (8)$$

- **Momento-X**

$$(\rho UBhU)' = -0,5\alpha_g g [(\rho - \rho_a) B h^2]' + \rho_a (V_e h + W_e B) U_a + f_u \quad (9)$$

- **Momento-Y**

$$(\rho UBhV_g)' = g(\rho - \rho_a) h^2 + f_{vg} \quad (\text{Dispersão no solo}) \quad (10)$$

Ou  $V_g \approx 0$  (Dispersão elevada)

- **Momento-Z**

$$(\rho UBhW_g)' = -g(\rho - \rho_a) B h + f_w \quad (\text{Dispersão no solo}) \quad (11)$$

ou  $W_e = -V_g Z / B$  (Dispersão elevada)

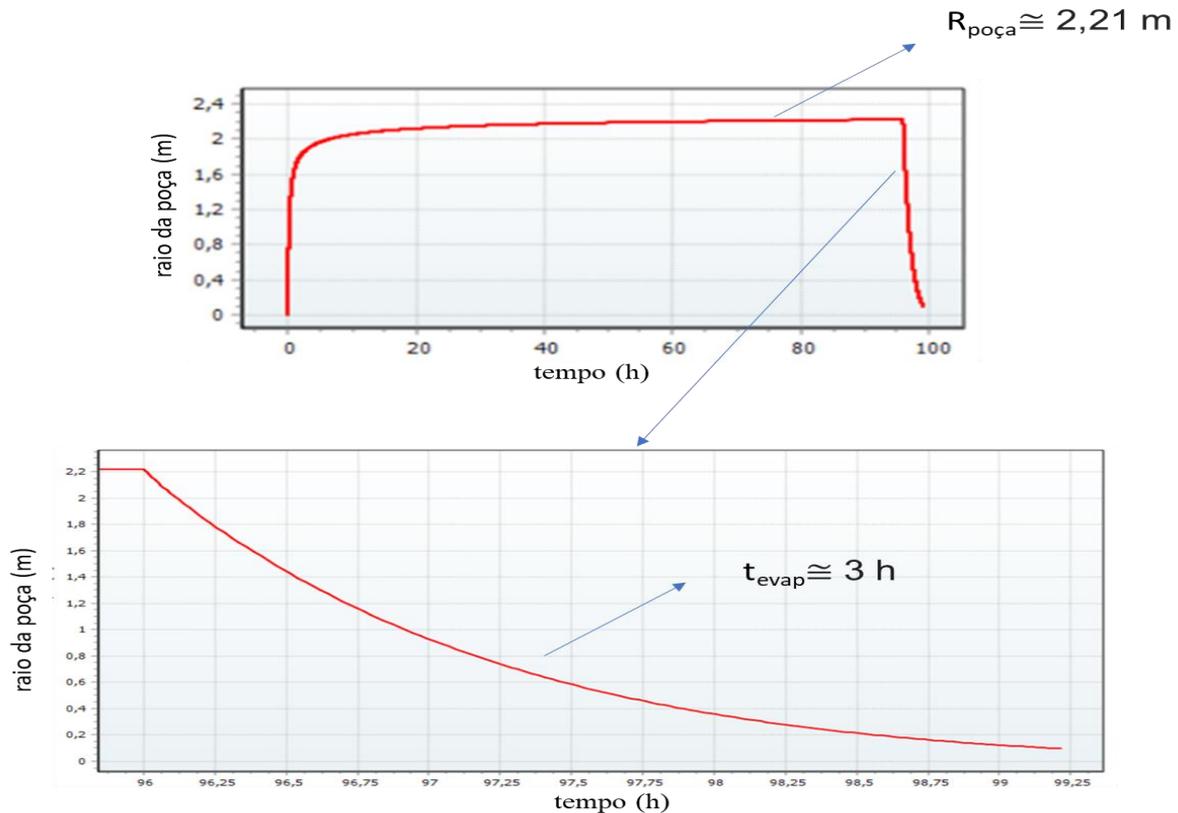
Onde  $z$  é a distância a favor do vento,  $\rho$  é a densidade,  $U$  é a velocidade da nuvem na direção do vento,  $B$  e  $h$  são a meia largura e altura da nuvem,  $m$  é a concentração mássica,  $C_p$  é o calor específico,  $T$  é a temperatura.  $f_{pc}$  é a energia de mudança de fase,  $f_t$  é o fluxo de calor do solo,  $V_g$  é a velocidade horizontal do vento cruzado, e  $f_u$  e  $f_{vg}$  são, respectivamente, os termos de atrito a favor do vento e do vento cruzado. O subscrito "a" refere-se às condições do ar ambiente e o subscrito "s" refere-se às propriedades da fonte. As taxas de arrastamento horizontal e vertical são  $V_e$  e  $W_e$ , respectivamente, e a velocidade de liberação de gás da fonte é  $W_s$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 4 e 5 mostram a evolução do tamanho das poças com o tempo de liberação nos dias quente e frio. A partir dos resultados obteve-se que os raios das poças no estado estacionário (a taxa de evaporação é igual à taxa de liberação, de modo que a quantidade de líquido na poça não se altera) para os dias quente e frio que foram 2,21 m e 2,27 m,

respectivamente. Os tempos de evaporação total ( $t_{evap}$ ) da poça, considerando que a liberação fosse interrompida, foi de 3 h para o dia quente e 5 h para o dia frio, como ilustrado nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

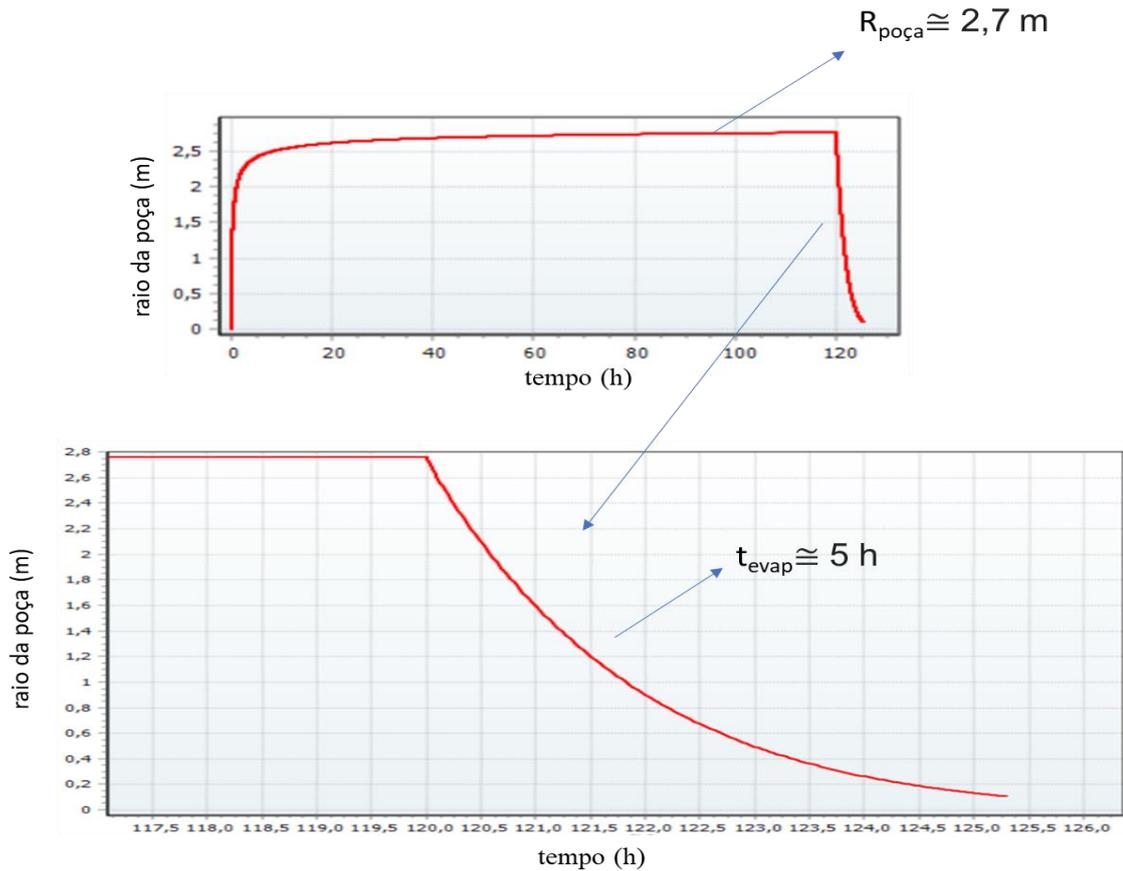
Figura 4 – Evolução do tamanho da poça com o tempo de liberação no dia quente.



As temperaturas das poças para os dias quente e frio no estado estacionário foram de  $-14,2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $-16,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , respectivamente. Segundo Raj & More (1987) a temperatura da poça em evaporação deve está entre o ponto de ebulição ( $34,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) e o ponto de fusão ( $-146 \text{ }^\circ\text{C}$ ) do líquido.

As áreas das poças considerando os raios obtidos no estado estacionário foram de  $15 \text{ m}^2$  no dia quente e  $23 \text{ m}^2$  no dia frio o que representa um acréscimo de 53 % em relação ao dia quente. A área da poça no dia frio foi maior para compensar uma redução no coeficiente convectivo de transferência de calor e no gradiente de temperatura (diferença entre as temperaturas da poça e do ambiente) em relação ao dia quente.

Figura 5 – Evolução do tamanho da poça com o tempo de Liberação no dia quente.



A Figura 6 ilustra o perfil lateral da dispersão em torno da poça. O deslocamento acentuado da pluma para a direita é devido a direção do vento. A altura das plumas não mostrou variações significativas entre os dias quente e frio, ao contrário da extensão cujo valores encontrados foram bem diferentes, sendo o valor da extensão do dia frio foi duas vezes a do dia quente para o LIE (Tabela 2), e nas demais concentrações foi observado um acréscimo de 37,5 % no dia frio em relação ao dia quente em  $\frac{1}{2}$  LIE e  $\frac{1}{4}$  LIE. A maior velocidade do vento no dia quente proporcionou um maior grau de diluição do vapor inflamável resultando em uma menor extensão da área classificada.

Figura 6 – Vista lateral da dispersão em torno das poças.

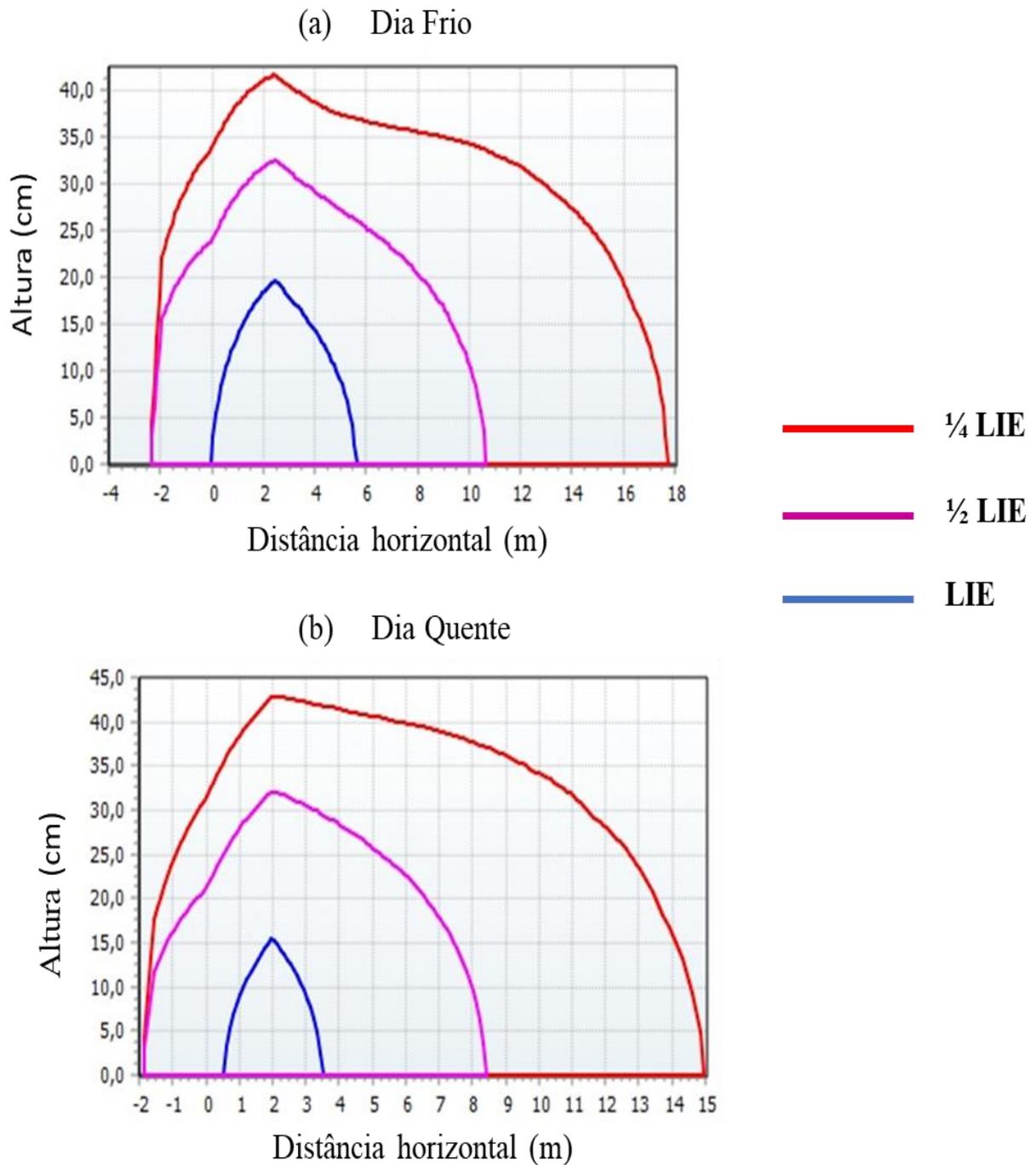


Tabela 2 – Extensões Obtidas pelo EFFECTS

	Dia Quente	Dia Frio	Acréscimo
LIE	3 m	6 m	100 %
½ LIE	8 m	11 m	37,5 %
¼ LIE	15 m	18 m	37,5 %

O valor da extensão onde o jato toca o solo, considerando a altura da liberação de 1 m, obtido pela Equação 2 foi de 7,7 m. A Tabela 3 mostra os valores das extensões no LIE e em suas frações somando 7,7 m aos valores da Tabela 2.

Tabela 3 – Extensões da área classificada.

	Dia Quente	Dia Frio
LIE	10,7 m	13,7 m
½ LIE	15,7 m	18,7 m
¼ LIE	22,7 m	25,7 m

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- A modelagem e simulação com formação de poça aplicada ao estudo de classificação de área foi implementada com sucesso no software Effects;
- Foi possível constatar que as condições ambientais influenciam diretamente a área da poça e a extensão da área classificada;
- Dia frio mostrou um maior extensão da área classificada do que o dia quente;
- Para liberações em poças evaporativas a velocidade do vento é um importante fator pois proporciona um maior grau de diluição do vapor inflamável resultando em uma menor extensão da área classificada.
- A temperatura da poça prevista pelo modelo está dentro da faixa de temperatura relatada pela literatura;

- O tempo de evaporação da poça no dia frio é aproximadamente 1,7 vezes maior que o dia quente;
- Os dados experimentais utilizados no presente estudo proporcionaram resultados mais acurados.
- A realização de simulações com líquidos criogênicos inflamáveis como hidrogênio se faz necessária para entender o impacto das condições ambientes na área classificada, devido ao comportamento desse tipo de fluido ser diferente do analisado no presente estudo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PETROBRAS pelo apoio financeiro e técnico.

## REFERÊNCIAS

ANJOS, D. A. **Determinação da Extensão de Áreas Classificadas para Liberações Bifásicas**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

BOSCH, C. J. H.V. D.; WETERINGS, R. A. P. M. **Methods for the Calculation of Physical Effects: due to Releases of Hazardous Materials (liquids and gases) ‘Yellow Book’**. 3ª ed., 2005.

BOSSERT, J. A. **Hazardous Locations - A Guide for the Design, Construction and Installation of Equipment in Explosive Atmospheres**. 3ªed. Toronto: Canadian Standards Association, 2001. 157p.

DEVAULL, George E.; KING, John A.; LANTZY, Ronald J.; FONTAINE, David J. **Understanding Atmospheric Dispersion of Accidental Releases**. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, 1995.

Ermak, D.L. **User manual for slab an atmospheric dispersion model for denser-than-air releases**. Lawrence Livermore National Laboratory, 1990.

ERTHAL, L., **Atmosferas Potencialmente Explosivas: Um Estudo de Caso como Contribuição para a Classificação de Áreas na Atividade da Indústria do Petróleo**,

**Química e Petroquímica.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

Gant, S. **Generation of flammable mists from high flashpoint fluids: Literature review.** Health and Safety Executive.2013.

IBARS, F. E.; TORRENT, J.G. **Manual Práctico Clasificación de Zonas em Atmosferas explosivas.** Colegio de Ingenieros Tecnicos Industriales de Barcelona – CETIB, Espanha, 2005.

I.J.M. Trijssenaar-Buhre, R.P. Sterkenburg & S.I. Wijnant-Timmerman. **An advanced model for spreading and evaporation of accidentally released hazardous liquids on land. Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications.** Taylor & Francis Group, London. 2009.

INTERNACIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-10-1/Ed2: Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of Areas – Explosive Gas Atmospheres.** Geneva, 2015.

MACMILAN, A. **Electrical Installations in Hazardous Area.** Elsevier Science, LTD, 1998.

PRICE, C.S.; TICKLE ,G.A.; ATTREE ,M.W.; LAD,C.S.; CARRUTHERS, D.J. **High Level Review of the Sensitivity of Dispersion Model Predictions to Individual Source Term Parameters.** ADMLC, 2016.

Singh, R.K., Sharma, R.V. **Numerical analysis for ground temperature variation.** Geotherm Energy 5, 22 (2017).

Raj, P.K. Morris, J. A. **Source Characterization of Heavy Gas Dispersion Models for Reactive Chemicals.**AIR FORCE GEOPHYSICS LABORATORY.Final Report, Volume I. MASSACHUS7TTS .1987.